R G B WH GR BL Grey Scale #13 C M Y K
DANES-PICTA.COM
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

M. STAŃCZUK
Kpt. Inż. E. S. E.

160-c

RADIOTECHNIKA
w zarysie

CZĘŚĆ II

URZĄDZENIA ODBIORCZE

CENTRUM WYSZKOLENIA ŁĄCZNOŚCI
1938.

Colour Chart #13
Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black
Inches Centimetres
DANES-PICTA.COM

M. STAŃCZUK
Kpt. Inż. E. S. E.

160-c

RADIOTECHNIKA
w zarysie

CZĘŚĆ II

URZĄDZENIA ODBIORCZE

CENTRUM WYSZKOLENIA ŁĄCZNOŚCI
1938.

18031/III

160-c

M. STAŃCZUK
kpt.inż. E.S.E.

BIBL. WOJSK. 15 P. P.

RADIOTECHNIKA

CZĘŚĆ II

- URZĄDZENIA ODBIORCZE -

CENTRUM WYSZKOLENIA ŁĄCZNOŚCI
- 1938 -

355.3 (358.6)



2941/3

- P R Z E D M O W A do C Z. II -

Aczkolwiek treścią niniejszego podręcznika są przede wszystkim urządzenia odbiorcze, tym nie mniej jednak niektóre jego rozdziały dotyczą również urządzeń nadawczych i stanowią uzupełnienie odpowiednich rozdziałów części pierwszej. Odnosi się to w pierwszym rzędzie do rozdziału IV, traktującego o wzmocnieniu przy pomocy lampy trójelektrodowej. Szereg punktów tego rozdziału wiąże się ściśle z działaniem generatorów lampowych i stanowi rozwinięcie ogólnej teorii generatorów, podanej w części pierwszej. Również ogólna teoria prostowania, w rozdziale I, odnosi się nie tylko do prostowników prądu szybkozmiennego, lecz do prostowników w ogóle i dlatego jest uzupełnieniem wiadomości o prostownikach podanych w części pierwszej.

Pewne zjawiska radiotechniki można wyjaśniać w sposób różny; każdy z tych sposobów jest słuszny, jednak w niektórych przypadkach jeden ze sposobów jest dogodniejszy niż inny. Np. działania kondensatora wyrównawczego można wyjaśnić bądź w ten sposób, że przepuszcza on przez siebie składową zmienną prądu tętniącego, bądź też w ten sposób, że gromadzi on ładunki elektryczne, które następnie oddaje. Otóż pierwszy sposób wyjaśnienia jest niedogodny w odniesieniu do kondensatora elektrolitycznego, który - jak wiadomo - nie może być zasilany prądem zmiennym. Dlatego też tego rodzaju zjawiska wyjaśniane są w podręczniku z różnych punktów widzenia.

———

- BIBLIOGRAFIA DO CZĘŚCI II -

Groszkowski. Lampy katodowe.- Krulisz. Zasady radiotechniki.- Mesny. Radioélectritité générale. - Mesny. Radiogoniométrie. - Berché. Pratique et theorie de la T.S.F. - Chrétien. Les tubes. - Hemardinquer. La T.S.F. sans parasites. - Veaux. Cours de T.S.F. - David. Les ondes courtes. - Vilbig. Lehrbuch des Hochfrekfenstechnik. - Benz. Einführung in die Funktechnik. - Praca zbiorowa. Handbuch der Funktechnik.-Schwandt. Funktechnisches Praktikum. - Bergtold. Röhrenbuch. - Hollmann. Physik und Technik der Ultrakurtzwellen. - D.A.S.D. Kurtzwellentechnik. - Ratheiser. Rundfunkröhren. - Strutt. Moderne Mehrgitter-Elektronenrören. - Petillon. Lautsprechenanlagen. - Wigand. Der Superhet. - - Admiralty handbook of wireless telegraphy.-G Glasgow. Electrical engineering texts. - Jones. Radiohandbook. - Praca zbiorowa. Radioamateurs handbook. - Ginkin. Uczebnik radiolubitiela. - Adżemow. Obszczyj kurs radio - tiechniki. - Berg. Tieoria i rasczot łampowych gienieratorow. - Asiejew. Łampowy gienieratory i pieriedadczyki. - Berkman. Elektronnyje łampy. - Szmakow. Principy radiotielefonii.-

- Wydawnictwa periodyczne -

Jellonek. Zaburzenia atmosferyczne w radiotechnice. Przegląd Elektrotechniczny, 23/1937. - Launberg. Sprzężenie zwrotne małej częstotliwości w lampie głośnikowej. Przegląd Elektrotechniczny, 17/1937. - - The new valves. Wireless World, VIII/1937. - Adelmann. Wir entstören Funktechnischerforwärts, 12/1937. - Pitsch. Die Anpassung des Lautsprechers an die Endröhre. Funk, I/1937. - Saic. Sechskreis--Vierröhren - Superhetemfänger. Funk, III/1937.

- WAŻNIEJSZE DOSTRZEŻONE OMYŁKI -

Str.23, wiersz 2.od góry - zamiast:"indukcyjnościową - powinno być: "indukcyjną".
Str.28, w.18.od góry - zamiast:"z punktem b" - powinno być: "z punktem a (rys.29.)".
Str.30, w.12.od góry - zamiast "(Cz.I." - powinno być: "(Cz. I, str.129)".
Str.32, w.17.od góry - zamiast: "R" - powinno być: "R_s".
Str.34, w.1.od dołu - zamiast: "$J_s=f(V_U)$" - powinno być: "$J_s = f(U_s)$".
Str.35, w.20.od dołu - po: "....napięcia siatki" dodać: "ze źródła zewnętrznego".
Str.38, w.20 od dołu - uzupełnić przez dodanie § 4.
Str.39, w.1.od dołu - zamiast: "stanowiąc", powinno być: "stanowiące".
Str.46, w.26.od góry - wzór: zamiast: "C", pownno być: "C_o"
Str.65, w.15 od dołu - zam.: "wyznaczający", powinno być: "wyznaczają".
Str.58, w.22.od dołu - wzór: zam.: "V_{sm}" - powinno być:"V^2_{sm}"
Str.75, na dole w odsyłaczu skreślić"wzór".
Str.77, w.11.od góry: zamiast: "hyberboliczną" - powinno być: "hyperboliczną".
Str.80, w.20.od dołu - zam.:"K = ..." - powinno być: "k=.."
Str.80, rys.82. - dopisać: "a" na charakterystyce w miejscu przecięcia się współrzędnych.
Str.85, w.4.od góry - po: "transformatora" - wstawić: "T_2".
Str.86, rys.90.- dopisać: "U_s" przy baterii siatkowej lampy1.
Str.88, w.25.od góry - po: "pojemności"- skreślić przecinek.
Str.96, w.5.od góry - zam.:"$k = \frac{V_a}{V_s}$" - powinno być: "$\frac{V_a}{V_{s1}}$"
Str.98, w.8.od dołu - po wyrazie: "anodowego" - dodać: "(a więc i wzmocnienie napięciowe)".
Str.101,w.13.od góry - zam.: "$p = \sqrt{\frac{Z}{2_z}}$" - pow.być:"$p = \sqrt{\frac{2_z}{Z}}$"
Str.115,w.3.od dołu - zam.: "wewnętrznego"- powinno być:"zewnętrznego".
Str.123,w.17.od dołu - po wyrazie: "niżej" zamknąć nawias; skreślić wyraz: "ciągu".
Str.127,w.11.od góry - po wyrazie: "diody" -dodać:"detekcyjnej".
Str.136,w:9,10,11.od dołu - skreślić.
Str.137,w.1.od dołu - zam.: "S_2" - powinno być: "2".
Str.140,w.2.od dołu - zam.: "L_2" - powinno być: "L_3"
Str.142,w.3.od dołu - zam.: odsyłacza "1)" - powinno być:"2)"
Str.144,w.10.od góry - zam.: "częstotliwości" - powinno być: "częstotliwosci 1)".
Str.145,w.27.od góry - zam.:"Nie może"- powinno być: "W przypadku odbioru fal ciągłych nie może..."

Str.149,w tytule § 17.dodać: "(regulacja wstęgi)".
Str.156,w.18.od dołu - zam.:"amplitudy tych półokresów - powinno być: "amplitudy w tych półokresach"
Str.164,rys.160: anoda pentody powinna łączyć się z przewodem anodowym.
Str.165,w.6.od dołu - zam.: "przemysłowymi" - powinno być: "technicznymi".
Str.166,w.11.od dołu - zam." sprawdza się" - powinno być: "sprowadza się".
Str.167,w.12.od góry - zam.:"$\frac{C_s}{n}$" - powinno być:"$\frac{C_{as}}{n}$"
Str.167,w.19.od góry - zamiast:"$\frac{C_s}{n}$" - powinno być: "$\frac{C_{as}}{n}$"
Str.168,w.21.od dołu - zam.: "mniejsza" - powinno być: "większa".
Str.181,w.10.od dołu - zam.: "co najmniej" - powinno być: "co najwyżej".
Str.194,w.8.od góry - zamiast: " 5 " - powinno być: "l_5"
Str.215,w.4.od góry: skreślić cyfrę "2".
Str.225,w.2.od dołu - zamiast: "adnoda" - powinno być:"anoda"

UZUPEŁNIENIE DO TABLICY III, CZ.I

1 pF = 1 pikofarad = 1$\mu\mu$ F = 10^{-12} F

- R O Z D Z I A Ł I. -

Zasada detekcji. Detektory stykowe. Odbiorniki detektorowe

A. Ogólna teoria detekcji.

1. Wstęp:

Fale elektromagnetyczne wypromieniowane przez stację nadawczą indukują w napotkanych na swej drodze przewodnikach siły elektromotoryczne, te zaś wytwarzają w tych przewodnikach prądy; oczywistym jest, że przebieg i częstotliwość tych prądów są zupełnie takie same, jak i prądów w antenie stacji nadawczej; różnica polega jedynie na mocy drgań.

Urządzenia, w których odbywa się przemiana energii fal elektromagnetycznych na energię prądu szybkozmiennego, są to anteny odbiorcze.

Prądy szybkozmienne w antenie odbiorczej nie nadają się do uruchomienia przyrządów, których działanie oparte jest na zasadzie elektromagnesu (słuchawka, głośnik, urządzenia zapisujące), gdyż po pierwsze - elektromagnes tłumiłby, oczywiście, te prądy przede wszystkim na skutek nadmiernych strat w żelazie, po drugie - uruchomieniu stoi na przeszkodzie duża w stosunku do tych częstotliwości bezwładność mechaniczna przyrządów (w słuchawce - bezwładność membrany). Gdyby nawet udało się uruchomić słuchawkę przy pomocy prądu szybkozmiennego, to i tak drgania przez nią wytworzone byłyby niedostępne dla ucha, które - jak wiadomo - reaguje na dźwięki o częstotliwości co najwyżej kilkanaście tysięcy okresów na sekundę.

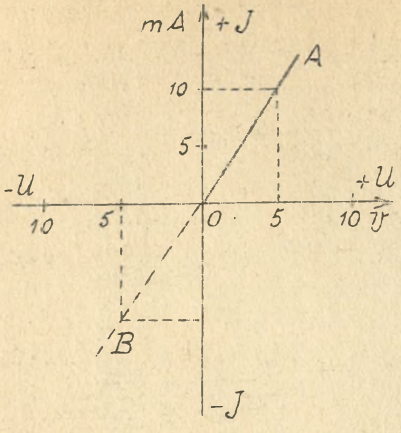
Należy zatem prąd szybkozmienny powstający w antenie odbiorczej przekształcić na prąd o częstotliwości słyszalnej. Operacja ta odbywa się przy pomocy specjalnego prostownika, zwanego detektorem. Stanowi on zasadniczy organ każdego układu odbiorczego.

Spośród wielu istniejących odmian detektorów są stosowane obecnie w praktyce tylko detektory kryształkowe, metalowe, a przede wszystkim lampowe.-

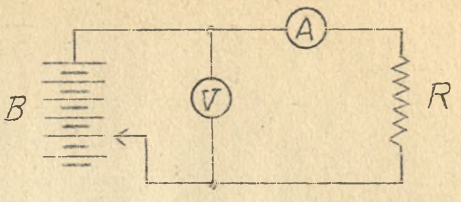
2. Zasada detekcji.

Zgodnie z prawem Ohma, prąd w przewodniku jest proporcjonalny do działającego na końcówkach przewodnika napięcia.[1] Wykreślnie zależność ta wyraża się linią prostą, rys.1., odcinek OA. Rys.2. przedstawia układ, przy pomocy którego wykres powyższy można otrzymać. Zwiększając mianowicie stopniowo napięcie baterii B, odczytujemy dla każdej wartości tego napięcia - natężenie prądu płynącego przez badany przewodnik, którym jest w danym przypadku opór omowy R. Odczytane wielkości odmierzamy w układzie współrzędnych. Z wykresu wynika, że kierunek działającego w obwodzie napięcia, a więc i prądu, przyjęto za dodatni. Jeżeli baterię B załą-

1) W dalszym ciągu niniejszego podręcznika napięcie stałe będziemy oznaczać literą U.-



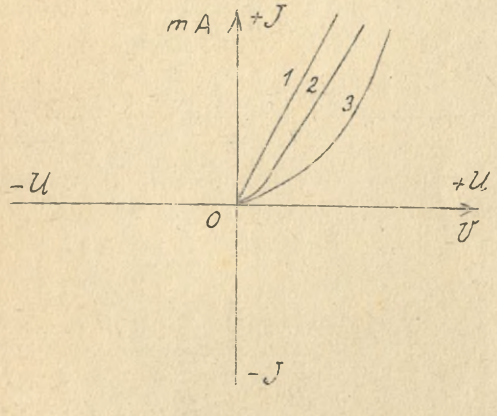
Rys.1.



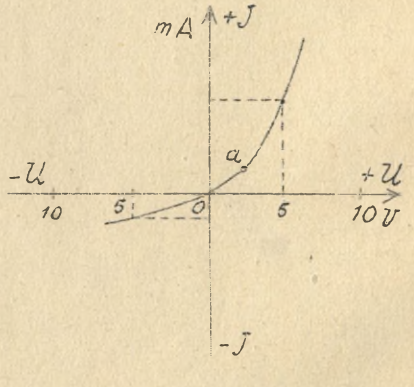
Rys.2.

czymy do obwodu odwrotnie, to zmieniając znowu stopniowo jej napięcie, otrzymamy po wykreśleniu odcinek OB, stanowiący wraz z odcinkiem poprzednim OA linię prostą. Kierunek działającego w tym przypadku napięcia, a zatem i prądu, nazwiemy ujemnym. Jak widać z wykresu, zarówno przy napięciu dodatnim, jak i ujemnym przewodnik R posiada jedną i tę samą oporność. Linia BA nazywa się charakterystyką statyczną oporu. Jak widzimy, posiada ona w rozważanym przykładzie przebieg symetryczny względem pktu O, stąd też i opory takie noszą nazwę oporów symetrycznych. Nachylenie charakterystyki, tzn. kąt pomiędzy OA a osią +U, zależy od wielkości oporu R: im większy opór, tym mniejsze nachylenie i na odwrót.

Detektor, w przeciwieństwie do zwykłego przewodnika, posiada charakterystykę niesymetryczną, tzn. że dla jednego kierunku napięcia przedstawia inną oporność niż dla drugiego.



Rys.3.



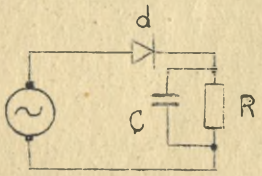
Rys.4.

Gdy dla jednego kierunku oporność jest nieskończenie wielka, to mamy prostowanie zupełne. Rys.3. przedstawia cha-

rakterystyki statyczne prostowników zupełnych. Charakterystyka 1. jest idealną, prostoliniiną, charakterystyki 2 i 3. są typowymi dla prostowników kryształkowych, metalowych i lampowych.- są to charakterystyki krzywolinijne. Rys.4. przedstawia przykład charakterystyki prostownika niezupełnego, tzn. takiego, który wprawdzie przepuszcza prąd w obu kierunkach, jednakże w stopniu niejednakowym: z wykresu widać, że np. dla napięcia +5 V opór prostownika jest kilkakrotnie większy niż dla napięcia -5 V.

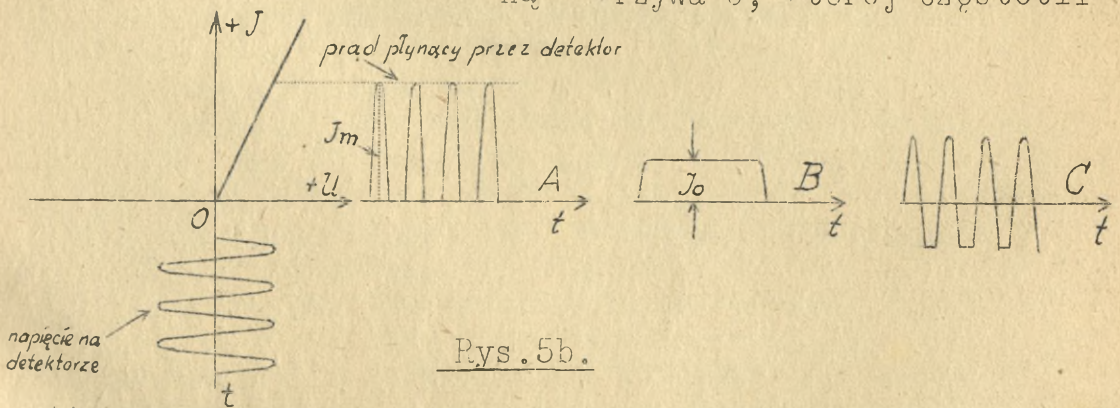
Stosunek napięcia przyłożonego do detektora-do płynącego przezeń prądu określa tzw. oporność statyczną detektora (w danym punkcie charakterystyki). Opornością dynamiczną detektora nazywamy stosunek przyrostu napięcia do odpowiedniego przyrostu prądu (porównaj cz.I, str.128 - opór wewnętrzny lampy).

Wyobraźmy sobie obwód z detektorem idealnym zasilany napięciem szybkozmiennym, rys.5a. R jest tu urządzeniem, które ma być uruchomione przez prąd wyprostowany (słuchawka, transformator). Przebieg napięcia przyłożonego do detektora oraz przebieg prądu wyprostowanego przedstawia rysunek 5b.



Rys.5a

Prąd wyprostowany przy prostowaniu jednokierunkowym zupełnym daje się rozłożyć zarówno teoretycznie jak i praktycznie (twierdzenie Fourier'a, p.cz.I, rozdz.VII) na dwie składowe: składową stałą - wykres B oraz składową szybkozmienną - krzywa C, której częstotliwość jest dokładnie równa częstotliwości przyłożonego do detektora napięcia.



Rys.5b.

Wartość składowej stałej wynosi: $J_o = \frac{J_m}{\pi}$, gdzie Jo - π jest natężeniem składowej stałej, zaś Jm - amplitudą prądu wyprostowanego. Jo jest więc w przybliżeniu trzy razy mniejsze od Jm.

Z wykresu C widać, że składowa szybkozmienna nie posiada przebiegu sinusoidalnego. Zgodnie z twierdzeniem Fourier'a

prąd o takim przebiegu zawiera składową zmienną o częstotliwości prądu prostowanego z amplitudą równą połowie amplitudy prądu prostowanego oraz parzyste harmoniczne tego prądu o amplitudach szybkomalejących. I tak druga harmoniczna posiada amplitudę równą około 21% amplitudy prądu wyprostowanego, czwarta - już tylko 4%.

Należy podkreślić, że liczby powyższe odnoszą się tylko do prostownika zupełnego o charakterystyce idealnej. W szczególności dla detektora niezupełnego (rys.4.) wartość składowej stałej będzie, oczywiście, mniejsza niż przy prostowaniu zupełnym.

Oczywistym jest, że składowa szybkozmienna nie uruchomi słuchawki. Jeżeli zaś chodzi o składową stałą, to jej działanie, w rozpatrywanym przypadku, sprowadzi się tylko do zmiany położenia błony słuchawki w dwóch momentach, mianowicie: w chwili pojawienia się ciągu drgań oraz w chwili jego zaniku. Inaczej mówiąc, słuchawka będzie się zachowywała tak, jak gdyby przepływał przez nią prąd stały.

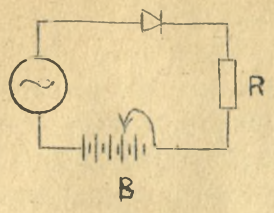
Inny sposób wyjaśnienia oddziaływania prądu wyprostowanego: szereg szybko następujących impulsów jednokierunkowych oddziaływuje na słuchawkę tak, jak gdyby przez nią płynął prąd stały o natężeniu Jo, równym średniej wartości prądu wyprostowanego; dla prostowania zupełnego:

$$Jo = \frac{Jm}{\pi})$$

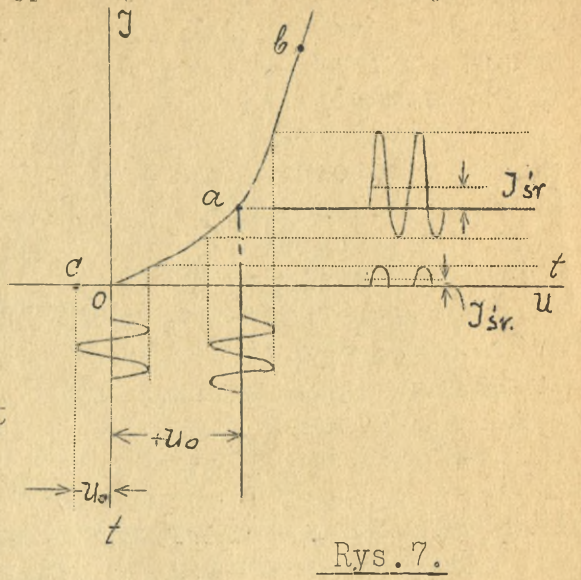
Natężenie prądu wyprostowanego zależy, dla danego typu detektora, zasadniczo od wielkości przyłożonego napięcia oraz od obranego punktu pracy. W dotychczasowych rozważaniach przyjęliśmy, że miejsce punktu pracy na charakterystyce jest w punkcie O układu współrzędnych. Jednakże, przeważnie w praktyce, punkt pracy znajduje się gdzieindziej, przy czym powinien on znajdować się w miejscu o największym zakrzywieniu, albowiem wówczas prostowanie jest najskuteczniejsze - otrzymujemy wtedy prąd średni o dużej wartości. I tak: w przykładzie z rys.7. korzystniejszą będzie detekcja w pkcie a niż w pkcie O, albowiem w pierwszym przypadku nachylenie krzywej z obu stron punktu a zmienia się znacznie, tzn.punkt a znajduje się w miejscu o silnym zakrzywieniu; jeżeli zaś chodzi o punkt O, to - jak widzimy - nachylenie krzywej po obu stronach tego punktu różni się bardzo mało (z lewej strony nachylenie wynosi zero, z prawej jest nieco większe od zera).

Punkt pracy detektora można umieścić w dowolnym miejscu charakterystyki, doprowadzając do detektora pewne stałe napięcie - dodatnie lub ujemne. Układ teoretyczny przedstawia rys.6.; ilustrację zjawisk stanowią wykresy rys.7. Najsilniejsze zakrzywienie mamy tu w punkcie a; aby punkt pracy przesunąć do tego miejsca, należy do detektora przyłożyć

z baterii B pewne stałe dodatnie napięcie $+U_o$. Średnia wartość prądu wyprostowanego - $J_{śr}$ - będzie wówczas większa a-



Rys.6.



Rys.7.

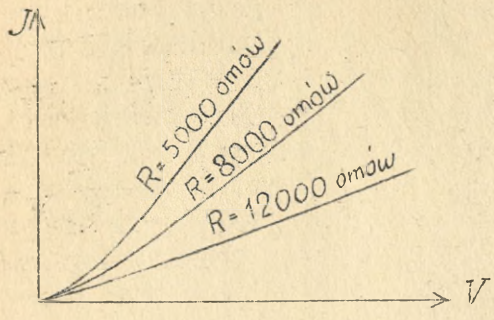
niżeli w przypadku, gdy punkt pracy umieścimy w punkcie O, gdziekolwiek bądź na odcinku Oa, bądź też na prawo od pktu a. Gdy punkt pracy znajdzie się w b, tzn.na odcinku pozbawionym zakrzywienia, to średnia wartość prądu wyprostowanego będzie równa zeru, a więc prostowania nie będzie. Prostowania, przy pewnej amplitudzie napięcia zmiennego, nie będzie również, gdy punkt pracy znajdzie się w c , tzn. gdy do detektora przyłożymy z baterii stałe ujemne napięcie $-U_o$. Detekcja w tym ostatnim przypadku pojawi się tylko wtedy, gdy do detektora doprowadzimy napięcie zmienne o amplitudzie większej od przyłożonego ujemnego napięcia. *wartości bezwzględnej*

Dla *punkta* c oraz O - prąd pojawia się dopiero w chwili przyłożenia napięcia zmiennego, zatem prąd spoczynkowy wynosi zero. Natomiast dla punktu a, a tym bardziej b prąd spoczynkowy jest od zera różny.

Wybór pktu pracy jest więc bardzo ważny dla działania detektora. Punkt ten jest - jak widzimy - wyznaczony przez pewne początkowe stałe napięcie działające w obwodzie (tzw. polaryzacja początkowa) i odpowiadający mu prąd stały, płynący przez prostownik.

Biorąc nadal pod uwagę detektor idealny, stwierdzimy, że natężenie prądu wyprostowanego J rośnie proporcjonalnie ze wzrostem napięcia zmiennego V. Zależność między tymi wielkościami, wyrażona wykreślnie, daje nam tzw. charakterystykę dynamiczną (inaczej roboczą albo charakterystykę obciążenia). Przy powyższym założeniu jest to, naturalnie, linia prosta. Jednakże i w przypadku detektora rzeczywistego, nieidealnego otrzymuje się także w przybliżeniu zależność prostolinijną i to tym bardziej im większa jest oporność zewnętrzna R wobec oporności detektora. Rys.7a przedstawia charakterystyki robocze detektora dla różnych opo-

rów zewnętrznych.-

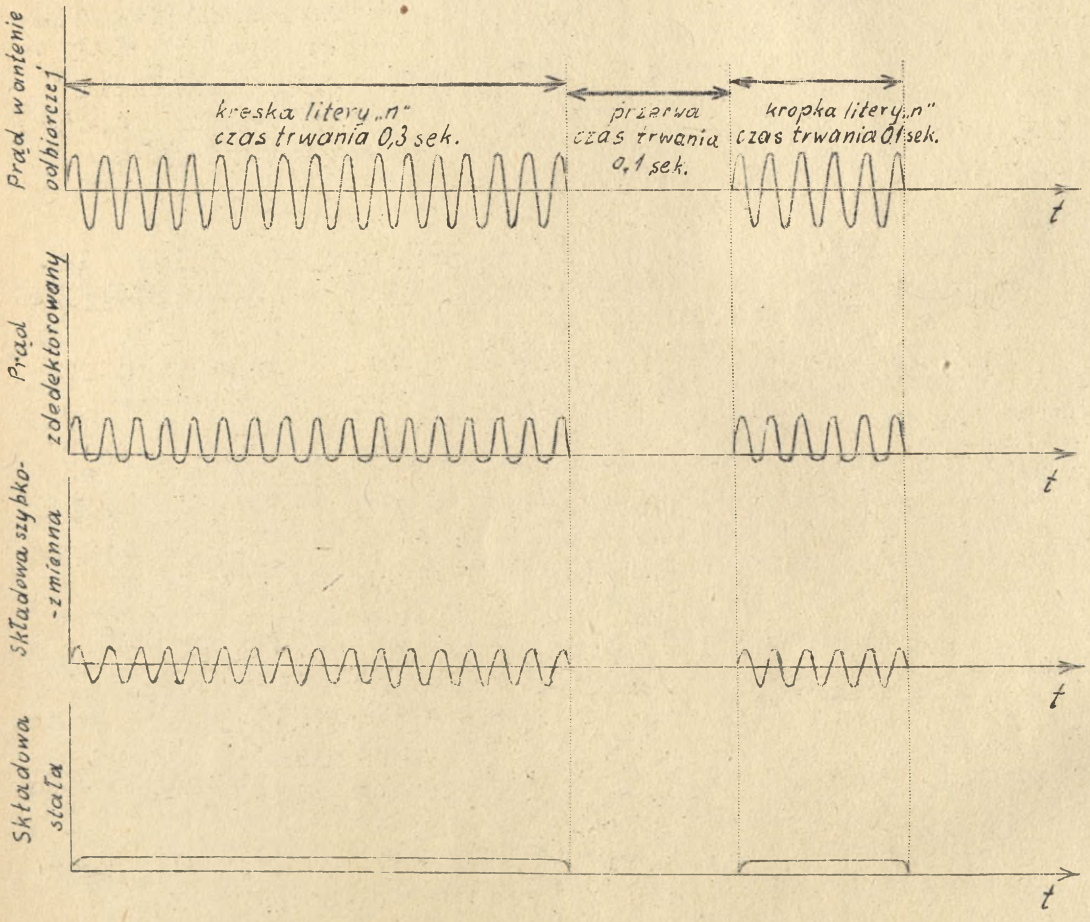


Rys.7-a

3. Odbiór fal ciągłych i modulowanych:

Jak wynika z poprzednich rozważań, prąd zmienny o stałej amplitudzie, wyprostowany i doprowadzony do słuchawki, wywołuje zmianę położenia jej membrany tylko na początku i na końcu ciągu drgań. Wobec tego ciągi drgań dochodzące do słuchawki w rytmie kluczowania (znaki morsa) będą wywoływać jedynie pukanie słuchawki, przy czym każdy element składowy znaku morsa (kropka, kreska) wywoła dwa puknięcia rozdzielone dłuższą (w przypadku kreski) lub krótszą (w przypadku kropki) przerwą czasową, rysunek 8.

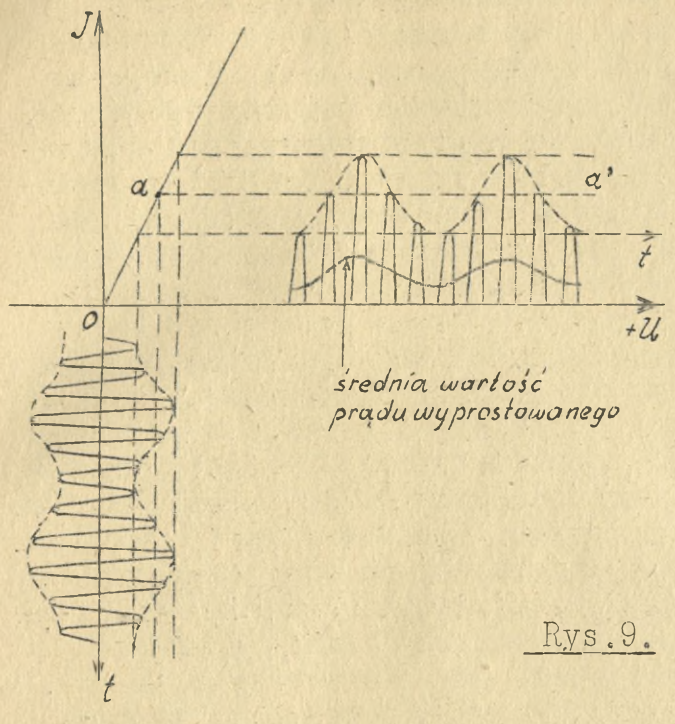
Odbiór takich sygnałów jest - praktycznie biorąc - w radiokomunikacji niemożliwy. Detektor nie na-



Rys.8.

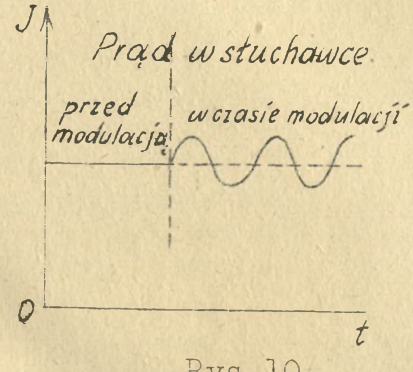
daje się więc do odbioru fal ciągłych.

Przyjmując nadal, że mamy do czynienia z detektorem idealnym, rozpatrzymy z kolei detekcję prądu szybkozmiennego modulowanego, rys.9. Jak widzimy, amplitudy prądu wyprostowanego, a więc i jego średnia wartość, zmieniają się w takim samym rytmie, w jakim odbywa się modulacja. Inaczej mówiąc, prąd płynący przez słuchawkę jest prądem tętniącym zawierającym składową zmienną o częstotliwości akustycznej, równej częstotliwości prądu modulującego na stacji nadawczej, oraz składową stałą, rys.10. Składowa zmienna (akustyczna) uruchamia słuchawkę, składowa zaś stała może być wykorzystana do automatycznej regulacji siły odbioru (patrz rozdz.VI.)



Rys.9.

Widzimy zatem, że dzięki detektorowi następuje zniekształcenie prądu, polegające na przekształceniu prądu o przebiegu symetrycznym na prąd o przebiegu asymetrycznym: jeżeli prąd prostowany posiada stałą amplitudę, to po wyprostowaniu pojawia się składowa stała; gdy zaś prąd prostowany jest modulowany, to po wyprostowaniu otrzymuje się prąd tętniący zawierający składową zmienną o częstotliwości słyszalnej oraz składową stałą.



Rys.10.

Składowa zmienna o częstotliwości słyszalnej odpowiada prądowi modulującemu, zaś składowa stała jest wytworzona przez wyprostowaną częstotliwość nośną.

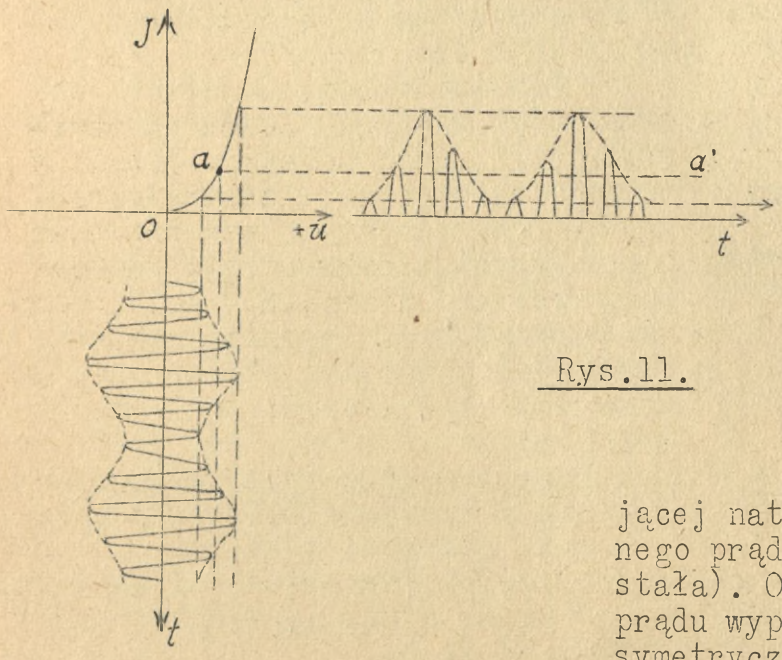
W przypadku detekcji drgań modulowanych zadaniem detektora jest niejako wyodrębnić z prądu modulowanego jego

składową akustyczną. Operacja ta jest jak gdyby odwrotnością modulacji i dlatego detekcję nazywa się często demodulacją, zaś detektor - demodulatorem.-

4. Detekcja prostolinijna, krzywolinijna (kwadratowa).

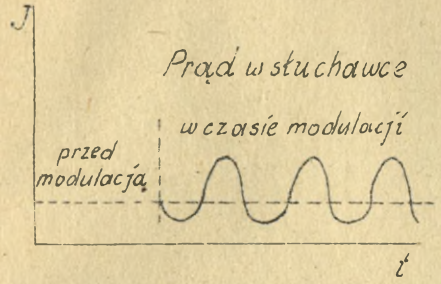
W przypadku z rys.9. średnia wartość prądu wyprostowanego zmienia się dokładnie w rytmie prądu modulującego na stacji nadawczej. Wszystkie przekazywane częstotliwości akustyczne znajdują się w prądzie wyprostowanym, nie ulegając żadnym zniekształceniom, niezależnie zupełnie od głębokości modulacji. Dźwięki silne (modulacja głęboka) są tak samo prawidłowo prostowane, jak i dźwięki słabe (modulacja płytka). Odtwarzanie dźwięków odznacza się więc idealną wiernością.

W praktyce do tego ideału prostownika prostolinijnego zbliżone są prostowniki,(np.tzw. diody detekcyjne, rozdział II)w ktorych część zakrzywiona jest niewielka w porównaniu z rozciągłością części prostolinijnej, tak że zakrzywienie może nie być brane w rachubę. Przykładem takiej charakterystyki jest krzywa 2. na rys.3. Uproszczenie to jest jednak słuszne tylko wówczas, gdy amplituda prostowanego napięcia, jest duża (rzędu 1 V i więcej), tak iż obejmuje znaczną część odcinka prostolinijnego. Gdy jednak amplituda ta jest mała (poniżej 1 V) albo też, gdy charakterystyka odznacza się rozległą krzywizną (krzywa 3, rys.3.), wówczas przebieg detekcji odbywa się inaczej. Rozpatrzmy charakterystykę o przebiegu wskazanym na rys.11. Przebieg prądu wyprostowanego różni się zasadniczo od przebiegu prądu z rys. 9; w tym ostatnim przypadku zmiany prądu wyprostowanego były symetryczne w stosunku do osi a-a' przedstawiającej natężenie wyprostowanego prądu nośnego (składowa stała). Obecnie zaś wahania prądu wyprostowanego nie są symetryczne w stosunku do osi a-a' ; składowa zmienna (akustyczna) prądu wyprosto-



Rys.11.

wanego posiada więc inny przebieg aniżeli prąd modulujący: jeżeli ten ostatni posiada przebieg sinusoidalny, jak to założono w przykładzie, to składowa zmienna prądu wyprostowanego posiada przebieg odmienny od sinusoidy. Uwydatnia to rys.12. przedstawiający dla tego przypadku wahania średniej wartości prądu wyprostowanego. Składowa zmienna zawiera wówczas częstotliwości, których nie było przed detekcją. Są to częstotliwości harmoniczne, przy czym szczególnie występuje tu harmoniczna druga. Powstaje więc zniekształcenie (tzw.zniekształcenie amplitudy, patr.rozdz.IV). Jest ono tym większe im głębsza jest modulacja.



Rys.12.

Detekcja opisana ostatnio nosi nazwę detekcji kwadratowej, albowiem zakrzywiona część charakterystyki spełnia równanie: $J = a.U^2$, gdzie a jest współczynnikiem proporcjonalności[1]. Jak widzimy, na części zakrzywionej prąd wyprostowany jest proporcjonalny do kwadratu przyłożonego napięcia.

Gdy amplituda napięcia prostowanego jest bardzo mała, można przyjąć, że odcinek krzywej, objęty jej zmianami, jest w przybliżeniu prostolinijny, jako bardzo krótki. Detekcji zatem wówczas nie ma. Widzimy więc, że detektor posiada pewien próg czułości, poniżej którego przestaje reagować na przychodzące sygnały. Jasnym jest, że czułość detektora zależy od obranego punktu pracy. Jest ona tym mniejsza im łagodniejsze jest zakrzywienie w danym punkcie.

Z powyższego wynika wniosek praktyczny, że celem umożliwienia odbioru sygnałów słabych (stacyj odległych) należy stosować przed detekcją wzmocnienie wielkiej częstotliwości, tak aby do detektora doprowadzić dostatecznie duże napięcie.

Ponieważ w praktyce charakterystyki stosowanych detektorów sprowadzają się do typu krzywej 2 z rys.3., przeto rozważania niniejszego paragrafu można streścić następująco:

1) Gdy amplituda napięcia prostowanego jest znaczna, to prąd wyprostowany jest wprost proporcjonalny do napięcia zmiennego.

2) Gdy amplituda napięcia prostowanego jest mała, to prąd wyprostowany jest w przybliżeniu proporcjonalny do kwadratu napięcia zmiennego.

3) Gdy amplituda napięcia prostowanego jest bardzo mała, prostowania nie ma.-

- -

1) Jest to równanie paraboli. Detekcję taką nazywa się stąd często paraboliczną.-

5. Czułość detektora.

Oznaczając przez V wartość napięcia szybkozmiennego przyłożonego do detektora, zaś wartość składowej stałej prądu wyprostowanego przez J_o - czułość s detektora możemy określić jako stosunek:

$$s = \frac{J_o}{V}$$

6. Kondensator wyrównawczy.

Napięcie zmienne doprowadzone do obwodu detektorowego, rys.5a, rozdziela się w każdej chwili pomiędzy detektor a opór R. Zatem detektor znajduje się pod działaniem nie całkowitego napięcia V, a tylko jego pewnej części - tym, oczywiście, mniejszej, im większy jest opór R. Zgodnie więc z rozważaniami poprzednimi, wytworzona przez detektor składowa stała jest zmniejszona w porównaniu z tą, którąby detektor wytworzył, gdyby oporności R w ogóle nie było. Dlatego też równolegle do oporności R załącza się zwykle kondensator, rys.5a, którego oporność pojemnościowa:

$$\frac{1}{\omega C} \quad (\omega = \text{pulsacja w.cz.})$$

jest bardzo mała w porównaniu z oporem R odbiornika energii.

Kondensator ten, zwany wyrównawczym, zwierając opor - ność R dla prądów szybkozmiennych, doprowadza do detektora prawie całkowite napięcie zmienne , dzięki czemu działanie prostownika odbywa się w warunkach znacznie korzystniejszych.

Nieco inny sposób wyjaśnienia działania tego kondensatora jest następujący: w układzie z rys.13. przez oporność Z płynie[1] nie tylko składowa stała ale też i wszystkie składowe zmienne (szybkozmienne) prądu wyprostowanego. Powstaje w ten sposób znaczne stosunkowo zużycie mocy prądu zmiennego w odbiorniku energii Z. Ponadto, ponieważ odbiornik ten posiada zwykle także oporność indukcyjną, przeto oporność ta zmniejsza - i to znacznie - amplitudę prądu wyprostowanego. Otóż kondensator wyrównawczy zwiera odbiornik energii dla prądów szybkozmiennych.

Przebieg prostowania składa się więc, jak gdyby z 2-ch procesów: 1° - przekształcenie prądu o przebiegu symetrycznym na prąd o przebiegu asymetrycznym; 2° - rozłożenie - za pomocą odpowiedniego filtru - prądu asymetrycznego na prądy składowe, z których tylko jedna, mianowicie składowa akustyczna, zostaje wykorzystana.

Działanie kondensatora wyrównawczego można wreszcie wyjaśnić w ten sposób: jeżeli przez kondensator przepływa prąd symetryczny, to średni ładunek wytworzony w kondensatorze w czasie jednego okresu wynosi, oczywiście, zero, albowiem ładunek dodatni, wytworzony w kondensatorze w czasie jednej połówki okresu, zostaje zobojętniony przez ła-

1) Przy założeniu, że kondensatora wyrównawczego nie ma.-

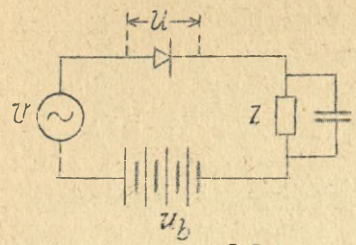
dunek ujemny w czasie następnego półokresu. Gdy jednak przez kondensator przepływa prąd o przebiegu niesymetrycznym, wówczas w czasie jednego półokresu kondensator otrzymuje ładunek większy, niżeli w czasie drugiego. Przy końcu więc jednego pełnego okresu na kondensatorze nagromadzi się pewien ładunek, który wytworzy zatem pewne napięcie. To samo powtarza się, naturalnie, w czasie następnych okresów. W ten sposób na okładkach kondensatora powstaje napięcie jednokierunkowe, które w uzwojeniu słuchawki wywołuje prąd jednokierunkowy. Gdy amplituda impulsów ładujących kondensator ulega wahaniom, tzn. gdy prostujemy prąd modulowany, to, oczywiście, napięcie kondensatora również ulega wahaniom, przez słuchawkę płynie zatem prąd tętniący.

Jak zaznaczono, pojemność kondensatora powinna być duża. Z drugiej jednak strony pamiętać należy, że duży kondensator będzie nie tylko dobrze przepuszczał prąd wielkiej częstotliwości, ale również i dla częstotliwości akustycznej będzie stanowił niewielką oporność, tak że wówczas częstotliwość ta będzie w mniejszym lub większym stopniu omijać słuchawkę. Dotyczy to, naturalnie, przede wszystkim wyższych częstotliwości akustycznych, które - jak wiadomo - znajdują się w prądzie, zmodulowanym przy pomocy głosu. Do słuchawki dojdą wówczas głównie tony niższe, wyższe zaś ulegną "obcięciu" przez zbyt duży kondensator wyrównawczy. Dźwięk przez to ulega zniekształceniu (tzw. zniekształcenie częstotliwości), staje się bardziej głęboki. Z tego więc względu C nie powinno być duże. Widzimy więc, że kondensator wyrównawczy powinien spełniać równocześnie dwa sprzeczne warunki. Wybiera się przeto pojemność kompromisową, której liczbowe wartości określone są danymi praktycznymi. Dla częstotliwości rzędu kilkuset kilocykli oraz dla słuchawki o oporze dużym (p.§ 11) pojemność kondensatora wynosi 1000-2000 pF.

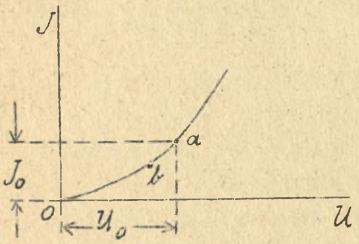
Bardzo często jednak w praktyce wyłączenie zupełne kondensatora wyrównawczego nie wywiera żadnego widocznego wpływu na działanie układu. Możnaby więc sądzić, że teoria nie pokrywa się tu z praktyką. Tak jednak nie jest, albowiem wówczas rolę pojemności wyrównawczej spełnia pojemność własna uzwojen elektromagnesu słuchawki. Wprawdzie ta pojemność jest znacznie mniejsza od liczb wyżej podanych, jednakże jest jeszcze wystarczająca.-

7. Praca detektora z załączoną opornością.

Rozpatrzymy bardziej szczegółowo pracę detektora w układzie z rys.13. Gdy drgań nie ma, a więc gdy w obwodzie działa tylko napięcie stałe U_b, to napięcie działające na detektorze równa się, oczywiście, napięciu baterii U_b mniej omowy spadek napięcia w oporności Z, tzn. $U_o = U_b - J_o \cdot R$, gdzie U_o - napięcie na detektorze, U_b - napięcie baterii,



Rys.13.



Rys.14.

J_O - prąd stały płynący w obwodzie, R - opór omowy odbiornika energii Z. Napięcie początkowe U_O wyznacza punkt pracy na charakterystyce statycznej detektora, rys.14; jest nim punkt a. Przypuśćmy, że w pewnej chwili zaczyna działać w obwodzie napięcie zmienne V (wartość skuteczna); C posiada przy tym taką wartość, że oporność pojemnościowa jest bardzo mała w porównaniu z opornością R; dzięki temu napięcie zmienne zostaje prawie w całości przyłożone do detektora, który wytwarza dodatkowy prąd stały i_O dodający się do prądu J_O. Wobec tego omowy spadek napięcia w odbiorniku energii zwiększa się i wynosi $(J_O + i_O)$, zatem napięcie na detektorze zmniejsza się zgodnie ze wzorem: $U_1 = U_b - (J_O + i_O).R$. Pod wpływem prądu wyprostowanego następuje więc przesunięcie punktu pracy ku dołowi charakterystyki z a, np.do b, a więc w kierunku ujemnym. Ponieważ prąd wyprostowany jest funkcją amplitudy przyłożonego napięcia zmiennego, wobec tego punkt pracy nie jest stały, lecz w miarę zwiększenia amplitudy napięcia zmiennego przesuwa się coraz bardziej w dół charakterystyki, przez co, naturalnie, zmniejsza się równocześnie prąd spoczynkowy.-

8. Dopasowanie odbiornika energii do detektora.

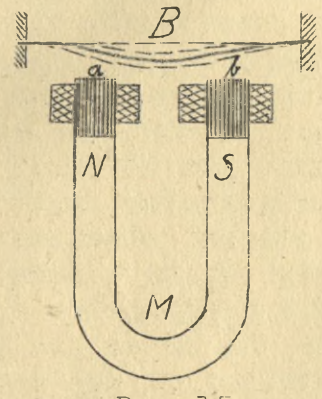
Celem dopasowania w danym przypadku jest doprowadzić do odbiornika energii jak największą moc prądu wyprostowanego. Nastąpi to wówczas, gdy oporność odbiornika energii będzie równa oporności własnej źródła tej energii, którym jest tu właśnie detektor. Otóż opór detektora jest średnio rzędu kilkuset-kilku tysięcy omów, a więc i opór odbiornika energii, np. słuchawki, powinien być w przybliżeniu tego samego rzędu. W tym przypadku połowa mocy prądu wyprostowanego jest pochłonięta przez słuchawkę, połowa zaś - przez detektor. Moc pochłonięta przez słuchawkę przekształca się na ciepło w przewodnikach słuchawki oraz rdzeniu żelaznym elektromagnesu i tylko bardzo mała jej część (mniej niż 1%) uruchamia membranę słuchawki, przekształca się więc na energię mechaniczną (energię fal głosowych). Do ucha zaś dociera zaledwie drobna cząstka tej energii (patrz następny paragraf).-

9. Słuchawka magnetyczna:

Typowym przyrządem odbiorczym stosowanym w radiokomunikacji jest słuchawka magnetyczna. Do celów odbioru automatycznego są stosowane inne wskaźniki energii elektrycznej, a więc urządzenia drukujące, klisze światłoczułe, poddane działaniu wiązki promieni świetlnych, drgającej w takt znaków morsa; jednakże pewną ujemną stroną tych urządzeń jest fakt, że reagują one jednakowo na sygnały zarówno pożądane, jak i niepożądane.

Funkcja słuchawki polega na przetworzeniu energii prądu na energię fal powietrza w postaci dźwięków słyszalnych.

Konstrukcję słuchawki podano schematycznie na rys.15.



Rys.15.

Trwały magnes M, naprzeciw którego znajduje się błona B z miękkiego żelaza (grubość około 0,2 mm), jest zaopatrzony w zwojnice z cieniutkiego drutu, przez które przepływa prąd zmienny; zwojnice są osadzone na nasadkach biegunowych a i b, wykonanych z miękkiego żelaza dzielonego. W stanie nieczynnym membrana jest lekko wygięta ku nasadkom biegunowym, jednakże nie dotyka ich. Cel zastosowania magnesu trwałego, czyli polaryzacji magnetycznej słuchawki, jest dwojaki:

1° - zapobieżenie zniekształceniu dźwięków;

2° - zwiększenie czułości słuchawki.

Wyobraźmy sobie na chwilę, że słuchawka została pozbawiona magnesu trwałego. Ponieważ siła przyciągająca elektromagnesu jest niezależna od kierunku prądu, przeto każdemu okresowi prądu odpowiadają dwa okresy przyciągania. Istotnie, w czasie jednego półokresu, gdy prąd narasta, błona zostaje przyciągnięta, gdy zaś prąd maleje, błona wraca stopniowo do położenia spoczynkowego; w czasie następnego półokresu ruch membrany powtarza się w identyczny sposób, a więc błona drga z częstotliwością (rys.16-b) równą dwukrotnej częstotliwości zasilającej (rys.16-a), zatem ton wytworzony przez błonę równy będzie oktawie tonu przekazywanego.

Gdy natomiast błonę ustawimy naprzeciw magnesu trwałego, będzie ona podlegała stałemu przyciąganiu z siłą:

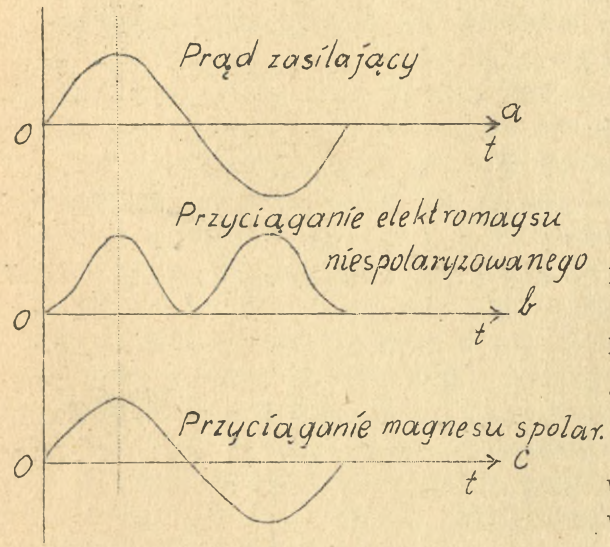
$$F_{dyn} = \frac{q B^2}{8 \pi}$$

(q - powierzchnia przekroju magnesu w cm^2, B - indukcja magnetyczna), ulegając wygięciu zaznaczonemu na rys.15. Gdy ją teraz poddamy działaniu zmiennego strumienia magnetycznego, strumień ten raz będzie się dodawał do strumienia stałego, raz od niego odejmował, tak iż podczas półokresu do-

datniego prądu błona będzie przyciągana silniej, podczas ujemnego - słabiej, wykonywując w ten sposób jeden okres drgań podczas jednego okresu prądu zmiennego.

W ten sposób częstotliwość drgań błony równa się częstotliwości przepływającego przez słuchawkę prądu zmiennego. Jeżeli drgania błony powtarzają się z częstotliwością słyszalną, sprawiają wrażenie dźwięków.

Błona może być także wprawiona w drgania z pomocą prądu tętniącego, wzgl. przerywanego z częstotliwością akustyczną.



Rys.16.

Można wykazać, że amplituda drgań błony jest proporcjonalna nie tylko do indukcji magnetycznej wywołanej prądem w uzwojeniach elektromagnesów, ale także do indukcji magnesu trwałego, a więc polaryzacja stała, zapewniając wierność odtwarzania dźwięków, zwiększa również czułość słuchawki.

Z tego co tu powiedziano o wpływie polaryzacji magnetycznej na działanie słuchawki wynika, że nie jest obojętna, w którym kierunku włącza się słuchawkę w obwód prądu zawierającego składową stałą (jak np. prąd w obwodzie anodowym lampy wzmacniającej). Należy tu zawsze przestrzegać, aby ta składowa stała magnesowała słuchawkę, a nie rozmagnesowywała jej. W tym celu słuchawki są zaopatrzone w oznaczenia: "+" i "-".

Gdy wtyczka słuchawki nie posiada tych znaków, to przewodem dodatnim jest ten, którego oplot niciany zawiera nitkę czerwoną.

Ażeby chronić magnesy przed rozmagnesowaniem się z biegiem czasu ("starzenie się" magnesów), nadaje im się kształt możliwie zamknięty o jak najmniejszym polu rozproszenia. Również i nasady biegunowe z miękkiego żelaza, wspomniane na wstępie tego paragrafu, mają za cel zabezpieczenie magnesów, służą mianowicie do tego, aby zmienny strumień magnetyczny indukowany nie przebiegał przez magnes trwały. Ponadto nasady z miękkiego żelaza łatwiej ulegają przemagnesowaniu, niż stal magnesu, zwiększają więc czułość słuchawki.

Cewki umieszczone na obu nasadach biegunowych są zwykle połączone ze sobą szeregowo.

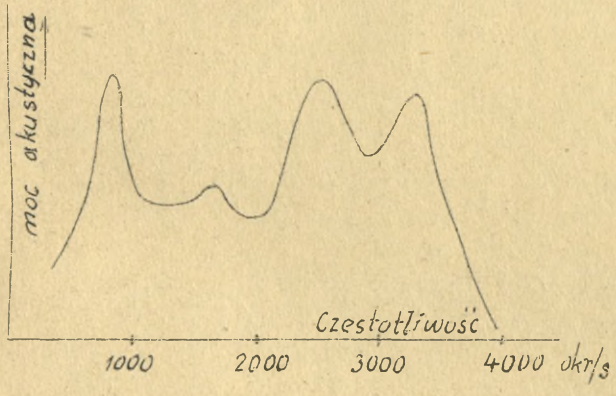
Odległość membrany od powierzchni nasad biegunowych

jest nie większa niż 0,5 mm.-

10. Rezonans mechaniczny słuchawki.

Drgania błony nie posiadają przebiegu sinusoidalnego lecz przebieg ten jest odkształcony. Innymi słowy, słuchawka wprowadza zniekształcenia amplitudy, które będą tym większe, im większa jest amplituda składowej zmiennej w porównaniu z polaryzacją stałą ("przeciążenie" słuchawki). W rzeczywistości jednak indukcja stała jest znacznie większa od indukcji zmiennej, powstającej na ogół pod wpływem bardzo słabych prądów, dlatego to zniekształcenie jest bardzo niewielkie.

Obok zniekształceń amplitudy, spowodowanych przez przebiegi magnetyczne, spotykamy również zniekształcenia częstotliwości, których źródłem są zjawiska rezonansu mechanicznego błony. W większości słuchawek główny rezonans błony leży około 1000 okr./sek., poza nim występują jeszcze punkty rezonansowe (zazwyczaj dwa) w granicach między 2000 a 3000 okr./sek. Typową charakterystykę częstotliwości słuchawki telefonicznej podaje rys.17.; wskazuje ona, że powyżej 4000 okr./sek. czułość słuchawki jest bardzo mała, czego przyczyna leży w dużej stosunkowo bezwładności mechanicznej jej błony.



Rys.17.

Zniekształcenie częstotliwości powoduje więc nierównomierne odtwarzanie przekazywanych częstotliwości.

Słuchawka telefoniczna należy do najczulszych wskaźników prądu zmiennego. Słuchawki o znacznej oporności omowej (o znacznej liczbie zwojów) dają możliwy odbiór telefoniczny już przy mocy rzędu 10^{-7} wata. Próg czułości słuchawki, zwłaszcza w pobliżu częstotliwości rezonansu mechanicznego leży jeszcze znacznie niżej słuchawki o oporności 1000 do 4000Ω reagują już na prądy rzędu 10^{-7} amp., co ze słuchawki czyni pierwszorzędny czynnik przy pomiarach, tzw.metodami zerowymi, równy bardzo precyzyjnym galwanometrom prądu stałego.

Pomimo tak dużej czułości słuchawki, szczególnie w okolicy głównej częstotliwości rezonansowej (minimalna moc, potrzebna do pobudzania dobrej słuchawki w okolicy jej rezonansu jest rzędu 10^{-9} wata), dla normalnego odbioru stosuje się moce znacznie większe. I tak: dla dobrego odbioru

telegraficznego wymaga się mocy doprowadzonej do słuchawki rzędu 10μW do 100μW. W szczególnie trudnych warunkach odbioru, jak np. na samolocie, stosuje się moce rzędu 1 mW

Moce te są znikomo małe, jeśli uwzględnimy minimalną sprawność słuchawki, określając - jako sprawność - stosunek mocy wytworzonych drgań głosowych do doprowadzonej mocy elektrycznej. Słuchawka bowiem jest rodzajem silnika elektrycznego, w którym przeważająca część mocy dostarczonej zamienia się na ciepło w uzwojeniach i rdzeniu elektromagnesów, część traci się na pokonanie oporu ruchu błony, a tylko mała cząstka promieniuje na zewnątrz pod postacią energii fal głosowych. Średnio sprawność słuchawki w pobliżu rezonansu nie przekracza 1%, zaś przy innych częstotliwościach jest znacznie mniejsza.

Amplituda drgań membrany jest tak mała, że promienie świetlne po odbiciu od drgającej membrany nie zmieniają swego kierunku.-

11. Słuchawki o dużej i małej oporności:

W § 8. wykazaliśmy, że słuchawka włączona bezpośrednio w obwód detektora powinna zasadniczo posiadać duży stosunkowo opór ze względu na konieczność dopasowania. Słuchawki o małym oporze (kilkadziesiąt-kilkaset omów) są na ogół używane w połączeniu z transformatorem wyjściowym w odbiornikach lampowych; słuchawkę włącza się w uzwojenie wtórne transformatora, jego uzwojenie pierwotne jest zasilane przez składową akustyczną prądu wyprostowanego. Jest to na ogół transformator redukujący napięcie, tym samym więc jego uzwojenie wtórne stanowiące dla słuchawki źródło energii posiada niewielki stosunkowo opór, wobec tego i opór słuchawki powinien być mniejszy, co się osiąga przez zmniejszenie liczby zwojów elektromagnesu.

Stosowanie słuchawki małej oporności wraz z transformatorem posiada następujące dodatnie strony:

1) Dzięki mniejszej ilości zwojów, słuchawkę przy tych samych rozmiarach można uczynić mechanicznie odporniejszą i lepiej izolowaną.
2) Ponieważ napięcia występujące między uzwojeniami są mniejsze, więc też zmniejsza się niebezpieczeństwo przebicia (przepalenia) uzwojeń słuchawki.
3) Przez słuchawkę nie przepływa składowa stała prądu, która przeważnie istnieje wówczas, gdy słuchawka jest bezpośrednio włączona do obwodu detektorowego.[1] Jak wiemy, obecność składowej stałej przedstawia o tyle niebezpieczeństwo, że przy nieodpowiednim włączeniu słuchawka może ulec rozmagnesowaniu.

Oczywiście, stosowanie słuchawek o małej oporności nie zwiększa bynajmniej czułości odbiornika (siły dźwięku), gdyż

1) Detektorem jest przeważnie lampa elektronowa.-

wpływ zwiększonego prądu w zwojnicy jest zrównoważony przez zmniejszenie liczby jej zwojów.

Jedyną ujemną stroną tych słuchawek jest to, że stosowanie transformatora wyjściowego powiększa rozmiary aparatu i ciężar, ponadto w samym transformatorze powstają straty energii (15 do 25%)

B. Detektory stykowe.

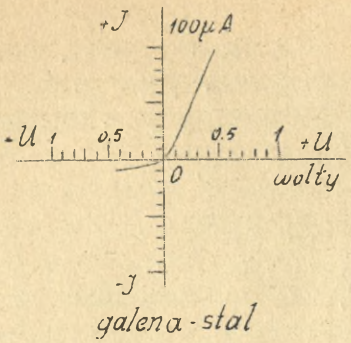
12. Detektory kryształkowe. Detektor galenowy.

Detektor kryształkowy składa się z kryształu (naturalnego lub sztucznego) oraz drucika metalowego, stykających się ze sobą. Układ taki odznacza się właśnie przewodnością jednostronną (działanie wentylowe). Tę samą właściwość wykazuje również zetknięcie ze sobą dwóch różnych kryształów. Detektory kryształkowe należą do kategorii tak zwanych detektorów stykowych. Istotną bowiem częścią detektora jest punkt styku dwóch ciał o różnych własnościach elektrycznych: zazwyczaj półprzewodnika (minerału) z przewodnikiem (metalem).

Najbardziej rozpowszechnionym w chwili obecnej jest detektor galenowy. Detektor galenowy składa się z kryształu galeny (błyszczek ołowiu: Pb S), do którego dotyka, z odpowiednim dociskiem, drut z metalu nieutleniającego się (srebrny, mosiężny, niklowy). Ciśnienie drucika na kryształ nie powinno być zbyt silne, jak bowiem wykazują spostrzeżenia najlepszy odbiór uzyskuje się właśnie dla słabego docisku. Aby umożliwić regulację docisku, drucik jest wykonany w postaci spiralnej sprężynki. Czułość detektora jest dla różnych punktów powierzchni kryształka różna.(największą czułość posiadają na ogół załamania). I to właśnie stanowi poważną niedogodność detektora galenowego, albowiem często nawet niewielkie przypadkowe przesunięcie miejsca styku może znacznie osłabić, a nawet uniemożliwić audycję. Tej niedogodności nie posiada detektor, np.karborundowy, składający się z karborundu oraz stali silnie dociśniętych, przy czym punkt styku jest dobrany na stałe. Jednakże detektor karborundowy wymaga napięcia początkowego dla przesunięcia punktu pracy w najdogodniejsze miejsce charakterystyki, rys.19.

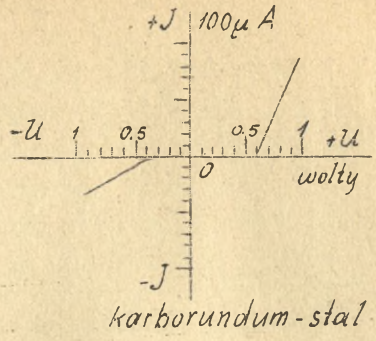
Rys.18. przedstawia charakterystykę statyczną detektora galenowego. Opór tego detektora dla kierunku: galena-stal jest znacznie mniejszy (rzędu kilkuset omów) od kierunku: stal-galena.

Działanie detektora galenowego, podobnie zresztą jak innych detektorów kryształkowych, nie zostało dotąd dostatecznie wyjaśnione, pomimo istnienia kilku różnych hipotez. Faktem jest jednak dowiedzionym doświadczalnie, że detektor działa tylko w atmosferze powietrza, z domieszką pary wodnej. Detektor umieszczony w próżni traci prawie całkowicie



galena - stal

Rys.18.



karborundum - stal

Rys.19.

zdolność prostowania prądu, a przestaje w ogóle działać (w próżni) po zeskrobaniu zewnętrznej warstewki galeny. Warunkiem nieodzownym działania detektora jest więc utworzenie się warstewki gazu związanej z powierzchnią detektora, jednakże nie każdy gaz jest w stanie pobudzić detektor do pracy. Pomiędzy ostrzem drucika a masą kryształka wytwarza się warstwa, która w jednym kierunku przepuszcza prąd lepiej niż w drugim.

Sprawność detektora, tzn. stosunek energii otrzymanej z detektora do energii doprowadzonej, jest bardzo mała. I tak, dla detektorów ze stałym stykiem wynosi najwyżej 10 do 12 %.

Detektor zanieczyszczony, np.zakurzony, traci na czułości; dlatego też umieszcza się go w naczyniu zamkniętym. Nie należy go chwytać palcami, a przy pomocy np.czystej pincetki. Detektor zanieczyszczony należy obmyć w czystym alkoholu lub benzynie.

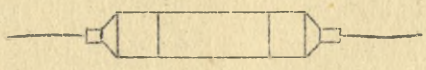
Detektory kryształkowe nie odgrywają we współczesnej technice odbiorczej żadnej poważniejszej roli.

Oprócz kryształków naturalnych istnieje obecnie w handlu wiele odmian kryształów syntetycznych.-

13. Detektor miedziowy.

Płytka miedziana, pokryta na jednej z powierzchni warstewkę tlenku miedzi grubości rzędu dziesiątych części milimetra, odznacza się przewodnością jednostronną: w kierunku tlenek miedzi - miedź stawia prądowi mały opór, zaś w kierunku odwrotnym - opór znacznie większy. Stosunek oporów dochodzi do 1000, a nawet do 10.000. Natężenie prądu wyprostowanego rosnie wraz z powierzchnią płyt. Wynosi ono, zależnie od typu prostownika, 0,1 - 0,2 A na jeden centymetr kwadratowy. Dla prostowania wyższych napięć (np.napięcie sieci) łączy się takie płytki szeregowo, rozdzielając je krążkami, np.ołowiu. Prostownik taki może być wówczas użyty do ładowania akumulatorów.

Prostownik miedziowy jest od pewnego czasu stosowany również do prostowania prądów szybkozmiennych. Poważną trudność konstrukcyjną stanowi tu znaczna stosunkowo powierzchnia prostownika, a więc duża pojemność własna, skutkiem czego prąd szybkozmienny przepływa przez prostownik jak przez kondensator, co, oczywiście, ujemnie wpływa na sprawność detektora. Jeden ze sposobów zaradczych polega na zmniejszeniu powierzchni czynnej płytek oraz szeregowym połączeniu kilku prostowników. Wymiary takiego detektora sprowadzają się do wymiarów zwykłego oporu wysokoomowego, rys.20. Skutkiem jednak szeregowego połączenia płytek konieczne jest duże stosunkowo napięcie szybkozmienne (co najmniej kilka woltów), dlatego też może on być na ogół wykorzystany do prostowania prądów szybkozmiennych dopiero po uprzednim ich wzmocnieniu. W zależności od typu detektora natężenie maksymalne prądu wyprostowanego wynosi 0,25 do 0,5 mA. Przeciążanie, nawet kilkakrotne, wytrzymuje dobrze, jednakże dłuższe przeciążenie grozi zniszczeniem warstewki tlenku, a więc zniszczenie prostownika. Ze względu na bardzo duży opór w kierunku ujemnym otrzymuje się prostowanie prawie zupełne. Charakterystyka posiada zakrzywienie o bardzo małej rozciągłości.



Rys.20.

Detektor miedziowy (inaczej kuprytowy)[1] jest nowoczesną postacią detektora stykowego. Nie wymaga regulacji, odznacza się stałością czułości. Jednakże zarówno ze względu na konieczność dużych napięć wejściowych (mała czułość), jak i ze względu na pewną pojemność własną, detektor ten jest dziś stosowany na ogół w układach specjalnych. Może być także z powodzeniem stosowany w przypadku odbioru stacji lokalnej na falach długich. W zwykłych odbiornikach detektorowych stosuje się nadal przeważnie detektor kryształkowy.-

C. Odbiorniki detektorowe.

14. Zasadnicze typy układów odbiorczych.

Bezpośrednie włączenie detektora wraz ze słuchawką w obwód anteny odbiorczej dałoby złe wyniki. Znaczny opór detektora powodowałby silne tłumienie energii prądu szybkozmiennego. Prócz tego krzywa rezonansu takiej anteny byłaby bardzo płaska, selektywność[2] układu byłaby więc niedostatecz-

---

1) W krajach anglosaskich detektor miedziowy jest znany pod nazwą "westector", w Niemczech -pod nazwą "sirutor".

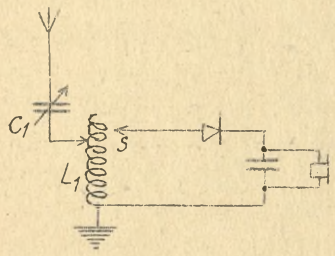
2) Selektywność odbiornika można określić jako zdolność do wydzielania sygnału pożądanego spośród sygnałów niepożądanych.-

na, tzn. że byłoby trudno wyeliminować stację przeszkadzającą, nadającą na fali nawet znacznie różniącej się od fali pożądanej. Dlatego też detektor wraz ze słuchawką wchodzi w skład specjalnego obwodu, zwanego obwodem detektorowym, który w ten lub inny sposób sprzęga się z anteną odbiorczą.

Celem otrzymania odpowiedniego odbioru - odpowiedniego z punktu widzenia selektywności i siły - ustrój anteny powinien być dostosowany do zakresu fal odbieranych. Pod tym względem istnieją cztery zasadnicze układy anten, które z kolei można rozdzielić na dwa typy, w zależności od tego, czy wymagana jest mała, czy też duża selektywność.

1) Układy o małej selektywności:

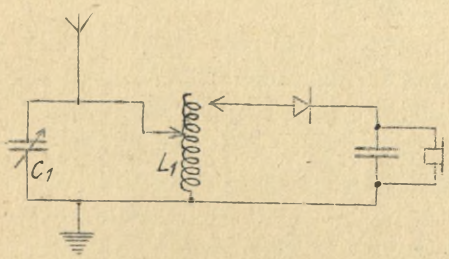
Schemat układu przedstawia rys.21.



Rys.21.

A) Układ na fale krótsze:

Kondensator C_1 oraz cewka L_1 są połączone szeregowo. Nastrojenie anteny uzyskuje się zarówno przez zmianę pojemności C_1, jak i indukcyjności L_1 (skokami). Cewka L_1 stanowi równocześnie organ sprzęgający obwód otwarty z obwodem detektorowym. Stopień sprzężności może być zmieniany przy pomocy suwaka lub wtyczki s; w ten sposób można więc zmieniać siłę odbioru. Przy małej indukcyjności L_1 oraz małej pojemności C_1 można uzyskać najkrótszą falę równą $0,7\,\lambda_o$, gdzie λ_o jest to fala własna anteny (p.część I, rozdz.VIII.). Dla fal dłuższych selektywność anteny maleje, czemu można zapobiec przez zastosowanie dużej indukcyjności L_1. Maksymalna pojemność kondensatora C_1 nie powinna być większa od 2-3-krotnej pojemności anteny (patrz § 17.). Dla fal dłuższych - od 12 do $15\lambda_o$ - selektywność układu jest bardzo mała. Dla fal w zakresie $0,7\lambda_o$ do λ_o napięcie na kondensatorze jest większe od napięcia na zaciskach cewki, dlatego lepiej jest załączyć obwód detektorowy równolegle do kondensatora, zamiast do cewki.-



Rys.22.

B) Układ na fale dłuższe-rys.22

Może być stosowany już dla fal powyżej $2\lambda_o$, zaś dla fal powyżej $15\lambda_o$ powinien być stosowany wyłącznie.

Obwód L_1C_1 musi być -praktycznie biorąc- nastrojony na falę odbieraną λ:

$$\lambda = 2\pi\sqrt{L_1C_1}$$

BIBL. WOJSK. 15 P. P.

Istnieje nieskonczenie wiele kombinacyj L_1 i C_1 spełniających powyższy warunek; doświadczenie poucza, że odpowiednie wartości dla L_1 i C_1 powinny spełniać w przybliżeniu warunek:

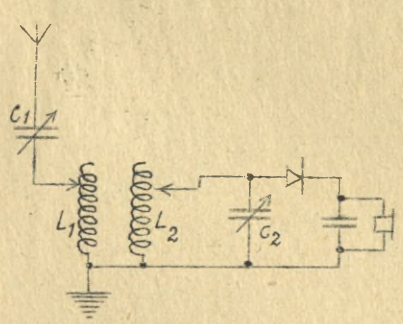
$$\frac{L_1}{C_1} = 400.000$$

przy czym L_1 jest tu wyrażona w mikrohenrach, zaś C_1 - w mikrofaradach. Powyższa liczba ma charakter orientacyjny, stosunek $\frac{L_1}{C_1}$ może bowiem być zawarty w granicach od 200.000 do 800.000, w żadnym jednak przypadku nie powinien wynosić np. 4.10^4 lub 4.10^6.-

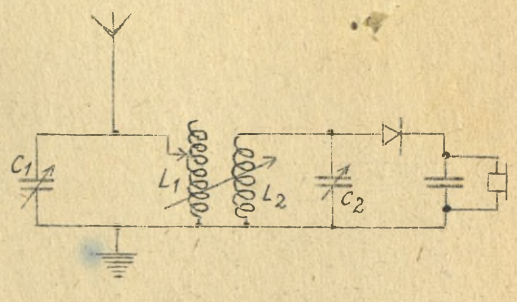
2. Układy o zwiększonej selektywności:

A) Układ na fale krótsze: Obwód pierwotny, tzn. obwód antenowy jest taki sam jak w przypadku 1A. Z cewką L_1 sprzężony jest transformatorowo obwód zamknięty drgań o małej oporności omowej, którego indukcyjność i pojemność oblicza się w sposób wyżej opisany. Obwód zamknięty drgań nazywa się tu obwodem pośrednim. Obecność jego powiększa selektywność. Obwód detektorowy jest bezpośrednio dołączony do obwodu pośredniego.

Stosunek zwojów cewek L_1 i L_2 może wynosić 1:5 do 1:10. W przypadku anteny krótkiej stosunek ten jest nieco większy (1:3 do 1:4).



Rys.23.



Rys.24.

Obwód pośredni stanowi dla obwodu detektorowego źródło napięcia szybkozmiennego. Obwód pośredni wraz z obwodem detektorowym jest uziemiony, dzięki temu linie pól elektrycznych zostają odprowadzone do ziemi, tym samym więc usuwa się, bądź też zmniejsza przypadkowe oddziaływania pojemnościowe. Uziemienie jest jednym ze sposobów elektrycznego zrównoważenia układów.

W odniesieniu do obwodów L_1C_1 i L_2C_2 znajdują pełne zastosowanie rozważania z cz.I,rozdz.V,tzn.: przy słabej sprzężności krzywa rezonansu jest ostra, tzn. selektywność duża; wystarczy więc nieznaczna zmiana C_1 lub C_2, aby stacja przeszkadzająca, bądź też odbierana, przestała być słyszalną,

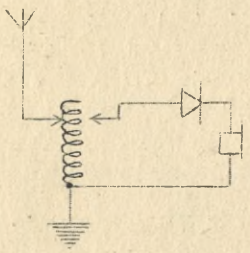
sygnały jednak są, oczywiście, słabe; w miarę zwiększania sprzężności siła odbioru wzrasta, równocześnie jednak krzywa rezonansu staje się szersza, selektywność więc pogarsza się; poczynając od pewnej sprzężności (sprzężność krytyczna) siła sygnałów słabnie pomimo wzrostu sprzężności i pomimo, że nastrojenie każdego układu pozostaje bez zmiany. Aby zwiększyć siłę sygnałów, należy zmienić położenie C_1 lub C_2 i to tym bardziej im silniejsza jest sprzężność; krzywa rezonansu wykazuje, poczynając od sprzężności krytycznej, dwa wierzchołki, tzn. że dwie stacje nadające na falach odpowiadających tym dwu wierzchołkom będą słyszane z jednakową siłą.

Zmiana sprzężności w przypadku silnej sprzężności powoduje rozstrojenie układu, jako całości, należy więc przy pomocy C_1 lub C_2 układ ponownie nastroić.-

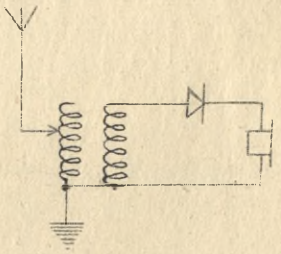
B) Układ na fale długie: Rys.24. Z obwodem L_1C_1 sprzęga się obwód L_2C_2, w którym: $L_2 = L_1$, $C_2 = C_1$. L_2 i C_2 oblicza się w sposób wyżej opisany.

3. Układy pochodne:

Przez usunięcie kondensatora C_1 (włączonego szeregowo w antenę) otrzymuje się układ wg rys.25., który umożliwia odbiór fal powyżej λ_0. Sprzężenie obwodu otwartego z obwodem detektorowym jest tu typu autotransformatorowego. Może ono być typu transformatorowego, rys.26.-



Rys.25.



Rys.26.

15. Dopasowanie obwodu sprzężonego z anteną:

Celem dopasowania jest uzyskanie jak największej mocy w obwodzie sprzężonym z anteną. Jeżeli obwodem tym jest obwód pośredni, to dopasowanie uzyskuje się przez dostrojenie układu do rezonansu z częstotliwością odbieraną oraz przez dobranie (doświadczalnie) dla tej częstotliwości najkorzystniejszego sprzężenia (patrz cz.I, rozdział V.). Dla innej częstotliwości sprzężenie należy na nowo dobrać. Konieczność dopasowania dotyczy także obwodów aperiodycznych typu przedstawionego na rys.26., tzn. że po zmianie częstotliwości należy na nowo dobrać sprzężenie celem uzyskania największej mocy w obwodzie detektorowym. Ta konieczność dopasowania obwodu aperiodycznego istnieje jednakże tylko wtedy,

gdy oporność omowa obwodu wtórnego jest bardzo duża w porównaniu z opornością indukcyjnością cewki sprzęgającej, co właśnie zachodzi w przypadku detektora kryształkowego lub miedziowego (a także lampowego, patrz następny rozdział). Gdy zaś oporność omowa obwodu wtórnego jest b.mała w porównaniu z opornością indukcyjną, to warunek maksimum mocy jest w szerokim zakresie niezależny od częstotliwości, tzn. że zmiana częstotliwości nie wymaga zmiany sprzężności celem otrzymania w obwodzie wtórnym najwyższej mocy. Taki przypadek ma miejsce wówczas, gdy wskaźnikiem prądu w obwodzie aperiodycznym - zamiast słuchawki z detektorem - jest np.miliamperomierz cieplny.-

16. Antena strojona i niestrojona:

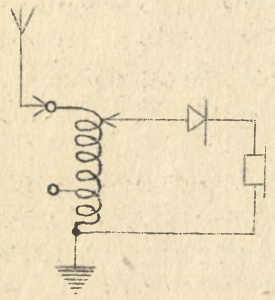
W przypadku anteny strojonej istnieje możliwość wydzielenia pożądanego sygnału już w obwodzie otwartym. Dzięki temu selektywność układu odbiorczego zwiększa się, ponadto wzrasta również siła sygnałów. Dostrojenie osiąga się, jak widzieliśmy, bądź przy pomocy kondensatora o zmiennej pojemności, bądź też cewki o zmiennej indukcyjności.

Antena strojona przedstawia jednak poważną niedogodność, jeżeli chodzi o odbiorniki lampowe wieloobwodowe, tzn.posiadające kilka obwodów rezonansowych, strojonych równocześnie przy pomocy jednego i tego samego pokrętła. Pokrętło to uruchamia rotory kilku kondensatorów obrotowych sprzężonych mechanicznie ze sobą. Otóż kondensator anteny nie może być włączony do strojenia równoczesnego (jednogałkowego), albowiem właściwości każdej anteny zależą od warunków lokalnych, są zatem różne i dlatego też ustawienie kondensatora antenowego musi być dla każdej anteny inne. Aby więc nie komplikować obsługi aparatu oraz aby uzyskać na-prawdę strojenie jednogałkowe, stosuje się anteny pozbawione zupełnie organów nastrojczych. Są to więc anteny niestrojone, błędnie zwane antenami aperiodycznymi. Nazwa ta jest błędna dlatego, że dzięki pojemności własnej oraz indukcyjności własnej antena jest przecież nastrojona na pewną częstotliwość, względnie na pewną wstęgę częstotliwości, która jednak nie powinna znajdować się w zakresie częstotliwości odbieranych przez odbiornik, gdyż ta właśnie częstotliwość, względnie ta wstęga, byłaby odbierana najgłośniej. Należy więc w obwód anteny włączyć taką cewkę sprzęgającą, aby fala anteny znajdowała się bądź daleko powyżej, bądź daleko poniżej zakresu fal odbieranych. Aby falę anteny umieścić poniżej tego zakresu, tzn. aby jej fala była krótsza od tego zakresu, należy w antenę włączyć cewkę o małej indukcyjności, sprzężenie zatem anteny z odbiornikiem będzie słabe, selektywność zaś duża. Aby zaś falę anteny umieścić powyżej zakresu fal odbieranych, należy w obwód anteny włączyć dużą cewkę. Sprzężenie

anteny z odbiornikiem będzie wówczas silne, selektywność zaś - mniejsza. Antena niestrojona nie pozwala więc wykorzystać zjawiska rezonansu celem wzmocnienia prądów odbieranych, dlatego też może być używana tylko w połączeniu z odbiornikiem umożliwiającym wzmocnienie sygnałów; takim jest właśnie odbiornik lampowy.-

17. Uwagi o odbiornikach detektorowych.

W praktyce obecnie odbiornik detektorowy służy do odbioru na słuchawki silnej stacji fonicznej położonej w niewielkiej stosunkowo odległości, przede wszystkim zaś radiostacji fonicznej lokalnej. Na ogół biorąc, odbiornik detektorowy umożliwia odbiór jednej lub dwóch radiostacyj (np. odbiór Warszawy I - fala 1439 m i Warszawy II - fala 216 m). Dlatego też wystarczy w zupełności układ najprostszy, np. z rys.25. lub z rys.26., nastrojony i dopasowany do danej anteny na stałe. W przypadku zaś, gdy chodzi o odbiór dwóch stacyj, można stosować bądź cewki wymienne, bądź też cewki wmontowane na stałe, zaopatrzone jednak w odpowiednie odgałęzienie, np.rys.27.



Rys.27.

Ze względu na małą czułość odbiornik detektorowy nie potrzebuje odznaczać się dużą selektywnością. Dlatego też rozważania § 14. dotyczące selektywności mają, w odniesieniu do układów detektorowych, znaczenie przede wszystkim dydaktyczne. Zostaną one zresztą wykorzystane w dalszych rozdziałach.-Rozmiary anteny odbiorczej uzależnione są w dużym stopniu od warunków lokalnych. O ile okoliczności na to pozwolą, antena dla odbiornika detektorowego może być wykonana wg następujących danych: część pozioma (pojemność końcowa) - dwa przewodniki długości 20 m odległe od siebie o 1 m; z jednej strony każdy przewodnik jest doczepiony do poprzeczki za pośrednictwem łańcucha z 3-ch izolatorów; z drugiej strony oba przewodniki łączą się z doprowadzeniem pionowym długości 10 m; fala własna takiej anteny wynosi 120 do 140 m; pojemność własna około 270 cm. Przewodniki wykonane z plecionki antenowej[1].

Celem pokrycia zakresu fal 200-600 m, przy użyciu kondensatora obrotowego 500 pF, cewka powinna posiadać 50 zwojów; celem zaś pokrycia zakresu 600-1800 m, cewka powinna posiadać przy tym samym kondensatorze około 175 zwojów.

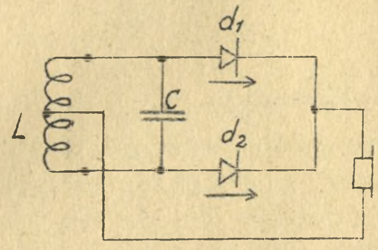
---

1) Szczegóły oraz przepisy dotyczące wykonania anten odbiorczych podane są w przepisach, p.t. "Anteny" - wydanych przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.-

Przy użyciu anten zewnętrznych odbiornik detektorowy zapewnia dostateczny odbiór przy natężeniu pola, począwszy od kilku miliwoltów na metr.-

18. Detekcja dwukierunkowa:

Przez zastosowanie dwóch detektorów, połączonych według schematu rys.28., uzyskuje się detekcję dwukierunkową. Układ jest analogiczny do układu zwykłego prostownika dwukierunkowego. Średnia wartość napięcia wyprostowanego jest tu nieco wyższa, aniżeli w przypadku detekcji jednokierunkowej. Jak widać ze schematu, na każdy detektor działa tylko połowa napięcia szybkozmiennego indukowanego w cewce L, zaś przy prostowaniu jednokierunkowym na detektor działa całkowite napięcie cewki. W ten sposób przy detekcji dwukierunkowej zostają wprawdzie wykorzystane obie połówki napięcia zmiennego, jednakże napięcie działające na każdy detektor jest o połowę mniejsze od napięcia przy detekcji jednokierunkowej.



Rys.28.

Do podwójnej detekcji wykorzystuje się diody (p.rozdz.II) najczęściej zaś prostowniki metalowe.

Kondensator C obwodu rezonansowego na przytoczonym schemacie posiada pojemność stałą, gdyż tego rodzaju układ stosuje się tylko w układach o stałym nastrojeniu (np.wzmacniacze pośredniej częstotliwości w superheterodynach, rozdział VII.-)

R O Z D Z I A Ł II.

Detekcja przy pomocy lampy elektronowej prądów modulowanych

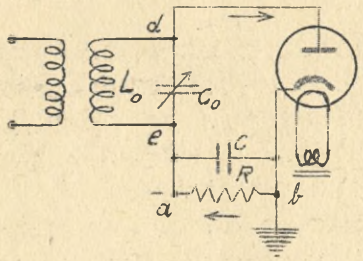
Do detekcji prądów szybkozmiennych może być wykorzystana bądź lampa dwuelektrodowa, nosząca tu nazwę diody, bądź też lampa trójelektrodowa (trioda)[1]. Ta ostatnia może być użyta bądź w układzie detekcji anodowej, bądź detekcji siatkowej. W radioodbiornikach fonicznych wyższej klasy, w których zależy na artystycznym nieskażonym odtworzeniu dźwięków, stosuje się obecnie powszechnie diodę. W odbiornikach zaś radiofonicznych tańszych, a także w prostych odbiornikach radiotelegraficznych stosuje się do celów detekcji na ogół triodę.(lub lampy z siatką osłonną).-

- -

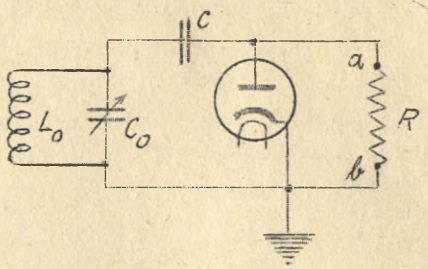
1) O lampach wielosiatkowych, p.rozdz.V.-

A. Detekcja przy pomocy diody

1) Zasada działania:



Rys.29.



Rys.30.

Jeden z zasadniczych układów przedstawia rys.29. Odpowiada on dokładnie teoretycznemu układowi z rys.5a, mianowicie: dioda odpowiada detektorowi, kondensator C - kondensatorowi wyrównawczemu, oporność omowa R - odbiornikowi energii R, wreszcie obwód L_oC_o stanowi dla diody źródło napięcia szybkozmiennego. Działanie układu odbywa się wg zasad działania lampy prostowniczej 1-kierunkowej, tzn.: każdorazowo, gdy na anodzie diody pojawia się potencjał dodatni, powstaje strumień elektronów pomiędzy anodą a katodą. Gdy zaś na anodzie działa ujemny półokres napięcia szybkozmiennego, ruch elektronów ku anodzie zostaje całkowicie zahamowany. Dopóki więc pomiędzy anodą a katodą działa napięcie szybkozmienne, istnieje pomiędzy tymi elektrodami ruch elektronów ku anodzie, przerywany co pół okresu. Elektrony wchłonięte przez anodę przepływają przez obwód zamknięty drgań oraz przez opór R do katody. W ten sposób w oporniku R ruch elektronów odbywa się w kierunku od punktu a do b, zatem potencjał punktu a, jako ujemny, jest niższy od potencjału punktu b. W świetle zaś dawniejszych poglądów na istotę prądu, w chwili gdy na anodzie pojawia się potencjał dodatni, w obwodzie płynie prąd w kierunku wskazanym strzałkami. W oporności R powstaje zatem spadek napięcia skutkiem czego potencjał punktu a staje się niższym od potencjału punktu b.

Przez kondensator C zamyka się składowa szybkozmienna.

Punkt b jest połączony z masą aparatu, ta zaś zostaje z kolei uziemiona, tak że potencjał punktu b jest stały i równy zeru.

Gdy prostowane drgania są niemodulowane, wówczas na końcówkach oporu R otrzymuje się napięcie praktycznie stałe. Gdy zaś drgania są modulowane, to wielkość napięcia wyprostowanego w oporze R zmienia się w rytmie modulacji, będzie to więc napięcie jednokierunkowe modulowane, zawierające zatem obok składowej stałej (co do wartości i kierunku) składową o częstotliwości akustycznej.

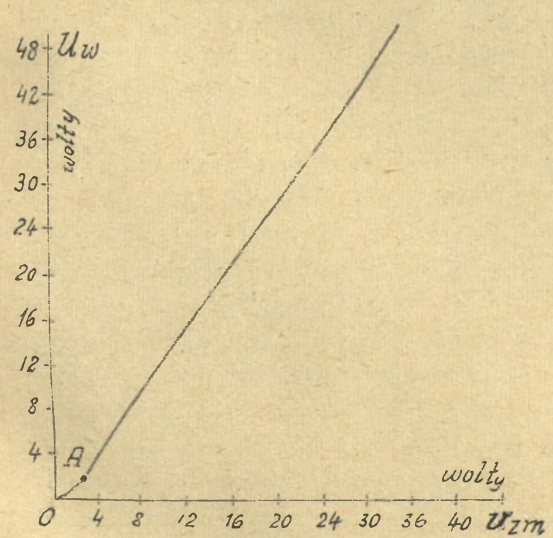
W układzie z rys.29. obwód drgań, dioda oraz opór R, który nazwiemy oporem zewnętrznym albo roboczym diody, są połączone szeregowo; jest to układ szeregowy; kondensator wyrównawczy C jest tu załączony bezpośrednio do końcówek oporu zewnętrznego.

W układzie z rys.30 obwód L_oC_o, dioda i opór zewnętrzny są połączone ze sobą równolegle, kondensator wyrównawczy C jest połączony z końcówką b oporu zewnętrznego za pośrednictwem cewki L_o. Jest to układ równoległy. Jak widać z rysunku, dolny punkt obwodu drgań zostaje tu uziemiony.

Celem wykorzystania składowej akustycznej prądu wyprostowanego dołącza się do punktów a - b prawie zawsze wzmacniacz małej częstotliwości, który wahania napięcia oporu R przekształca w końcowym wyniku na odpowiednie wahania mocy (tzw. wzmocnienia mocy), zasilającej np. głośnik. Odpowiednie układy zostaną przedstawione w rozdziałach następnych.-

2. Charakterystyka dynamiczna diody.

Charakterystyka dynamiczna diody, przedstawiona na rysunku 31., wyraża zależność napięcia wyprostowanego U_w na końcówkach oporu R od napięcia zmiennego V_{zm} działającego pomiędzy anodą a katodą. Jak widzimy, charakterystyka ta, z wyjątkiem bardzo małego odcinka u dołu, jest prawie na całej swej długości linią prostą.



Rys.31.

Poczynając więc już od niewielkich napięć otrzymuje się detekcję prostoliniją i na tym właśnie polega olbrzymia przewaga diody nad innymi detektorami: daje ona mianowicie detekcję niezwykle czystą, bez zniekształceń, zatem wierność odtwarzania modulacji jest tu, praktycznie biorąc, doskonała. Ze względu jednak na początkowe zakrzywienie charakterystyki detekcja napięć szybkozmiennych niewielkich jest połączona jednak z pewnym zniekształceniem. Dlatego też, chcąc ich uniknąć, należy obowiązkowo stosować przed diodą wzmocnienie wielkiej częstotliwości. Dioda jest więc idealnym prostownikiem dla napięć rzędu co najmniej kilku woltów. Przy pomocy diody możliwą jest detekcja napięć szybkozmiennych, wynoszących nawet 200 V.

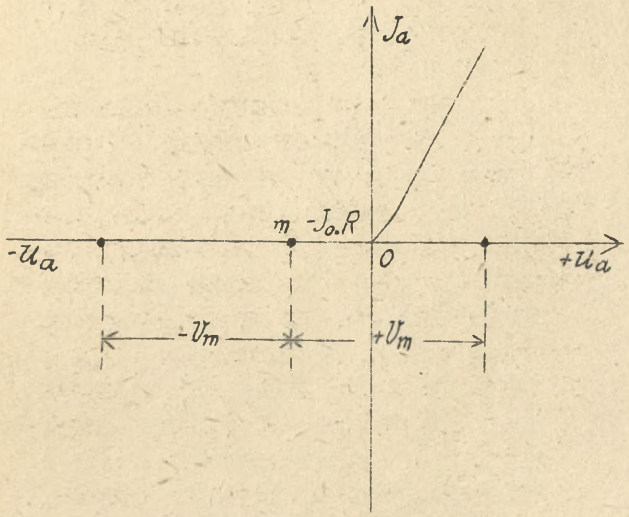
Przy napięciu szybkozmiennym rzędu kilku woltów przez

lampę płynie prąd rzędu kilkunastu-kilkudziesięciu mikroamperów. Aby więc uzyskać duże wahania potencjału, należy w obwód tak słabego prądu włączyć możliwie duży opór zewnętrzny, duży w porównaniu z oporem wewnętrznym diody (który jest rzędu kilkudziesięciu tysięcy omów). Wartość oporu R jest zwykle rzędu 0,5 megoma. Pojemność kondensatora C wynosi 50--200 pF.

Dioda, jako oddzielna lampa, nie jest produkowana. Jest ona zwykle wmontowana w jednej wspólnej bance z układem lampowym wzmacniającym, tak że stanowi część składową, tzw. lampy kombinowanej (patrz rozdz. V).-

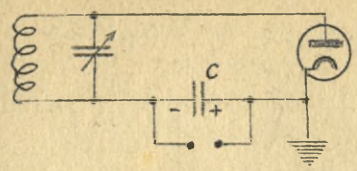
3. Charakterystyka statyczna diody:

Wyraża ona zależność prądu anodowego od napięcia anodowego, rys.32. (analogia do charakterystyki z rys.1.).W spoczynku anoda posiada, oczywiście, potencjał równy zeru, punkt pracy znajduje się więc w punkcie O. Z chwilą pojawienia się napięcia szybkozmiennego na anodzie pojawia się, dzięki połączeniu z punktem b oporu zewnętrznego, pewien stały ujemny w stosunku do katody potencjał, czyli - inaczej mówiąc anoda zostaje spolaryzowana ujemnie. Skutkiem tego punkt pracy przesuwa na lewo, np. do punktu m. Równocześnie jednak kondensator wyrównawczy C, zwierając opór R dla napięcia szybkozmiennego, umożliwia doprowadzenie tego napięcia do anody, z niewielkimi stosunkowo stratami. Na anodzie działa więc równocześnie napięcie stałe ujemne $-U_1$, równe spadkowi napięcia w oporze R ($U_1=RJ_o$) oraz napięcie szybkozmienne o amplitudzie V_m, rys.32. Przez lampę płynie prąd tylko wtedy, gdy wartość chwilowa napięcia zmiennego jest większa od $J_o.R$. Prąd przez lampę płynie więc przez czas krótszy od pół okresu.



Rys.32.

Celem dokładniejszego zrozumienia zjawiska rozpatrzymy je w innym nieco oświetleniu. Przypuśćmy na chwilę, że opór R został wyłączony, a pozostał kondensator C, rys.33. Gdy na anodzie działa dodatni półokres napięcia zmiennego, wówczas skutkiem napływu elektronów lewa okładka kondensatora C ładuje się ujemnie, zatem prawa - dodatnio. Przy kon-

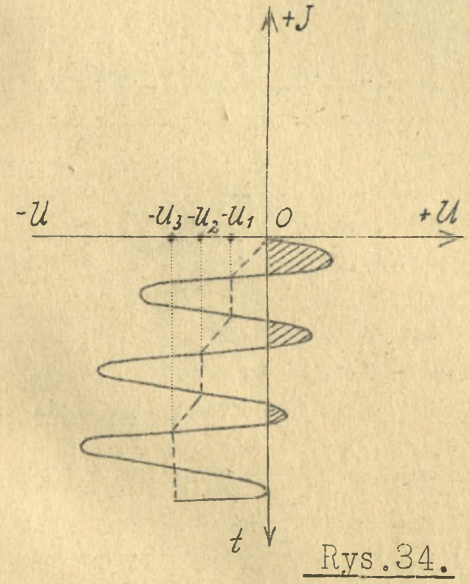


Rys.33.

cu więc tego półokresu na anodzie mamy potencjał ujemny: $-U_1$, równy napięciu naładowanego kondensatora, rys.34. W czasie ujemnego półokresu anoda elektronów nie wchłania, zatem ładunek kondensatora nie powiększa się; na wytworzone uprzednio na anodzie ujemne napięcie: $-U_1$ nakłada się teraz ujemna połówka napięcia zmiennego. W czasie następnego dodatniego półokresu napięcia zmiennego ładunek kondensatora, skutkiem napływu elektronów, powiększa się, wobec tego potencjał anody jeszcze bardziej się obniża, osiągając przy końcu tego półokresu wartość: $-U_2$. Wytwarza się wreszcie stan, gdy stale rosnący ujemny potencjał anody staje się równym - co do wartości bezwzględnej - dodatniej amplitudzie napięcia zmiennego; z tą chwilą anoda przestaje wchłaniać elektrony, prąd przestaje w ogóle płynąć, prostownik więc przestaje działać.

Jak widać z wykresu, krzywa napięcia zmiennego, działającego pomiędzy anodą a katodą, jest niesymetryczna względem osi czasu (t). Napięcie takie zawiera zatem dwie składowe: zmienną (krzywa sinusoidalna) i stałą (krzywa przerywana), co zresztą wynika w sposób oczywisty z rozumowania poprzedniego.

Powierzchnia zakreskowana odpowiada tym wartościom napięcia zmiennego, które wywołują przepływ prądu (wchłanianie elektronów).



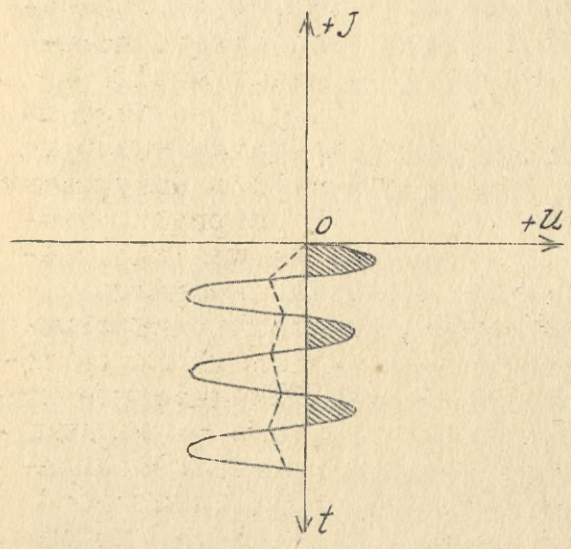
Rys.34.

Powyższe rozumowanie ma jednak charakter czysto teoretyczny, przyjęliśmy bowiem, że kondensator jest pozbawiony upływności. W rzeczywistości jednak tak nie jest, przebieg zjawiska jest więc nieco odmienny, sprowadza się mianowicie do przypadku, omówionego poniżej, w którym równolegle do kondensatora C jest załączona oporność omowa R (rys.29.). Wówczas kondensator rozładowuje się w sposób ciągły przez ten opór i dzięki temu w czasie każdego ujemnego półokresu ładunek kondensatora zmniejsza się, rys.35., zatem zmniejsza się i potencjał ujemny anody. W rezultacie więc w czasie trwania ciągu drgań średni potencjał anody ulega obniżeniu tak długo, aż powstanie równowa-

ga pomiędzy ilością elektronów wsysanych przez anodę a ilością elektronów odpływających z kondensatora przez opór R . Wówczas ujemne napięcie anody pozostaje jednakowe aż do konca ciągu drgań. Ostatecznie więc napięcie anodowe zmienia się wg krzywej sinusoidalnej, która jest niesymetryczną względem osi czasu t. Prąd taki zawiera zatem składową stałą (linia przerywana łamana); jest to właśnie napięcie polaryzujące anodę ujemnie. Napięcie zmienne na anodzie waha się właśnie symetrycznie w stosunku do tego napięcia.

Działanie kondensatora C , jak i wykres, sprowadza się więc do przypadku zwykłego prostownika jednokierunkowego (cz.I,

Jak wynika z powyższego, wykres przedstawiający składową stałą napięcia anodowego jest linią łamaną, ponieważ jednak ze względu na dużą częstotliwość półokresy następują szybko jeden po drugim, możemy przyjąć, że wykres ten stanowi w przybliżeniu linię prostą.



Rys.35.

Łatwo zrozumieć, że gdy opór R jest zbyt duży, wówczas kondensator nie zdąża dostatecznie rozładować się w odpowiednim czasie; ładunek jego stopniowo więc wzrasta, punkt pracy przesuwa się coraz bardziej na lewo, aż wreszcie następuje "zakorkowanie" lampy.-

B. Detekcja prądów modulowanych przy pomocy triody:

Układy z triodą, jako detektorem, mogą być podzielone na dwie grupy w zależności od wielkości amplitudy przyłożonego napięcia zmiennego, mianowicie: układy przeznaczone do detekcji sygnałów słabych oraz układy przeznaczone do detekcji sygnałów silnych.

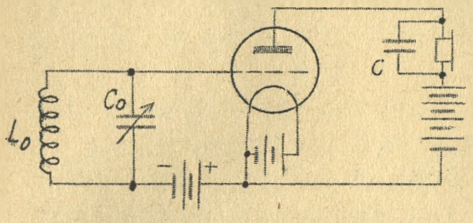
Z grubsza biorąc, do pierwszej grupy należą układy przeznaczone do prostowania napięć o amplitudzie mniejszej w przybliżeniu od jednego wolta. Przeciętne napięcie jest tu rzędu 0,2 V. Do drugiej grupy należą układy przeznaczone do prostowania napięć o amplitudzie powyżej jednego wolta.

W każdym z powyższych dwóch przypadków prostowanie może się odbywać bądź systemem detekcji anodowej, bądź też systemem detekcji siatkowej.-

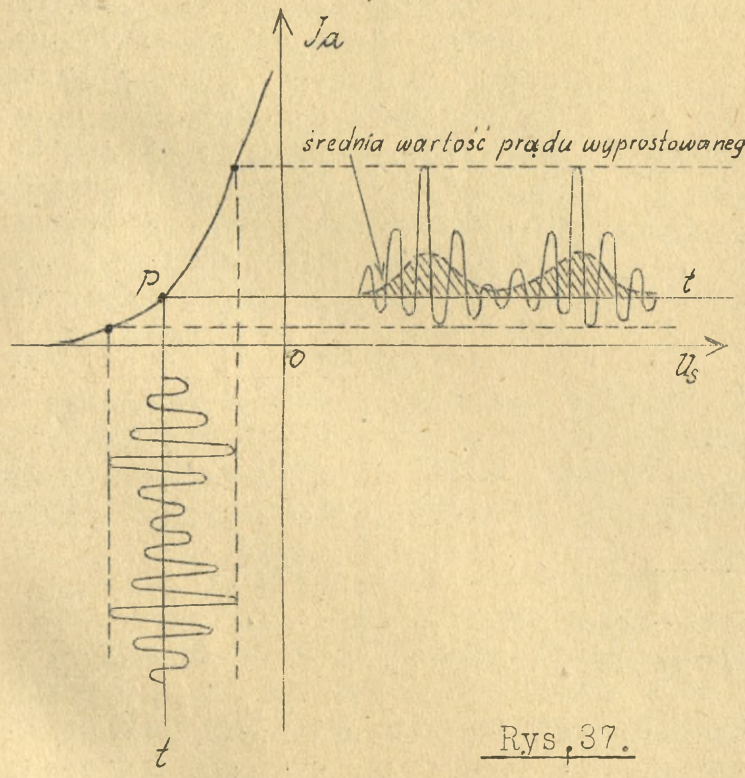
a. Detekcja sygnałów słabych:

4. Detekcja anodowa: Układ do detekcji anodowej przedstawia rys.36. Do obwodu L_oC_o doprowadzamy prąd szybkozmienny (np.z anteny, ze wzmacniacza wielkiej częstotliwości).

W obwodzie siatki znajduje się bateria, polaryzująca siatkę ujemnie względem katody. Napięcie polaryzacji jest przy tym tak dobrane, że punkt początkowy pracy lampy znajduje się na dolnym zakrzywieniu charakterystyki lampy, rys.37. Gdy napięcie szybkozmienne nie działa, w obwodzie anodowym lampy płynie pewien stały, stosunkowo niewielki prąd. Gdy na siatkę działa napięcie szybkozmienne modulowane, wówczas w obwodzie anodowym płynie prąd tętniący o przebiegu asymetrycznym, przedstawionym w prawej części rysunku; chodzi bowiem o to, że amplitudy ujemne napięcia szybkozmiennego siatki wywołują bardzo nieznaczne zmniejszenie się prądu anodowego, natomiast amplitudy dodatnie tego napięcia powodują bardzo duży wzrost tego prądu. Średnia wartość prądu anodowego wzrasta więc (powierzchnia zakreskowana), zmieniając się przy tym w rytmie modulacji, tzn. zmienia się z częstotliwością akustyczną. Pojawia się zatem w prądzie anodowym składowa akustyczna, która -jak to widać z rysunku - jest prądem tętniącym, dającym się z kolei rozłożyć na składową stałą oraz składową wolnozmienną. Następną składową jest prąd szybkozmienny, nałożony na składową poprzednią, tzn. na prąd tętniący.



Rys.36.



Rys.37.

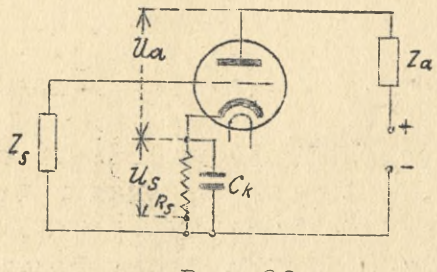
Jasnym jest, że na słuchawkę będzie oddziaływać tylko

składowa akustyczna. Składową szybkozmienną przepuszcza się przez kondensator C bocznikujący słuchawkę, podobnie - jak to ma miejsce w przypadku detektora stykowego.

Możliwym jest wykorzystanie do detekcji górnego zakrzywienia charakterystyki; średnia wartość prądu anodowego - w chwili pojawienia się sygnału - ulega wówczas zmniejszeniu. Ze względu jednak na bardzo duży prąd anodowy spoczynkowy, równy prawie prądowi nasycenia, układy takie są bardzo nieekonomiczne i nie są w ogóle stosowane.-

5. Ujemna polaryzacja siatki:

W praktyce ujemna polaryzacja przy pomocy specjalnej baterii siatkowej jest niedogodna, albowiem z biegiem czasu napięcie tej baterii obniża się skutkiem samowyładowania. Dlatego też stosuje się, szczególnie w lampach żarzonych pośrednio, polaryzację automatyczną przy pomocy oporu włączonego w obwód katody (opór katodowy), w sposób widoczny na rysunku 38. Prąd anodowy, płynąc przez opór katodowy R, wywołuje w nim spadek napięcia, wobec tego siatka otrzymuje względem katody ujemny potencjał, którego wielkość bardzo łatwo można obliczyć. Przypuśćmy, że najdogodniejszą detekcję uzyskuje się przy napięciu siatki "minus 4 V". Niech natężenie prądu anodowego wynosi wówczas 0,001 A. Odpowiedni opór katodowy znajdziemy ze wzoru Ohma: $R = \frac{4}{0,001} = 4.000$ omów.



Rys.38.

Opór katodowy bocznikuje się kondensatorem wyrównawczym C_k, przepuszczającym składowe zmienne (akustyczną i szybkozmienną) prądu anodowego. Unika się przeto straty napięcia, ponadto zapobiega się pewnym zjawiskom szkodliwym (p.rozdział IV, § 30).

Pojemność tego kondensatora - ze względu na składową akustyczną - powinna być duża (rzędu kilku mikrofaradów). Powinien on przedstawiać dla składowej zmiennej znacznie mniejszą oporność aniżeli opornik R. Stąd też im mniejsza jest wartość tego opornika, tym większa musi być pojemność tego kondensatora.

Przez Z_s i Za oznaczono na powyższym rysunku organy, sprzęgające lampę detekcyjną ze stopniem poprzednim i następnym odbiornika.

Detekcja anodowa, w przypadku sygnałów słabych, odznacza się niewielką czułością. Występuje tu bowiem wówczas detekcja kwadratowa, zwłaszcza, gdy początkowy punkt pracy

znajduje się zupełnie nisko na zakrzywieniu. Ponadto w przypadku odbioru fonii odtwarzanie dźwięków przestaje być wiernym, albowiem amplitudy silne zostają uprzywilejowane (detekcja prostolinijna) w stosunku do amplitud słabych. Skutkiem tego prąd wyprostowany nie stanowi wiernego obrazu napięcia przyłożonego i to tym bardziej, im głębsza jest modulacja. Powstaje zatem zniekształcenie dźwięków (zniekształcenie amplitudy). Przy współczynniku modulacji 100% zniekształcenie jest zupełnie dla ucha wyraźne.

Dlatego też do odbioru sygnałów słabych lepiej nadaje się detekcja siatkowa.

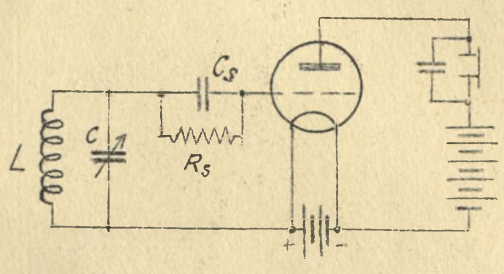
Oczywistym jest, że do detekcji anodowej nadają się przede wszystkim lampy o krótkim zakrzywieniu na dole charakterystyki.-

Ze względu na własności wzmacniające lampy trójelektrodowej w detektorze anodowym mamy nie tylko prostowanie prądów wielkiej częstotliwości lecz także ich wzmocnienie. Działanie układu jest więc zasadniczo podobne do działania diody, z tą różnicą, że jest ono połączone w pewnym stopniu ze wzmocnieniem wielkiej częstotliwości.-

6. Detekcja siatkowa:

Odznacza się ona dwa do pięciu razy większą czułością od detekcji anodowej.

Układ do detekcji siatkowej przedstawia rys.39. W obwodzie siatki widzimy kondensator C_s; tworzy on wraz z tzw. oporem upływowym siatki R_s tzw. mostek detekcyjny; siatka, w przeciwieństwie do poprzednich układów, łączy się z plusem baterii żarzenia.

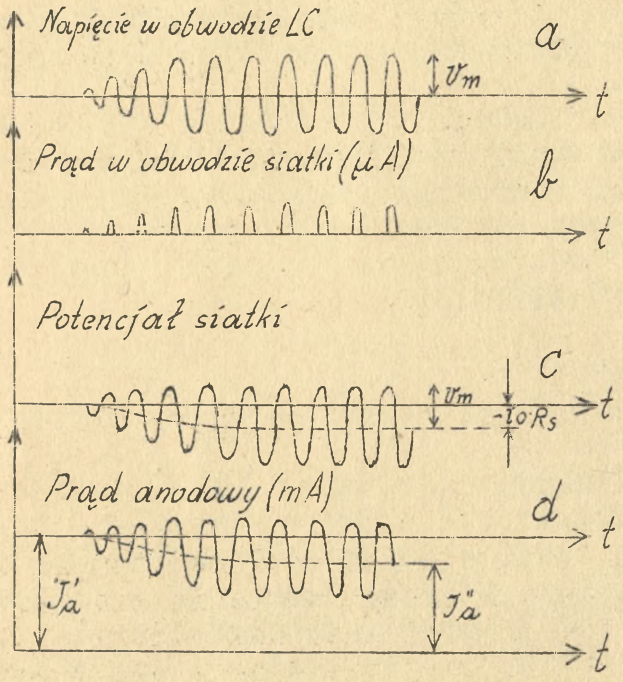


Rys.39.

Wyobraźmy sobie na chwilę, że anoda lampy wraz z obwodem anodowym została usunięta. Otrzymamy wówczas układ z diodą, identyczny z układem, rys.29., w którym rolę anody spełnia siatka. Do układu tego stosują się więc w całej rozciągłości rozważania, rozdz.II, § 1. i § 3.

Zatem działanie układu z powyższego rysunku przedstawia się następująco: ponieważ kondensator C_s przedstawia dla wielkiej częstotliwości oporność bardzo małą - w porównaniu z opornością R_s, - przeto napięcie szybkozmienne wzniecone w obwodzie LC zostaje prawie w całości przyłożone pomiędzy siatkę a katodę; składowa stała i_o wyprostowanego prądu siatki, przepływając przez opór R_s, wywołuje w nim spadek napięcia, równy $i_o R_s$, wobec tego średni potencjał

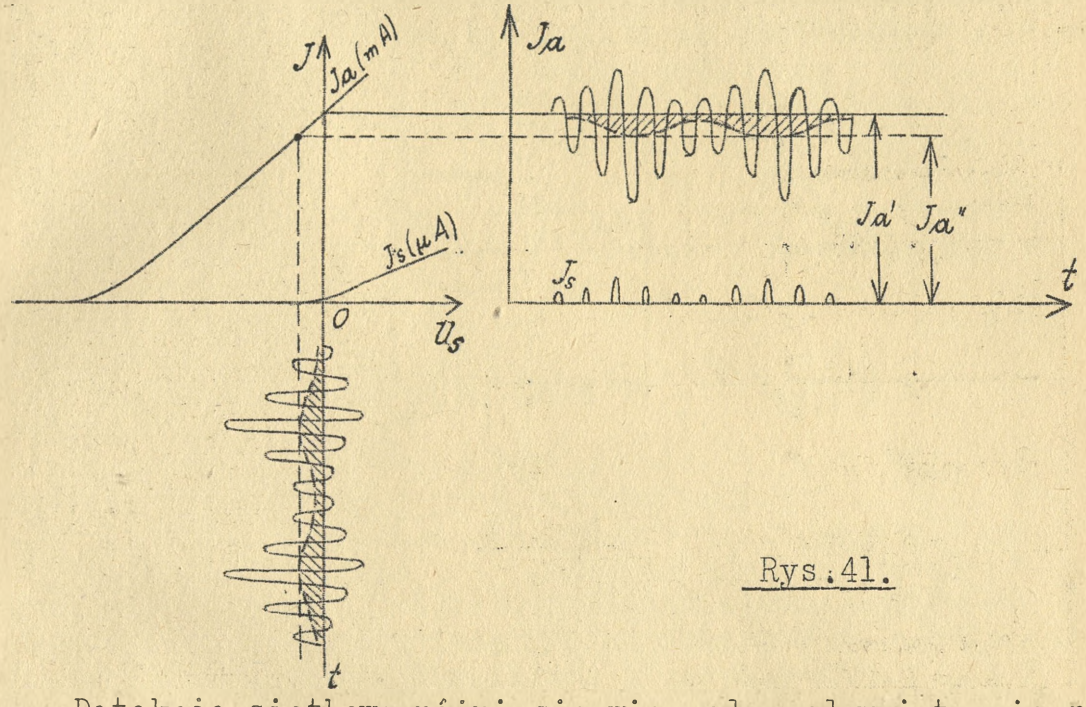
siatki ulega obniżeniu. Wahania szybkozmienne potencjału siatki odbywają się symetrycznie w jedną i drugą stronę właśnie względem tego obniżonego potencjału (czyli napięcia polaryzującego). Obniżenie średniej wartości napięcia siatki wywołuje, oczywiście, zmniejszenie się średniej wartości prądu anodowego; składowa zaś szybkozmienna napięcia siatki wywołuje odpowiednie wahania prądu anodowego w jedną i drugą stronę (symetrycznie) względem tej średniej wartości. Rysunek 40. przedstawia przebieg zjawiska. Wykres a przedstawia napięcie szybkozmienne w obwodzie LC; na wykresie b widzimy prąd w obwodzie siatki, płynący, oczywiście, tylko pod wpływem dodatnich półokresów napięcia szybkozmiennego; wykres c przedstawia potencjał siatki; przebieg tego napięcia jest, jak widzimy, niesymetryczny względem osi czasu, zawiera więc ono składową stałą o znaku ujemnym; wykres d wreszcie przedstawia przebieg prądu anodowego; jak widać, średnia wartość prądu anodowego ulega obniżeniu od wartości J_a' (np. 2 mA) do wartości J_a'' (np. 1,9 mA); miliamperomierz na prąd stały włączony w obwód anodowy wykaże więc z chwilą pojawienia się sygnału zmniejszony prąd.



Rys. 40.

Gdy w obwodzie LC działa napięcie szybkozmienne modulowane, to przez opór R_s płynie wówczas prąd jednokierunkowy, którego wartość zmienia się w rytmie modulacji (jak w zwykłej diodzie); na końcówkach oporu, a więc i na siatce pojawia się wówczas napięcie o częstotliwości słyszalnej, wywołujące odpowiednie wahania prądu anodowego (wzmocnienie małej częstotliwości); na tę składową wolnozmienną nałożona jest, oczywiście - podobnie jak poprzednio - składowa szybkozmienna. Ilustrację zjawiska w tym przypadku stanowi rys. 41. Uwidoczniono tu także charakterystykę prądu siatki: $J_s = f(V_U)$ oraz impulsy prądu w obwodzie siatki, co jest o

tyle nieścisłe, że natężenie prądu siatki jest rzędu mikroamperów, ponieważ zaś natężenie prądu anodowego jest rzędu miliamperów, przeto wartości prądu siatki na powyższym rysunku powinny być w przybliżeniu 1000 razy mniejsze od wartości prądu anodowego.



Rys.41.

Detekcja siatkowa różni się więc od anodowej tym, że po pierwsze nie ma tu początkowego ujemnego napięcia siatki, a więc punkt pracy znajduje się tu stale na prostolinijnej części charakterystyki: $J_a = f(U_s)$; detekcja odbywa się w obwodzie siatki na dolnym zakrzywieniu charakterystyki prądu siatki: $J_s = f(U_s)$; po drugie, w chwili pojawienia się sygnału średnia wartość prądu anodowego ulega obniżeniu.

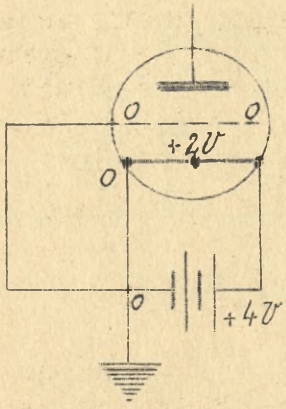
W ten sposób obwód siatki spełnia tu funkcję prostownika, w obwodzie anodowym zaś otrzymujemy drgania wyprostowane wzmocnione.

Aby prostowanie było skuteczne, charakterystyka prostownika musi być stroma; ponadto początkowy punkt pracy powinien być w miejscu o największej krzywiźnie. Ten ostatni warunek zostaje spełniony przez załączenie siatki do plusa baterii żarzenia za pośrednictwem oporu R_s. Może tu być zastosowany także układ potencjometryczny, opisany na str.48, rys.51.

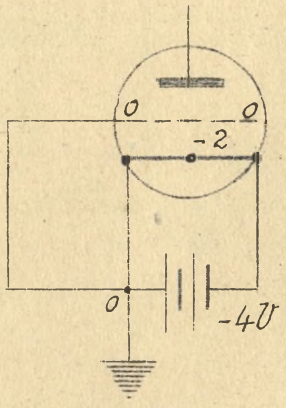
Należy podkreślić, że w lampach żarzonych pośrednio prąd siatki pojawia się nie przy zerowym jej potencjale, a już przy pewnym ujemnym potencjale (rzędu "minus 1 V"), tak że charakterystyka siatkowa rozpoczyna się w rzeczywistości w lewo od punktu zerowego.

7. Łączenie obwodu siatki z katodą w detektorze siatkowym:

W przypadku lampy o żarzeniu pośrednim sprawa jest prosta: obwód siatki łączymy z katodą, stanowiącą punkt zerowy układu. W przypadku zaś lampy żarzonej bezpośrednio sprawa się nieco komplikuje skutkiem tego, że wzdłuż włókna katody występuje spadek napięcia, równy - jak wiemy - napięciu żarzenia. Celem zrozumienia zagadnienia rozpatrzymy rys. 42, w którym siatka łączy się z minusem katody, zwykle uziemionym; dla uproszczenia pominięto mostek detekcyjny. Otóż potencjał wzdłuż siatki w spoczynku jest w każdym punkcie jednakowy i równy 0; natomiast potencjał wzdłuż katody jest w każdym punkcie inny i tak: potencjał prawej końcówki katody wynosi względem ziemi, a więc i względem siatki: +4 V, potencjał punktu środkowego: +2 V, potencjał lewej końcówki: 0 V. Jak więc widać, średni potencjał siatki względem katody jest ujemny. W spoczynku więc prądu siatki nie ma. W chwili zaś pojawienia się sygnału prąd siatki popłynie tylko w przypadku odpowiednio dużych amplitud dodatnich, przy amplitudach małych (np.1000 mikrowoltów) prąd siatki będzie tak słaby, że zjawisko detekcji, praktycznie biorąc, nie nastąpi, albowiem wówczas czynną będzie tylko część katody, ta mianowicie, której potencjał jest mniejszy - w stosunku do potencjału siatki - od 1000 mikrowoltów, czyli 0,001 V. Jeżeli spadek napięcia wzdłuż całej katody wynosi 4 V, to część czynna katody stanowi wówczas:



Rys.42.



Rys.43.

$$\frac{0{,}001}{4} = \frac{1}{4000}$$

całej długości katody. Dla katody długości 3 cm stanowi to zaledwie:

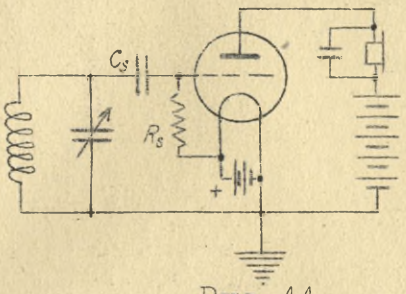
$$\frac{3}{4000} = \frac{1}{1330}\ \text{cm}$$

Jeżeli siatkę załączyć wg rys.43., to rozkład potencjałów przedstawia się w sposób wskazany na rysunku. W spoczynku siatka posiada pewien potencjał dodatni w stosunku do katody (średnio: +2 V). W obwodzie siatki płynie zatem ustawicznie prąd stały o kierunku: plus baterii żarzenia, obwód siatki, siatka, przestrzeń pomiędzy siatką a katodą, katoda, minus baterii żarzenia. Wówczas nawet niewielkie amplitudy napięcia szybkozmiennego powodują przyrost prądu siatki. De-

tekcja jest więc w tym przypadku skuteczniejsza.

Jasnym jest, że włączenie w obwód siatki oporu upływowego R_s wywołuje spadek napięcia w tym oporze, wywołany przepływem prądu siatki, tym samym więc potencjał siatki ulega pewnemu obniżeniu w porównaniu z układem rys.43. Początkowy punkt pracy na charakterystyce prądu siatki: $J_s = f(U_s)$ przesuwa się wówczas ku dołowi tej charakterystyki.

Układ z rys.39. może być zastąpiony przez układ z rys. 44. Obwód siatki jest tu wprawdzie połączony z minusem baterii żarzenia, jednakże sama siatka poprzez opór upływowy R_s łączy się z plusem tej baterii. Przebieg detekcji jest identyczny do poprzednio opisanego.-



Rys.44.

8. Dobór elementów dla detektora siatkowego.
Napięcie anodowe.

Ponieważ początkowy potencjał siatki jest położony w bliskości 0, wobec tego prąd anodowy spoczynkowy jest stosunkowo duży, co powoduje znaczne zużycie energii. Korzystniej jest więc pracować przy napięciu anodowym mniejszym od napięcia normalnego lub też maksymalnego, podanego w katalogu lampy. Chodzi tylko o to, aby punkt pracy znajdował się na prostolinijnym odcinku charakterystyki.

Dobór C_s i R_s. Właściwy dobór tych dwóch elementów posiada zasadnicze znaczenie dla układu.

Gdy pojemność kondensatora C_s jest mała (kilkadziesiąt pikofaradów), wówczas wierność odtwarzania jest duża, natomiast czułość jest gorsza (duży opór pojemnościowy). Jeżeli pojemność C_s jest znaczna (rzędu tysiąca pikofaradów), wówczas czułość jest doskonała, jednakże częstotliwości akustyczne wyższe (ponad 1000 okr./sek.) zawarte w widmie modulacji nie zostają odtworzone; wierność reprodukcji staje się niewystarczająca.

Gdy opór R_s jest duży (powyżej 5 megomów), wówczas rozładowanie kondensatora C_s poprzez R_s odbywa się zbyt wolno i dlatego lampa nie jest w stanie odtworzyć wyższych częstotliwości modulujących; tony ponad 1000 okr./sek. zostają wówczas obcięte. Czułość natomiast jest wówczas dobra (wzmocnienie duże). Gdy opór R_s jest niewielki (rzędu 1 megoma), to czułość jest mała, natomiast wierność reprodukcji jest duża.

Wielkość C_s i R_s zależy więc od tego, co wymaga się od odbiornika: czułości, czy wierności.

W odbiorniku przeznaczonym do odbioru znaków telegra-

ficznych C_s może być 1000 pF, zaś R_s - kilka megomów.

Natomiast w odbiorniku radiofonicznym lepiej jest zastosować: C_s = 50 pF, R_s = 1 megom.

W odbiorniku przeznaczonym zarówno do odbioru znaków telegraficznych, jak i fonii C_s może wynosić 200 pF, R_s - 2 megomy.-

9. Porównanie detekcji siatkowej i anodowej:

Jak już zaznaczono, detekcja siatkowa w porównaniu z anodową odznacza się znacznie większą czułością, zwłaszcza przy małych napięciach wejściowych.

Przy dużych napięciach powstaje niebezpieczeństwo zniekształceń, albowiem średni potencjał siatki może wówczas obniżyć się do tego stopnia, że punkt pracy lampy znajdzie się na zakrzywieniu charakterystyki: $J_a = f(U_s)$. Lampa będzie wówczas pracować równocześnie systemem detekcji anodowej i siatkowej, a ponieważ - jeżeli chodzi o kierunek zmian prądu anodowego - pierwsza jest przeciwieństwem drugiej, przeto powstają bardzo silne zniekształcenia reprodukowanych dźwięków.

Dlatego też do wykrywania silnych sygnałów nadaje się lepiej detekcja anodowa.

Detekcja siatkowa, podobnie jak anodowa, jest typu kwadratowego, albowiem - jak już wyjaśniono - odbywa się ona na dolnym zakrzywieniu charakterystyki prądu siatki. Oba systemy detekcji są zatem źródłem zniekształceń.

Należy wreszcie zaznaczyć, że detekcji siatkowej towarzyszą silniejsze szmery i szumy (p.rozdz. X, §). Detekcja anodowa jest spokojniejsza.-

b. Detekcja sygnałów silnych:

10. Zasada:

We współczesnych odbiornikach radiofonicznych, dzięki silnemu wzmocnieniu wielkiej częstotliwości, lampa detekcyjna otrzymuje napięcie wejściowe znaczne (rzędu kilkunastu woltów). Działanie lampy detekcyjnej obejmuje więc wtedy znaczny odcinek prostolinijny charakterystyki i dlatego też detekcję możemy traktować jako prostolinijną. Zastosowanie dużych napięć wejściowych pozwala uzyskać nie tylko duże wahania napięcia na końcówkach odbiornika energii w obwodzie anodowym (Z_a na rys.38.), ale także i duże wahania prądu anodowego. Inaczej mówiąc, staje się możliwym uzyskanie w obwodzie anodowym składowej akustycznej o dużej mocy.

Na tym właśnie polega detekcja mocy. W rozważaniach dotychczasowych przyjmowaliśmy, że napięcie siatki było niewielkie, zatem i wahania prądu anodowego były niewielkie, toteż chcąc je wykorzystać, należało w obwód anodowy włączyć odbiornik energii o dużym oporze, podobnie, jak to

ma miejsce, w tzw. wzmacniaczu napięciowym (p.rozdz.IV.).

11. Detekcja anodowa.

Schemat jest identyczny z układem rys.36. Nadaje się tu lampa wzmacniająca dla małej częstotliwości (opór wewnętrzny mały lub średni, nachylenie duże, charakterystyka jak najbardziej prostolinijna, moc tracona w anodzie: 1 do 5W).

Najlepszymi lampami są tu lampy żarzone pośrednio.

Sprzężenie z następnym stopniem, tzn. ze wzmacniaczem małej częstotliwości - transformatorowe. Może być także sprzężenie oporowe, jednakże w tym przypadku uzyskuje się na ogół wzmocnienie napięciowe, zastosowana zaś lampa powinna posiadać opór wewnętrzny duży.

Anoda pracuje pod napięciem najwyższym, dopuszczalnym dla danej lampy. Ujemny potencjał siatki może być tak duży, że punkt pracy znajduje się na początku charakterystyki, zatem prądu anodowego spoczynkowego nie ma. Nie można więc wtedy wykorzystać oporu katodowego celem ujemnej polaryzacji siatki. Koniecznym jest zatem zastosowanie do tego celu specjalnego źródła napięcia. Lampa pracuje więc systemem tzw. wzmacniacza klasy B, jednak bez prądu siatki, albowiem potencjał siatki jest zawsze mniejszy od 0 (p.rozdz.IV.)

12. Detekcja siatkowa.

Jak już wyjaśniono, w przypadku silnych sygnałów punkt pracy może przejściowo znaleźć się na dolnym zakrzywieniu charakterystyki, tak że lampa działa wówczas równocześnie jako detektor anodowy i siatkowy. Aby uniknąć powstających wówczas zniekształceń, zakrzywienie, a więc i cała charakterystyka lampy, powinna być przesunięta możliwie daleko w lewo, czyli należy stosować napięcie anodowe możliwie duże. Detekcji mocy nie uzyska się zatem przy napięciu anodowym 40 czy 50 V.

Nadają się tu szczególnie triody o stosunkowo dużym współczynniku amplifikacji (np.40) i oporze wewnętrznym około 12000 omów. Tego rodzaju lampy znajdują się przede wszystkim w grupie lamp żarzonych pośrednio.

Pojemność kondensatora C_s wynosi 100 do 150 pikofaradów. Oporność R_s: 0,2 do 0,5 megoma.

Należy zaznaczyć, że tony niskie zawarte w widmie modulacji zostają uprzywilejowane kosztem tonów wysokich, które ulegają tu obcięciu. Powstaje więc zniekształcenie dźwięku, uchwytne dla ucha muzykalnego. Przy przekazywaniu mowy, gdzie zakres częstotliwości wynosi 200 do 3000 okr./sek. zniekształcenia nie są duże. W przypadku natomiast muzyki, gdzie występują częstotliwości ponad 3000 okr./sek., stanowiąc harmoniczne, od których zależy barwa dźwięku, znie-

kształcenia są znacznie silniejsze.

Istnieją sposoby pozwalające skompensować tę ujemną stronę detekcji siatkowej, także pod względem wierności odtwarzania może ona nawet przewyższać detekcję anodową.

Detekcja siatkowa w przeciwieństwie do anodowej powiększa nieco tłumienie obwodu drgań LC, wmontowanego w jej obwód, prąd siatki powstaje powiem kosztem energii szybko - zmiennej tego obwodu.-

R O Z D Z I A Ł III.

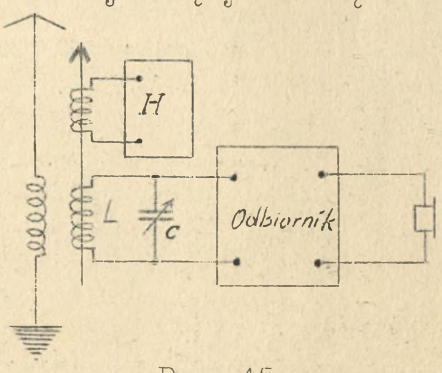
Detekcja prądów niemodulowanych. Układy z reakcją.

A. Zasada detekcji.

1. Metoda dudnień elektrycznych.

Lampa elektronowa, podobnie jak każdy detektor, nie nadaje się do odbioru fal niemodulowanych. Każdy bowiem ciąg drgań niegasnących wywołuje zmianę średniej wartości prądu anodowego, co słuchawka odtwarza w postaci dwóch puknięć: na początku i na końcu ciągu. Drgania doprowadzone do detektora muszą więc zawsze posiadać amplitudę o zmiennej wielkości, czyli muszą być modulowane, o ile mają uruchomić słuchawkę. Dlatego też, o ile modulacja nie odbywa się na stacji nadawczej - jak to właśnie ma miejsce w przypadku znaków telegraficznych - to musi ona odbywać się na stacji odbiorczej, tak aby detektor otrzymał napięcie szybkozmienne modulowane. Modulacja na stacji odbiorczej odbywa się przez nałożenie na częstotliwość odbieraną - prądu szybkozmiennego o nieco innej częstotliwości. Ta metoda odbioru fal niemodulowanych nosi nazwę metody interferencyjnej albo inaczej metody dudnień.

Rys, 45. przedstawia układ teoretyczny. H jest to generator lampowy bardzo małej mocy, zwany tu heterodyną. Jego częstotliwość można łatwo zmieniać. W ten sposób do obwodu zamkniętego drgań LC odbiornika doprowadzamy dwie częstotliwości: jedną jest częstotliwość odbierana f_o, drugą częstotliwość lokalna heterodyny f_1, przy czym ta ostatnia nieznacznie różni się od pierwszej. Wykresy obu tych prądów przedstawione są na rys.46. Przyjęto, że ich amplitudy są mniej więcej jednakowe. Otóż te dwa prądy sumując się w obwodzie LC, wytwarzają pewien prąd wypadkowy, którego amplituda zmienia się - jak



Rys.45.

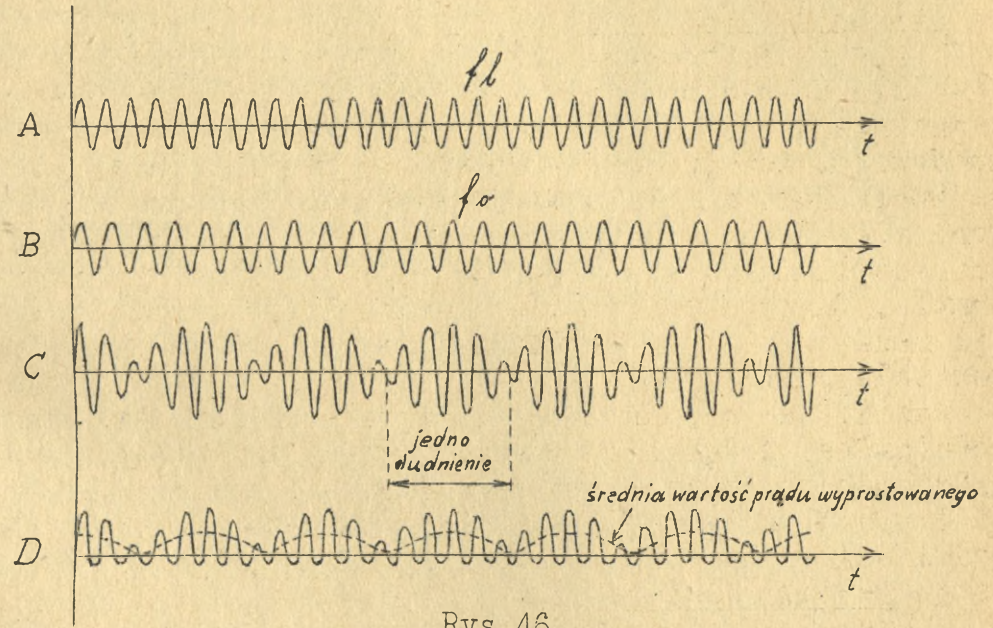
widzimy - okresowo. Otrzymujemy więc ciągi drgań. W czasie trwania każdego ciągu amplituda drgań stopniowo wzrasta, po czym stopniowo maleje. Taki ciąg tworzy jedno dudnienie. Liczba dudnień na jedną sekundę, czyli częstotliwość dudnień f_d równa się różnicy częstotliwości, mianowicie: gdy f_1 jest większe od f_o, to:

$$f_d = f_1 - f_o;$$

gdy zaś f_o jest większe od f_1, to:

$$f_d = f_o - f_1$$

Jeżeli f_d stanowi częstotliwość słyszalną, to po zdetektorowaniu (wykres D) usłyszymy w słuchawce dźwięk o częstotliwości równej f_d.



Rys.46.

Jasnym jest, że z chwilą, gdy drgań f_o nie ma, w odbiorniku mamy tylko prąd o częstotliwości f_1, który po wyprostowaniu daje w obwodzie słuchawki prąd stały. Słuchawka zatem nań nie reaguje.

Gdy amplitudy drgań składowych nie są jednakowe, wówczas wahania amplitudy drgań wypadkowych są mniejsze, czyli inaczej modulacja drgań wypadkowych jest mniej głęboka.

Powyższa metoda posiada szereg poważnych zalet. I tak: uzyskuje się tu wzmocnienie sygnałów odbieranych przez dodanie energii ze źródła lokalnego; największa amplituda dudnienia równa się w przybliżeniu sumie amplitud częstotliwości składowych.

Następnie uzyskuje się powiększenie selektywności odbiornika, albowiem przez zmianę częstotliwości f_1 heterodyny można zmieniać wysokość tonu w słuchawce, można zatem

dla stacji pożądanej dobrać taki ton, który ucho nasze najłatwiej odróżni, czy to spośród innych stacyj pracujących na fali zbliżonej, czy też spośród zakłóceń atmosferycznych.

Stosowana w praktyce częstotliwość dudnień wynosi od 800 do 1500 okr./sek.

Poniżej, w charakterze przykładu podano częstotliwość dudnień f_d dla częstotliwości odbieranej f_o 50.000 okr./sek. przy różnych częstotliwościach heterodyny f_1. Przyjęto, że częstotliwość heterodyny, początkowo znacznie mniejsza od częstotliwości odbieranej, stopniowo wzrasta. Stroiąc więc w ten sposób heterodynę, usłyszymy w pewnej chwili znaki telegraficzne w postaci bardzo wysokiego tonu, stopniowo obniżającego się. W pewnej chwili ton zniknie zupełnie, co nastąpi, gdy f_1 stanie się równym f_o. Przy dalszym zwiększaniu f_1 ton pojawi się na nowo - początkowo niski, potem stopniowo coraz to wyższy, aż w pewnej chwili zniknie, albowiem częstotliwość dudnień stanie się zbyt wysoka dla ucha.

Częstotliwość fali odbieranej f_o okr./sek.	Częstotliwość wytwarzana przez heterodynę f_1 okr./sek.	Częstotliwość dudnień (wysokość dźwięku słuchawki	
	40.000	10.000	
	45.000	5.000	$f_1 < f_o$
	49.000	1.000	
	49.750	250	- - - -
50.000	50.000	0	$f_1 = f_o$
	50.250	250	
	51.000	1.000	$f_1 > f_o$
	55.000	5.000	
	60.000	10.000	- - - -

Zależność f_d od f_1, przedstawiona graficznie, wyrazi się w sposób przedstawiony na rys.47. Zarówno z tabelki, jak i rysunku widać, że jeden i ten sam ton można uzyskać dla dwóch różnych częstotliwości heterodyny, z których jedna jest mniejsza od f_o, druga - większa. Oznaczmy częstotliwość mniejszą przez f'_1, większą przez f''_1. Dla mniejszej częstotliwości:

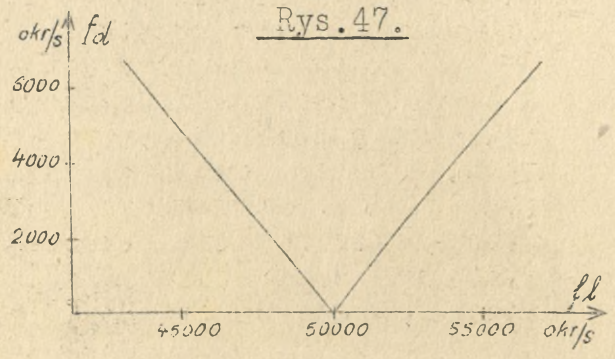
$f_d = f_o - f'_1$;

dla większej:

$f_d = f''_1 - f_o$

Z pierwszego równa-

Rys.47.



nia znajdujemy: $f'_1 = f_o - f_d$, z drugiego: $f''_1 = f_o + f_d$.

Różnica częstotliwości heterodyny, dających jeden i ten sam ton, wynosi zatem:

$f''_1 - f'_1 = (f_o+f_d) - (f_o-f_d) = f_o+f_d-f_o+f_d = 2 f_d$

Widzimy więc, że fale ciągłe nie wytwarzają w odbiorniku jakiegoś ściśle określonego - że się tak wyrazimy - "indywidualnego" tonu. Wysokość bowiem tego tonu zależy od doboru częstotliwości lokalnej f_1, którą w szerokich stosunkowo granicach można dowolnie zmieniać.-

2. A u t o d y n a:

W praktyce heterodyna, jako oddzielny aparat układu odbiorczego, nie jest na ogół stosowana. Jej funkcję, tzn. wytwarzanie drgań lokalnych, spełnia zwykle lampa detekcyjna, której układ zostaje zmieniony przez zstosowanie sprzężenia zwrotnego, noszącego tu nazwę reakcji. Tego rodzaju detektor lampowy, spełniający równocześnie trzy funkcje (wytwarzanie drgań, prostowanie, wzmacnianie) nosi nazwę autodyny. Przeważnie stosuje się tu detekcję siatkową, albowiem w detektorze anodowym ze względu na niewielki prąd anodowy początkowy istnieją trudności wzbudzania drgań.

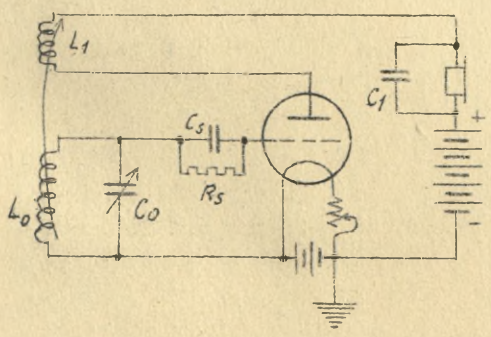
Autodyna nadaje się w szczególności do odbioru sygnałów słabych.-

B. Układy z reakcją

3. Układ typu Meissnera:

Schemat przedstawia rys.48. Cewka L_1 jest cewką reakcyjną. Sprzężenie zwrotne jest zmienne w sposób ciągły przy pomocy cewki L_1, zaopatrzonej np.w pokrętło. Jeżeli cewkę L_o sprzęgniemy z anteną, otrzymamy najprostszy odbiornik jednolampowy, umożliwiający odbiór fal ciągłych (znaków telegraficznych) i modulowanych (fonii).

Częstotliwość drgań wytwarzanych przez powyższy układ, jako generator lampowy, zależy, oczywiście, od pojemności i indukcyjności obwodu drgań: L_oC_o. Jeżeli więc obwód ten nastroimy dokładnie na żądaną stację (nadającą znaki telegraficzne), to częstotliwość lokalna f_1 oraz częstotliwość odbierana f_o będą jednakowe; dudnień elektrycznych, a więc i odbioru, nie będzie. Aby zatem uzyskać odbiór, układ powinien wytwarzać inną częstotliwość niż częstotliwość odbierana, co



Rys.48.

można łatwo osiągnąć przez rozstrojenie obwodu L_oC_o w stosunku do stacji odbieranej.

Jak więc widzimy, w przypadku odbioru fal niegasnących obwód L_oC_o powinien być zawsze rozstrojony w stosunku do stacji odbieranej, przy czym rozstrojenie to jest tym mniejsze im większa jest odbierana częstotliwość. Istotnie, załóżmy najprzód, że częstotliwość odbierana wynosi 10.000 kc/s.(fala 30 m), zaś częstotliwość lokalna - 11.000 kc/s; na tę ostatnią częstotliwość jest, oczywiście, nastrojony obwód L_oC_o. Różnica wynosi zatem 1 kc/s. Rozstrojenie s znajdziemy,dzieląc 1 kc/s przez częstotliwość odbieraną - 10.000 kc/s; aby je określić w procentach, należy otrzymany ułamek pomnożyć przez 100, zatem:

$$s = \frac{1}{10000} \times 100 = 0{,}01\%$$

Biorąc pod uwagę nie częstotliwość, a długość fal,otrzymalibyśmy różnicę rzędu kilku zaledwie milimetrów.

Rozstrojenie jest zatem bardzo małe, inaczej mówiąc,wystarczy bardzo mała[1] zmiana częstotliwości lokalnej, aby uzyskać odbiór.

Dla częstotliwości 1000 kc/s. rozstrojenie wynosi, o ile przyjmiemy tę samą wysokość tonu - 1 kc/s:

$$s = \frac{1}{1000} \times 100 = 0{,}1\%$$

Rozstrojenie niezbędne do uzyskania tego samego tonu jest już znacznie większe.

Wreszcie dla częstotliwości 30 kc (fala 10.000 m) rozstrojenie wyniesie:

$$s = \frac{1}{30} \cdot 100 = 3{,}3\ \%$$

Po przeliczeniu, w długościach fal otrzymalibyśmy różnicę rzędu 350 m. Jest to więc rozstrojenie bardzo duże. Wobec tego i prąd wzniecany w obwodzie L_oC_o przez drgania odbierane f_o jest niewielki, odbiór więc znacznie słabnie.

Praktycznie autodyna nadaje się do odbioru częstotliwości powyżej 50 kc/s. (fale poniżej 6000 m). Dla częstotliwości mniejszych korzystniejszym jest stosowanie oddzielnego generatora (heterodyny).

Przebieg napięcia szybkozmiennego na siatce autodyny oraz prądu anodowego jest taki sam, jak w przypadku drgań modulowanych (patrz rys.41.).

Kondensator C_1 (kondensator obejściowy), przepuszczając składową szybkozmienną prądu anodowego, umożliwia wzbudzenie się autodyny. Bez tego kondensatora autodyna ze względu na wysoki opór indukcyjny słuchawki, na ogół biorąc,nie wzbudziłaby się.-

4. Wzmocnienie przy pomocy reakcji:

W przypadku odbioru fal modulowanych drgania lokalne są zbędne, a nawet szkodliwe, albowiem mogą łatwo wywołać

1) Biorąc procentowo.-

zniekształcenie przekazywanych dźwięków.

Drgania lokalne, nakładając się na falę nośną odbieranej stacji fonicznej, dają w wyniku dudnienia, występujące w słuchawce w postaci ciągłego gwizdu. Przestrajając więc powoli odbiornik, zauważymy zjawisko zasadniczo podobne do przypadku odbioru fal niemodulowanych, mianowicie: dostrajając się do pewnej stacji, usłyszymy początkowo wysoki gwizd[1] stopniowo się obniżający; w pewnej chwili zauważymy dźwięki (mowa, muzyka) na razie niewyraźne i zniekształcone[2], stają się one coraz wyraźniejsze w miarę jak ton ciągły (gwizd) ulega obniżeniu; w pewnej chwili gwizd zanika ($f_d = 0$), dźwięki stają się silne, są jednak mniej lub więcej zniekształcone. W tym momencie odbiornik jest dokładnie nastrojony na częstotliwość poszukiwanej stacji.

Gdy na stacji odbieranej jest przerwa w audycji, a więc gdy stacja ta promieniuje tylko falę nośną, wówczas, oczywiście, w słuchawkach panuje cisza. Strojąc w dalszym ciągu układ, stwierdzimy pojawienie się tonu najprzód niskiego; równocześnie dźwięki słabną i stają się bardziej zniekształcone[2], w pewnej zaś chwili dźwięki giną całkowicie, pozostaje tylko ciągły gwizd, stający się coraz to wyższy aż wreszcie zanika.

W chwili nastrojenia odbiornika do stacji fonicznej zniekształcenie dźwięków można znakomicie zmniejszyć, usuwając drgania lokalne; należy w tym celu zmniejszyć, przy pomocy pokrętła, sprzężenie zwrotne tak, aby drgania autodyny uległy zerwaniu.

Strojenie układu przy wzbudzonej autodynie jest dogodne w przypadku odbioru stacyj słabych lub odległych, ze względu bowiem na gwizd interferencyjny wywołany przez falę nośną stację taką łatwiej jest zauważyć. Po dokładnym nastrojeniu odbiornika na stację odbieraną (zanik gwizdu interferencyjnego) należy reakcję osłabić aż do zerwania drgań. Uzyskuje się wówczas najlepsze warunki odbioru.

Przy pomocy reakcji można wybitnie wzmocnić odbiór fal modulowanych, co wynika z następujących rozważań.

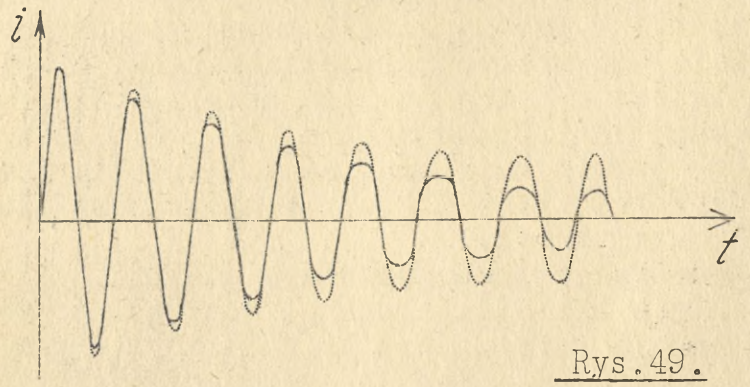
Wyobraźmy sobie, że sprzężność zwrotna jest na tyle słaba, że nie wystarcza do samowzbudzenia oscylatora, na tyle jednak silna, że pole magnetyczne cewki reakcyjnej L_1 (rys. 48.) oddziaływuje na cewkę L_0 obwodu zamkniętego drgań. Załóżmy dalej, że w tym ostatnim obwodzie powstał ciąg drgań (np. przez oddziaływanie elektryczności atmosferycznej). Przez cewkę L_1 popłynie wówczas prąd tętniący, który w cewce L_0 wzbudzi siłę elektromotoryczną zmienną; częstotliwość tej ostatniej równa się, oczywiście, częstotliwości drgań

- -

1) Powstaje on wówczas, gdy różnica obu częstotliwości wynosi około 10000 okr./sek.-

2) Odbiornik odtwarza wówczas częstotliwości boczne (dolne lub górne).-

wzbudzonych w obwodzie L_oC_o. Oznacza to dopływ energii z obwodu anodowego do obwodu L_oC_o. Wobec tego amplituda drgań obwodu L_oC_o zostanie zwiększona, ponadto, o ile wzniecony ciąg drgań miał przebieg gasnący, to czas jego trwania ulegnie przedłużeniu. Ilustruje to rys.49., w którym krzywa ciągła przedstawia drgania w obwodzie L_oC_o, gdy sprzężenia zwrotnego zupełnie nie ma, zaś krzywa przerywana przedstawia drgania przy pewnym sprzężeniu zwrotnym, słabszym jednak od tego, przy którym następuje samowzbudzenie.



Rys.49.

Ponieważ więc dzięki zastosowaniu sprzężenia zwrotnego następuje wzrost natężenia prądu wzniecanego w obwodzie L_oC_o, przeto można powiedzieć, że dzięki sprzężeniu zwrotnemu następuje jak gdyby zmniejszenie oporu omowego tego obwodu, a więc i zmniejszenie jego tłumienia o pewną wartość, którą oznaczymy przez r, (tzw. odtłumienie przez sprzężenie zwrotne).

Do obliczenia r może być wykorzystany wzór:

$$r = \frac{SM}{C}$$

w którym S jest to nachylenie charakterystyki statycznej lampy, M - współczynnik indukcji wzajemnej, C_o - pojemność kondensatora obwodu zamkniętego drgań.[1] Jeżeli opór skuteczny L_oC_o bez sprzężenia zwrotnego oznaczymy przez R_o, to po zastosowaniu sprzężenia zwrotnego jego opór zmniejszy się o wartość r, wyniesie zatem:

$$R'_o = R_o - r$$

Jeżeli cewka reakcyjna posiada nieprawidłowe nawinięcie, to sprzężenie zwrotne powoduje wzrost tłumienia, a więc wzrost oporności omowej obwodu L_oC_o o wartość r, zatem wówczas:

$$R''_o = R_o + r$$

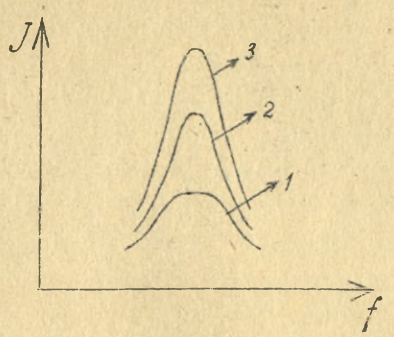
albowiem wówczas będziemy mieli w obwodzie L_oC_o dwie siły elektromotoryczne przeciwdziałające sobie.

Należy jednak wyraźnie podkreślić, że ta zmiana oporności omowej zachodzi tylko dla prądu zmiennego; dla prądu stałego powyższe nie ma żadnego zastosowania.

Wpływ sprzężenia zwrotnego na tłumienie obwodu L_oC_o można wykazać przez wykreślenie krzywej rezonansu, przedstawiającej zależność prądu w obwodzie L_oC_o od częstotliwości doprowadzonej do tego obwodu, dla różnych stopni sprzężenia zwrotnego M (jednakże przed progiem samowzbudzenia). Im sil-

1) Wielkości wyrażone w jednostkach praktycznych.-

niejsze sprzężenie zwrotne, tym silniejszy prąd powstaje w obwodzie (wyższa krzywa rezonansu) przy jednej i tej samej doprowadzonej sile elektromotorycznej. Ilustruje to rys.50., w którym wykres 1. jest krzywą rezonansu bez sprzężenia zwrotnego, zaś wykresy 2. i 3. stanowią krzywe rezonansu przy dwóch różnych sprzężeniach zwrotnych.



Rys.50.

Zmniejszenie tłumienia oznacza nie tylko znaczny wzrost czułości, czyli powiększenie wzmocnienia, lecz także i wzrost selektywności.

Granicą wzrostu czułości jest moment wzbudzenia się autodyny.

Widzimy więc, że reakcja może być doskonale wykorzystana i do odbioru fal modulowanych, nie należy jedynie doprowadzić do samowzbudzenia się układu.

Największą czułość układ posiada tuż przed progiem samowzbudzenia, wzmocnienie odbioru może być wówczas nawet dziesięciokrotnie większe.

Jeżeli chodzi o odbiór fal niegasnących, to największą czułość posiada układ tuż po wzbudzeniu się drgań.

Stopień sprzężenia zwrotnego zależy od częstotliwości: im większa jest częstotliwość, tym słabsze sprzężenie zwrotne jest potrzebne do samowzbudzenia autodyny. Po przestrojeniu więc odbiornika na inną częstotliwość należy zawsze na nowo dobrać reakcję celem uzyskania najlepszych warunków pracy układu.-

5. Reakcja twarda, miękka.

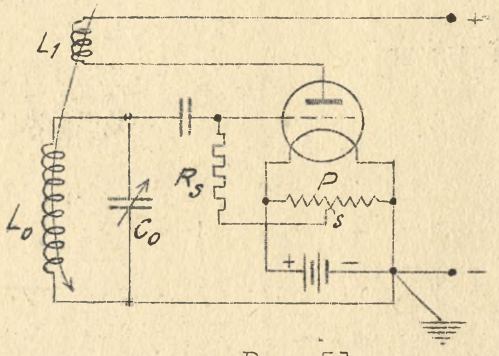
Zwiększając stopniowo reakcję, usłyszymy w pewnej chwili puknięcie w słuchawce, następnie zaś wzmożony szum lampy. To puknięcie jest sygnałem powstania drgań autodyny. Jest ono spowodowane nagłą zmianą (zmniejszeniem się) średniej wartości prądu anodowego, podobnie jak to ma miejsce w przypadku detekcji fal ciągłych (rys.40, wykres d.). Ta zmiana prądu anodowego zmienia, oczywiście, położenie błony słuchawki. Takie same puknięcie zauważymy, osłabiając reakcję. Oznacza ono zerwanie drgań, jest zaś spowodowane powrotem prądu anodowego do poprzedniej wartości. Bezpośrednio po puknięciu następuje osłabienie szumu lampowego.

Reakcja, której towarzyszy puknięcie, nazywa się twardą (głośną).

Dogodniejszą jest reakcja miękka, tzn. taka, przy której powstanie, wzgl. zanik drgań, odbywa się stopniowo, tak że i zmiana średniej wartości prądu anodowego odbywa się również stopniowo. Powstanie i zerwanie drgań poznamy wówczas tylko przez wzmożony bądź też osłabiony szum lampowy.[1] Reakcja ta po-

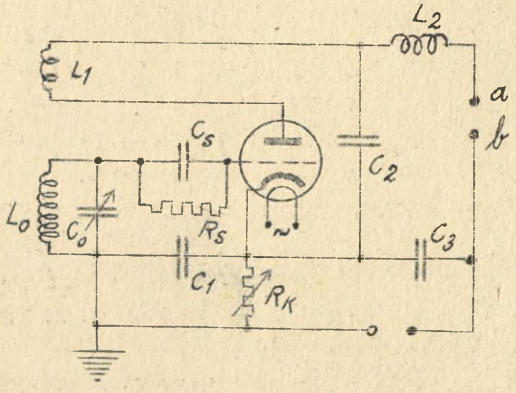
1) Pod warunkiem, że pokrętło reakcji będziemy obracać powoli. Przy szybkim obracaniu wystąpi również mniej lub więcej wyraźne puknięcie.-

zwala podejść blisko do progu samowzbudzenia, gdzie właśnie czułość układu jest największa. Reakcję miękką uzyskuje się przez dobór napięcia anodowego, liczby zwojów cewki reakcyjnej (p.niżej § 7.) oraz dobór napięcia żarzenia. Również i lampa posiada tu wpływ; na ogół lampy o dużym oporze wewnętrznym wzbudzają się "miękko". Wreszcie, dobór potencjału początkowego dla siatki autodyny posiada także znaczenie. Odpowiedni potencjał można uzyskać doświadczalnie, np. w sposób wskazany na rys.51. Opór upływowy siatki R_s łączy się tu nie z plusem baterii żarzenia, a z suwakiem potencjometra P (rzędu 1000--2000 omów). Przy pewnym położeniu suwaka uzyskuje się reakcję miękką, przy innym - bardziej twardą.



Rys.51.

W przypadku lampy żarzonej pośrednio miękką reakcję uzyskuje się przez włączenie zmiennego oporu katodowego, R_K (około 50 omów), rys.52. Siatka posiada wówczas (podobnie zresztą jak i w poprzednim przypadku) pewien niewielki potencjał ujemny. Składowa szybkozmienna obwodu siatki zamyka się przez kondensator wyrównawczy C_1 (1000 pF), omijając opór R_K.



Rys.52.

Zapobiega się w ten sposób niepotrzebnym stratom energii prądu zmiennego w oporze R_K.

Cewka L_2 (dławik w.cz.) zapobiega przedostawaniu się wielkiej częstotliwości do następnych stopni odbiornika (zaciski a-b). Dla fal krótkich wystarczy L_2 = 25 zwojów, pojemność kondensatora C_2 dla tychże fal: 50-150 pF. Kondensator C_3 (co najmniej 1 mikrofarad) przepuszcza składową akustyczną, która więc omija źródło anodowe. Usuwa się w ten sposób możliwość sprzężeń małej częstotliwości, które mogłyby powstać dzięki oporności wewnętrznej źródła anodowego (sprzężenie oporowe) między obwodami zasilanymi przez to źródło. W układach zawierających nie więcej jak trzy lampy nie jest on konieczny.

Powyższy układ nadaje się dobrze do odbioru fal krótkich.

W przypadku detekcji anodowej miękką reakcję uzyskuje się przez zmniejszenie ujemnego potencjału siatki lub przez zmniejszenie napięcia anodowego.

Zbyt miękka reakcja jest o tyle niedogodna, że najmniejsza zmiana warunków pracy układu (np. zmiana napięć) może spowodować samoczynne zerwanie lub powstanie drgań.

Zerwanie i powstanie drgań nie występuje w jednym i tym samym miejscu skali reakcji: zerwanie występuje mianowicie przy słabszym sprzężeniu zwrotnym niż powstanie. Otóż czułość układu jest właśnie największa w obszarze pomiędzy tymi dwoma punktami, równocześnie jednak układ odznacza się tu wybitnie brakiem stałości: drgania mogą tu samoczynnie powstać, bądź też zerwać się.-

6. Drgania relaksacyjne w autodynie.

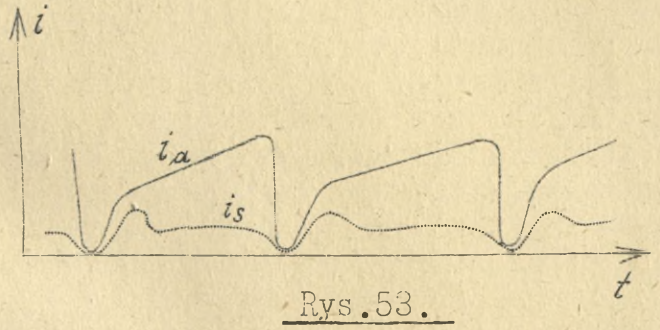
Jak wyjaśniono, sygnałem wzbudzenia się autodyny jest zmniejszenie prądu anodowego. Jeżeli sprzężenie zwrotne będziemy w dalszym ciągu zwiększać, to w pewnej chwili prąd anodowy ponownie się zmniejszy (w słuchawce usłyszymy ponowne puknięcie) i równocześnie pojawi się w słuchawce ton (wycie lub gwizd, względnie pisk).

Aby wyjaśnić zjawisko, załóżmy, że autodyna nie wytwarza drgań wielkiej częstotliwości. Jeżeli przyjmiemy dalej, że opór upływowy siatki jest bardzo duży, to wówczas elektrony napływające do kondensatora C_s siatki wytworzą na siatce ujemny potencjał stopniowo rosnący, skutkiem czego prąd anodowy spada, równocześnie też zmniejsza się dopływ elektronów do kondensatora. Kondensator ten rozładowuje się wówczas - stosunkowo wolno - poprzez opór upływowy siatki, a więc w pewnej chwili prąd anodowy odzyskuje swą poprzednią wartość. W dalszym ciągu zjawisko powtarza się okresowo.

Widzimy więc, że lampa będzie wytwarzać drgania; okres tych drgań T jest proporcjonalny do C_s i R_s, tzn. $T = C_s . R_s$ (C - w faradach, R - w omach). Gdy np. C_s wynosi 250 pF, a R_s 2 megomy, to T = 0,0005 sek., a więc f = 2000 okr/sek.

Drgania te noszą nazwę relaksacyjnych.

Gdy opór siatkowy jest bardzo duży, np. przerwa w oporniku R_s, to usłyszymy pojedyncze impulsy ("pykanie" lampy).



Rys.53.

Typowy wykres prądu anodowego i prądu siatki w przypadku drgań relaksacyjnych przedstawia rys.53. Prąd jest wybitnie odkształcony, zawiera zatem bardzo dużo harmonicznych.

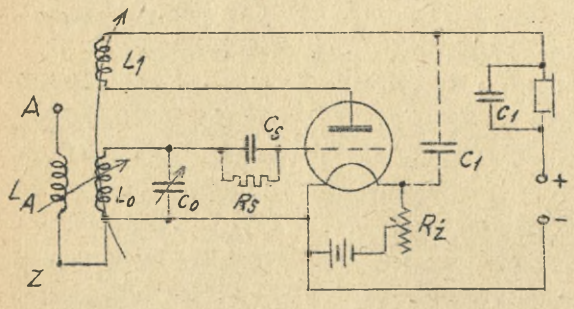
Gdy autodyna wytwarza drgania, to - jak wiemy - średni potencjał siatki obniża się i to tym bardziej, im większe napięcie szybkozmienne otrzymuje siatka, a więc im silniejsze jest sprzężenie zwrotne. Przy dostatecznie sil-

nym sprzężeniu zwrotnym napływ elektronów (pod działaniem dodatnich półokresów napięcia szybkozmiennego) do siatki jest tak duży, że kondensator nie zdąża rozładować się poprzez opór upływowy siatki, potencjał ujemny siatki wzrasta więc, prąd anodowy spada w rezultacie do zera (lub prawie do zera), a więc drgania wielkiej częstotliwości urywają się. Gdy kondensator siatki rozładuje się, drgania wielkiej częstotliwości powstają na nowo itd. W ten sposób drgania szybkozmienne autodyny są przerywane z pewną częstotliwością - słyszalną lub niesłyszalną (samowzbudzenie przerywane). Lampa wytwarza więc wówczas drgania w postaci oddzielnych ciągów, których częstotliwość może być słyszalna w słuchawce. Ton zależy przy tym od stopnia sprzężenie zwrotnego, a także od położenia kondensatora C_o.-

7. Autodyna jako odbiornik.

Autodyna stanowi najprostszy odbiornik jednolampowy. Przy użyciu anteny zewnętrznej, a w sprzyjających okolicznościach nawet anteny wewnętrznej, układ taki, prawidłowo wykonany, daje odbiór, oczywiście na słuchawki, większych stacyj radiofonicznych Europy. rys.54.

Antenę dołączymy do punktu A; zostaje ona sprzężona z obwodem L_oC_o przy pomocy cewki L_A; sprzężenie - zmienne. Ziemia - do zacisku Z.



Rys.54.

Dla fal 25-250 m wystarczy dla cewki L_A około 5 zwojów, dla fal 200--600 m około 12 zwojów. Cewka L_o dostosowana do żądanego zakresu fal, ew. zmienna skokami. Najdogodniejszą liczbę zwojów cewki reakcyjnej dla danego zakresu częstotliwości można znaleźć doświadczalnie. Liczba ta zależy - między innymi - od pojemności wewnętrznej lampy pomiędzy anodą a siatką: gdy ta pojemność jest duża, wystarczy niewielka liczba zwojów, aby uzyskać samowzbudzenie i na odwrót. (por. § 12 nin.rozdz.). Cewka reakcyjna na ogół posiada więcej zwojów niż cewka L_o, jednakże często może być odwrotnie. Zasadniczo, cewka L_1 powinna posiadać jak najmniej zwojów, tyle tylko, aby uzyskać samowzbudzenie w danym zakresie częstotliwości.

Należy zaznaczyć, że im niższe jest napięcie anodowe, tym więcej zwojów powinna posiadać cewka reakcyjna.

Pojemność kondensatora C_o - 500 pikofaradów.[1] Bardzo łatwo można go wyskalować (w częstotliwościach lub długościach

1) Dostosowana zresztą do danego zakresu częstotliwości.-

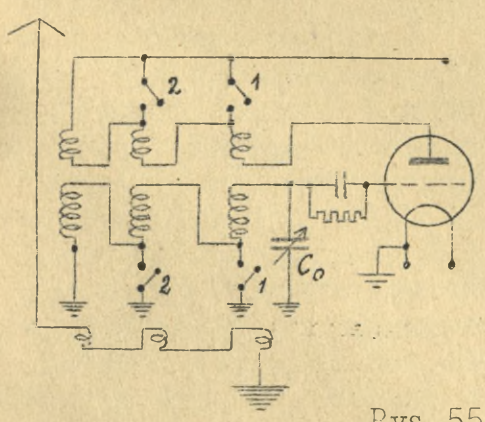
fal), nastrajając układ na znane stacje radiofoniczne. Sprzężenie cewek L_A-L_o powinno być przy tym dosyć słabe. Wówczas jedne i te same stacje usłyszymy w jednym i tym samym miejscu tarczy kondensatora, nawet dla anten bardzo różniących się między sobą.

Kondensator obejściowy C_1 może być załączony w sposób wskazany linią przerywaną. Składowa szybkozmienna prądu anodowego omija wówczas także i baterię anodową.

Opornik żarzenia Rż może być wykorzystany do zmiany czułości układu. Istotnie, przy danym sprzężeniu zwrotnym oraz przy danym napięciu anodowym można podchodzić do progu samowzbudzenia lub też oddalać się od niego, osłabiając lub też zwiększając (oczywiście w granicach dopuszczalnych) żarzenie. Ponadto zmiana żarzenia powoduje zmianę nachylenia, a więc i zmianę wzmocnienia układu. W ten sposób układ może być wyregulowany bardzo precyzyjnie.

Układ działa zupełnie dobrze już przy napięciu anodowym 40 V. Ponieważ jednak pierwsze udoskonalenie powyższego układu polega na dołączeniu lampy małej częstotliwości, do której działania potrzebne jest napięcie anodowe co najmniej 120 V, lepiej jest przeto zastosować odrazu 120 V.

Celem pokrycia szerszego zakresu fal cewka L_o może być wymienną (cewka z odpowiednią wtyczką, umieszczona na zewnątrz odbiornika), bądź też można stosować komplet odpowiednio dobranych cewek wmontowanych na stałe w aparat, rys.55.



Rys.55.

Dla każdego zakresu mamy tu oddzielną cewkę reakcyjną, obwodu drgań oraz antenową. Jako jeden z przewodów obwodu zamkniętego, wykorzystano tu masę aparatu.

Gdy oba wyłączniki 1.i 2.są podniesione, układ jest dostosowany do odbioru fal najdłuższych. Zamknięcie wyłączników: 2 - 2. zwiera odpowiednie cewki i daje zakres fal krótszych, wreszcie zamknięcie wyłączników: 1 - 1 daje zakres fal najkrótszych.-Gdy sprzężenie zwrotne jest tylko nieco silniejsze od warunku samowzbudzenia, to sprzężenie anteny z obwodem drgań autodyny spowoduje zerwanie drgań w chwili, gdy antena znajdzie się w rezonansie z układem odbiorczym. Istnieje wówczas pewien zakres częstotliwości, w którym autodyna nie wzbudza się. Przyczyną zjawiska jest zwiększenie tłumienia obwodu L_oC_o spowodowane pochłanianiem energii przez zestrojoną antenę (p.tom I, rozdz.V, § 15.).

Drgania autodyny powstaną na nowo i przy antenie zestro-

jonej, jeżeli zwiększyć sprzężenie zwrotne autodyny.

Autodyna sprzężona z anteną tworzy nadajnik wprawdzie bardzo małej mocy, jednakże wystarczającej, aby promieniowanie anteny oddziaływało na odbiorniki blisko położone. Układ taki wywołuje więc zakłócenia w odbiorze. Zapobiega się temu przez zastosowanie pomiędzy anteną a autodyną lampy wzmacniającej wielką częstotliwość.-

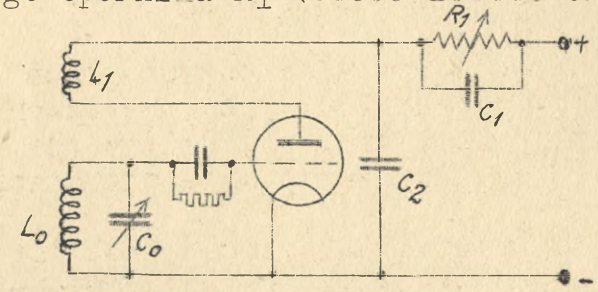
C. Zasadnicze układy reakcyjne.

8. Sprzężenie zwrotne typu Meissnera.

Rozpatrzone układy oscylatorów są typu Meissnera. Przez długi czas były one szeroko stosowane. Obecnie w powyższej postaci stosowane są rzadko. Poważną wadę ich stanowi zmiana nastrojenia układu pod wpływem zmiany sprzężenia zwrotnego, co daje się odczuć szczególnie na falach krótkich, oraz pojemnościowe oddziaływanie na siebie cewek L_1 i L_o.-

9. Układ z reakcją oporową.

Jest to układ typu Meissnera ze stałym sprzężeniem zwrotnym pomiędzy cewkami L_1-L_o, regulowanym przy pomocy zmiennego opornika R_1 (50000-100000 omów), rys.56. Powiększenie tego oporu zmniejsza, oczywiście, natężenie prądu anodowego, przez co w rezultacie następuje zerwanie drgań.



Rys.56.

Zadaniem kondensatora C_1 (1-2 mikrofarady) jest usunąć trzaski powstające w słuchawce przy przesuwaniu suwaka opornika R_1.

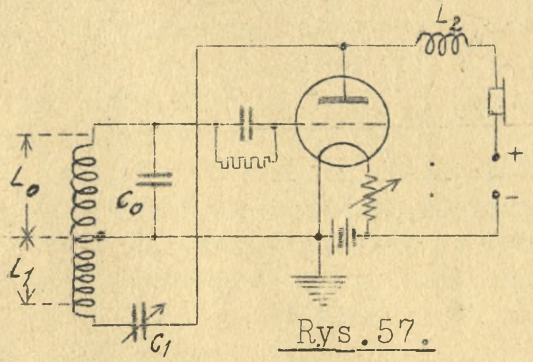
Przy napięciu na anodzie 40 V zmiana tego napięcia, niezbędna do regulowania reakcji, wynosi 10-15 V (dla lamp jednosiatkowych).

Zaletą tego układu, stosowanego do niedawna bardzo często, jest usunięcie zjawiska rozstrojenia układu przez zmianę reakcji. Zmiana bowiem napięcia anodowego powoduje w tym przypadku minimalną zmianę częstotliwości własnej układu.-

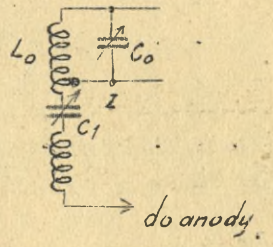
10. Układ z reakcją typu Reinartz'a.

Układ Reinartz'a stanowi udoskonalenie układu Hartley'a (p.cz.I, str.170) nie znajdującego zastosowania w technice odbiorczej ze względu na trudność regulowania reakcji w sposób ciągły. Nadaje się on dobrze nie tylko do odbioru fal krótkich, do czego był początkowo przeznaczony, lecz i do odbioru fal zakresu radiofonicznego: 200-2000 m. Schemat zasadniczy układu przedstawia rys.57. Jak widzimy, jest to

układ lampowy zasilany równolegle. Sprzężenie zwrotne dochodzi do skutku przy pomocy cewki L_1, która może stanowić przedłużenie cewki L_0 (a więc nawinięcie w tym samym kierunku).



Rys.57.



Rys.58.

Sprzężenie to jest regulowane przy pomocy kondensatora obrotowego C_1. Sprzężenie zwrotne jest najsłabsze, gdy pojemność tego kondensatora jest najmniejsze i na odwrót. Cewka L_2 jest dławikiem wielkiej częstotliwości, nie dopuszczającym tej częstotliwości do prawej strony obwodu anodowego (por.tom I, rys.166, cewka D.). Kondensator obejściowy słuchawki jest tu więc zbędny.

Kondensator reakcyjny C_1 może być włączony w sposób wskazany na rys.58, co jest o tyle dogodniejsze, że rotor kondensatora można wówczas uziemić (punkt z), dzięki czemu oddziaływania pojemnościowe (np.wpływ ręki) dają się znacznie zredukować.

Pojemność kondensatora C_1 oraz indukcyjność cewki L_1 zależą od rodzaju zastosowanej lampy, zakresu częstotliwości oraz wielkości napięcia anodowego. Zwykle stosuje się pojemność 150-500 cm, w wielu jednak odbiornikach stosuje się kondensatory znacznie mniejsze. Cewka reakcyjna L_1 powinna posiadać możliwie małą indukcyjność, taką jednak aby przy małym napięciu anodowym oraz aby przy zwiększonym tłumieniu spowodowanym sprzężeniem z anteną, samowzbudzenie było zupełnie pewne. Liczba zwojów tej cewki wynosi zwykle 1/4 do 1/3 liczby zwojów cewki L_0.

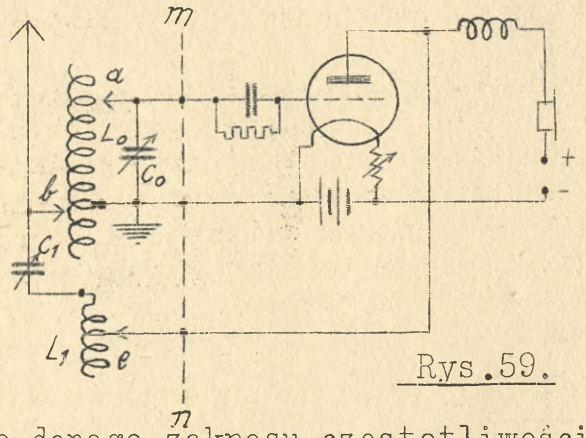
Układ pracuje zupełnie dobrze, gdy obwód rezonansowy wraz z kondensatorem C_1 i cewką L_1 jest oddzielony ekranem od pozostałych elementów układu (rys.59, linia m-n). Montaż zwarty odbija się ujemnie na funkcjonowaniu aparatu.

W połączeniu z pentodą dla małej częstotliwości (p.rozdział V.) układ Reinartz'a daje bardzo dobry odbiór słuchawkowy stacyj fonicznych pracujących na falach 200-2000 m, o mocy powyżej 2 KW, położonych w promieniu 1000 km.

Układ z rys.57 nadaje się dobrze do odbioru fal poniżej 200 m.

Jak już zaznaczyliśmy, cewka L_1 może stanowić przedłużenie cewki L_o; pewniejsze samowzbudzenie uzyskuje się, gdy jest ona umieszczona wewnątrz cewki L_o.

Istnieje bardzo wiele odmian układu Reinartz'a. Rys.59. przedstawia przykład układu nadającego się dobrze do odbioru fal ponad 200 m. Zakres częstotliwości obwodu rezonansowego zmieniamy tu skokami przy pomocy wtyczki a. Sprzężenie anteny z obwodem L_oC_o, typu autotransformatorowego, jest zmienne również skokami przy pomocy wtyczki b; wreszcie wtyczka e umożliwia dopasowanie reakcji do danego zakresu częstotliwości; C_1 jest kondensatorem reakcyjnym.

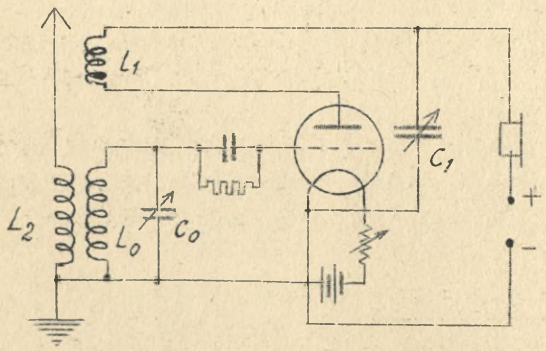


Rys.59.

W układzie Reinartz'a reakcja jest typu indukcyjno-pojemnościowego.-

11. Układ z reakcją typu Schnell'a.

Schemat układu przedstawia rys.60. Sprzężenie zwrotne pomiędzy cewkami L_o i L_1 jest dobrane na stałe. Regulacja tego sprzężenia odbywa się przez zmianę pojemności C_1. Aby zrozumieć wpływ tego kondensatora na samowzbudzenie, załóżmy na chwilę, że został on wyłączony. Ze względu na bardzo dużą indukcyjność słuchawki (dławika) autodyna nie wzbudzi się. Kondensator C_1 odpowiada zatem kondensatorowi obejściowemu, np. z rys.48. Od jego pojemności zależy wielkość składowej szybkozmiennej, płynącej przez niego, a więc i przez cewkę L_1. Przy pewnej wartości C_1 następuje samo - wzbudzenie, przy wartości nieco mniejszej następuje "odtłumienie" obwodu L_oC_o, podobnie, jak to ma miejsce w układach innych typów.



Rys.60.

Układ jest zasadniczo przeznaczony do odbioru fal krótkich. Nie ma jednak żadnych trudności w zastosowaniu go do fal długich (zakresu radiofonicznego 200-2000 m). Należy jedynie dostosować cewki i kondensatory. I tak, dla fal zakresu 20-45 m cewka L_1 powinna posiadać około 6 zwojów, L_o - 5 zwojów, L_2 - jeden lub dwa zwoje; średnica zwojów około 8 cm.

Sprzężenia powinny być słabe. Kondensator C_1 - 500 pikofaradów; płyty ruchome należy dołączyć od strony uziemienia, przez co usuwa się wpływ pojemnościowy ręki. Kondensator C_o - 150 pikofaradów. Płyty ruchome dołączone również od strony uziemienia.

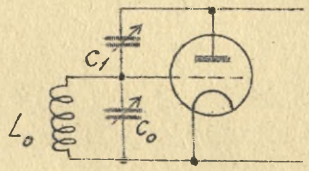
Dla fal 200-600 m cewki muszą być odpowiednio większe (C_o - 500 pF, C_1 - 1000 pF.).

Zasadniczą zaletą tego układu w porównaniu z poprzednimi jest minimalny wpływ zmian reakcji na nastrojenie układu, tzn., że jeżeli obwód L_oC_o zostanie nastrojony na pewną stację, to wzrost reakcji od momentu samowzbudzenia do wartości większych powoduje tylko nieznaczną zmianę siły odbioru. Tymczasem w innych układach zmiana ta jest duża.

Układ Schnell'a stanowi odmianę sprzężenia indukcyjno-pojemnościowego.-

12. Układ z reakcją pojemnościową.

Przykład sprzężenia zwrotnego, czysto pojemnościowego, przedstawia rys.61. Energia szybkozmienna z obwodu anodowego przedostaje się do obwodu siatki poprzez kondensator C_1, który jest więc kondensatorem reakcyjnym; sprzężenie zwrotne jest tym silniejsze, im większa jest pojemność tego kondensatora. Należy zaznaczyć, że układ ten wzbudza się tylko wówczas, jeżeli obciążenie w obwodzie anodowym nie ma charakteru pojemnościowego.



Rys.61.

Ujemną stroną tego układu jest wpływ pojemności C_1 na nastrojenie obwodu L_oC_o.

Sprzężenie zwrotne pojemnościowe może powstać we wzmacniaczach wielkiej częstotliwości dzięki pojemności wewnętrznej lampy (pojemność anoda-siatka).

We wszystkich powyższych układach wzięto pod uwagę lampy żarzone bezpośrednio (lampy bateryjne). Mogą to być lampy o żarzeniu pośrednim, zasilane z sieci (lampy sieciowe).-

ROZDZIAŁ IV.

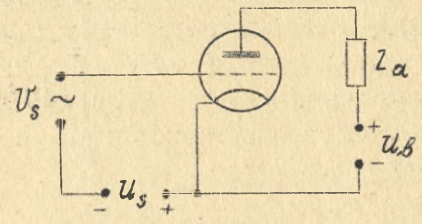
Lampa trójelektrodowa jako wzmacniacz (amplifikator)

A. Ogólna teoria wzmocnienia (amplifikacji)

1. Zasada wzmacniania.

Własności wzmacniające (amplifikacyjne) lampy trójelektrodowej wynikają z definicji współczynnika wzmocnienia. Zgodnie z tą definicją - zmiana napięcia siatki wywiera na prąd anodowy taki sam wpływ, co K razy większa zmiana napięcia anodowego (K - współczynnik amplifikacji).

Niech amplituda napięcia doprowadzonego do siatki wynosi V_{sm} woltów. Napięcie to, zwane wzbudzającym, wywiera na prąd anodowy taki wpływ, jak gdyby w obwodzie anodowym działała siła elektromotoryczna zmienna K razy większa, tzn. : $V_{am} = K.V_{sm}$, gdzie przez V_{am} oznaczono amplitudę tej siły elektromotorycznej. W stosunku do obwodu anodowego lampa stanowi zatem źródło zmiennej siły elektromotorycznej o amplitudzie $K.V_{sm}$. Z tego punktu widzenia układ lampy z rys. 62. może być więc zastąpiony przez równoważny elektrycznie obwód wg rys.63. Amplitudę prądu zmiennego w tym obwodzie obliczymy więc ze wzoru:



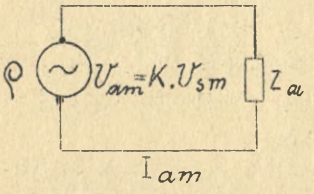
Rys.62.

$$I_{am} = \frac{V_{am}}{\rho + Z_a}$$

czyli:

$$I_{am} = \frac{K.V_{sm}}{\rho + Z_a}$$

Jest to wzór Barkhausena.[1]) Można go sformułować w sposób następujący: lampa elektronowa przedstawia, od strony obwodu anodowego, generator napięcia zmiennego o amplitudzie $K.V_{sm}$ i oporności wewnętrznej ρ, obciążony opornością Z_a.



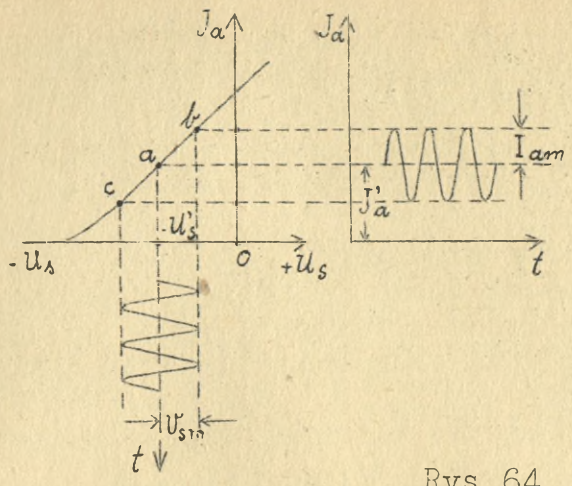
Rys.63.

Wahania prądu anodowego, wywołane napięciem wzbudzającym, zostają wykorzystane w oporności Z_a obwodu anodowego, rys.62., którą może być bądź organ przekazujący wahania prądu anodowego do następnej lampy (organ sprzęgający), bądź też transformator elektroakustyczny, tzn. słuchawka lub głośnik.

Lampa lub kilka lamp wraz z odpowiednimi obwodami tworzy wzmacniacz (amplifikator). Jedna lampa wraz z jej obwodami tworzy stopień wzmacniacza.

W obwodzie siatki znajduje się z reguły źródło napięcia stałego U_S, włączone biegunami w sposób wskazany na rysunku 62. Siatka posiada zatem początkowy potencjał ujemny: $-U_S'$,(rys.64.) albo - jak to się inaczej mówi - jest spolaryzowana ujemnie w stosunku do katody. Ma to na celu między innymi zapobiec powstawaniu prądu siatki oraz zmniejszyć zużycie prądu anodowego. To ujemne napięcie: $-U_S'$ wyznacza na charakterystyce początkowy punkt pracy a. Temu napięciu: $-U_S'$ odpowiada prąd anodowy spoczynkowy: I_a'. Z punktu: $-U_S'$ wyprowadzamy oś t. Otrzymujemy w ten sposób układ współrzędnych: U_S - t, za pomocą którego przedstawimy zmiany napięcia w obwodzie siatki. Napięcie wzbudzające nakłada się na stałe napięcie $-U_S'$, w rezultacie więc napięcie siatki waha się wzglę-

1) ρ = oporność wewnętrzna lampy.-



Rys.64.

dem początkowego napięcia: $-U'_s$, w sposób widoczny, w dolnej części wykresu. Jak widać, dla amplitudy dodatniej tego napięcia punkt pracy przesuwa się do punktu b na charakterystyce, prąd anodowy wzrasta więc o wielkość I_{am}; dla amplitudy ujemnej napięcia wzbudzającego punkt pracy przesuwa się do punktu c, prąd anodowy zmniejsza się więc o wartość I_{am}. Ta wartość I_{am} stanowi amplitudę składowej zmiennej prądu anodowego.

Ze względu na obecność w obwodzie anodowym oporności Z_a przedstawiona charakterystyka siatkowa jest charakterystyką dynamiczną.

Składowa szybkozmienna prądu anodowego wywołuje, oczywiście, w oporności Z_a zmienny spadek napięcia, którego amplitudę oznaczmy przez V_{am}. Jest to właśnie napięcie użyteczne dostarczone przez wzmacniacz. Jest ono przesunięte o pół okresu (180°) w stosunku do napięcia wejściowego.

Do wzmacniaczy znajdują pełne zastosowanie rozważania, dotyczące przebiegów napięć i prądów w jego obwodach, podane w tomie I, rozdział XII, § 4-5.

Stosunek napięcia użytecznego do napięcia wzbudzającego nazywa się współczynnikiem wzmocnienia napięciowego lub przekładnią napięciową wzmacniacza. Współczynnik ten: k oblicza się ze wzoru:

$$1 \qquad k = \frac{V_{am}}{V_{as}} = \frac{K}{1 + \frac{\rho}{Z_a}}$$

w którym K - współczynnik amplifikacji lampy, ρ - oporność wewnętrzna lampy.

Jak widać, k rośnie ze wzrostem oporności zewnętrznej Z_a. Współczynnik ten jest zawsze mniejszy od K.

Nachylenie charakterystyki dynamicznej znajdujemy ze wzoru:

$$2 \qquad S_d = \frac{S}{1 + \frac{Z_a}{\rho}}$$

gdzie S jest to nachylenie charakterystyki statycznej.

Jak widzimy, S_d maleje ze wzrostem oporności zewnętrznej Z_a.

Charakterystyka robocza z rys.64. posiada taki przebieg tylko wówczas, gdy obciążenie Z_a jest opornością czysto omo-

wą. W przeciwnym przypadku charakterystyka ta posiada kształt elipsy, mniej lub więcej spłaszczonej. W dalszym ciągu będziemy rozpatrywać charakterystyki wg rys.64.

Ponieważ w obwodach lampy występują prądy i napięcia zarówno stałe, jak i zmienne, przeto ustalimy następujący sposób oznaczania ich wartości:

U_b - napięcie źródła anodowego,
U_a - napięcie anodowe stałe (różnica potencjałów pomiędzy anodą a katodą),
V_a - wartość skuteczna składowej zmiennej napięcia anodowego,
V_{am} - amplituda składowej zmiennej napięcia anodowego,
V_{ac} - napięcie anodowe całkowite, tzn. składowa stała z nałożoną składową zmienną,
U_s - napięcie stałe siatki,
V_s - wartość skuteczna napięcia wzbudzającego,
V_{sm} - amplituda napięcia wzbudzającego,
J_a - składowa stała prądu anodowego,
I_a - natężenie skuteczne składowej zmiennej prądu anodowego,
I_{am} - amplituda składowej zmienne prądu anodowego,
I_{ac} - prąd anodowy całkowity, tzn.składowa stała z nałożoną składową zmienną,
J_s - składowa stała prądu siatki,
I_s - natężenie skuteczne składowej zmiennej prądu siatki,
I_{sm} - amplituda składowej zmiennej prądu siatki.-

2. Podział wzmacniaczy lampowych.

A. Ze względu na rodzaj wzmocnienia rozróżniamy trzy kategorie wzmacniaczy:
wzmacniacze napięciowe, gdy przy pewnym napięciu wzbudzającym V_s osiągnąć chcemy w obwodzie anodowym (na oporności Z_a) jak największe wahania napięcia;
wzmacniacze prądowe, gdy przy danym napięciu wzbudzającym V_s chcemy uzyskać jak największe wahania prądu anodowego;
wzmacniacze mocy, w których przy danym napięciu wzbudzającym V_s dąży się do wydzielenia w obwodzie anodowym (w oporności Z_a) jak największej mocy użytecznej prądu zmiennego, lub też pewnej określonej mocy przy jak największej sprawności.

B. Ze względu na częstotliwość prądów wzmacnianych rozróżnia się: wzmacniacze impulsów prądu stałego;
wzmacniacze małej częstotliwości, przeznaczone do wzmacniania prądów zawartych w granicach częstotliwości słyszalnych, tzn. od kilkunastu do 10.000 okr./sek.;

wzmacniacze wielkiej częstotliwości, przeznaczone do wzmacniania częstotliwości ponad 10.000 okr./sek.

C. Wzmacniacze małej i wielkiej częstotliwości można podzielić następująco, jeżeli chodzi o zakres wzmacnianych częstotliwości:

wzmacniacze rezonansowe, jeżeli wzmacniają prądy o pewnej określonej częstotliwości;

wzmacniacze wstęgowe, jeżeli wzmacniają równomiernie pewne widmo (wstęgę) częstotliwości;

wzmacniacze aperiodyczne, jeżeli działanie ich jest w szerokich granicach niezależne od częstotliwości prądu wzmacnianego.

Należy wyjaśnić, że szerokość granic jest tu pojęciem względnym. I tak, wzmacniacz przystosowany do wzmacniania zakresu częstotliwości 995000-1005000 okr./sek. wzmacnia stosunkowo wąskie widmo, natomiast amplifikator wzmacniający częstotliwość 100-5000 okr /sek. wzmacnia szerokie stosunkowo widmo, pomimo że w tym ostatnim przypadku zakres częstotliwości wzmacnianych jest w przybliżeniu dwa razy mniejszy niż w pierwszym przypadku. Miarodajnym jest tu więc stosunek szerokości widma do wzmacnianych częstotliwości.

D. Ze względu na dokładność odtworzenia przebiegów wzmacniacze dzielą się na następujące trzy typy zasadnicze:

wzmacniacze typu A, czyli wzmacniacze bez zniekształceń, których podstawowym zadaniem jest ściśle odtworzyć w obwodzie wyjściowym przebieg napięcia wzbudzającego bez zniekształceń (amplitudy, p.§ 13);

wzmacniacze typu B, w których zostają wzmacniane tylko dodatnie połówki przyłożonego napięcia V_s; ponieważ amplituda prądu lub napięcia wyjściowego jest tu proporcjonalna do amplitudy napięcia wzbudzającego (podobnie zresztą, jak to ma miejsce i we wzmacniaczach typu A); wzmacniacz ten nosi także nazwę wzmacniacza proporcjonalnego;

wzmacniacze typu C, czyli wzmacniacze o dużej sprawności, których zadaniem jest dostarczyć pewną moc przy możliwie dużej sprawności, bez względu na przebieg napięcia wyjściowego.

E. Można wreszcie przeprowadzić podział wzmacniaczy ze względu na rodzaj sprzężenia międzylampowego, a mianowicie:

wzmacniacze oporowe, w których organem sprzężenia między stopniami wzmocnienia jest oporność omowa;

wzmacniacze dławikowe, jeżeli organem pośredniczącym między lampymi jest indukcyjność;

wzmacniacze transformatorowe, gdy między lampami znajduje się transformator;

wzmacniacze rezonansowe, gdy lampy są połączone za pośrednictwem obwodu rezonansowego lub układu sprzężonego, w którym przynajmniej jeden z obwodów jest strojony.-

Wymienione sposoby sprzężenia znajdują zastosowanie tak

we wzmacniaczach wielkiej, jak i małej częstotliwości.

3. Ogólna charakterystyka poszczególnych typów wzmacniaczy.

Podział wzmacniaczy na typy: A,B,C obejmuje wzmacniacze wszelkich kategoryj: wielkiej i małej częstotliwości, wzmacniacze mocy, napięciowe i prądowe, wzmacniacze transformatorowe, rezonansowe, oporowe. Znajduje on także zastosowanie w odniesieniu do generatorów lampowych, albowiem generator obcowzbudny jest, właściwie biorąc, wzmacniaczem mocy, zaś generator samowzbudny jest również wzmacniaczem mocy, który sam dla siebie wytwarza napięcie wzbudzające. Generator lampowy, wytwarzający drgania pierwszego rodzaju, jest wzmacniaczem typu A, zaś generator dający drgania drugiego rodzaju może być zaliczony, zależnie od dobranych warunków pracy, bądź do typu B, bądź też do typu C.

Wzmacniacz typu A.

Warunki działania wzmacniacza tego typu przedstawia rysunek 64. Drgania w obwodzie anodowym (tzn. składowa zmienna) posiadają taki sam przebieg, co napięcie wzbudzające siatki. Aby wzmacniacz pracował w ten sposób, muszą być spełnione dwa następujące warunki:

1° - całkowity przebieg pracy musi odbywać się w zakresie odcinka prostolinijnego charakterystyk, dzięki czemu unika się detekcji, a więc zniekształceń w obwodzie anodowym;

2° - napięcie wzbudzające musi być zawarte w granicach ujemnego napięcia siatki, aby uniknąć prądu siatki, a więc aby uniknąć detekcji w obwodzie siatki.

W praktyce napięcie ujemne siatki może być określone w przybliżeniu ze wzoru:

$$\frac{U_a}{2k_d}$$

gdzie k_d jest to dynamiczny współczynnik amplifikacji.

Przy uwzględnieniu statycznego współczynnika amplifikacji K, napięcie to zawiera się w granicach od

$$\frac{U_a}{2K} \text{ do } \frac{3U_a}{4K}$$

Wzmacniacz typu A charakteryzuje się tym, że średnia wartość prądu anodowego pozostaje bez zmiany, bez względu na to, czy lampa jest wzbudzona napięciem zmiennym V_s, czy też nie jest wzbudzona. Jeżeli bowiem napięcie wzbudzające posiada przebieg sinusoidalny, to średnia wartość prądu wzbudzonego w obwodzie anodowym przez to napięcie musi być równa zeru.

Wynika stąd prosty sposób sprawdzenia, czy lampa małej częstotliwości, mająca pracować jako wzmacniacz typu A, posiada prawidłowe napięcie ujemne na siatce. Należy mianowi-

BIBL. WOJ. 15 P. P.

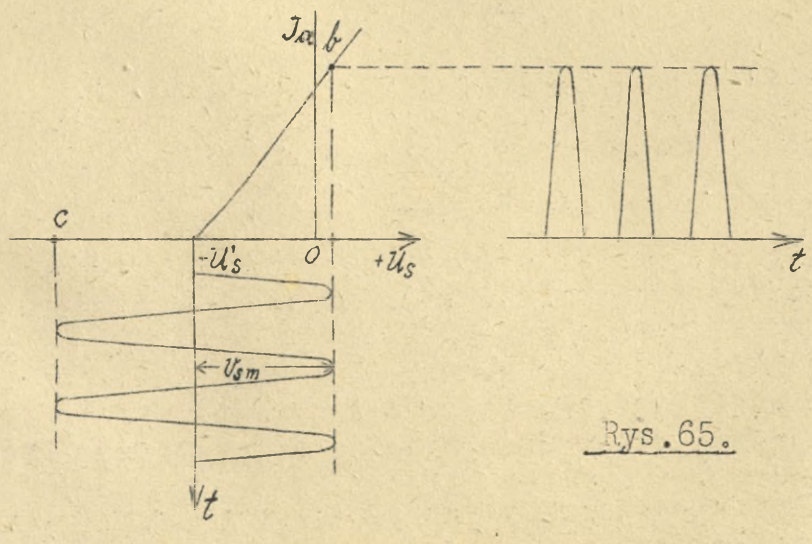
cie w obwód anodowy lampy badanej włączyć miliamperomierz prądu stałego i wzbudzić lampę (np.przy pomocy odbiornika radiowego, adaptera, mikrofonu, a nawet brzęczyka). Wskazówka miliamperomierza powinna pozostać nieruchoma, co właśnie oznacza, że wartość średnia prądu anodowego nie zmienia się (wartość tę zresztą należy ściśle dostosować do danych katalogowych). Jeżeli wskazówka miliamperomierza wskaże po wzbudzeniu lampy zmniejszenie prądu, oznacza to, że wartość średnia prądu anodowego również zmniejszyła się; zmiana taka powstanie wówczas, gdy początkowy punkt pracy znajduje się w okolicy górnego zakrzywienia charakterystyki (detekcja na górnym zakrzywieniu). Należy wówczas powiększyć ujemne napięcie siatki, np. z wartości: -20 V do wartości -25 V. Jeżeli zaś po wzbudzeniu lampy wskazówka miliamperomierza wykazuje wzrost prądu anodowego oznacza to, że wartość średnia tego prądu ulega zwiększeniu; zjawisko to powstaje wówczas, gdy początkowy punkt pracy znajduje się w bliskości dolnego zakrzywienia charakterystyki (detekcja na dolnym zakrzywieniu). Napięcie ujemne siatki jest zbyt duże, należy je zmniejszyć np. z wartości: -35 V do wartości: - 25 V.

Wzmocnienie typu A jest ogólnie stosowane w technice odbiorczej zarówno w układach wielkiej, jak i małej częstotliwości. Do tego typu należą wszystkie wzmacniacze napięciowe oraz większość wzmacniaczy mocy.

W technice nadawczej wzmacniaczem typu A jest generator lampowy (samowzbudny lub obcowzbudny) wytwarzający drgania pierwszego rodzaju.

Wzmacniacz typu B.

Warunki pracy tego wzmacniacza przedstawia rys.65.: napięcie ujemne siatki ($-U'_s$) jest tak duże, że punkt pracy znajduje się na dolnym zakrzywieniu charakterystyki, a nawet na jej początku, tak że, praktycznie biorąc, w spoczynku prąd anodowy nie płynie. Prąd anodowy pojawia się dopiero z chwilą doprowadzenia do siatki napięcia wzbudzającego, przy czym jest on wywołany oddziaływaniem dodatnich półokre-



Rys.65.

sów tego napięcia; w czasie ujemnych półokresów prąd anodowy oczywiście nie płynie. Prąd anodowy płynie więc w postaci impulsów oddzielonych od siebie przerwami półokresowymi. Każdy impuls trwa również półokresu.

W ten sposób poddziałaniem napięcia wzbudzającego następuje wzrost średniej wartości prądu anodowego, co właśnie stanowi charakterystyczną cechę tego typu wzmocnienia. Miliamperomierz włączony w obwod anodowy wykaże więc prąd tylko po wzbudzeniu lampy.

Niezbędne ujemne napięcie siatki oblicza się ze wzoru:

$$\frac{U_a}{K},$$

gdzie K jest to statyczny współczynnik wzmocnienia.

Jak widzimy, prąd anodowy jest tu proporcjonalny do przyłożonego napięcia (tzn.do jego amplitudy dodatniej), a to ze względu na fakt, że długość wykorzystanego odcinka prostoliniinego charakterytsyki jest znaczna w porównaniu z długością części zakrzywionej. Stąd też ten typ wzmocnienia nosi nazwę proporcjonalnego.

We wzmacniaczach typu B amplituda napięcia wzbudzającego może być nawet większa od wartości bezwzględnej napięcia polaryzującego, tak że układ pracuje wówczas przy prądzie siatki, ktory jednak nie powinien być większy niż 10% prądu anodowego.

Wzmacniacze typu B są obecnie dosyć często stosowane w technice odbiorczej, jako wzmacniacze mocy małej częstotliwości na stopniu końcowym odbiornika. Są one szeroko rozpowszechniane w urządzeniach nadawczych - telegraficznych i fonicznych; w tych ostatnich wzmacniają one prądy szybko - zmienne modulowane przed doprowadzeniem ich do anteny.

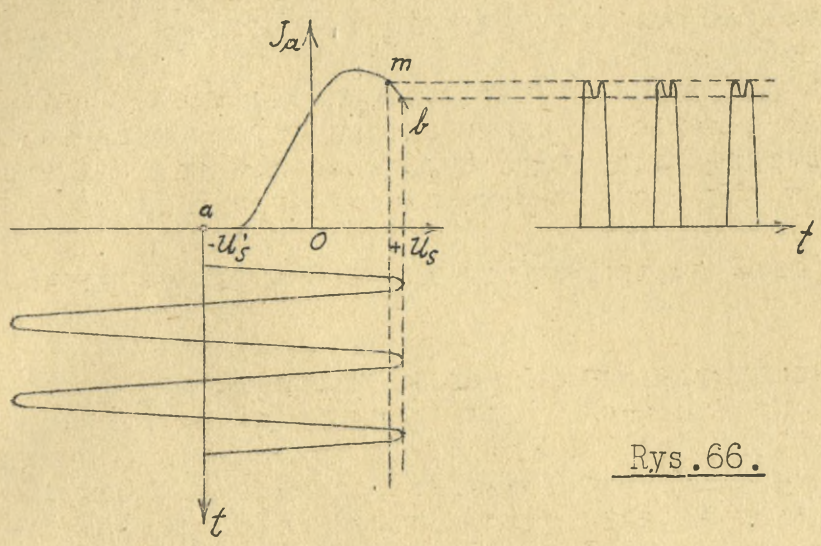
Wzmacniacze te powodują - jak widzieliśmy - zniekształcenie wzmacnianych drgań; istnieje kilka sposobów usuwania zniekształceń. Często stosowanym sposobem jest układ przeciwsobny (p.niżej § 17.).-

Wzmacniacz typu C.

Normalne warunki pracy tego wzmacniacza przedstawia rysunek 66. Ujemne napięcie siatki jest tak duże, że początkowy punkt pracy a znajduje się na lewo od początku charakterystyki. Wynosi ono na ogół: $\frac{2U_a}{K}$.

Zostaje więc wykorzystana tylko część dodatniego półokresu napięcia wzbudzającego, zatem czas trwania pojedynczego impulsu prądu anodowego jest krótszy od półokresu. Napięcie wzbudzające może być bardzo duże, tak że punkt pracy przesuwa się daleko w zakres dodatnich potencjałów siatki. Prąd siatki może więc być stosunkowo duży.

Wklęśnienia impulsów prądu anodowego, widoczne na rysunku, powstają dlatego, że w pewnej chwili (odpowiada jej punkt m na krzywej) napięcie siatki staje się większe od napięcia anodowego, skutkiem czego prąd anodowy gwałtownie maleje, oczywiście na korzyść prądu siatki.



Rys.66.

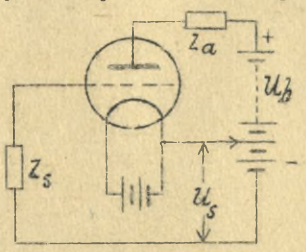
Wzmacniacze typu C znajdują zastosowanie wyłącznie w technice nadawczej, gdzie pracują one jako wzmacniacze mocy wielkiej częstotliwości (modulowanej w urządzeniach radiofonicznych, niemodulowanej w urządzeniach telegraficznych).-

4. Sposoby ujemnej polaryzacji siatki.

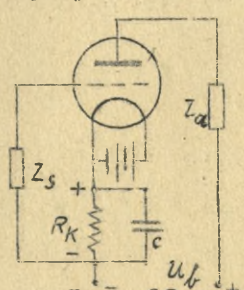
W lampach żarzonych z baterii (akumulatorów, ogniw) najprostszym sposobem ujemnego spolaryzowania siatki jest włączenie gw obwód siatki specjalnej baterii (rys.62.). Ujemną stroną tego sposobu jest zmiana napięcia skutkiem samowyładowania baterii.

Ujemne napięcie siatki może być czerpane z baterii anodowej przy pomocy odpowiedniego odgałęzienia, rys.67. Sposób ten posiada wadę poprzedniego.

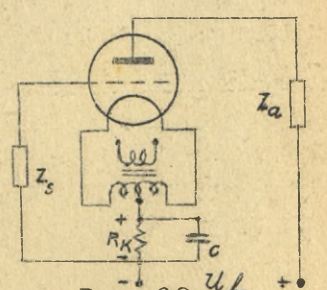
Najczęściej stosowanym w układach odbiorczych sposobem jest wykorzystanie spadku napięcia prądu anodowego w odpowie-



Rys.67.



Rys.68.



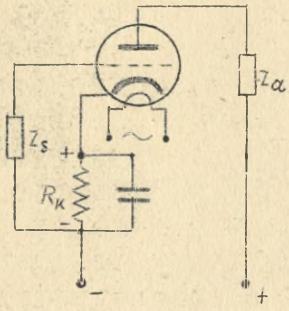
Rys.69.

dnio włączonym oporze. Rys.68. odnosi się do lampy żarzonej z baterii (lampa bateryjna). Prąd anodowy płynąc przez opór R_K, wywołuje w nim spadek napięcia; dolna końcówka oporu, a więc i siatka, posiada zatem potencjał ujemny w stosunku do

górnej końcówki, tzn. do katody. Kondensator C jest kondensatorem wyrównawczym, przez który zamyka się składowa zmienna prądu anodowego; unika się w ten sposób stratenergii składowej zmiennej w oporze R_K. Przez kondensator ten zamyka się także składowa zmienna obwodu siatki.

Układ dla lampy żarzonej bezpośrednio prądem zmiennym przedstawia rys.69, zaś dla lampy żarzonej pośrednio - rys.70.

Pojemność C jest rzędu ułamka mikrofarada dla wielkich częstotliwości. Dla małych częstotliwości wynosi kilka, kilkanaście i więcej mikrofaradów; im większa pojemność we wzmacniaczu małej częstotliwości, tym lepiej zostają przepuszczone tony niskie, a więc lepsza jest wierność odtwarzania; stosuje się tu kondensatory elektrolityczne.



Rys.70.

Dobór tej pojemności zależy ponadto od wielkości oporu R_K: im jest on mniejszy, tym większa musi być pojemność, tak aby zawsze opór pojemnościowy był znacznie mniejszy od oporu R_K. [1]

Ujemne napięcie dla siatki można także otrzymać przy pomocy odpowiednich układów potencjometrycznych, zasilanych np. z prostownika anodowego.-

5. Charakterystyka statyczna i dxnamiczna lampy wzmacniającej.

Charakterystyka statyczna wyraża zależność prądu anodowego od napięcia siatki w przypadku lampy zwartej, tzn. nie posiadającej w obwodzie anodowym obciążenia Z_a. Charakterystyka dynamiczna (inaczej charakterystyka obciążenia albo robocza) wyraża tę samą zależność w przypadku lampy obciążonej pewną opornością Z_a. Charakterystyki te zostały omówione w tomie I, rozdział XII, przy wyjaśnieniu zjawisk w obwodach lampy generacyjnej, której działanie, jak już zaznaczyliśmy, sprowadza się zasadniczo do działania wzmacniacza.

Powyższe charakterystyki będziemy w dalszym ciągu nazywać charakterystykami siatkowymi:

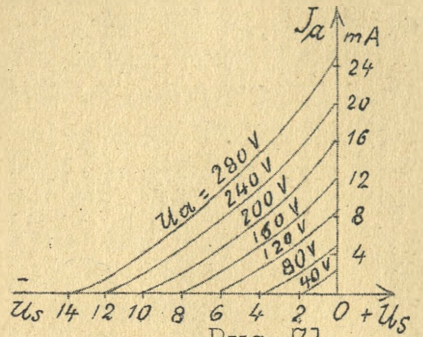
Na rys.71. przedstawiono rodzinę takich charakterystyk dla ujemnego zakresu potencjałów siatki.

Charakterystyką anodową nazywamy krzywą wyrażającą zależność prądu anodowego od napięcia anodowego. Zdejmuje się je przy pewnym stałym napięciu siatki. Przebieg ich przedstawia rys.72. Jak widzimy, przesuwają się one w prawo w miarę jak wzrasta ujemna polaryzacja siatki. Przyczyną tego jest fakt, że im wyższe jest ujemne napięcie siatki, tym silniejszy jest jej wpływ hamujący na elektrony, tym większe jest więc potrzebne napięcie anodowe, aby pojawił się prąd anodowy.

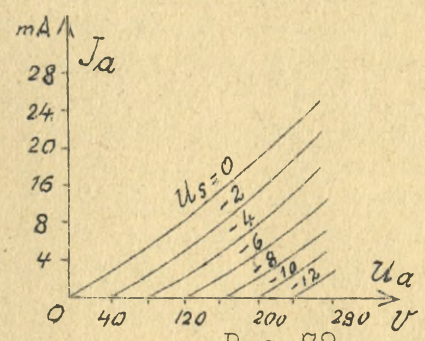
---

1) Porównaj str.32, § 5.-

Charakterystyki anodowe można łatwo wykreślić przy pomocy charakterystyk siatkowych w sposób następujący: przypuśćmy, że chcemy do tego celu wykorzystać charakterystyki siatkowe z rysunku 71.; dla pewnego stałego napięcia siatki, np. 0 woltów, odczytujemy wartości prądu anodowego, odpowiadające poszczególnym napięciom anodowym; wartości te odmierzamy w układzie współrzędnych prostokątnych - wg rys.72.- i poszczególne punkty łączymy ze sobą; otrzymujemy w ten sposób pierwszą charakterystykę prądu anodowego w funkcji napięcia anodowego przy napięciu siatki 0 woltów. To samo czynimy dla napięcia siatki -2, -4 woltów itd. Otrzymamy w rezultacie rodzinę charakterystyk anodowych statycznych.

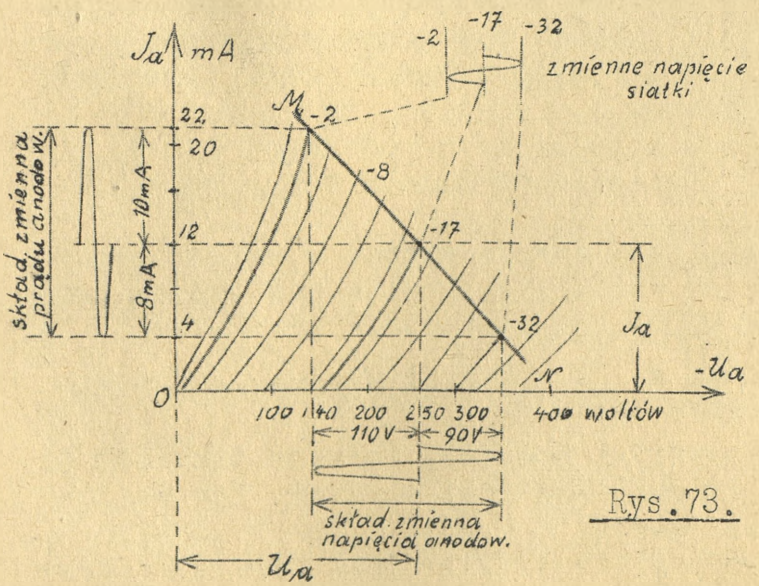


Rys.71.



Rys.72.

Charakterystykę anodową dynamiczną wykreśla się w sposób następujący (rys.73.): przyjmijmy dla uproszczenia, że opornością anodową Za jest czysty opór omowy Ra, wynoszący 11000 omów; napięcie źródła anodowego niech wynosi 382 V. Ujemne napięcie siatki niech wynosi -17 V; natężenie prądu anodowego wynosi wówczas 12 mA. Ujemne napięcie siatki oraz odpowiadający mu prąd anodowy wyznaczający początkowy punkt pracy na odpowiedniej charakterystyce anodowej. Punktowi temu odpowiada napięcie anodowe: U_a = 250 V. Jest to jeden punkt charakterystyki roboczej. Różnica pomiędzy napięciem źródła anodowego a napięciem anodowym wynosi tu 382-250 = 132 V. Jest to spadek napięcia w oporności Ra: $U_R = J_a \cdot R_a$ = = 0,012 x 11000 = 132 V.



Rys.73.

Niech amplituda napięcia wzbudzającego wynosi 15 V, tzn. napięcie siatki waha się od: -2 V do: -32 V. Przyjmijmy, że przy napięciu siatki: -2 V prąd anodowy wzrósł do 22 mA, spadek napięcia w oporności R_a wynosi wówczas: 0,022 x 11000 = = 242 V, zatem napięcie anodowe: 382 - 242 = 140 V. Otrzymujemy drugi punkt charakterystyki roboczej. Dla napięcia siatki: -32 woltów prąd anodowy spada do 4 mA; spadek napięcia w oporności R_a wynosi: 0,004 x 11000 = 44 V; zatem napięcie anodowe: 382 - 44 = 338 V. Jest to trzeci punkt charakterystyki roboczej. Łącząc otrzymane punkty otrzymujemy charakterystykę roboczą M-N. Jak widać z rysunku, dla oporności anodowej omowej jest ona linią prostą, dlatego też wystarczy mieć tylko dwa punkty, aby ją wykreślić.

Gdy oporność obwodu anodowego, jak to bywa często w praktyce, jest opornością pozorną, wówczas charakterystyka robocza posiada kształt linii eliptycznej.

W powyższym przykładzie amplituda napięcia wzbudzającego wynosząca 15 V wywołuje wahania prądu anodowego od 4 mA do 22 mA oraz wahania napięcia anodowego od 140 V do mniej więcej 340 V. Wahania te nie są przy tym symetryczne (w stosunku do początkowego punktu pracy), co widać również z wykresu. Zjawisko to jest spowodowane dolnymi zakrzywieniami charakterystyk. Wynikają stąd zniekształcenia amplitudy wzmacnianych drgań.

Gdyby charakterystyka robocza przebiegała bardziej poziomo (tzn. gdyby opór anodowy R_a był większy), wówczas wahania potencjału siatki odbywałyby się w zakresie prostoliniijności charakterystyk; odcinek charakterystyki roboczej zawarty pomiędzy "-2" i "-17" stałby się równy odcinkowi zawartemu pomiędzy "-17" a "-32", a więc wahania prądu i napięcia anodowego byłyby symetryczne.

Jeżeli chodzi o wahania napięcia w oporności R_a, to, oczywiście, wielkość ich równa się dokładnie wahaniom napięcia anodowego.

Całkowita zmiana napięcia siatki wynosi w rozpatrywanym przykładzie 30 V (od -2 do -32 V), całkowita zaś zmiana napięcia anodowego prawie 200 V (od 140 do 338 V).

Stosunek tych napięć: $\frac{200}{30} = 6,5$ określa wzmocnienia napięciowe.

Nachylenie charakterystyki roboczej zależne jest od wielkości oporu anodowego: im opór ten jest większy, tym nachylenie jest mniejsze i na odwrót.

Z charakterystyki dynamicznej łatwo jest określić parametry dynamiczne lampy (nachylenie, współczynnik amplifikacji, oporność wewnętrzna).

B. Wzmocnienie mocy

Wzmocnienie mocy stosuje się w układach nadawczych (nadajniki obcowzbudne) oraz w układach odbiorczych na stopniu końcowym.

6. Określenie mocy użytecznej we wzmacniaczu typu A.

Moc wydzielona (oddana) przez składową zmienną w oporności Z_a jest to moc użyteczna. Wielkość jej zależy od szeregu czynników, które zostaną poniżej omówione.

Załóżmy naprzód, że w obwodzie anodowym znajduje się oporność omowa R_a. Biorąc pod uwagę wartość skuteczną składowej zmiennej prądu anodowego, znajdziemy moc użyteczną P_u ze wzoru:

$$1 \ldots\ldots P_u = I_a^2 \cdot R_a$$

Ponieważ wartość skuteczna prądu zmiennego równa się jego amplitudzie podzielonej przez $\sqrt{2}$, wzór powyższy możemy wyrazić inaczej:

$$2 \ldots\ldots P_u = \frac{I_{am}^2 R_a}{2}$$

Podstawiając na I_{am} wartość ze wzoru Barkhausena (str. 56.), otrzymamy:

$$3 \ldots\ldots P_u = \left(\frac{K \cdot V_{sm}}{\rho + R_a} \right)^2 \cdot \frac{R_a}{2}$$

Po otwarciu nawiasów oraz podzieleniu licznika i mianownika przez ρ^2:

$$4 \ldots\ldots \frac{\frac{K}{\rho} \cdot K \cdot V_{sm}^2 \frac{R_a}{\rho}}{2 \left(1 + \frac{R_a}{\rho} \right)^2}$$

Zastępując $\frac{R_a}{\rho}$ przez α, zaś $\frac{K}{\rho}$ przez S, znajdziemy ostatecznie:

$$5 \ldots\ldots P_u = \frac{V_{sm}^2}{2} \cdot K \cdot S \cdot \frac{\alpha}{(1+\alpha)^2}$$

Widzimy z tego wzoru, że moc wydzielana w oporności anodowej R_a jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy napięcia wzbudzającego. Ponadto korzystniejsza jest lampa, która przy jednakowych innych warunkach posiada większe K i S.

Przykład: Trioda głośnikowa AD1 jest obciążona opornością omową R_a = 2300 omów. Napięcie skuteczne wzbudzające wynosi 3,3 V. Obliczyć moc wydzielającą się w oporności anodowej.

Z katalogu lamp znajdujemy dla triody AD1: K = 4, S=6 mA/V, ρ = 670 omów.

Obliczamy naprzód amplitudę napięcia wzbudzającego: $V_{sm} = 3{,}3 \cdot \sqrt{2} = 4{,}6$ V;

$$\alpha = \frac{2300}{670} = 3{,}4$$

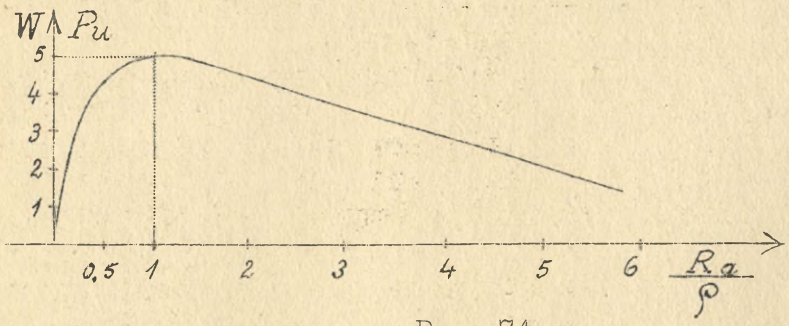
Liczby podstawiamy do wzoru:

$$P_u = \frac{4{,}6^2}{2} \cdot 4 \cdot \frac{6}{10^3} \cdot \frac{3{,}4}{(1+3{,}4)^2} \cong 0{,}05 \text{ W} = 50 \text{ mW}.$$

7. Maksymalna moc użyteczna we wzmacniaczu typu A.

Ze wzrostem α, tzn. ze wzrostem R_a moc użyteczna najprzód rośnie, osiąga maksimum dla $\alpha = 1$, tzn. dla $R_a = \rho$,

następnie maleje. Przebieg zależności: $P_u = f\left(\frac{R_a}{\rho}\right)$ przedstawia rys.74.



Rys.74.

Jak widzimy, zachodzi zgodność z pewnym podstawowym prawem elektrotechniki, mianowicie: moc wydzielona w obwodzie zewnętrznym (anodowym) jest największa wowczas, gdy opór tego obwodu (R_a) równa się oporowi wewnętrznemu źródła.

Zakładając więc we wzorze 5.: $R_a = \rho$, otrzymamy wzór na obliczenie maksymalnej mocy, która może się wydzielić w obwodzie anodowym przy danym napięciu wzbudzającym V_{sm}:

$$6 \ldots \quad P_u \max = \frac{K \cdot S}{8} \cdot V_{sm}^2 \quad \text{(watów)}$$

Jeżeli oporność obwodu anodowego jest opornością pozorną, wowczas moc użyteczna wynosi (dowód pomijamy):

$$P_u = \frac{K \cdot S}{2} \cdot V_{sm} \frac{\alpha}{1 + 2\alpha \cdot \beta + \alpha^2}$$

gdzie: $\alpha = \frac{Z_a}{\rho}$, $\beta = \frac{R_a}{Z_a}$, $Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_a^2}$

Widzimy więc, że i w tym przypadku moc użyteczna jest proporcjonalna do kwadratu napięcia wzbudzającego oraz iloczynu: K . S.

Krzywa wyrażająca zależność P_u od stosunku $\frac{Z_a}{\rho}$ posiada przebieg podobny do wykresu z rys.74. I tu również maksymalną moc uzyskuje się przy $Z_a = \rho$

Z faktu, że krzywa: $P_u = f(\alpha)$ posiada wierzchołek spłaszczony oraz, że z lewej strony jest bardziej stroma niż z prawej, wynikają następujące wnioski: po pierwsze, stosunek $\frac{R_a}{\rho}$ może być nieco różny od 1, co w niewielkim stopniu wpływa na moc oddaną. Nie jest więc koniecznym uzyskanie za wszelką cenę warunku $\rho = R_a$, co zresztą bardzo często w ogóle jest niemożliwe; po drugie lepiej jest wziąć α kilka razy większe od 1 niż w takim samym stosunku mniejsze, albowiem - jak widać z wykresu - wzrost oporu R_a, np.2 razy w stosunku do ρ, w mniejszym stopniu wpływa na obniżenie P_u niż dwukrotne jego zmniejszenie w stosunku do ρ.

Występujący w powyższych wzorach iloczyn: K . S stanowi współczynnik dobroci lampy. Jak już wyjaśniono w cz. I, strona 141, wyraża się on w miliwatach na wolt. Od jego

wielkości zależy - jak widzieliśmy - wielkość mocy użytecznej. Im większą dobroć posiada lampa, tym mniejsze jest potrzebne napięcie wzbudzające dla otrzymania żądanej mocy wyjściowej. Zatem przy danym napięciu wejściowym do wzmacniacza potrzeba mniej lamp wzmacniających.

Warunek $R_a = \varrho$ (bądź $Z_a = \varrho$) nazwiemy warunkiem optimum[1] wzbudzenia albo warunkiem maksimum mocy przy stałym wzbudzeniu. Układ pracuje wtedy najkorzystniej ze względu na oszczędność wzbudzenia.

Rozważania powyższe pozostają w mocy w przypadku zmiany położenia początkowego punktu na charakterystyce, byleby tylko wahania napięcia siatki odbywały się w zakresie prostolinijności charakterystyk, nie przybierając przy tym, oczywiście, wartości większych od zera.

Zaznaczyliśmy wyżej, że wzbudzenie przyjmujemy jako stałe. Co będzie, gdy napięcie wzbudzające V_{sm} wzrośnie ? Zgodnie ze wzorem 5. - zwiększy się wówczas moc użyteczna.

Zwiększenie napięcia anodowego U_a spowoduje - jak wiemy - wzrost składowej stałej J_a, jednakże moc użyteczna zmianie nie ulegnie, albowiem wielkość jej zależy od amplitudy składowej zmiennej.

Należy podkreślić, że warunek $\varrho = R_a$ tylko wtedy jest słuszny, jeżeli równocześnie zostają spełnione inne warunki pracy lampy wskazane przez konstruktora (np. właściwe napięcie anodowe, prąd anodowy). Może się bowiem często zdarzyć, że przy zastosowaniu oporu anodowego równego oporności wewnętrznej lampy prąd anodowy J_a staje się tak duży, że moc admisyjna (p.cz.I, str.28.), czyli obciążalność anody zostaje przekroczona. W tym więc przypadku definicja najkorzystniejszej oporności jest inna, mianowicie: jest nią ta, w której wydziela się największa moc w oporności R_a bez niebezpieczeństwa przeciążenia anody.

Mogłoby się także okazać, że przy spełnieniu warunku: $R_a = \varrho$ prąd anodowy pod wpływem napięcia wzbudzającego V_{sm} osiąga wartości przekraczające zdolność emisyjną lampy.

Warunek $R_a = \varrho$ nie oznacza jednak bynajmniej bezwzględnego maksimum mocy nieskażonej, którą wzmacniacz może oddać w odpowiednich warunkach.

Pierwszym z tych warunków jest tak dobrać początkowy punkt pracy, aby można było rozwinąć możliwie dużą amplitudę napięcia wzbudzającego V_{sm} bez obawy, że ujemny półokres wejdzie na części zakrzywione charakterystyk lub, co gorsza, w zakres, gdzie prąd anodowy spada do zera.

To najlepsze wykorzystanie lampy osiągnie się, gdy początkowy punkt pracy będzie połowił odcinek charakterystyki roboczej leżący pomiędzy charakterystyką $U_s = 0$ a dolnym i zakrzywieniami charakterystyk anodowych. W przypadku zaś charakterystyk siatkowych powinien, oczywiście, po-

1) optimum - po łacinie: "najlepszy".-

łowić charakterystykę roboczą pomiędzy osią Ja a dolnym zakrzywieniem charakterystyk.

Wielkość oporu anodowego zależy tu od z góry ustalonych przez konstruktora założeń, mianowicie:

1. Ustalone jest pewne dopuszczalne napięcie anodowe U_a, obciążalność anody jest stosunkowo bardzo duża, tak że nie ma obawy jej przekroczenia. Można więc wykorzystać cały prostoliniijny odcinek charakterystyki, oczywiście w granicach dopuszczalnych dla wzmacniacza typu A. Największa moc jest więc wówczas ograniczona prostoliniijnością charakterystyk. Jest to przypadek normalny dla lamp bardzo małej mocy (np.lampy odbiorcze dla wielkiej częstotliwości, małe lampy głośnikowe). Napięcie anodowe może tu być ograniczone nietyle ze względu na lampę ile raczej względami ekonomicznymi (np.zasilanie z baterii suchej). Dla takich lamp nie podaje się w katalogach mocy admisyjnej, gdyż moc tracona w anodzie jest tu zawsze znacznie mniejsza od admisyjnej.

   Otóż przy danym napięciu anodowym otrzymuje się największą moc niesłażoną, gdy oporność zewnętrzna równa się dwukrotnej oporności lampy, tzn. $R_a = 2\,\rho$.

2. Ustalona jest dopuszczalna obciążalność anody, napięcie anodowe można zmieniać w pewnych granicach. Przypadek ten stosuje się do lamp większej mocy (np.lampy modulacyjne nadajników).

Aby nie przekroczyć obciążalności anody P_a, należy, oczywiście, dobrać odpowiednie napięcie anodowe U_a oraz prąd anodowy J_a ($P_a = U_a \cdot J_a$). Jedną i tę samą moc P_a traconą w anodzie można uzyskać przy różnych kombinacjach U_a i J_a. Im wyższe napięcie U_a, tym mniejszy musi być prąd J_a. Otóż moc użyteczna rośnie tu z podwyższaniem napięcia anodowego, jednakże wymagany jest coraz to większy opór R_a, aby nie przekroczyć obciążalności anody.

Zatem w przypadku, gdy ustalona jest obciążalność anody, najkorzystniejsza oporność powinna być coraz to większa w miarę podwyższania napięcia anodowego U_a. Nie posiada więc ona jakiejś określonej wartości, ani też nie znajduje się w żadnym bezpośrednim związku z opornością wewnętrzną lampy.-

8. Sprawność wzmacniacza typu A.

Energia dostarczana do obwodu anodowego wzmacniacza przez źródło anodowe zostaje zużyta na wytworzenie drgań oraz na nagrzewanie anody. Zużycie energii jest więc dwojakiego rodzaju: przez prąd stały i przez prąd zmienny.

Gdy lampa jest w spoczynku, tzn. gdy w obwodzie siatki nie ma napięcia wzbudzającego, a między anodą i katodą występuje stałe napięcie U_a, to moc P_1 pobierana przez lampę wynosi: $P_1 = U_a \cdot J_a$.-

Wydziela się ona wewnątrz lampy w postaci ciepła na anodzie. Równocześnie, jeżeli w obwodzie anodowym znajduje się opór R, traci się w nim moc:

$$P_R = J_a^2 \cdot R_a$$

Całkowita więc moc P_b dostarczona przez źródło anodowe o napięciu U_b wynosi:

$$P_b = U_b \cdot J_a = P_1 + P_R$$

Gdy w obwodzie siatki pojawi się napięcie wzbudzające, to w obwodzie anodowym powstają składowe zmienne napięcia i prądu, dające w oporności R_a moc:

$$P_2 = \frac{I_{am}^2}{2} \cdot R_a,$$

którą przy bezindukcyjnym obciążeniu można wyrazić w postaci:

$$P_2 = \frac{V_{am} \cdot I_{am}}{2} \quad 1)$$

Dzięki temu, że przebiegi, zgodnie z założeniem, odbywają się na części prostoliniijnej charakterystyk, moc pobrana ze źródła anodowego nie ulega zmianie. Zmienia się natomiast moc wydzielona w anodzie lampy. Mianowicie zmniejsza się o wartość mocy użytecznej wydzielonej przez składową zmienną w oporności R_a. Z chwilą więc wzbudzenia lampy moc P_a wydzielona w wnodzie wynosi:

$$P_a = P_1 - P_2 = U_a J_a - \frac{V_{am} \cdot J_{am}}{2}$$

Moc stracona w anodzie jest więc wówczas różnicą między mocą spoczynkową pobraną przez lampę a mocą prądu zmiennego otrzymaną na oporze zewnętrznym.

Stąd wniosek, że we wzmacniaczu typu A obciążenie anody lampy jest największe, gdy lampa znajduje się w spoczynku, maleje zaś w miarę wzrostu amplitudy napięcia wzbudzającego.

Dlatego też przy wyborze punktu pracy należy pamiętać, aby moc doprowadzona do lampy nie przekraczała obciążalności (mocy admisyjnej) anody. W tym celu w wykresie charakterystyk wrysowana jest zawsze tzw. krzywa obciążalność anody (p. niżej rys. 80, linia P-Q). Punktu pracy nie wolno, oczywiście, obierać powyżej tej krzywej.

Sprawnością η lampy w odniesieniu do obwodu anodowego nazwiemy stosunek otrzymanej mocy prądu zmiennego (mocy użytecznej) P_2 do mocy prądu stałego doprowadzonej do lampy:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{V_{am} \cdot I_{am}}{2}}{U_a \cdot J_a} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{am}}{U_a} \cdot \frac{I_{am}}{J_a}$$

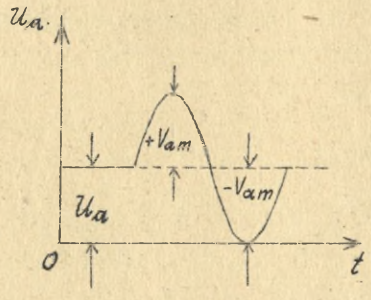
Moc użyteczna jest tym większa, a więc straty w lampie są tym mniejsze, im większe są amplitudy napięcia i prądu

---

1) $\frac{I_{am}^2 \cdot R_a}{2} = \frac{I_{am} \cdot I_{am} \cdot R_a}{2} = \frac{I_{am} \cdot V_{am}}{2}$

składowej zmiennej w obwodzie anodowym.

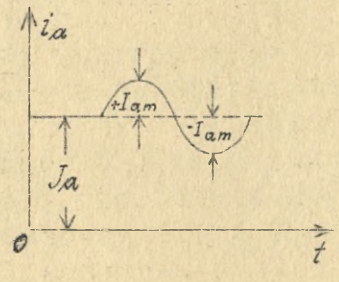
Stosunek $\frac{V_{am}}{U_a}$ występujący w powyższym wzorze nazwiemy współczynnikiem wykorzystania napięcia anodowego. Wynosi on zwykle od 0,5 do 0,9. Teoretycznie zawiera się on w granicach od 0 (a więc drgan nie ma) do 1 ($U_a = V_{am}$, rys.75.). Ta ostatnia wartość jest jednak nierealna, albowiem wówczas napięcie anodowe spada chwilami do zera, tymczasem prąd anodowy ma wówczas osiągnąć maksimum, co -fizycznie biorąc - jest niemożliwe (prąd nie może bowiem płynąć, gdy napięcie równa się zeru); ponadto pojawia się w tych momentach duży prąd siatki.



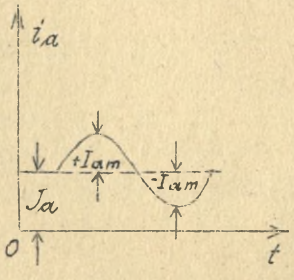
Rys.75.

Rozpatrzmy teraz związek pomiędzy sprawnością a wielkością mocy użytecznej.

Weźmiemy przy tym pod uwagę trzy charakterystyczne przypadki omówione w paragrafie poprzednim. Zaczniemy od warunku: $R_a = \rho$, stosującego się do przypadku, gdy dane jest pewne napięcie wzbudzające siatki. Przebieg prądów w obwodzie anodowym przedstawia rys.76. Jest to przykład złego wykorzy-



Rys.76.



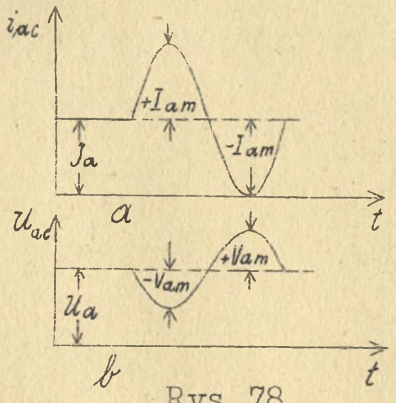
Rys.77.

stania lampy, albowiem J_a jest znacznie większe od I_{am}, sprawność więc jest bardzo mała. Aby ją powiększyć, należy obniżyć wartość składowej stałej J_a, przesuwając początkowy punkt pracy ku dołowi charakterystyki siatkowej, tak jednak aby praca lampy odbywała się nadal w zakresie prostolinijnym charakterystyki. Przy tym samym I_{am} sprawność wówczas wzrośnie (rys.77.).

Jak więc widzimy, sprawność zależy tu od obranego punktu pracy oraz od wielkości napięcia wzbudzającego.

Weźmiemy teraz pod uwagę przypadek $R_a = 2\rho$, tzn. przypadek największej mocy nieskażonej, którą może oddać lampa przy danym napięciu anodowym. Otóż z rozważań matematycznych wynika, że sprawność lampy wynosi wówczas tylko 25% i to przy założeniu zupełnej prostolinijności charakterys-

tyk. W rzeczywistości więc sprawność jest mniejsza od podanej. Przebieg prądu anodowego przedstawia wykres a na rys. 78., zaś przebieg napięcia anodowego - wykres b. Wzięto tu pod uwagę przypadek teoretyczny zupełnej prostolinijności charakterystyk, dlatego też amplituda Iam jest tu równa prądowi spoczynkowemu Ja; amplituda napięcia zmiennego V_{am} równa się w tych warunkach połowie napięcia anodowego U_a.



Rys. 78.

Jak więc widzimy, najdogodniejsza oporność anodowa, określona zresztą sposobem czysto matematycznym, daje małą korzyść praktyczną (szczególnie w odniesieniu do wzmacniaczy mocy) ze względu na nieznaczny współczynnik sprawności. Straty mocy w anodzie są tu trzykrotnie większe od mocy użytecznej.

Zwiększyć sprawność można bądź przez zwiększenie I_{am}, bądź przez zwiększenie V_{am}. Powiększyć I_{am} w danym przypadku (wzmacniacz A) już nie można (bo $I_{am} = J_a$), można natomiast powiększyć V_{am}, tzn. należy zwiększyć napięcie na zaciskach oporności R_a. Jest to właśnie jedyny sposób poprawienia sprawności lampy. Aby zaś zwiększyć napięcie zmienne, należy przy tym samym prądzie Ia zwiększyć oporność Ra, tym samym więc warunek najkorzystniejszej oporności przestanie wówczas istnieć. Można w ten sposób (tzn. przez zwiększenie R_a) osiągnąć teoretycznie sprawność 50%, wówczas jednak powinno być $V_{am} = U_a$, co - jak już zaznaczono - jest niemożliwe (albowiem napięcie na anodzie spada wówczas chwilami do zera). Praktycznie więc, największa sprawność jest mniejsza od 50%.

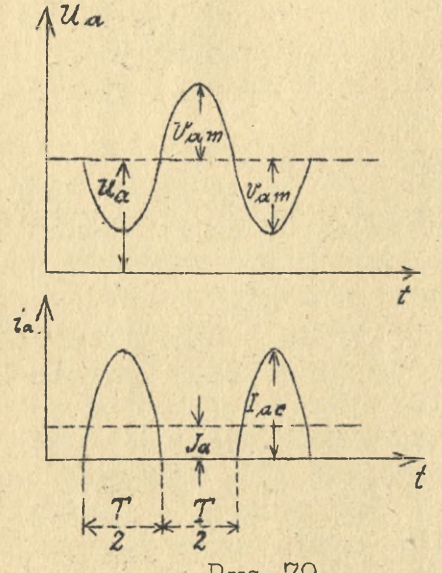
Jeżeli wreszcie chodzi o przypadek ograniczonej obciążalności anody, to moc użyteczna, a zarazem i sprawność lampy (przy stałej mocy P_a traconej w anodzie), rosną z podwyższeniem napięcia anodowego, jednakże równocześnie wymagany jest coraz większy opór R_a, w przeciwnym razie obciążalność anody zostałaby przekroczona. Teoretycznie sprawność dochodzi do 50%, praktycznie jednak, nawet w lampach wielkiej mocy (w nadajnikach) sprawność nie przekracza 30%.-

9. Moc użyteczna i sprawność wzmacniacza typu B i C.

Jak już wyjaśniliśmy, celem zwiększenia sprawności należy - przy stałych Iam i Vam - zmniejszyć moc: Ua Ja składowej stałej prądu anodowego, zmniejszają się bowiem wówczas straty na anodzie. Można to osiągnąć, zmniejszając Ja. Je-

żeli chodzi o U_a, to zmniejszyć go nie można bez pogorszenia warunków pracy lampy. Składowa zaś stała J_a będzie, oczywiście, tym mniejsza, im dłuższe będą przerwy pomiędzy impulsami prądu anodowego, bowiem w przypadku wzmacniacza typu B lub C składowa ta równa się średniej wartości tych impulsów (rys.79.).

Celem uzyskania takich warunków pracy należy -jak wiemy - udzielić siatce odpowiedni potencjał ujemny, tak że początkowy punkt pracy przesuwa się na początek charakterystyki, a nawet jeszcze bardziej w lewo. Wówczas, ściśle biorąc, nie mamy już do czynienia z prawidłowym wzmocnieniem lecz z detekcją napięcia wzbudzającego; ten sposób pracy lampy jest bowiem podstawa działania detekcji anodowej. Przy takim przebiegu prądu straty mocy na anodzie występować mogą jedynie w czasie przepływu prądu przez lampę, rys.79., a więc tylko w czasie pewnego ułamka okresu, w pozostałej zaś części okresu straty są równe zeru. Ponadto straty te występują w czasie, gdy napięcie anodowe jest stosunkowo niskie, wobec czego i chwilowe wartości tych strat są niewielkie.



Rys.79.

We wzmacniaczu typu B składowa stała J_a prądu anodowego (równa średniej wartości impulsów), podobnie jak przy prostowaniu jednokierunkowym, wynosi:

$$J_a = \frac{I_{ac}}{\pi}$$

Moc doprowadzona do lampy: P_1 oblicza się ze wzoru:

$$P_1 = \frac{U_a \cdot I_{ac}}{\pi} = U_a \cdot J_a$$

zaś moc użyteczna ze wzoru:

$$P_2 = \xi \frac{U_a \cdot I_{ac}}{4},$$

gdzie ξ (grecka litera "ksi") jest współczynnikiem wykorzystania napięcia anodowego.

Sprawność otrzymamy, dzieląc P_2 przez P_1:

$$\eta = \frac{\frac{\xi \, U_a \, I_{ac}}{4}}{\frac{U_a \cdot I_{ac}}{\pi}} = \frac{\pi}{4} \xi .$$

Sprawność jest więc funkcją współczynnika wykorzystania napięcia anodowego. Zależy ona także od czasu trwania impulsów (wzmacniacz C): rośnie mianowicie w miarę skracania tego czasu; jednakże skrócenie poniżej $\frac{T}{4}$ nie daje

znaczniejszej korzyści.

Czas trwania impulsów zależy od napięcia początkowego siatki oraz od amplitudy napięcia wzbudzającego. Wielkość współczynnika ξ jest ustalona przez amplitudę napięcia wzbudzającego i opór R_a obwodu anodowego.

Wielkość oporu zewnętrznego powinna być dostosowana do długości (czasu trwania) impulsów prądu anodowego: im są one krótsze, tym większy musi być opór anodowy celem powiększenia sprawności.

Zbyt mały opór anodowy powoduje zmniejszenie mocy użytecznej oraz pogorszenie sprawności. Zwiększenie zaś oporu R_a powyżej wartości właściwej może nawet początkowo wywołać wzrost mocy, przy dalszym jednak zwiększeniu moc spada, albowiem wówczas napięcie anodowe w czasie dodatnich półokresów nadmiernie obniża się, równocześnie zaś powstający duży prąd siatki powoduje zmniejszenie się I_{am}.

Spadek mocy użytecznej występuje, oczywiście, również i w przypadku zbyt wysokiego napięcia wzbudzającego, a to ze względu na nadmierny wzrost prądu siatkowego.

Dla wzmacniacza C najkorzystniejszy opór Z_a można obliczyć ze wzoru:

$$Z_a = \frac{\xi U_a}{I_{am}} \quad 1)$$

dla wzmacniacza zaś typu B powyższe równanie przekształca się na:

$$Z_a = 2\,\frac{\xi U_a}{I_{ac}}$$

Najwyższa sprawność wzmacniaczy typu B nie przekracza 78,5%; we wzmacniaczach typu C dochodzi w przybliżeniu do 90%.-

10. Wnioski.

Z rozważań poprzednich paragrafów wynika więc, że najkorzystniejsza wielkość oporu anodowego zależy od szeregu warunków, między innymi od: dopuszczalnego obciążenia anody, wielkości napięcia anodowego, zakrzywienia charakterystyk; zaś we wzmacniaczach pracujących odcinkami sinusoid (tzn. impulsami prądu anodowego) od czasu trwania impulsów. Pierwsze trzy warunki są dla każdego typu lamp inne. Dlatego też - jak widzieliśmy - nie ma żadnego ogólnego, prostego prawa matematycznego obowiązującego we wszystkich przypadkach określania najkorzystniejszego oporu anodowego. Opór ten posiada dla każdego typu lamp określoną wartość, która bardzo często nie znajduje się w żadnym bezpośrednim prostym związku z oporem wewnętrznym lampy.

Najkorzystniejsza oporność jest zwykle podana przez wytwórnię w katalogu lamp.-

11. Przybliżone obliczenie mocy użytecznej (wyjściowej) triody.

Dla triody małej częstotliwości z oporem omowym R_a

1) I_{am} = amplituda składowej zmiennej prądu anodowego, którą jest częstotliwość podstawowa tego prądu (prąd odkształcony);

$$I_{am} = \frac{I_{ac}}{2}$$

w obwodzie anodowym moc użyteczną można w przybliżeniu obliczyć ze wzoru:

$$P_2 = \frac{K^2 V_{sm}^2 R_a}{2 (\varrho + R_a)^2},$$

w którym K jest współczynnikiem amplifikacji. W przypadku: $R_a = 2\varrho$, to znaczy dla warunku największej mocy nieskażonej, wzór powyższy przybiera postać:

$$P_2 = \frac{K^2 \cdot V_{sm}^2}{9\varrho} \quad 1)$$

Przykład. Dla triody AD1 najwyższe napięcie wzbudzające: $V_s = 30$ V; $K = 4$, $R_a = 2300$ omów, $\varrho = 670$ omów; znaleźć P_2.

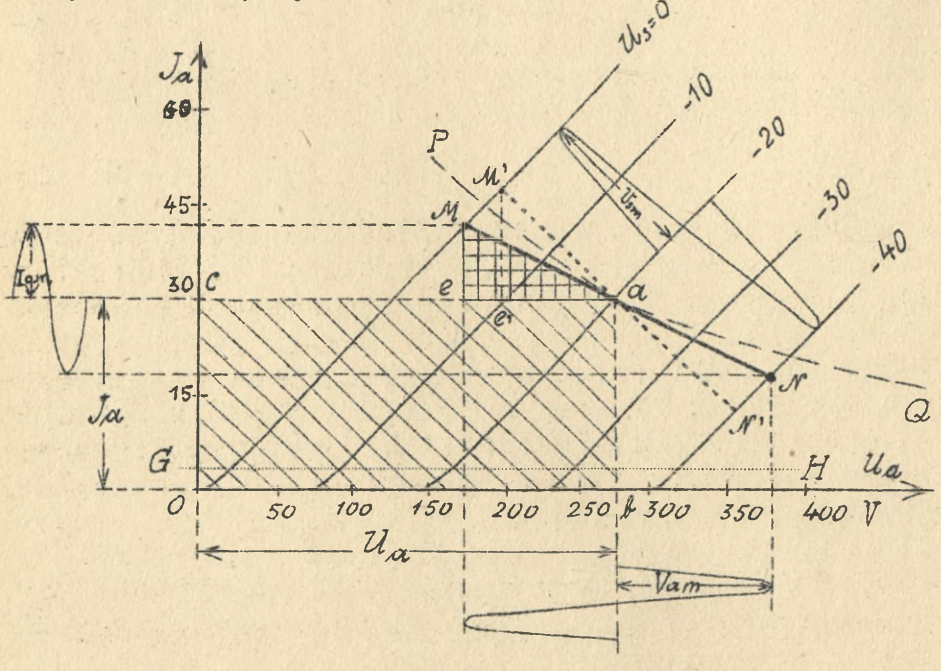
Amplituda V_{sm} napięcia wzbudzającego wynosi: $V_{sm} = V_s \times \sqrt{2} = 30 \times 1{,}4 = 42$.

$$P_2 = \frac{4^2 \cdot 42^2 \cdot 2300}{2 (670 + 2300)^2} = 3{,}7 \text{ W}$$

Według danych katalogowych - powinno być: $P_2 = 4{,}2$ W.

12. Graficzne określenie mocy przy pomocy charakterystyki roboczej.

Do obliczenia mocy zarówno doprowadzonej jak i użytecznej można wykorzystać charakterystykę roboczą: bądź siatkową, bądź anodową. Do obliczenia wykorzystamy poniżej charakterystykę anodową, rys.80.



Rys.80.

Rozpatrzymy przypadek wzmacniacza typu A. Załóżmy, że obciążalność anody P_a wynosi 8,25 W. Jeżeli napięcie anodowe wynosi 275 V, to natężenie prądu anodowego obliczymy

1) Por. wz.5.i 6. na str.67 i 68.-

z zależności: $P_a = U_a \cdot J_a$; więc $J_a = \frac{P_a}{U_a} = 30$ mA. Aby taki prąd uzyskać, należy - jak to widać z wykresu - udzielić siatce początkowy potencjał: -20 V. Gdybyśmy obrali inne napięcie anodowe, np. wyższe, to prąd anodowy należałoby wówczas zmniejszyć, aby nie przeciążyć anody. W tym celu należałoby obniżyć bardziej potencjał siatki. I tak np., dla napięcia anodowego $U_a = 350$ V maksymalny prąd anodowy J_a powinien wynosić około 24 mA, napięcie siatki powinno zatem wynosić około: -34 V.

Linia, na której znajdują się punkty maksymalnego obciążenia anody, stanowi krzywą hyperboliczną; jest ona na wykresie uwidoczniona linią przerywaną P-Q. Obciążenie lampy, a więc opór anodowy, należy tak dobrać, aby w czasie działania lampy punkt pracy nie przesuwał się przejściowo ponad tą linię.

Ponieważ układ ma być wzmacniaczem typu A, wobec tego natężenie prądu anodowego nie powinno spadać poniżej linii przerywanej G-H, albowiem wówczas praca lampy będzie się odbywała częściowo na zakrzywieniu.

Oporność wewnętrzną lampy znajdziemy ze stosunku:

$$\rho = \frac{\Delta U_a}{\Delta J_a}$$

przy U_s = const. I tak, dla U_s = -10 V oporność ρ wynosi około 5000 omów. Ponieważ charakterystyki są do siebie równoległe, wobec tego taką samą wartość znajdziemy dla innych wartości Us.

Niech początkowy punkt pracy znajduje się w punkcie a, tzn. że $U_a = 275$ V, $J_a = 30$ mA, $U_s = -20$ V.

Załóżmy dalej, że oporność anodowa R_a wynosi 10000 omów, amplituda napięcia wzbudzającego V_{sm} wynosi 20 V, charakterystyka robocza posiada wówczas przebieg wskazany na wykresie (prosta M-N).

Moc wydzielona w spoczynku na anodzie, równa w tym przykładzie mocy admisyjnej, wynosi: $P_a = U_a \cdot J_a = 275 \times 0{,}030 = 8{,}25$ W. Odpowiada ona prostokątowi: acOb (bok Ob stanowi napięcie anodowe U_a, bok cO odpowiada prądowi anodowemu J_a). Moc użyteczna: $P_u = V_a \cdot I_a = \frac{V_{am} I_{am}}{2}$; otóż $V_{am} \cong 110$ V, $J_{am} = 11$ mA, zatem $P_a = \frac{110 \cdot 0{,}011}{2} = 1{,}21$ W. Z rysunku widać, że iloczyn: $\frac{V_{am} \cdot I_{am}}{2}$ daje powierzchnię trójkąta aMe [1]; która w porównaniu z powierzchnią prostokąta acOb jest niewielka. Sprawność układu jest więc bardzo mała.

Aby ją powiększyć, należy 1) bądź powiększyć powierzchnię trójkąta aMe, 2) bądź zmniejszyć powierzchnię prostokąta acOb, 3) bądź też równocześnie wykonać obie operacje.

- -

1) Bok ea odpowiada liczbowo amplitudzie Va, zaś bok eM - amplitudzie Ia.-

1) Powiększyć powierzchnię trójkąta przez wydłużenie boku aM, tzn. przez powiększenie napięcia wzbudzającego, nie można, albowiem pojawi się wówczas prąd siatki. Powiększenie powierzchni trójkąta jest tu tylko możliwe przez zmianę nachylenia charakterystyki obciążenia MN, co oznacza zmianę oporności R_a. Sposobem czysto geometrycznym można wykazać, że największą powierzchnię trójkąta otrzymamy, gdy zostanie spełniony warunek: $R_a = \rho$. Moc odpowiada wówczas trójkątowi: aM'e'. Jest to maksimum mocy. Charakterystyką obciążenia jest wówczas prosta M'N'. Jednakże z wykresu widać, że obciążalność anody zostaje wówczas przekroczona, gdyż lewa połowa prostej M'N' przebiega ponad linią hiperboliczną PQ. Aby więc nie przekraczać dopuszczalnego obciążenia, należy zmniejszyć moc użyteczną, dobierając inne R_a. W danym przykładzie nie da się więc spełnić warunku $\rho = R_a$.

Przypadek powyższy stanowi przykład niewłaściwego dobrania warunków pracy (początkowy punkt pracy, obciążenie) generatora.

2) Powierzchnię prostokąta acOb można zmniejszyć przy danym napięciu wzbudzającym przez skrócenie jego boków, tzn. przez zmniejszenie U_a i J_a.

Jeżeli napięcie polaryzujące siatki ma pozostać bez zmiany (-20 V), to należy zmniejszyć U_a, tym samym więc zmniejszy się i J_a. Charakterystyka robocza przesunie się wówczas ku dołowi, równolegle do linii MN. Moc użyteczna, a więc sprawność da się następnie zwiększyć przez dopasowanie R_a. Maksimum mocy uzyska się dla $R_a = \rho$.

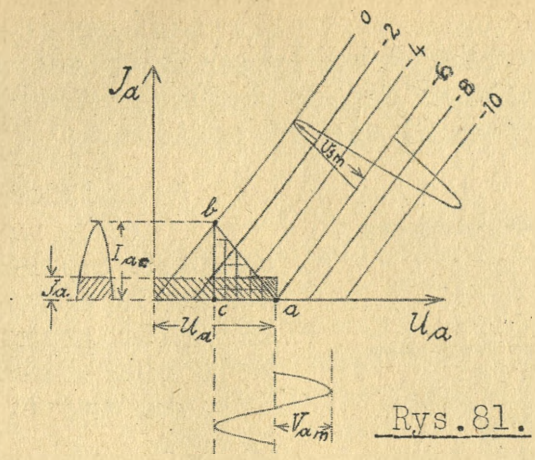
Zmniejszyć powierzchnię tego prostokąta można także przez zredukowanie tylko J_a, pozostawiając U_a bez zmiany; w tym celu należy powiększyć ujemny potencjał siatki (np. z −20 V do -25 V), tak jednak aby charakterystyka obciążenia przy warunku $R_a = \rho$ nie zachodziła na dolne zakrzywienie charakterystyk statycznych.

3) Możliwe jest wreszcie równoczesne powiększanie mocy użytecznej i zmniejszenie mocy wydzielonej w anodzie, mianowicie przez przesuwanie punktu a w prawo wzdłuż linii PQ. Oznacza to konieczność powiększenia ujemnego potencjału siatki, napięcia anodowego U_a oraz oporu anodowego R_a. Moc użyteczna, a więc i sprawność zwiększa się wówczas ze wzrostem R_a.

Rozpatrzmy jeszcze przykład graficznego obliczania mocy dla wzmacniacza klasy B, rys. 81. Przyjęto tu dla uproszczenia prostolinijny przebieg charakterystyk statycznych. Początkowy punkt pracy znajduje się w a. Moc użyteczną P_a znajdziemy, podobnie jak poprzednio, ze wzoru:

$$P_a = \frac{V_{am} \cdot I_{am}}{2}$$

Natomiast moc wydzieloną w anodzie znajdziemy ze wzoru:



Rys.81.

$$P_a = U_a \cdot J_a$$

przy czym J_a jest to średnia wartość prądu anodowego (średnia wartość prądu wyprostowanego) równa

$$\frac{I_{ac}}{\pi}$$

Z powyższych przykładów widzimy, że dla osiągnięcia możliwie dużej sprawności początkowy punkt pracy powinien znajdować się możliwie nisko.-

C. Zniekształcenia we wzmacniachach lampowych

13. Rodzaje zniekształceń.

Idealny wzmacniacz klasy A odtwarza napięcie wzbudzające siatki z zupełną, praktycznie, wiernością.

Zniekształcenia występujące we wzmacniaczu, powodują, że przebieg prądu anodowego jest odmienny niż przebieg napięcia wzbudzającego. Rozróżniamy następujące zniekształcenia we wzmacniaczach:

A. Zniekształcenie amplitudy (inaczej nieliniowe),
B. Zniekształcenie częstotliwości (inaczej liniowe)
C. Zniekształcenie fazy.-

14. Zniekształcenie amplitudy.

Polega ono na pojawieniu się w prądzie wzmocnionym częstotliwości, których nie zawiera napięcie wzbudzające. Zniekształcenie to występuje we wzmacniaczu skutkiem spłaszczenia wierzchołka jednego lub obu półokresów prądu zmiennego. Spłaszczenie to powstaje skutkiem istnienia prądu siatki i z powodu zakrzywienia charakterystyk prądu anodowego. Jeżeli chodzi o tę ostatnią przyczynę zniekształceń, to w triodach jest nią dolne zakrzywienie charakterystyk.

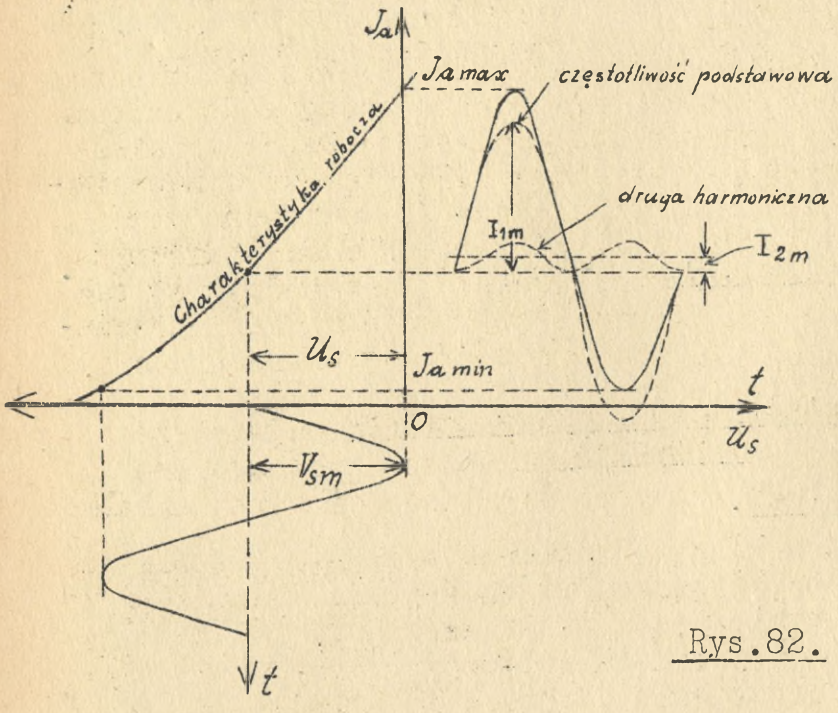
Niech punkt pracy znajduje się w a, rys.82. W tych warunkach spłaszczeniu ulegnie jeden półokres prądu zmiennego, jak to widać w prawej części wykresu. Otóż krzywa taka daje się rozłożyć na częstotliwości harmoniczne, których nie było w napięciu wzbudzającym. Stopień zniekształcenia k, zwany współczynnikiem chrypienia, określa się ze stosunku:

$$k = \frac{\sqrt{I^2_{2m} + I^2_{3m} + I^2_{4m} + \dots}}{I_{1m}},$$

w którym I_{2m}, I_{3m}, I_{4m} są to amplitudy składowych częstotli-

wości harmonicznych, I_{1m} - amplituda częstotliwości podstawowej.[1] Ponieważ w większości przypadków praktycznych można w lampach trójelektrodowych ograniczyć się do drugiej harmonicznej, przeto wzór powyższy sprowadzi się do postaci:

$$k = \frac{I_{2m}}{I_{1m}}$$

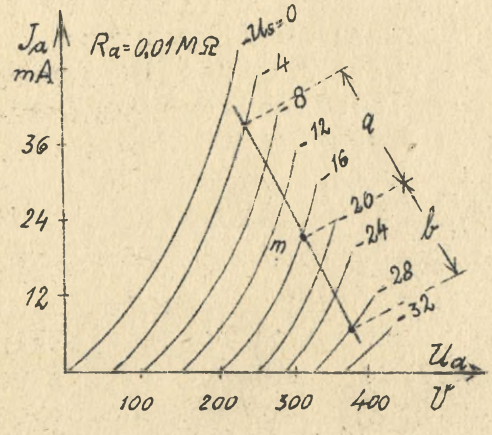


Rys.82.

Stopień zniekształcenia można określić przy pomocy charakterystyk anodowych, rys.83. Niech punkt m będzie początkowym punktem pracy, amplituda napięcia wzbudzającego niech wynosi 12 V. Zniekształcenie obliczymy przy pomocy wzoru:

$$k = \frac{a - b}{2\,(a+b)}$$

Jeżeli odcinki a i b wyrazimy w milimetrach (a = 17 mm, b =13,5mm), to dla powyższego przykładu znajdziemy współczynnik zniekształcenia: k = 0,057 lub k = 5,7%.



Rys.83.

Długość odcinków a i b zależy od nachylenia charakterystyki roboczej, a więc od oporu anodowego R_a.

Współczynnik chrypienia może być także określony drogą pomiarów. W tym celu mierzy się napięcie zmienne na wyjściu lampy: raz po przejściu badanego prądu przez filtr eliminujący harmoniczne, drugi raz po przejściu przez filtr eliminujący częstotliwość podstawową. Stosunek obu napięć daje współczynnik chrypienia.

Z doświadczenia wynika, że gdy chodzi o układy odbiorcze, to już zniekształcenie 2,5% jest dostrzegalne. Jednakże wiele osób spostrzega zniekształcenie dopiero powyżej 15%.

1) Częstotliwość podstawowa stanowi składową zmienną prądu anodowego.-

WOJ. 15 p. p.

Dla triody głośnikowej najwyższe dopuszczalne zniekształcenie powinno wynosić 5%. W katalogach lamp podaje się je dla maksymalnej mocy użytecznej. Dla przykładu z rys.83. zniekształcenie nie przekracza 5%, gdy stosunek $\frac{b}{a}$ jest większy od $\frac{9}{11}$.

Ściśle biorąc, dopuszczalna granica zniekształceń odnosi się nie do pojedynczego stopnia wzmacniacza, a do całości urządzenia. Bowiem w urządzeniach wielostopniowych zniekształcenia poszczególnych stopni sumują się, tak że wymagania stawiane pojedynczemu stopniowi powinny być surowsze.

Należy wreszcie podkreślić, że znaczenie harmonicznych zależy w dużej mierze od częstotliwości podstawowej. I tak np., przy wysokich tonach (ponad 3000-4000 c/s) harmoniczne, zwłaszcza wyższych rzędową, leżą przeważnie w zakresie mniejszej czułości ucha i przyrządu odtwarzającego. Natomiast tony niskie dają harmoniczne leżące w granicach największej czułości ucha. Dlatego też wymagania co do współczynnika chrypienia powinny być ostrzejsze dla tonów niższych niż dla tonów wysokich.

Aby uniknąć zniekształceń, należy odpowiednio dobrać warunki pracy lampy, na które składają się trzy czynniki:

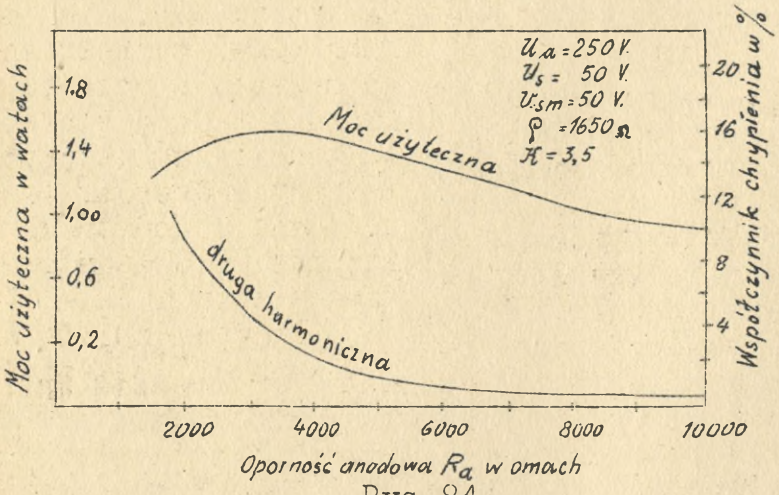
1) obciążenie obwodu anodowego,
2) początkowy punkt pracy,
3) dopuszczalna amplituda napięcia wzbudzającego.

Wybór najkorzystniejszego oporu anodowego opiera się na rozważaniach paragrafów poprzednich. Okazuje się przy tym, że zniekształcenie maleje ze wzrostem oporności anodowej, co z kolei pokrywa się zasadniczo z wymaganiami co do zwiększenia sprawności. Zmniejszanie oporu anodowego poniżej wartości, określonej dopuszczalnym współczynnikiem chrypienia, powoduje bardzo szybki wzrost zniekształceń; widać to dobrze na wykresie, rys.84, (odnoszącym się do triody amerykańskiej, typ 45).

15. Zniekształcenie częstotliwości.

Jest ono spowodowane niejednakowym wzmocnieniem wszystkich częstotliwości zawartych we wzmacnianym sygnale. Przyczyną zaś nierównomiernego wzmacniania są przede wszystkim organa sprzęgające: Z_s i Z_a, które niejednakowo reagują na różne częstotliwości. Np., gdy obciążenie obwodu anodowego posiada charakter indukcyjny, to wówczas dla małych częstotliwości oporność anodowa jest mniejsza niż dla wyższych, wzmocnienie napięciowe będzie zatem dla mniejszych częstotliwości słabsze.

We wzmacniaczach wielkiej częstotliwości obwody zbyt selektywne obcinają skrajne częstotliwości boczne widma modulacji, co w rezultacie oznacza stłumienie wysokich tonów.



Rys.84.

We wzmacniaczach małej częstotliwości tony wysokie zostają tłumione przez bocznikujące działanie przypadkowych pojemności, równoległych do oporów sprzęgających Z_s i Z_a. Tony niskie zostają tłumione skutkiem zmniejszania się oporu zewnętrznego(anodowego) o ile jest nim indukcyjność.

16. Zniekształcenia fazowe.

Polegają one na tym, że przejście przez wzmacniacz powoduje przesunięcia (w czasie) pomiędzy poszczególnymi wzmacnianymi częstotliwościami (przesunięcia fazowe). Jednakże, dzięki temu, że ucho reaguje na poszczególne częstotliwości bez względu na ich fazy, zniekształcenia te nie są groźne pod warunkiem jednak, że nie stają się zbyt duże.-

17. Układ przeciwsobny.

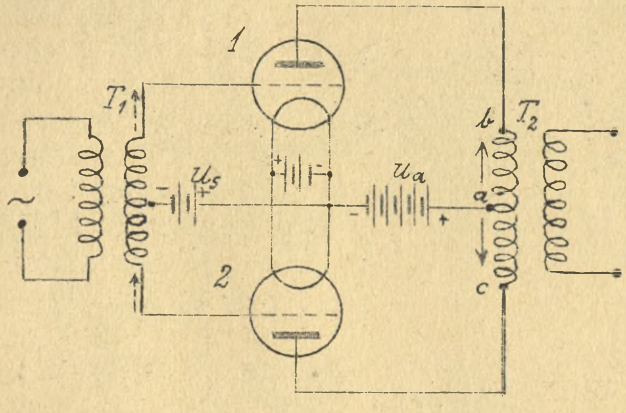
Układ przeciwsobny umożliwia znaczne zmniejszenie zniekształcen amplitudy. Znajduje on zastosowanie we wzmacnia - czach A, jednakże jest szczególnie użyteczny we wzmacniaczach typu B, gdzie - jak wiemy - zniekształcenia są szczególnie silne.

Jako wzmacniacz wielkiej częstotliwości, układ ten znajduje zastosowanie w układach nadawczych (wzmocnienie mocy). Jako zaś wzmacniacz małej częstotliwości, znajduje zastosowanie szczególnie na stopniu koncowym, jako wzmacniacz mocy.

Zasadniczy schemat układu przedstawia rys.85. Wtórne uzwojenie transformatora wejściowego T_1 posiada odgałęzienie wyprowadzone ze środka, za pomocą którego doprowadzamy do siatek niezbędne ujemne napięcie. Pierwotne uzwojenie transformatora wyjściowego T_2 posiada również odgałęzienie w środku, za pomocą którego doprowadzamy do obu lamp napięcie anodowe.

Gdy napięcia wzbudzającego nie ma, to przez uzwojenie pierwotne T_2 płynie prąd stały, przy czym prądy w obu połówkach: a-b i a-c mają kierunki przeciwne, wskazane strzałkami pełnymi. Jeżeli więc transformator T_2 posiada rdzeń żelazny (układ dla małej częstotliwości), to rdzeń ten nie ulega wów-

czas namagnesowaniu, albowiem strumienie magnetyczne wytworzone przez obie połówki znoszą się. Nie ma więc obawy magnetycznego nasycenia rdzenia przez składową stałą, co pozwala zmniejszyć wymiary rdzenia. Jest to jedna z dodatnich stron tego układu we wzmacniaczu m.cz.



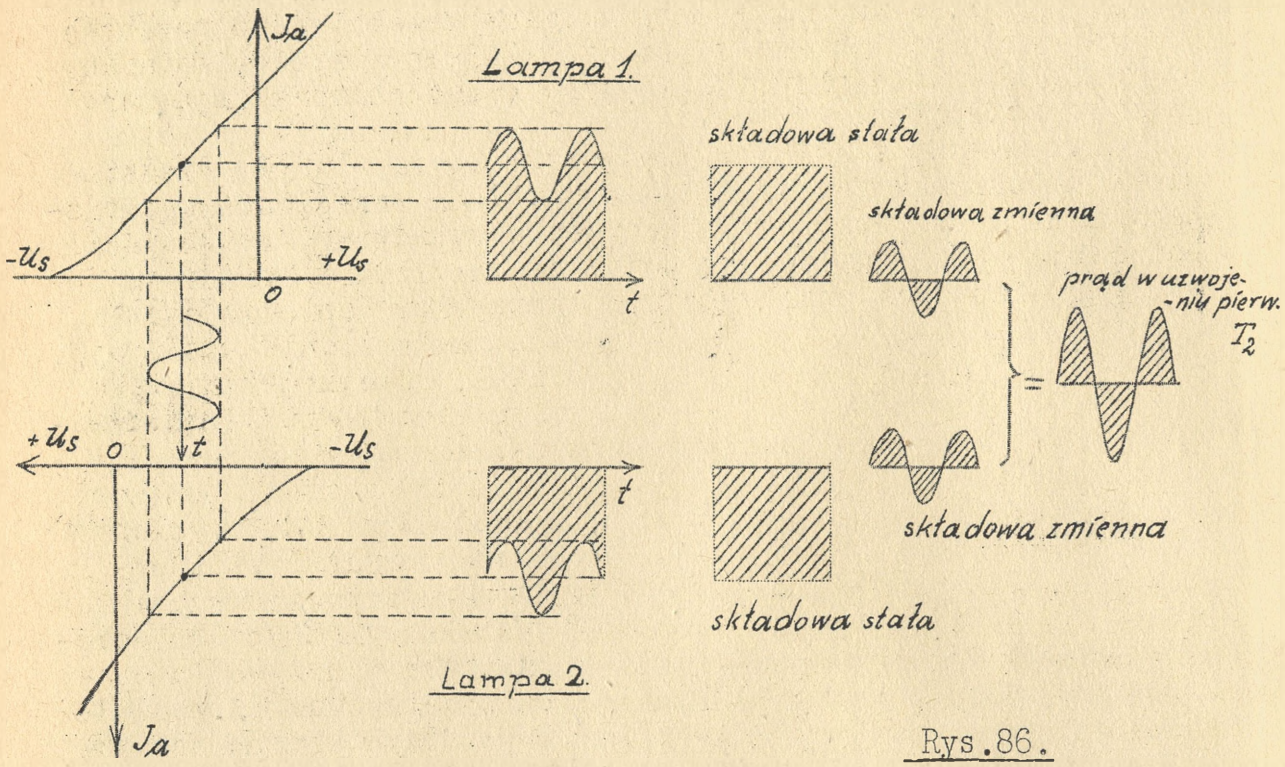
Rys.85.

Przypuśćmy, że w pewnej chwili napięcie wzbudzające w obwodzie siatek posiada kierunek wskazany strzałkami przerywanymi. Potencjały siatek posiadają więc - jak widzimy - znaki przeciwne: gdy siatka lampy 1. posiada potencjał dodatni, w tej samej chwili siatka lampy 2. posiada potencjał ujemny i na odwrót. W związku z tym, gdy prąd anodowy lampy 1. wzrasta, to równocześnie prąd anodowy lampy 2. maleje. Zmniejszenie się prądu anodowego lampy 2. możemy przypisać działaniu w jej obwodzie składowej zmiennej, której kierunek jest przeciwny kierunkowi składowej stałej, a więc jest zgodny z kierunkiem składowej zmiennej lampy 1. Działanie składowych zmiennych obu lamp sumuje się więc w uzwojeniu pierwotnym T_2; jest więc tak, jak gdyby przez to uzwojenie przepływał zwykły prąd zmienny.

Rozpatrzmy działanie układu przeciwsobnego przy pomocy charakterystyk siatkowych roboczych, biorąc naprzód pod uwagę wzmacniacz typu A.

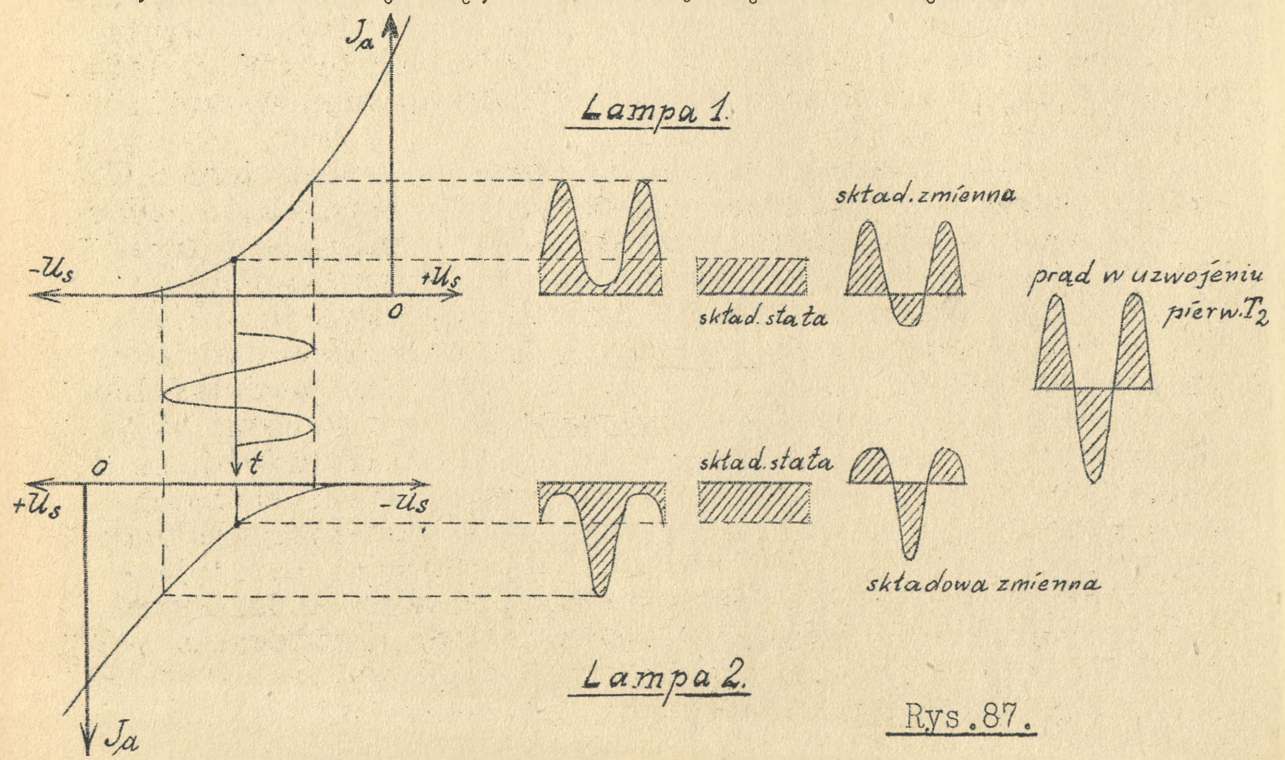
Ponieważ przebiegi napięć i prądów są przesunięte o 180^0, przeto chcąc je rozpatrywać równocześnie w obu lampach przy pomocy ich charakterystyk, musimy jedną z tych charakterystyk przekręcić w sposób wskazany na rys.86. Po rozłożeniu graficznym prądu anodowego każdej z lamp, otrzymujemy składowe stałe o kierunkach przeciwnych, których działanie w transformatorze T_2 znosi się oraz składowe zmienne o kierunkach zgodnych ; te ostatnie więc sumują się, dając w uzwojeniu pierwotnym transformatora T_2 prąd o amplitudzie podwójnej. Układ przeciwsobny równoważny jest więc lampie pojedynczej o nachyleniu dwa razy większym od nachylenia lamp składowych.

Rozpatrzymy z kolei przypadek, gdy praca lampy odbywa się częściowo na zakrzywieniu. W tym celu zajmiemy się wzmacniaczem typu B. Przebieg prądów uwidoczniony jest na rys.87. Jak widzimy, składowe zmienne obu lamp są silnie odkształco-



Rys.86.

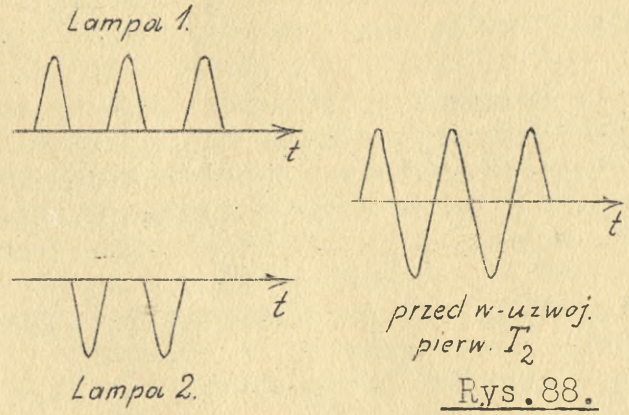
ne, jednakże po dodaniu się dają prąd w transformatorze o przebiegu sinusoidalnym. Zniekształcenie spowodowane więc detekcją zostaje usunięte. Harmoniczne drugie zostają tu stłumione, gdybyśmy bowiem przedstawili je na wpowyższych wykresach, to okazałoby się, że znoszą się one wzajemnie.



Rys.87.

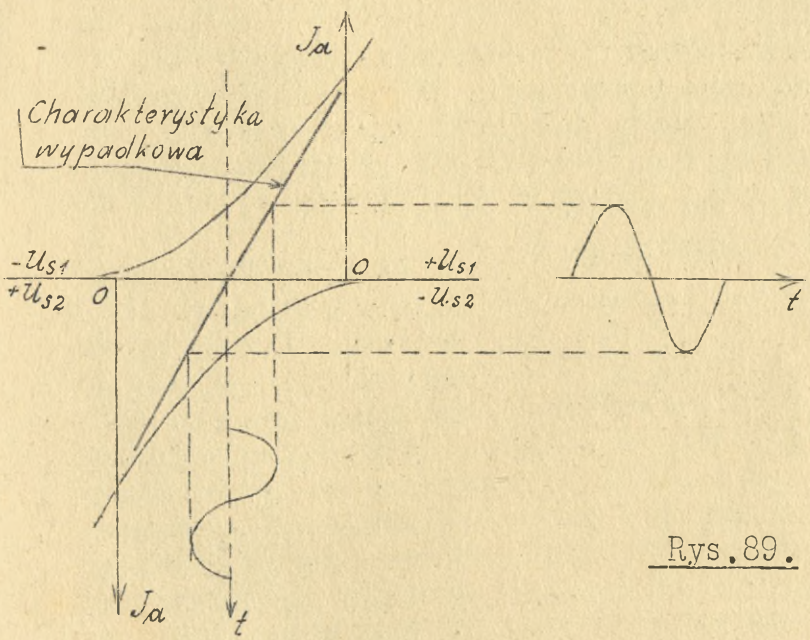
Gdy początkowy punkt pracy znajduje się na początku charaktyrystyki, a więc gdy mamy zupełną detekcję, to przebieg prądów anodowych obu lamp przedstawia się w sposób wskazany na rys.88. W uzwojeniu pierwotnym transformatora dają one prąd sinusoidalny.

Rozpatrzmy z kolei wykres rys.89., na którym przedstawione są charakterystyki obu lamp układu przeciwsobnego. Możemy z nich otrzymać charakterystykę wypadkową, odejmując od siebie (albo inaczej: dodając algebraicznie) prądy anodowe, odpowiadające poszczególnym wartościom napięcia siatki.



Rys.88.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że charakterystyka wypadkowa jest linią prostą, albo też bardzo zbliżoną do prostej, pomimo nawet dużych zakrzywień charakterystyk składowych. Otrzymujemy więc charakterystykę symetryczną (podobnie jak w przypadku oporu symetrycznego), wobec tego zostają wzmocnione oba półokresy napięcia wzbudzającego.



Rys.89.

Łatwo zauważyć, że przez źródło napięcia anodowego i przewody zasilające płynie prąd stały. Istotnie, w chwili bowiem, gdy np. prąd w lampie 1. wzrasta, to równocześnie o taką samą wartość zmniejsza się prąd w lampie 2. Ten prąd zasilający równa się, oczywiście, sumie składowych stałych obu lamp.

Brak składowej szybkozmiennej w przewodach zasilających usuwa niebezpieczeństwo sprzężeń, a także oddziaływań pojemnościowych, co w dużym stopniu ułatwia zmontowanie układu.-

D. Sposoby wzmocnienia napięciowego.

Celem wzmocnienia napięciowego jest otrzymać na wyjściu lampy wzmacniającej możliwie duże napięcie zmienne przy danym napięciu wzbudzającym. W obwodzie anodowym należy więc umieścić organ przekształcający wahania prądu anodowego na wahania napięcia, które należy z kolei, jako napięcie wzbudzające, przekazać do obwodu siatki lampy następnej.

Przy wzmocnieniu napięciowym kwestia mocy i sprawności może być zupełnie nie brana pod uwagę; chodzi tu przede wszystkim o powiększenie stosunku napięcia wyjściowego do napięcia wejściowego. Do tego dochodzi warunek wzmocnienia bez zniekształceń. Wzmacniacze napięciowe muszą więc zasadniczo pracować w obszarze prostolinijności charakterystyk, są to więc wzmacniacze typu A.

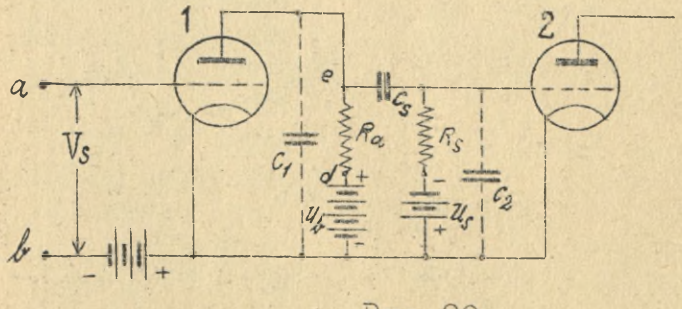
Organem przekształcającym wahania prądu anodowego na wahania napięcia jest oporność sprzęgająca dwie następujące po sobie lampy. W dalszym ciągu rozpatrzymy poszczególne rodzaje tej oporności sprzęgającej, przy czym rozważania nasze będą odnosiły się zarówno do wzmacniaczy wielkiej, jak i małej częstotliwości.-

Wzmacniacz napięciowy posiadający n jednakowych stopni daje całkowite wzmocnienie k_c, wynoszące: $k_c = k^n$, gdzie przez k oznaczono wzmocnienie napięciowe jednego stopnia.-

18. Sprzężenie oporowe.

Teoretyczny schemat układu przedstawia rysunek 90.

Anody lamp są zasilane równolegle ze wspólnego źródła U_b (obwód anodowy drugiej lampy nie jest tu kompletny) Tak samo i katody lamp są zasilane równolegle ze wspólnego źródła, które dla uproszczenia schematu zostało na rysunku pominięte.



Rys.90.

Baterie U_s polaryzują ujemnie siatki obu lamp. Muszą to być, oczywiście, oddzielne baterie.

Układ ten posiada znaczenie szysto teoretyczne. W praktyce bowiem zamiast baterii stosuje się inne źródła napięcia (prostowniki anodowe, układy potencjometryczne).

Elementem sprzęgającym lampę 1.z lampą 2. jest oporność omowa R_a, która na ogół biorąc jest w przybliżeniu 2 do 3 razy większa od oporności wewnętrznej tej lampy, w której obwód anodowy jest włączona. Celem przekazania do następnej

lampy napięcia zmiennego, występującego pomiędzy punktami: e-d, należy do tych punktów dołączyć obwód siatkowy lampy 2. Dołączenie dochodzi do skutku za pośrednictwem kondensatora C_s, którego zadaniem jest odseparować siatkę lampy 2 od wysokiego napięcia anodowego (tzn. składowej stałej) lampy poprzedniej; bez tego kondensatora siatka lampy 2. posiadałaby, jak to widać z rysunku, potencjał równy potencjałowi anody.

Zadaniem oporu upływowego R_s jest odprowadzać z kondensatora C_s ładunki ujemne, powstające z elektronów zatrzymujących się na siatce.

Jeżeli chodzi o dobór C_s i R_s, należy wyjaśnić, że w danym przypadku chodzi o doprowadzenia do siatki lampy 2. napięcia o takim samym przebiegu, jak napięcie wzbudzające; należy zatem możliwie zmniejszyć działanie C_s i R_s polegające, jak wiemy, na wprowadzeniu asymetrii do wzmacnianego napięcia, stanowiącej właśnie istotę detekcji siatkowej. Ta asymetria, tzn. działanie detekcyjne, jest tym większe, im mniejsza jest pojemność C_s [1] oraz im większy jest opór R_s. We wzmacniaczu zatem C_s powinno być większe niż w przypadku detekcji siatkowej, w ten sposób opór pojemnościowy jest niewielki.

Wielkość C_s powinna być ponadto dopasowana do najniższej częstotliwości wzmacnianego zakresu, tak aby dla tej częstotliwości opór pojemnościowy był niewielki. Pojemność C_s we wzmacniaczach wielkiej częstotliwości jest rzędu kilkuset pikofaradów, zaś we wzmacniaczach małej częstotliwości - rzędu 5000-10000 pF.

R_s jednak nie może być zbyt małe, albowiem wówczas napięcie wzmacniane zwierałoby się przez ten opór, wzmocnienie więc byłoby nieznaczne; R_s jest na ogół nieco mniejsze niż w detektorze siatkowym (rzędu 250000-500000 omów).

Wzmocnienie napięciowe k wzmacniacza oporowego wynosi:

$$k = \frac{V_{am}}{V_{sm}} = \frac{\bar{V}}{1 + \frac{\varrho}{R_a}} = K \cdot \frac{R_a}{\varrho + R_a}$$

Rośnie więc ono ze wzrostem oporności anodowej R_a, dążąc do K: gdy R_a jest znacznie większe od ϱ, wówczas ϱ może być we wzorze pominięte i wtedy $k = K$. Ponieważ jednak przez opór R_a przepływa składowa stała prądu anodowego, wobec tego wzrost tego oporu powoduje zwiększenie spadku napięcia, a więc zmniejszenie napięcia anodowego ($U_a = U_b - J_a \cdot R_a$), co z kolei powoduje przesunięcie się na prawo charakterystyk siatkowych. Łatwo więc mogą powstać zniekształcenia. Jeżeli

---

1) Zgodnie ze wzorem: $V = \frac{Q}{C}$, im mniejsza jest pojemność, tym większe napięcie wytworzy dany ładunek Q. W danym przypadku, im mniejsze jest C_s, tym wyższe ujemne napięcie powstaje na kondensatorze dzięki napływowi elektronów, a więc tym bardziej obniża się średni potencjał siatki.-

nawet zniekształcenia są dopuszczalne, to może wystąpić wtedy inne ujemne zjawisko, mianowicie zmniejszenie wzmocnienia, albowiem punkt pracy zbliża się, a nawet zachodzi na dolne zakrzywienie, gdzie oporność wewnętrzna lampy staje się większa. Przy dużym oporze R_a należy więc stosować źródło anodowe o wysokim napięciu, co nie jest dogodne. Z tych więc względów w praktyce opór Ra rzadko przekracza 3-4-krotną wartość oporu wewnętrznego lampy.

Dodatnią cechę wzmacniacza oporowego stanowi niezależność wzmocnienia od częstotliwości, tzn. że dla całego zakresu częstotliwości, do którego układ jest przeznaczony, wzmocnienie jest jednakowe. Jak zobaczymy dalej, inne sposoby sprzężeń międzylampowych zachowują się pod tym względem odmiennie.

Strojenie układu celem powiększenia wzmocnienia jest tu zbędne.

Z drugiej jednak strony cecha powyższa oznacza, że wzmacniacz oporowy nie przyczynia się do powiększenia selektywności odbiornika. Cechą więc charakterystyczną wzmacniacza oporowego jest jego mała selektywność, co w pewnych przypadkach stanowi wadę (np.wzmocnienie wielkiej częstotliwości), w pewnych zaś - zaletę (wzmocnienie małej częstotliwości).

Wzmacniacze te jednakże nie nadają się do wzmacniania częstotliwości, odpowiadającym falom poniżej 200 m. Dochodzą bowiem wówczas do znaczenia pojemności własne oporności R_a i R_s, do których dodają się pojemności pomiędzy anodą a katodą lampy 1., pojemności przewodów tej lampy (p.rys.90, pojemność C1) oraz tzw. pojemność wejściowa lampy 2., która zależy nie tylko od przewodów i pojemności pomiędzy siatką a katodą, lecz także od charakteru oporności obciążającej tę lampę (oporności anodowej). Pojemność wejściowa C_2 może posiadać wartość dochodzącą nawet w przybliżeniu do 100 pF.

Otóż wszystkie te pojemności bocznikują zarówno opór R_a, jak i opór R_s, co pociąga za sobą zmniejszenie wzmocnienia i to tym bardziej im większa jest wzmacniana częstotliwość.

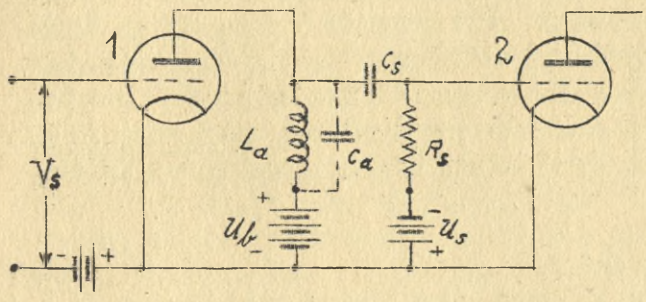
Ujemną cechą wzmacniaczy oporowych jest także wzrost szumów własnych odbiornika. Powstają one skutkiem tego, że wartość oporu nie jest stała, lecz zmienia się w pewnych niewielkich granicach. Im większe są zastosowane opory omowe, tym silniejsze są szumy.

Poważną wadą wzmacniaczy oporowych jest konieczność stosowania źródła anodowego o podwyższonym napięciu, a to z powodu straty napięcia w oporności R_a. Inne sposoby sprzężeń międzylampowych wady tej nie posiadają.

Sprzężenie oporowe jest niekosztowne i zajmuje mało miejsca w odbiorniku.-

19. Wzmacniacz dławikowy.

Zasadniczy układ przedstawia rys.91. Różni się on od poprzedniego tylko tym, że zamiast oporności omowej R_a w obwodzie anodowym znajduje się cewka L_a. Napięciem wzbudzającym dla lampy 2. jest tu więc indukcyjny spadek napięcia (napięcie samoindukcyjne), wywołany przez składową zmienną prądu anodowego lampy 1.



Rys.91.

Cewkę L_a możemy również traktować jako autotransformator sprzęgający obwód anodowy lampy 1 z obwodem siatki lampy 2.

Obecność kondensatora C_s i R_s jest wywołana tymi samymi względami, co i we wzmacniaczu oporowym.

Ze względu na stosunkowo niewielki opór omowy cewki L_a spadek napięcia składowej stałej jest nieznaczny, napięcie źródła anodowego może więc być znacznie mniejsze. Stanowi to właśnie dodatnią stronę tego układu w porównaniu z poprzednim.

Wzmocnienie napięciowe k wynosi tu, o ile pominiemy opór cewki:

$$k = \frac{V_{am}}{V_{sm}} = K\frac{\omega L_a}{\sqrt{\rho^2 + \omega^2 L_a^2}}$$

Z wzoru tego wynikają następujące wnioski:

1) We wzmacniaczach małej częstotliwości, gdzie ω jest niewielkie, należy zastosować cewkę o dużym współczynniku indukcyjności L. Praktycznie, musi to być cewka z rdzeniem żelaznym o indukcyjności rzędu co najmniej kilku henrów.

2) Drogą odpowiedniej przeróbki matematycznej powyższego wzoru, można wykazać, że przy jednakowych wartościach R_a i ωL_a wzmacniacz dławikowy daje większe wzmocnienie niżeli wzmacniacz oporowy.

3) Wzmocnienie k przy danej indukcyjności L_a zmienia się wraz z częstotliwością. Ilustruje to następujący przykład: załóżmy, że K = 10, ρ = 10000 omów; z powyższego wzoru znajdziemy, że np. dla ωL_a = 1000 omów wzmocnienie wynosi 0,995, dla ωL_a = 10000 omów k wynosi 7,07, dla ωL_a = 100000 omów k wynosi 9,99.

Dla małych częstotliwości wzmocnienie jest więc nieznaczne. Można je zwiększyć przez zastosowanie cewki o dużej indukcyjności, tym samym zwiększa się zakres równomiernego wzmacniania różnych częstotliwości.

Nierównomierne wzmacnianie stanowi ujemną cechę tego układu. Wzrasta ona poważnie skutkiem faktu, że zarówno własna pojemność, rosnąca wraz z liczbą zwojów oraz pojemność

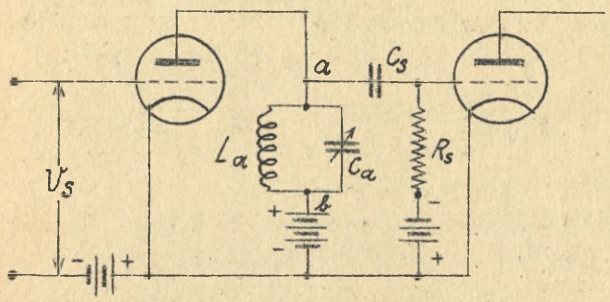
wejściowa lampy następnej tworzą pojemność wypadkową Ca (rysunek 91.), która wraz z indukcyjnością La tworzy obwód zamknięty drgań o pewnej własnej częstotliwości. Ponieważ jest to obwód rezonansu prądów, przeto dla częstotliwości rezonansowej przedstawia on największy opór i dlatego też dla tej właśnie częstotliwości wzmocnienie staje się największe.

Bardziej równomierne wzmocnienie dla różnych częstotliwości można uzyskać, nawijając cewkę La drutem o dużej oporności omowej. Lepiej jest jednakże wykorzystać zjawisko wzrostu wzmocnienia dla częstotliwości rezonansowej, mianowicie przez załączenie równolegle do cewki La kondensatora obrotowego, rys.92. Otrzymamy w ten sposób wzmacniacz rezonansowy, w którym organem sprzęgającym jest autotransformator strojony.-

20. Autotransformator strojony.

Przy pomocy kondensatora Ca możliwe jest nastrojenie układu na dowolną częstotliwość w danym zakresie.

Oznaczymy oporność omową obwodu LaCa przez R.



Rys.92.

Dla składowej zmiennej prądu anodowego obwód LaCa, jako obwód rezonansu prądów, przedstawia oporność rzeczywistą $\frac{La}{Ca.R}$, która może posiadać bardzo dużą wartość (p.część I., str.49, § 10.). Wzmocnienie napięciowe k wynosi:

$$k = \frac{Vam}{Vsm} = K \cdot \frac{\frac{La}{Ca.R}}{\rho + \frac{La}{CaR}}$$

przy czym napięciem wzbudzającym dla lampy 2. jest tu zmienny spadek napięcia o amplitudzie Vam, występujący pomiędzy punktami a-b, pomiędzy które jest jak gdyby włączony pewien opór rzeczywisty: $\frac{La}{CaR}$

Układ taki posiada następujące cechy dodatnie:

1. Przy dużym La oraz małym Ca i niewielkim R, wzmocnienie napięciowe k może stać się bardzo bliskim K. Zmniejszenie Ca jest jednak ograniczone przez pojemność własną cewki, pojemności wewnętrzne lampy i pojemności przewodów.

2. Organ sprzęgający LaCa przedstawia dużą oporność tylko dla składowej zmiennej prądu anodowego. Dla składowej stałej, zamykającej się przez cewkę La o małym oporze omowym, przedstawia on oporność niewielką, stąd też napięcie źródła

anodowego nie potrzebuje być tak duże, jak we wzmacniaczu oporowym.

3. Układ odznacza się dużą delektywnością.

Dla częstotliwości nierezonansowych obwód L_aC_a przedstawia oporność urojoną (pojemnościową lub indukcyjną) znacznie mniejszą od oporności rzeczywistej

$$\frac{L_a}{C_aR}$$

dla częstotliwości rezonansowej. I tak, częstotliwości mniejsze od rezonansowej zamykają się głównie przez cewkę L_a, układ przedstawia więc dla nich oporność indukcyjną; częstotliwości zaś większe od rezonansowej zamykają się głównie przez pojemność C_a; oporność posiada zatem charakter pojemnościowy. Im bardziej częstotliwość różni się od częstotliwości rezonansowej, tym mniejsza jest wartość oporności, a więc tym mniejsze wzmocnienie. Częstotliwości nierezonansowe są więc tłumione nie tylko skutkiem rozstrojenia obwodu L_aC_a, ale także skutkiem znacznie słabszego wzmocnienia.

Największe wzmocnienie uzyskuje się więc dla wąskiego zakresu częstotliwości w pobliżu rezonansu.

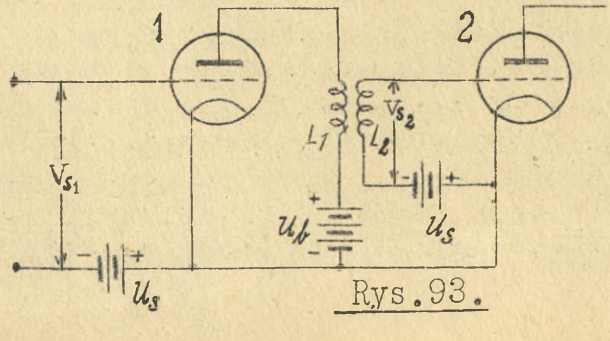
Przy pomocy kilku stopni tego rodzaju wzmacniacza można uzyskać bardzo dużą selektywność. W tym przypadku stosuje się obwody rezonansowe, strojone równocześnie przy pomocy jednego pokrętła; obwody te muszą być identyczne, co nasuwa pewne trudności konstrukcyjne, łatwe zresztą do pokonania (p. rozdział VII, § 16.).

Pewną ujemną cechę powyższego układu stanowi łatwość samowzbudzenia, czemu zresztą również nie trudno jest zapobiec.-

21. Wzmacniacz transformatorowy.

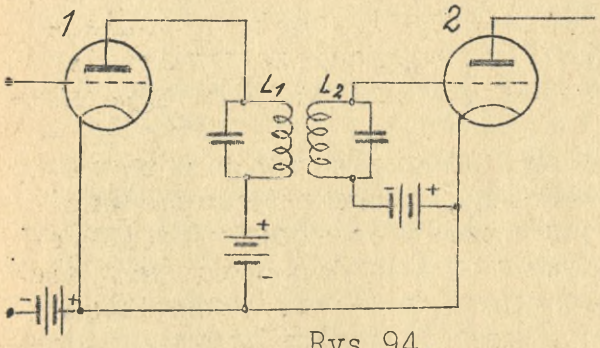
Układ zasadniczy przedstawia rys.93. W obwodzie anodowym lampy 1. znajduje się uzwojenie pierwotne L_1 transformatora międzylampowego, zaś w obwodzie siatkowym lampy 2 - uzwojenie wtórne L_2. W zależności od wzmacnianych częstotliwości, może to być transformator wielkiej częstotliwości (a więc bez rdzenia żelaznego, bądź też z rdzeniem specjalnym dla wielkiej częstotliwości - p. rozdział XI.), bądź też transformator małej częstotliwości (ze zwykłym rdzeniem żelaznym dzielonym).

Ze względu na pojemność własną cewek L_1 i L_2 układ ten, podobnie jak i poprzedni, wykazuje największe wzmocnienie dla częstotliwości rezonansowej. Celem wykorzystania więc tego zjawiska, a także celem uzyskania jednakowego wzmocnienia dla danego zakresu częstotliwości stosuje się transformatory re-

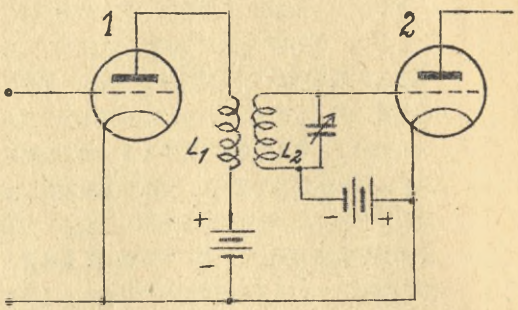


Rys.93.

zonansowe, zawierające pojemność, bądź w obwodzie pierwotnym i wtórnym (obwody pośredniej częstotliwości w superheterodynach, p.rozdział VII), rys. 94., bądź też po stronie pierwotnej albo wtórnej, rys.95.



Rys.94.



Rys.95.

Szczegóły dalsze, dotyczące tego sposobu sprzężenia podane w dwóch następnych ustępach.-

E. Wzmacniacze małej częstotliwości.

Jako wzmacniacz wielkiej częstotliwości, lampa trójelektrodowa źle spełnia swoje zadanie. Jej właściwym wykorzystaniem jest wzmocnienie częstotliwości akustycznych. Dlatego też rozpatrzymy naprzód układy z triodą w stopniach małej częstotliwości, dopiero potem zajmiemy się pobieżnie wzmacnianiem wielkich częstotliwości przy pomocy tej lampy.-

22. Wzmocnienie małej częstotliwości.

Wzmocnienie małej częstotliwości stosuje się w radiotechnice w następujących trzech przypadkach:

1. W urządzeniach odbiorczych celem wzmocnienia prądu akustycznego dostarczonego przez obwód detektora. Wzmocnienie powinno tu umożliwić uruchomienie odpowiednich urządzeń reprodukujących (słuchawka, głośnik, przekaźnik).

2. W urządzeniach nadawczych celem wzmocnienia prądów mikrofonowych na stacjach radiofonicznych; wzmocnione prądy mikrofonowe modulują z kolei wielką częstotliwość (częstotliwość nośną).

3. W urządzeniach gramofonowych, gdzie chodzi o przekształcenie drgań mechanicznych membrany gramofonu na drgania elektryczne i następnie wzmocnienie tych drgań celem uruchomienia głośnika (p.rozdział XV.).

W urządzeniach odbiorczych stanowiących temat naszych dalszych rozważań, zadaniem wzmocnienia małej częstotliwości jest zasadniczo uzyskać naprzód wzmocnienie napięciowe prądów zdetektorowanych, następnie zaś przez wzmocnienie mocy doprowadzić do reproduktora sygnałów odpowiednią energię elektryczną.

Wzmocnienie małej częstotliwości może więc być rodzaju

napięciowego lub też energetycznego.

Gdy detektor daje na wyjściu dostatecznie dużą amplitudę napięcia, wówczas można odrazu zastosować wzmocnienie mocy. Odnosi się to między innymi do przypadku detektorów mocy.

Własności wzmacniacza małej częstotliwości są uzależnione od jego przeznaczenia: inne są mianowicie wymagania dla wzmacniacza radiotelegraficznego, inne zaś dla wzmacniacza radiofonicznego.

W przypadku odbioru sygnałów telegraficznych odbiera się tylko jedną częstotliwość (falę), która po zastosowaniu metody dudnień daje pewien prąd małej częstotliwości. Ponieważ, jak to wynika z doświadczenia, najdogodniejsza dla ucha częstotliwość wynosi około 1000 okr/sek., wobec tego wystarczy wzmacniacz rezonansowy małej częstotliwości, dostrojony do powyższej częstotliwości. A więc np. wzmacniacz w układzie z rys.92. lub z rys.93., w którym cewkę L_1 należy zastąpić przez cewkę z rdzeniem żelaznym i załączyć kondensator odpowiedniej pojemności. Tego rodzaju układy są stosowane w niektórych odbiornikach radiotelegraficznych. Podwyższają one selektywność wzmacniacza małej częstotliwości, albowiem tony interferencyjne stacyj przeszkadzających ulegają tu osłabieniu dzięki zaostrzeniu krzywej rezonansu przez zastosowanie obwodu rezonansowego (cewka L_1 wraz z kondensatorem) zamiast aperiodycznego (sama cewka L_1).

Inaczej przedstawia się sprawa, gdy chodzi o wzmacniacz radiofoniczny. Powinien on mianowicie wzmacniać nie jedną częstotliwość akustyczną, a cały zakres częstotliwości mniej więcej od 100 do 4500 okr./sek., przy czym wzmocnienie powinno być dla wszystkich tych częstotliwości jednakowe.

We wzmacniaczach małej częstotliwości stosuje się najczęściej następujące sposoby sprzężeń międzylampowych:

sprzężenie oporowe - wg schematu rys.90; odznacza się ono równomiernym wzmocnieniem dla szerokiego zakresu częstotliwości;

sprzężenie dławikowe - wg schematu rys.91.-; uzyskuje się tu większe wzmocnienie niż w przypadku sprzężenia oporowego, jednakże zakres częstotliwości wzmacnianych jednakowo jest bardziej wąski;

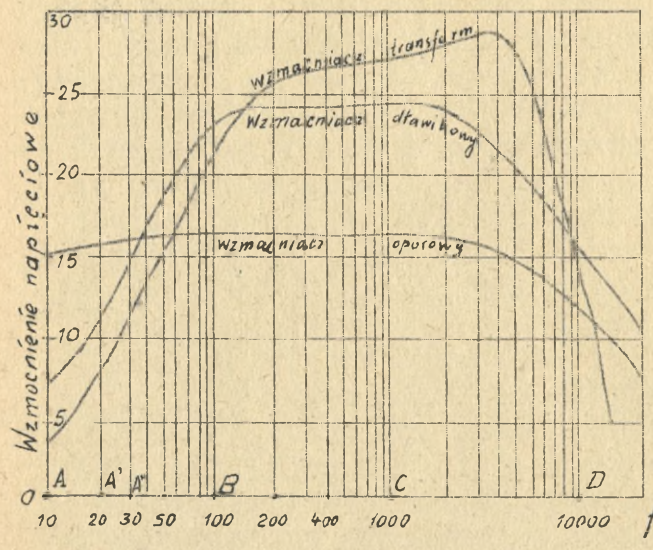
sprzężenie transformatorowe - wg schematu rys.93, dające, dzięki transformatorowi napięciowemu, bardzo duże wzmocnienie; transformator posiada jednak pewną częstotliwość rezonansową (określoną przez jego indukcyjność i pojemność własną), przy której wzmocnienie staje się największe; inne częstotliwości natomiast są wzmacniane słabiej (zniekształcenia częstotliwości).

W odbiornikach radiofonicznych jest obecnie stosowane prawie wyłącznie sprzężenie oporowe. Poza równomiernym wzmacnianiem daje ono wzmocnienie bez zniekształceń, odznacza-

jąc się przy tym taniością. Stosowanie jego ułatwia w dużym stopniu istnienie lamp głośnikowych, dających dużą moc przy niewielkim stosunkowo napięciu wzbudzającym.

Sprzężenie dławikowe i transformatorowe stosuje się wówczas, gdy lampa głośnikowa wymaga dużego napięcia wzbudzającego, bądź też wówczas, gdy przez wykorzystanie zjawisk rezonansowych przy tych sposobach sprzężenia dąży się do usunięcia zniekształceń. Sprzężenie transformatorowe stosuje się również w układach przeciwsobnych (p.niżej § 29).

Na rys.96. przedstawione są wykresy obrazujące zależność wzmocnienia od częstotliwości dla powyższych sposobów sprzężenia. Częstotliwość f jest tu wyrażona w skali logarytmicznej, tzn., że długość odcinka poziomego, liczona od punktu początkowego A układu, jest proporcjonalna nie do liczby częstotliwości, a do logarytmu tej liczby. W związku z tym jednakowym różnicom częstotliwości odpowiadają niejednakowe odcinki, i na odwrót: jednakowym odcinkom odpowiadają niejednakowe różnice częstotliwości. I tak np., odcinek A-A', odpowiadający różnicy częstotliwości: 20 i 10 okr./sek. jest większy niż odcinek A'- A'', odpowiadający różnicy 30 i 20 okr./sek. Odcinki A-B i B-C posiadają jednakową długość, jednakże punktom A-B odpowiada różnica częstotliwości: 1000-10 = 990 okr./sek.; natomiast punktom B-C odpowiada różnica 1000-100 = 900 okr./sek.



Rys.96.

Skala logarytmiczna nie posiada punktu zerowego: oś pozioma zaczyna się od liczby 10.

W skali logarytmicznej jednakowe odstępy odpowiadają częstotliwościom, których stosunki są jednakowe. Np. odległość pomiędzy punktami A,B,C,D są jednakowe; stosunek częstotliwości odpowiadających punktom B i A wynosi 10, tak samo dla punktów B i C oraz C i D[1].

W danym przypadku użycie skali logarytmicznej daje tę korzyść, że lepiej zostaje uwidocznione na wykresie zachowa-

1) Stosunek dwu częstotliwości akustycznych nosi w akustyce nazwę odstępu muzycznego, czyli interwału. Gdy stosunek ten wynosi 2, to interwał nazywa się oktawą. Zatem w skali logarytmicznej jednakowym odcinkom odpowiadają jednakowe odstępy muzyczne.-

wanie się wzmacniacza dla tonów poniżej 1000 okr./sek., na których właśnie gromadzi się największy zasób energii. Temu zakresowi odpowiada odcinek A-C, który jest dwa razy dłuższy od odcinka C-D, obejmującego częstotliwości 1000-10000 okr./sek.

Z wykresu widać, że w rozpatrywanym przykładzie wzmacniacz oporowy daje praktycznie jednakowe wzmocnienie dla zakresu 10-5000 okr./sek., wzmacniacz dławikowy - dla zakresu 100-2000 okr./sek., transformatorowy - dla zakresu 150-1000 okr./sek.-

23: Wzmacniacz oporowy.

Układ jest zmontowany wg schematu rys.90. Wzmocnienie wynosi tu praktycznie od 0,5 K do 0,75 K (K = współczynnik amplifikacji).

Ważne znaczenie posiada pojemność C_s. Przy zbyt małej pojemności niskie tony zostają obcięte. Kondensator zbyt duży posiada stosunkowo mały opór izolacji, zostaje więc jak gdyby zabocznikowany oporem omowym; z baterii anodowej U_b płynie więc wówczas pewien prąd przez opór R_a i opór kondensatora. Ponadto dobry kondensator o dużej pojemności podraża aparaturę.

Jak już zaznaczono, pojemność C_s jest rzędu 50000--10000 pF. Nie ma potrzeby powiększania jej ponad 50000 pF.

Jak podano wyżej w § 18., pojemność C_2, rys.90. może dochodzić nawet do 100 pF. Wywiera ona wpływ na wyższe częstotliwości zakresu akustycznego, zmniejszając wzmocnienie.

Wartość R_a i R_s zależy od typu użytych lamp, a także od zakresu częstotliwości, dla których wzmocnienie powinno być jednakowe. Na ogół R_a jest 2 do 3 razy większe od oporu wewnętrznego lampy; R_s - trzy do sześciu razy większe od R_a.

24. Wzmacniacz dławikowy.

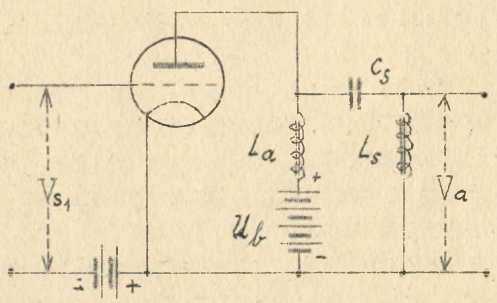
Zasadniczy schemat układu - wg rys.91. Cewka przedstawia dla niższych częstotliwości akustycznych mniejszą oporność (zgodnie ze wzorem na oporność indukcyjną: $X_L = \omega L$), wobec czego wzmocnienie dla tych częstotliwości maleje. Aby temu zapobiec, stosuje się cewki o bardzo dużej indukcyjności (300-500 henrów). Z drugiej jednak strony tak duża indukcyjność sprawia, że dla wyższych częstotliwości akustycznych wzmocnienie powiększa się. Celem uzyskania bardziej równomiernego wzmacniania załącza się równolegle do dławika opór omowy (0,1 do 0,5 megoma), bądź też zmniejsza się odpowiednio opór upływowy następnej lampy.

Zamiast oporu upływowego R_s, rys.91., może być zastosowana cewka o dużej indukcyjności (z rdzeniem żelaznym), rys.97, cewka L_s. Dla pewnej częstotliwości wystąpi rezo-

nans napięć w obwodzie C_s - L_s zasilanym przez cewkę L_a. W cewce L_s pojawi się wówczas przepięcie dla częstotliwości rezonansowej. Wzmocnienie dla tej częstotliwości zostanie więc powiększone. Przy odpowiedniej cewce L_s można w ten sposób osiągnąć wzmocnienie: $k = \frac{V_a}{V_s}$

większe od współczynnika amplifikacji lampy. Ponieważ, jak zaznaczono wyżej, dla niższych częstotliwości akustycznych wzmocnienie maleje, przeto dobierając wartości C_s i L_s, tak aby dla nich właśnie wystąpiły zjawiska rezonansowe , można uzyskać poprawę wzmocnienia.

Należy tu mieć na uwadze, że zbyt duża składowa stała prądu anodowego może spowodować nasycenie magnetyczne rdzenia dławika L_a, co w wysokim stopniu ujemnie wpływa na działanie układu.-



Rys.97.

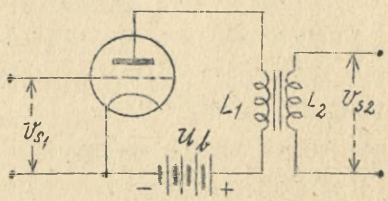
25. Wzmacniacz transformatorowy.

Zasadniczy układ przedstawia rys.93. Stosuje się tu transformatory podwyższające napięcie (rzędu 1:4), dzięki czemu można uzyskać wzmocnienie większe od współczynnika wzmocnienia K. Przekładnia wynosi zwykle 1:3, nie przekraczając na ogół 1:5.

Przy założeniu, że nie ma rozproszenia magnetycznego (tzn., że współczynnik sprzężności k wynosi 100%) oraz, że w obwodzie wtornym (tzn. w obwodzie siatki następnej lampy) nie płynie prąd, wzmocnienie można obliczyć ze wzoru przybliżonego:

$$k = \frac{V_{s2}}{V_{s1}} = \frac{K.p.\omega L_1}{\sqrt{\varrho^2 + \omega^2 L_1^2}}$$

gdzie K = współczynnik amplifikacji, p = przekładnia transformatora, ϱ = opór wewnętrzny lampy (rys.98.)



Rys.98.

Dla częstotliwości, przy których ωL_1 jest znacznie większe od ϱ, powyższy wzór można uprościć do postaci: $k = K \cdot p$.

Powyższe wzory mogą jednak być stosowane tylko dla częstotliwości poniżej 500 okr./sek. Przy wyższych częstotliwościach dochodzą do znaczenia pojemności własne transformatora, przewodów, lampy, ponadto pewne niedokładności transformatora. Wzmocnienie oblicza się wówczas przy pomo-

cy wzorów bardziej złożonych, sprowadzających się do postaci:

$$k = K \cdot p \cdot a ,$$

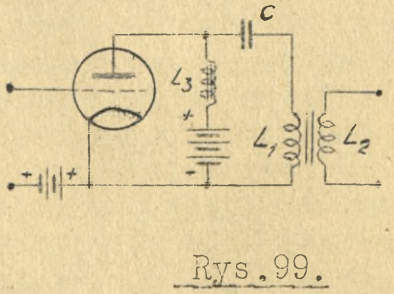
w którym wielkość liczby a zależy właśnie od wymienionych czynników.

Jak widać z wykresu, rys.96, charakterystyka wzmacniacza transformatorowego wykazuje maksimum wzmocnienia dla wyższych częstotliwości zakresu akustycznego. Jak już wyjaśniono, aby przebieg charakterystyki był jednakowy w całym zakresie wzmacnianych częstotliwości, powiększa się opór omowy uzwojenia wtórnego przez zastosowanie drutu o dużym oporze (małym przekroju). Inny sposób polega na załączeniu równolegle do uzwojenia wtórnego oporu omowego rzędu kilkuset tysięcy omów. Charakterystyka obniża się wówczas, tzn. wzmocnienie dla danego zakresu częstotliwości maleje, staje się ono za to bardziej równomierne. Pojemność własną uzwojeń zmniejsza się przez nawijanie sekcjami (pojemność ta jest rzędu 50 do 100 pF.).

Dobry transformator małej częstotliwości powinien odpowiadać następującym zasadniczym wymaganiom:

- uzwojenie pierwotne powinno posiadać dużo zwojów, tak aby indukcyjność wynosiła co najmniej 50 H;
- rdzeń dzielony, o dużej przenikalności magnetycznej powinien posiadać szczelinę celem uniknięcia nasycenia magnetycznego, które może wywołać składowa stała prądu anodowego;
- możliwie mała pojemność uzwojenia wtórnego (nawinięcie sekcjami); pojemność ta wzrasta wraz z liczbą zwojów wtórnych, a więc wraz z przekładnią;
- możliwie duży współczynnik sprzężności (dochodzi on nawet do 0,999).

Niepożądany wpływ prądu stałego na rdzeń transformatora może być usunięty przez zastosowanie zasilania równoległego, rys.99. Cewka L3 musi być, oczywiście, tak dobrana, aby częstotliwości akustyczne, nawet najniższe, nie zwierały się przez nią. Układ ten jest podobny do układu z rys.97., a więc dla pewnych niższych częstotliwości wystąpią tu w elementach C i L1 zjawiska rezonansowe.



Rys.99.

Sprzężenie transformatorowe stosuje się tylko w układach z triodą o małym współczynniku amplifikacji i średnim oporze wewnętrznym (maksimum 15000 omów).-

b) Wzmocnienie mocy małej częstotliwości

26. Wzmocnienie typu A.

W układach odbiorczych wzmacniaczem mocy jest stopień końcowy zasilający głośnik, bądź też inne urządzenia odtwarzające sygnały w ten lub inny sposób. W dalszym ciągu bę-

dziemy mieli głównie na uwadze odbiorniki radiofoniczne, zatem stopień końcowy będzie zasilał głośnik lub też kilka głośników.

Gdy lampą głośnikową jest trioda, to pomiędzy nią a detektorem musi znajdować się na ogół co najmniej jeden stopień wzmocnienia napięciowego. Wzmacniacz napięciowy łączy się ze wzmacniaczem mocy za pomocą jednego z wyżej opisanych sposobów, może to więc być sprzężenie oporowe, dławikowe lub transformatorowe.

Do wzmacniaczy tego typu (a także i typu B - p.niżej) stosują się w całej rozciągłości rozważania § 6. do § 12.niniejszego rozdziału. W rozważaniach tych przyjęto zasadniczo dla uproszczenia, że w obwodzie anodowym znajduje się opór omowy, jako obciążenie. W rzeczywistości na stopniu wyjściowym znajduje się zawsze oporność pozorna: $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ utworzona przez oporność omową i indukcyjną uzwojeń głośnika lub też transformatora wyjściowego. Ponieważ ωL jest tu wielkością zmienną[1], wobec tego i Z jest zmienne. W związku z tym praca lampy wyraża się graficznie nie przez jedną charakterystykę obciążenia, a przez szereg charakterystyk odpowiadających chwilowym wartościom Z. Punkt pracy przesuwa się z jednej charakterystyki na drugą, tak że tor jego stanowi krzywą dosyć złożoną. W praktyce bierze się pod uwagę krzywą obciążenia odpowiadającą pewnej określonej częstotliwości (np. 800 c/sek.).

Ponieważ moc użyteczna, zgodnie ze wzorem 5.na str. 67, jest proporcjonalna do V_{sm}^2, wobec tego praca wzmacniacza mocy jest mało wydajna w przypadku, gdy jest on bezpośrednio wzbudzony przez lampę detekcyjną (a także adapter, p.rozdz. XV.) o małym napięciu wyjściowym. Wzmocnienie napięciowe jest więc koniecznością.

Dla lamp głośnikowych nie podaje się w katalogach współczynnika amplifikacji (odnosi się to także do pentod, patrz rozdział V.). Wynika to stąd, że wzmocnienie napięciowe stopnia wyjściowego nie daje żadnego prawidłowego obrazu - ani, jeżeli chodzi o cele porównawcze, ani też jeśli chodzi o obliczenie całkowitego wzmocnienia aparatu, albowiem wielkość zmiennego napięcia anodowego, niezbędna do otrzymania pewnej mocy użytecznej, zależy od każdorazowej wartości oporu anodowego (oporu pozornego). Dlatego też dla stopnia wyjściowego określa się wzmocnienie mocy bądź przez podanie napięcia wzbudzającego, niezbędnego do otrzymania 50 mW mocy użytecznej (tzw.czułość lampy), bądź też napięcia wzbudzającego, niezbędnego do uzyskania maksymalnej mocy wyjściowej przy pewnym dopuszczalnym zniekształceniu (dla triody końcowej 5%). Tę o -

---

1) Jak już zaznaczono, w odbiorniku radiofonicznym częstotliwości wzmacniane zawierają się w granicach przybliżonych: 100-4500 c/sek.-

statnią moc określa się przy częstotliwości 800 c/sek.i przy najkorzystniejszych warunkach działania, ustalonych dla danej lampy.-

27. Dopasowanie oporu anodowego lampy głośnikowej.

Celem dopasowania jest uzyskać w głośniku największą moc - w granicach dopuszczalnego zniekształcenia. Nastąpi to wówczas, gdy opór głośnika zostanie dostosowany do danej lampy. Ponieważ opór uzwojen głośnika nie odpowiada, na ogół biorąc, warunkom największej mocy zniekształconej, stosuje się przeto transformatory wyjściowe, które właśnie umożliwiają niezbędne dopasowanie. Zasadniczy schemat układu przedstawia rys.100. Oznaczmy przez Z oporność, którą należy włączyć w obwód anodowy, aby uzyskać najkorzystniejsze warunki pracy układu; oporność pozorną głośnika oznaczmy przez Z'. Przekładnię p transformatora wyjściowego, spełniającego warunek dopasowania, znajdziemy ze wzoru:

$$p = \sqrt{\frac{Z}{Z'}}$$

Gdy Z'jest mniejsze od Z, jak to jest w przypadku głośnika elektrodynamicznego, wówczas p jest większe od 1; będzie to więc transformator obniżający napięcie. Gdy Z'jest większe od Z, wówczas p jest mniejsze od 1; mamy wówczas transformator podwyższający napięcie. Gdy wreszcie Z'= Z, można się obejść bez transformatora wyjściowego, włączając głośnik bezpośrednio w obwód anodowy. Z pewnych jednak względów (p. rozdział XV) korzystniej jest stosować transformator wyjściowy.

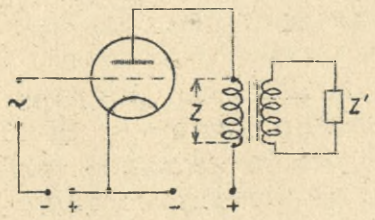
Oporność głośnika składa się z oporu indukcyjnego i oporu rzeczywistego. Ten ostatni utworzony jest, oczywiście, przez opór omowy oraz opór tzw. użyteczny, równoważny stratom wywołanym przekształcaniem się energii elektrycznej w energię akustyczną. Pomiary wykazują, że całkowity opór głośnika (opór pozorny) w zakresie 200-1200 okr./sek. może być uważany praktycznie jako stały; dla wyższych częstotliwości opór ten powoli rośnie. W głośniku dynamicznym opór dla częstotliwości 800 okr./sek. wynosi w przybliżeniu 125% oporu omowego cewki głośnika. Tę zmianę oporności bierze się pod uwagę przy obliczeniu przekładni transformatora wyjściowego.-

Przykład: Opór omowy głośnika wynosi 4 omy; zgodnie z powyższym założeniem, opór pozorny wynosi o 25% więcej, czyli 5 omów. Jeżeli najkorzystniejszy opór anodowy ma wynosić 2600 omów, to przekładnia p powinna wynosić:

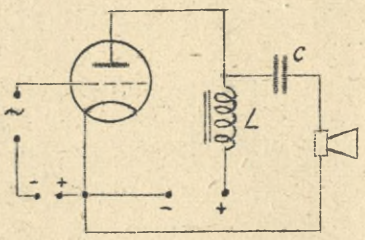
$$p = \sqrt{\frac{2600}{5}} \cong 25$$

Przekładnia powinna więc wynosić 25 : 1.

Indukcyjność uzwojenia pierwotnego powinna być taka, aby jego oporność indukcyjna ω L dla częstotliwości najniższych była co najmniej równa p^2 . Z'. Indukcyjność ta wynosi na ogół od 5 do 15 henrów.



Rys.100.



Rys.101.

Rys.101.przedstawia przykład równoległego zasilania głośnika, sprzężonego z obwodem anodowym przy pomocy organów L-C. Układ ten, w przeciwienstwie do układu szeregowego, w którym głośnik jest włączony bezpośrednio w obwód anodowy, eliminuje z głośnika składową stałą prądu anodowego. Składowa zmienna zamyka się poprzez kondensator C (kilka mikrofaradów , L - co najmniej kilkanaście henrów).-

28. Wzmocnienie typu B.

Wzmacniacze tego typu pracują często przy pewnym niewielkim prądzie siatki (do 10% prądu anodowego), co jest o tyle korzystne, że wykorzystana zostaje dłuższa część prostolinijna charakterystyki, tym samym więc i cały układ zostaje lepiej wykorzystany. Wobec tego uzwojenie wtórne transformatora zasilającego wzmacniacz B musi posiadać stosunkowo mały opór, tak aby spadek napięcia wywołany prądem siatki był w nim możliwie mały. W przeciwnym razie napięcie wtórne transformatora nie będzie stanowiło wiernego obrazu napięcia pierwotnego.

Transformatory do zasilania wzmacniacza B posiadają uzwojenie wtórne o oporze omowym około 200-400 omów. Jest to więc - na ogół biorąc - transformator obniżający napięcie. (przekładnia: 2:1 do 3:1). Ponadto, ponieważ w uzwojeniu wtórnym płynie pewien prąd (siatki), przeto będzie to transformator energietyczny, wymagający doprowadzenia pewnej mocy. Wobec tego uzwojenie pierwotne tego transformatora musi znajdować się w obwodzie anodowym wzmacniacza mocy, nie zaś wzmacniacza napięciowego; musi to być przy tym wzmacniacz typu A, aby nie wprowadzać dodatkowym zniekształcen. Krótko mówiąc, lampa zasilająca wzmacniacz typu B musi być wzmacniaczem mocy typu A. Lampa ta nosi nazwę wzbudnicy 1).-

29. Wzmacniacz przeciwsobny małej częstotliwości.

Jak już wyjaśniono wyżej w § 17., skutecznym sposobem

- -

1) Po angielsku: "driver" (wymawia się: "drajwer").-

zmniejszenia zniekształceń wzmacniacza typu B jest zastosowanie układu przeciwsobnego. Układ zasadniczy sprowadza się do schematu z rys.85, z tą oczywiście różnicą, że transformatory T_1 i T_2 są zaopatrzone w rdzenie żelazne.

Układ przeciwsobny może pracować także jako wzmacniacz typu A. Uzyskuje się w tym przypadku zwiększenie mocy wyjściowej oraz znacznie większą sprawność niż w układzie pojedynczym typu A.

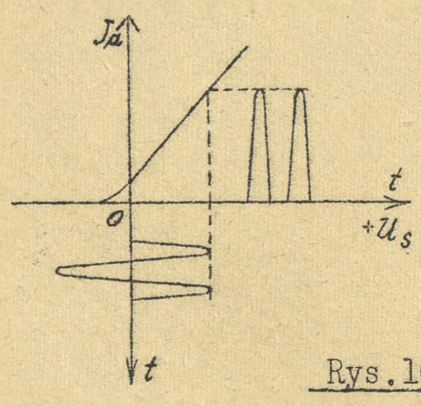
W przypadku wzmacniacza przeciwsobnego typu A transformator T_1 jest transformatorem napięciowym o przekładni około 1:2 do 1:5. Transformator T_2 jest transformatorem prądowym (energietycznym), którego przekładnia powinna wynosić:

$$p = \sqrt{\frac{Z'}{2z}}$$

gdzie Z' jest to oporność głośnika, z - oporność jednej połówki uzwojenia pierwotnego.

We wzmacniaczu typu B transformator T_1, zgodnie z rozważaniami poprzedniego paragrafu, jest transformatorem prądowym (opór uzwojenia wtórnego 200-300 omów na połówkę uzwojenia; przekładnia zniżająca (2:1 do 3:1).

We wzmacniaczu przeciwsobnym typu A ujemne napięcie dla siatek obu lamp uzyskuje się przez wykorzystanie spadku napięcia prądu anodowego w odpowiednio włączonym oporniku. We wzmacniaczu typu B taki sposób polaryzacji siatki jest niemożliwy, gdyż prąd anodowy w spoczynku albo wcale nie płynie, albo też jest praktycznie równy zeru. Koniecznym więc staje się stosowanie specjalnego źródła zasilającego, co jest, oczywiście, niedogodne. Dlatego też skonstruowano specjalne lampy do układu przeciwsobnego, w których prąd anodowy jest bardzo mały już przy zerowym potencjale siatki, a więc początkowy punkt pracy znajduje się na dole charakterystyki przy zerowym napięciu siatki, rys.102.



Rys.102.

Prąd siatki jest więc znaczny, jednakże wywołane tym zniekształcenia prądu anodowego zostają skompensowane przez działanie układu przeciwsobnego.

Poza znacznym zredukowaniem zniekształceń[1], układ przeciwsobny posiada następujące zalety:

1. Ponieważ składowe stałe prądów anodowych obu lamp mają kierunki przeciwne, przeto znoszą się wzajemnie; można więc stosować rdzenie żelazne o zmniejszonych wymiarach, bez obawy, że może nastąpić nasycenie magnetyczne.

1) W układzie przeciwsobnym znoszą się harmoniczne parzyste, występujące skutkiem umieszczenia początkowego punktu pracy na początku charakterystyki.-

2. Znoszą się składowe zmienne, zawarte w prądzie dostarczonym przez źródło anodowe; składowe takie występują np. przy zasilaniu z prostownika i to nawet w przypadku starannego filtrowania.

Znoszą się także (w transformatorze T2) wszelkie składowe zmienne napięcia ujemnego, polaryzującego siatki, i napięcia żarzenia.[1] Układ przeciwsobny pracuje więc spokojniej niż układ pojedynczy.

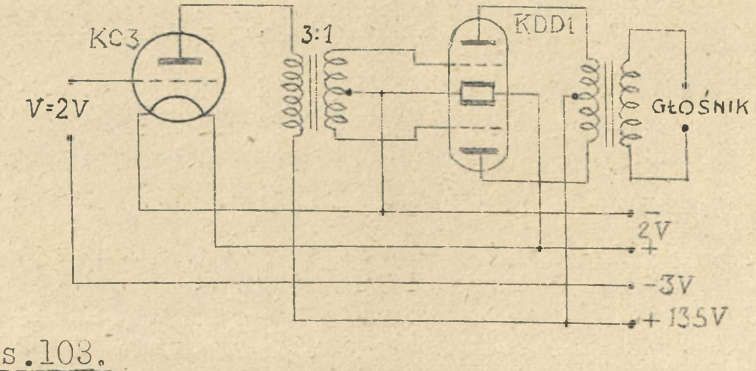
3. Powiększenie mocy wyjściowej; z teoretycznych rozważań wynika, że powiększenie to może być prawie trzykrotne w stosunku do mocy wyjściowej lampy pojedynczej.

Układ przeciwsobny ma jednak i swoje wady. Do nich należą:

1. Trudność doboru lamp o idealnie jednakowych charakterystykach, a tym samym i trudność realizacji układu przeciwsobnego, rzeczywiście zrównoważonego. Aby się zbliżyć do tego ideału, buduje się lampy możliwie dokładnie wykonane o podwójnym układzie trójelektrodowym, umieszczonym w jednej wspólnej bance.

2. Przy małych amplitudach wzbudzenia układ daje małe wzmocnienie i wprowadza znaczne zniekształcenie, co jest wynikiem pracy na dolnych zakrzywieniach charakterystyk, gdzie nachylenie jest bardzo małe. Aby uczulić układ, stosuje się system pracy tzw.A/B, polegający na tym, że lampy pracują przy stosunkowo dużym prądzie początkowym, równym mniej więcej jednej trzeciej prądu anodowego przy maksymalnym wzbudzeniu.

Rys.103. przedstawia przykład stopnia wyjściowego w układzie przeciwsobnym typu B z podwójną triodą (czyli duo - -triodą) KDD1. Ujemnego początkowego napięcia siatki nie stosuje się. Prąd anodowy spoczynkowy (a więc przy zerowym potencjale siatki) wynosi 1,5 mA dla każdej z obu składowych lamp. Napięcie skuteczne 2 V w siatce wzbudnicy (lampa KC3) daje przy zastosowaniu transformatora o przekładni 3:1 około 14 V napięcia zmiennego na każdą siatkę duo-triody. Przy prądzie anodowym 2 x 12 mA moc wyjściowa wynosi około 2 W (przy zniekształceniu 10%). Najkorzystniejszy opór zewnętrzny (mierzony od anody do anody) wynosi 10000 omów.



Rys.103.

Duo-trioda typu KDD1 ze względu na bardzo mały prąd anodowy spoczynkowy, odznacza się oszczędnością w zużyciu energii anodowej i dlatego nadaje się do odbiorników bateryjnych. Zyskuje się tak-

1) Składowe takie istnieją przy zasilaniu np. z prostowników.-

że pewną oszczędność w żarzeniu, a także i oszczędność miejsca w odbiorniku.-

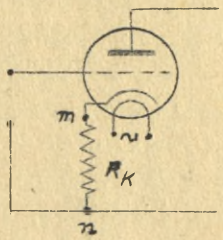
30. Sprzężenie zwrotne małej częstotliwości w lampie głośnikowej.

Układ przeciwsobny - jak wyjaśniono - daje znacznie większą maksymalną moc wyjściową oraz znacznie redukuje zniekształcenia. W przypadku, gdy nie chodzi o zwiększenie mocy, a tylko o zredukowanie zniekształceń powstających w lampie głośnikowej, może być zastosowany sposób polegający na wykorzystaniu w obwodzie lampy głośnikowej (którą może być trioda lub pentoda) sprzężenia zwrotnego małej częstotliwości. Sprzężenie to różni się od reakcji w autodynie pod dwoma względami:

1° - dotyczy ono prądów małej, a nie wielkiej częstotliwości;

2° - ma przeciwną fazę niż sprzężenie w autodynie, a więc zmniejsza wzmocnienie, zamiast je zwiększać.

Najprostszą postacią sprzężenia zwrotnego o przeciwnej fazie, czyli ujemnej reakcji, jest opór katodowy nie zaboczonikowany kondensatorem, rys.104. Składowa zmienna prądu anodowego płynie wówczas przez ten opór, wywołując w nim zmienny spadek napięcia, który, jak to łatwo zauważyć, jest o pół okresu przesunięty względem napięcia wzbudzającego [1]. Ponieważ zmiany potencjału z oporu R_K przenoszą się na siatkę, przeto w rezultacie oddziaływanie tej ostatniej słabnie - prąd anodowy słabnie. Jest więc tak, jak gdyby opór wewnętrzny lampy zwiększył się. Wzmocnienie lampy zostaje w ten sposób zredukowane. Można wykazać, że równocześnie zostaje zredukowane zniekształcenie, wprowadzane przez stopień głośnikowy skutkiem pracy na zakrzywieniu charakterystyki.-



Rys.104.

F. Wzmacniacze wielkiej częstotliwości

31. Charakterystyka ogólna:

Wzmocnienie wielkiej częstotliwości w układach odbiorczych dochodzi do skutku przy pomocy wzmacniaczy napięciowych typu A.

Wzmacniacz wielkiej częstotliwości różni się pod pewnymi względami zasadniczo od wzmacniacza małej częstotliwości. Zadaniem tego ostatniego jest wzmocnić równomiernie stosunkowo szerokie widmo częstotliwości (porówn. § 2., str.59.), nie po-

1) Gdy potencjał siatki wzrasta, to wzrasta i prąd anodowy, spadek napięcia w oporze R_K powiększa się, wobec tego potencjał punktu n obniża się w stosunku do potencjału punktu m. Ten obniżony potencjał oddziaływuje na siatkę, a więc przeciwdziała on napięciu wzbudzającemu.-

trzebuje więc on być selektywny. Natomiast wzmacniacz wielkiej częstotliwości powinien wzmacniać bądź jedną częstotliwość (w przypadku znaków telegraficznych), bądź też stosunkowo wąskie widmo częstotliwości (widmo modulacji nadajnika radiofonicznego). Oznacza to, że wzmacniacz wielkiej częstotliwości musi być selektywny. Wobec tego, jako organa sprzęgające tego wzmacniacza, należy stosować obwody strojone lub tzw. filtry pasmowe[1] (p.niżej § 34 oraz rozdział VII).

Następnie, przy wzmocnieniu wielkiej częstotliwości dochodzą do znaczenia pojemności wewnętrzne lampy. Działanie ich występuje w pewnym stopniu już przy falach poniżej 1000 m. Dla fal poniżej 200 m pojemność siatka-anoda poprostu zwiera obwody, tak że prąd przepływa przez lampę, jak przez zwykłą pojemność. Lampa trójelektrodowa nie nadaje się więc do wzmacniania wyższych częstotliwości.

Gdy organem sprzęgającym będzie obwód strojony, to wzmacniacz taki nazwiemy strojonym (rezonansowym). Wzmacniacze sprzężone ze sobą w inny sposób nazwiemy niestrojonymi (aperiodycznymi).-

32. Wzmacniacze niestrojone.

Sposoby sprzężenia są takie same jak we wzmacniaczach małej częstotliwości. Jednakże uzyskanie równomiernego wzmocnienia dla danego zakresu częstotliwości jest tu o wiele trudniejsze ze względu na pojemności wewnętrzne lampy oraz pojemności własne cewek.

Sprzężenie oporowe może być użyte tylko dla fal dłuższych, a to ze względu na zwierające działanie pojemności wewnętrznych lampy.

Sprzężenie dławikowe daje lepsze rezultaty; jednakże - dzięki pojemności własnej - cewka tworzy obwód rezonansu prądów, który przedstawia największy opór tylko dla pewnego wąskiego zakresu częstotliwości, a więc tylko dla tych częstotliwości wzmocnienie jest duże.

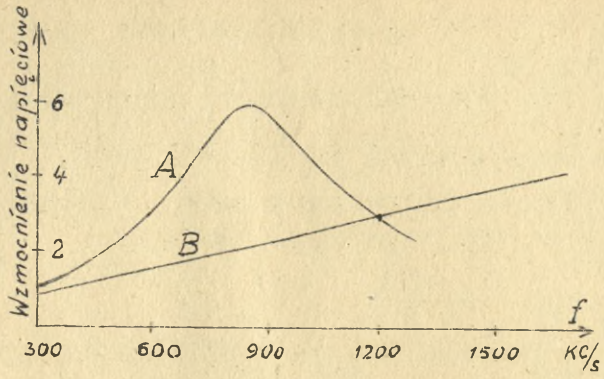
Wykres A na rys.105. przedstawia zależność rzeczywistego wzmocnienia napięciowego od częstotliwości dla dławika sprzęgającego (L = 1630 mikrohenrów) o pojemności własnej około 22 pF. Wykres B przedstawia wzmocnienie dla przypadku teoretycznego, gdyby cewka nie posiadała pojemności własnej.

Sprzężenie transformatorowe ze względu na duże rozproszenie pola magnetycznego nie może dać silnej sprzężności, chyba że użyto cewki z rdzeniami żelaznymi specjalnie dostosowanymi do wielkiej częstotliwości (p.rozdział XI.). I tu również występują zjawiska rezonansowe, wywołane zarówno przez pojemności własne, jak i wzajemne oddziaływanie uzwojeń.

Wzmocnienie napięciowe amplifikatora transformatorowego (p.rys.93.) można znaleźć z przybliżonego wzoru:

$$\frac{V_{s2}}{V_{s1}} = k_w = K \cdot k \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

1) Inaczej: wstęgowe albo widmowe.-



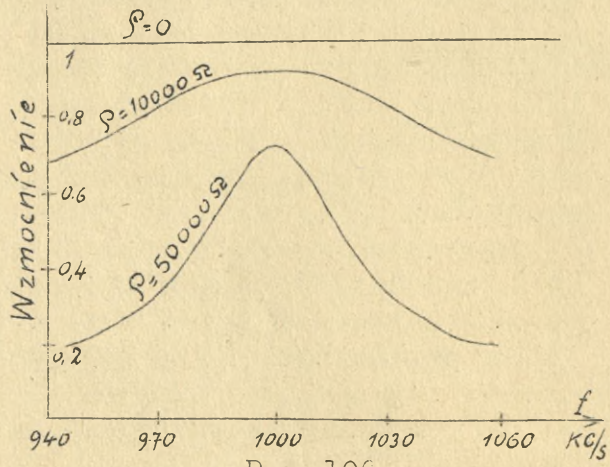
Rys.105.

gdzie k_w - współczynnik wzmocnienia, K - współczynnik amplifikacji, k - współczynnik sprzężności: $(k=\sqrt{\frac{M}{L_1L_2}})$, L_2-indukcyjność uzwojenia wtórnego, L_1 - indukcyjność uzwojenia pierwotnego. Okazuje się przy tym, że z pewnych względów najkorzystniej jest uczynić $L_2 = L_1$, unikając powiększenia wzmocnienia przez powiększenie stosunku: $\frac{L_2}{L_1}$.

Wzmacniacze niestrojone znajdują głównie zastosowanie w aparatach laboratoryjnych (np.urządzenia oscylografowe). Ze względu na brak selektywności są rzadko stosowane w układach odbiorczych.-

33. Wzmacniacze rezonansowe.

Lampa elektronowa stanowi źródło siły elektromotorycznej o dużym oporze wewnętrznym, dlatego też, aby uzyskać dużą selektywność przy pomocy obwodu rezonansowego, należy w obwód anodowy włączyć obwód rezonansu prądów, rys.92. (obwód rezonansu napięć może być stosowany tylko w przypadku źródła o małym oporze wewnętrznym). Wpływ oporności wewnętrznej lampy na napięcie Va powstające na zaciskach obwodu rezonansowego przedstawia rys.106. Gdyby opór wewnętrzny lampy był równy 0, to obwód La - Ca byłby wówczas poprostu zwarty; napięcie Va byłoby wówczas jednakowe dla wszystkich częstotliwości. Im wyższy jest opór wewnętrzny lampy, tym wyraźniej zaznacza się maksimum wzmocnienia dla pewnych częstotliwości, tzn. że tym ostrzejsza jest krzywa rezonansu. Z fizycznego punktu widzenia zjawisko można wytłumaczyć w ten sposób, że przy małej oporności wewnętrznej lampa tworzy dla obwodu rezonansowego rodzaj bocznika, zwierającego do pewnego stopnia ten obwód. Zatem energia szybkozmienna - zamiast całkowicie zostać wykorzystaną w obwodzie La - Ca - częściowo uchodzi z niego dzięki temu bocznikowi. Tłumienie obwodu wzrasta więc, zatem krzywa rezo-



Rys.106.

nansu ulega spłaszczeniu[1].

Wzmocnienie napięciowe może tu osiągnąć wartość zbliżoną do współczynnika amplifikacji V.

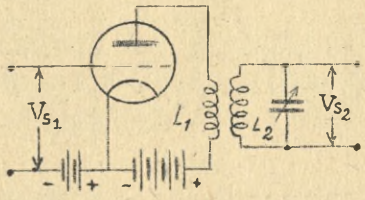
Warto podkreślić, że o ile dla fal długich oporność rezonansowa ($\frac{L}{CR}$) obwodu La - Ca dochodzi do 500000 omów, to dla fal krótkich spada do kilkunastu tysięcy omów. W związku z tym i wzmocnienie fal krótkich znacznie słabnie.-

34. Sprzężenie transformatorowe.

W układach z triodą stosuje się zwykle, jako organ sprzęgający, nie obwód rezonansu prądów, a transformator, którego obwód wtórny jest strojony, rys.107. Przy dobraniu najkorzystniejszej sprzężności uzyskuje się maksymalne wzmocnienie, które można obliczyć ze wzoru:

$$\frac{V_{s2}}{V_{s1}} = k = \frac{K\omega L_2}{2\sqrt{\rho R_2}}$$

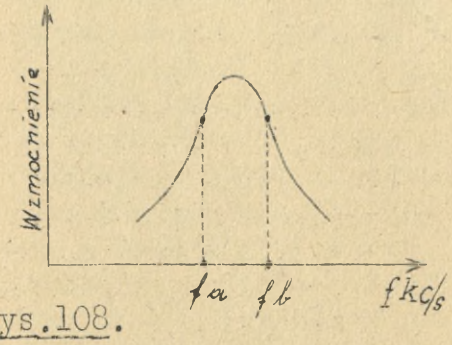
gdzie K jest to współczynnik amplifikacji, ω - pulsacja wzmacnianego prądu, L_2 i R_2 - indukcyjność i oporność omowa uzwojenia wtórnego, ρ - oporność wewnętrzna lampy.



Rys.107.

Dla pewnej określonej częstotliwości wzmocnienie k zależy od stopnia sprzężności obwodów: ze wzrostem sprzężności wzmocnienie początkowo dosyć szybko wzrasta, osiąga maksimum (tym wyraźniejsze im wyższa jest wzmacniana częstotliwość), potem powoli słabnie.

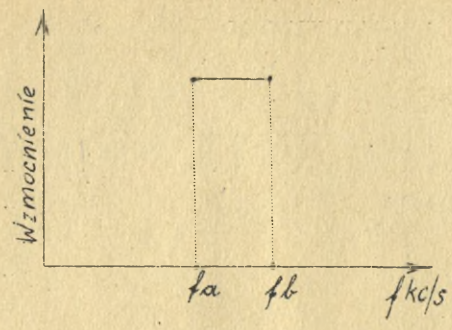
Selektywność układu zależy również od stopnia sprzężności: krzywa rezonansu jest ostrzejsza dla słabej sprzężności, zaś dla sprzężności silniejszej staje się bardziej płaska. Spłaszczona krzywa rezonansu oznacza wprawdzie zmniejszoną selektywność, równocześnie jednak umożliwia wierne odtwarzania sygnałów w przypadku odbioru widma częstotliwości (np.widma modulacji).



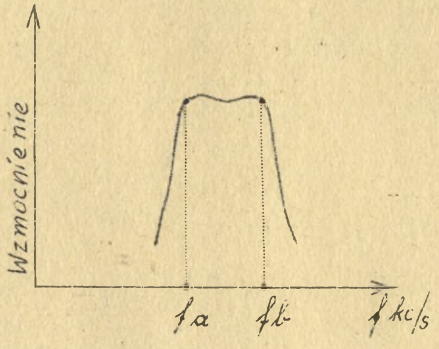
Rys.108.

Rys.108. przedstawia przybliżony przebieg krzywej wzmocnienia (rezonansu) układu z rys. 107. przy pewnej sprzężności. Przypuśćmy, że odbiornik powinien równomiernie wzmacniać częstotliwości od fa do fb. Aby wzmocnienie w tym zakresie było istotnie równomierne, krzywa rezonansu powinna być prostokątna, tak jak to przedsta-

1) Wykres powyższy odnosi się do obwodu rezonansowego, w którym C = 130 pF, zaś L = 200 mikrohenrów.-



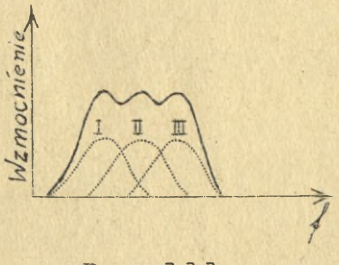
Rys.109.



Rys.110.

wia rys.109. Jest to krzywa idealna, której nie da się osiągnąć, do której jednak można się zbliżyć, stosując transformator posiadający oba obwody strojone (rys.94.). Przy odpowiednio silnej sprzężności uzyskuje się krzywą wzmacniania, jak na rys.110. Wprawdzie wzmocnienie skutkiem silnej sprzężności maleje, jednakże wierność odtwarzania jest duża, co dla odbiornika radiofonicznego ma pierwszorzędne znaczenie.

Szeroką krzywą rezonansu o stromych bokach można otrzymać w inny sposób: jak wiadomo, celem uzyskania wąskiej krzywej rezonansu stosuje się kilka obwodów rezonansowych. Jeżeli jednak wszystkie te obwody są nieco rozstrojone względem siebie, wówczas krzywa rezonansu układu, jako całości, jest pewną krzywą wypadkową; przykład przedstawia rys.111, na którym krzywe I,II,III - stanowią krzywe rezonansu poszczególnych(trzech) obwodów.



Rys.111.

Inny sposób otrzymania szerokiej krzywej rezonansu o stromych bokach polega na zastosowaniu filtrów pasmowych (p.rozdział VII).-

G. Sprzężenia zwrotne we wzmacniaczach.

35. Sprzężenie zwrotne może być wykorzystane do odtłumienia obwodów znajdujących się w poszczególnych stopniach wzmacniacza, np.wielkiej częstotliwości. W tym celu obwód anodowy jednej lub też każdej lampy sprzęga się słabo z jej obwodem siatki. Ten sam efekt można uzyskać, sprzęgając celowo obwód anodowy jednej lampy z obwodem siatkowym poprzedniej lampy, a nawet wszystkich lamp poprzednich.

Uzyskuje się w ten sposób powiększenie czułości układu wzmacniającego.

H. Ogólna charakterystyka triod odbiorczych.

36. W układach odbiorczych trioda znajduje obecnie prawie wyłącznie zastosowanie jako wzmacniacz małej częstotliwości: bądź na pierwszych stopniach wzmocnienia, o ile wystarcza mniejsza amplifikacja, bądź jako lampa (wzmacniacz mocy) sterująca układ przeciwsobny, do czego nadaje się lepiej od pentody (p.rozdział V.) ze względu na mniejszy opór wewnętrzny. Stosowana jest także jako lampa głośnikowa, wreszcie jako lampa oscylacyjna w układach superheterodynowych.

Jako detektor, znajduje zastosowanie w tanich i prostych odbiornikach.

Jako wzmacniacz wielkiej częstotliwości, nie jest obecnie prawie wcale stosowana ze względu na znaczną stosunkowo pojemność wewnętrzną oraz ze względu na wsteczne oddziaływanie wahań napięcia anodowego (p.rozdział V.), co razem wziąwszy sprawia, że wzmocnienie dla wyższych częstotliwości gwałtownie spada.

Współczynnik amplifikacji wynosi - zależnie od typu - w przybliżeniu od 25 do 45 V/V, nachylenie charakterystyki od 0,6 do 3 mA/V, opór wewnętrzny - od kilkuset omów (lampy głośnikowe) do 40 kiloomów. W triodach głośnikowych moc anodowa pobrana (obciążalność anody) dochodzi do 15 W, moc użyteczna przekracza nieco 4 W.

Do układów przeciwsobnych istnieją triody podwójne (duo--triody).-

J. Pojemność wejściowa i wyjściowa lampy.

37. Na pojemność wejściową lampy składa się: pojemność między siatką sterującą a katodą i (w lampach wielosiatkowych) pozostałymi elektrodami łączącymi się z katodą. Do tego dochodzi pojemność anoda-siatka i pojemność połączeń w cokole.

Na wielkość pojemności wejściowej wywierają wpływ: charakter oporności anodowej oraz zmiany ładunku przestrzennego. Te ostatnie zwłaszcza należy brać pod uwagę w lampach o regulowanym wzmocnieniu. Pojemność wejściowa dodaje się do pojemności obwodu strojonego w obwodzie siatkowym.

Pod pojemnością wyjściową rozumiemy sumę wszystkich pojemności pomiędzy anodą oraz wszystkimi elektrodami łączącymi się z katodą. Do tego dochodzi pojemność połączeń w cokole. Pojemność wyjściowa nie zależy od zmian ładunku przestrzennego. Dodaje się ona do pojemności obwodu rezonansowego od strony anody.

Pojemność wejściowa i wyjściowa są rzędu (zależnie od typu lampy) kilku - kilkunastu pikofaradów. We wzmacniaczach w.cz. wywierają one wpływ, praktycznie biorąc, w zakresie fal krótkich. We wzmacniaczach m.cz. wywierają one wpływ na przebieg wzmocnienia dla różnych częstotliwości akustycznych.-

R O Z D Z I A Ł V.

Lampy wielo-elektrodowe w układach odbiorczych

A. Lampa z siatką przeciwładunkową

1. Lampa z siatką przeciwładunkową (p.cz.I, str.149.) nie jest obecnie prawie wcale stosowana, toteż nie będziemy omawiać sposobów jej wykorzystania w układach odbiorczych.

B. Lampa z siatką osłonną. Lampa ekranowa.

2. Lampa z siatką osłonna. Jak wyjaśniono w cz.I,str. 144, lampa z siatką osłonna posiada pomiędzy siatką sterującą a anodą dodatkową - siatkę, zwaną siatką osłonną; siatka ta posiada potencjał dodatni, mniejszy od potencjału anody.

Zadaniem siatki osłonnej jest zwiększyć współczynnik amplifikacji, albo - co na jedno wychodzi - zmniejszyć przechwyt (inaczej: przenik).

Jak wiadomo, przenik wyraża jaka część napięcia anodowego oddziaływuje poprzez siatkę sterującą na katodę[1], albo - co na jedno wychodzi - w jakim stopniu zmiana napięcia anodowego wpływa na płynący przez lampę prąd anodowy: im większy przenik tym znaczniejszy jest ten wpływ. Że wpływ ten nie jest korzystny, wynika to z następującej przyczyny:

Załóżmy, że w pewnej chwili potencjał siatki sterującej wzrósł, w związku z tym powiększa się prąd anodowy, co z kolei powoduje zwiększenie spadku napięcia w oporze anodowym, a więc zmniejszenie napięcia anodowego. Otóż zmniejszenie napięcia anodowego przeciw-działa wzrostowi prądu anodowego, spowodowanemu zmianą potencjału siatki. Wynika stąd, że wpływ zmian napięcia anodowego i wpływ zmian napięcia siatki sterującej na prąd anodowy wzajemnie sobie przeciwdziałają. Wobec tego skuteczność oddziaływania siatki sterującej na prąd anodowy zostaje zmniejszona.

Aby więc zmniejszyć wpływ zmian napięcia anodowego na wzmocnienie, należy przenik uczynić małym.

Z drugiej znów strony, strumień elektronów dążący ku anodzie powinien być duży, czyli napięcie anodowe powinno jak najwięcej elektronów wyciągać z chmury ładunku przestrzennego, albowiem wówczas przy danym napięciu anodowym i napięciu siatki otrzymuje się duży prąd anodowy, zatem rodzina charakterystyk zostaje przesunięta w lewo, zaś charakterystyki lewe stwarzają lepsze warunki dla pracy lampy.

Widzimy zatem, że powinny tu być spełnione równocześnie dwa sprzeczne ze sobą warunki.

Lampa z siatką osłonną umożliwia równoczesne spełnienie tych warunków. Siatka osłonna jest właśnie anodą z punktu widzenia oddziaływania napięcia stałego: jej napięcie silnie oddziaływuje poprzez siatkę sterującą, co właśnie oznacza duży przenik. Dzięki jej oddziaływaniu na strumień elek-

1) Ściśle biorąc: na ładunek przestrzenny pomiędzy katodą a siatką sterującą.-

tronów, prąd anodowy, przy odpowiednim potencjale siatki sterującej, może być stosunkowo duży, a więc charakterystyki posiadają przebieg lewy. Na anodzie właściwej napięcie ulega, oczywiście, nadal wahaniom, jednakże wahania te wywierają minimalny wpływ na prąd anodowy, po pierwsze, właśnie dzięki przyspieszającemu wpływowi na elektrony siatki osłonnej, po drugie, dzięki temu, że poprzez siatkę osłonną przenika niewielka liczba linii pola elektrycznego anody, znaczna bowiem ich liczba kończy się już na siatce osłonnej. Wahania prądu anodowego uzależnione są więc tylko od zmian napięcia siatki sterującej, a to właśnie oznacza duże wzmocnienie.

Z powyższych rozważań wynika, że przenik siatki osłonnej jest duży, zaś przenik anody - mały. Inaczej mówiąc - współczynnik wzmocnienia odniesiony do siatki osłonnej jest mały, zaś współczynnik wzmocnienia odniesiony do anody jest duży.

W technice lamp z siatką osłonną (wzmacniacze mocy) podaje się czasami współczynnik wzmocnienia odniesiony do siatki osłonnej. Określa się go przy pewnym stałym napięciu anodowym, zmieniając naprzód np. napięcie siatki osłonnej, a potem napięcie siatki sterującej tak, aby ta ostatnia zmiana dała prąd anodowy początkowy. Sposób określenia współczynnika wzmocnienia jest więc taki sam jak w lampie trójelektrodowej, z tym że zamiast napięcia anodowego zmieniamy napięcie siatki osłonnej.

Ponieważ pewna liczba elektronów zostaje wchłonięta przez siatkę osłonną dzięki jej dodatniemu potencjałowi, wobec tego w obwodzie tej siatki płynie pewien prąd, który w normalnych warunkach jest znacznie mniejszy od prądu anodowego, albowiem przeważająca liczba elektronów dzięki nabytemu pędowi z łatwością przelatuje przez siatkę osłonną do anody.-

3. Lampa ekranowa. Siatka osłonna, zapobiegając oddziaływaniu zmiennego napięcia anodowego na strumień elektronów, nie chroni jednak siatki sterującej przed elektrostatycznym, tzn. pojemnościowym oddziaływaniem anody; pewna bowiem liczba linii sił przedostaje się z anody do siatki sterującej, skutkiem czego zmienne napięcie anodowe wznieca na tej siatce potencjał zmienny. To oddziaływanie pojemnościowe jest przy małych częstotliwościach znikomo małe, jednakże przy wielkich częstotliwościach jego wpływ staje się szkodliwy, albowiem oddziaływanie wsteczne napięcia anodowego oznacza sprzężenie zwrotne, mogące wywołać drgania własne lampy. Jako wzmacniacz wielkiej częstotliwości, lampa staje się wtedy niezdatna do pracy. Celem więc dalszego zmniejszenia pojemności anoda-siatka stosuje się siatki osłonne o gęstym nawinięciu, uzupełnione specjalnym ekranem zamykającym anodę ze wszystkich stron, tak że pojemnościowe oddziaływanie anody na

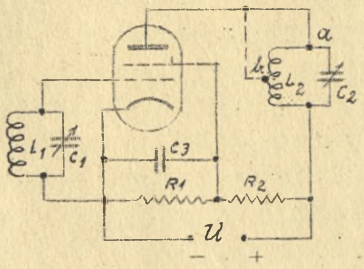
siatkę sterującą zostaje jeszcze bardziej zredukowane. W ten sposób uzupełniona siatka osłonna nazywa się siatką ekranową. Dzięki niej pojemność anoda-siatka zostaje zredukowana do rzędu 0,001 pF (w triodach - kilka pikofaradów).

Pomiędzy siatką osłonną a siatką ekranową istnieje więc różnica: siatka osłonna ma zmniejszyć oddziaływanie anody na ładunek przestrzenny (a więc na strumień elektronów), zaś siatka ekranowa ma prócz tego zmniejszyć jak najbardziej pojemność anoda-siatka.

W dalszym ciągu siatką osłonną będziemy także nazywali siatkę ekranową.

Siatka osłonna powinna posiadać jak najbardziej stały potencjał. Ponieważ jednak przepływa przez nią zmienny (co do wielkości) strumień elektronowy, wobec tego natężenie prądu siatki osłonnej, a więc i jej napięcie posiada również zmienną wartość. Aby usunąć wahania potencjału siatki osłonnej, stosuje się kondensatory wyrównawcze o dużej pojemności (rzędu 0,01 mikrofarada dla stopni wielkiej częstotliwości oraz rzędu 0,5-1 mikrofarada dla stopni małej częstotliwości).

Rys.112. przedstawia zasadniczy schemat stopnia wielkiej częstotliwości z lampą ekranową, której siatka ekranowa jest zasilana z potencjomierza. Napięcie siatki osłonnej jest mniejsze od napięcia anodowego o spadek napięcia w oporniku R_2, a więc równa się spadkowi napięcia w oporniku R_1. Kondensator C_3 jest kondensatorem wyrównawczym siatki osłonnej.



Rys.112.

Parametry lampy zależą w dużym stopniu od napięcia siatki osłonnej. Zwiększenie tego napięcia powoduje wzrost nachylenia charakterystyki, zmniejszenie współczynnika wzmocnienia i zmniejszenie oporności wewnętrznej. Dobroć lampy osiąga maksimum przy pewnym określonym napięciu siatki osłonnej. Najkorzystniejsze działanie lampy uzyskuje się zatem przy takim napięciu siatki osłonnej, które właśnie daje maksimum współczynnika dobroci.

Lampa ekranowa dzięki bardzo dużemu oporowi wewnętrznemu (rzędu kilkuset tysięcy omów) dodatnio wpływa na selektywność układu, co tłumaczy się następująco: lampę możemy traktować jako pewien opór załączony równolegle do obwodu rezonansowego L_2-C_2, rys.112. Dobrze wykonany obwód rezonansowy może posiadać oporność $(\frac{L}{CR})$ rzędu pół megoma[1]. Jeżeli oporność wewnętrzna lampy jest niewielka (mniejsza od oporności rezonansowej obwodu), działa ona wówczas tłumiąco na obwód rezonansowy L_2-C_2, albowiem część energii szybkozmiennej ucho-

1) Na falach długich.-

dzi z tego obwodu dzięki właśnie bocznikującemu działaniu niewielkiej stosunkowo oporności ρ lampy.[1] Gdy opór wewnętrzny lampy jest duży, w porównaniu z oporem obwodu rezonansowego, wówczas bocznikujące działanie lampy jest minimalne, energia szybkozmienna zostaje prawie w całości wykorzystana w obwodzie L_2-C_2. Można wykazać, że przez przyłączenie lampy o oporze wewnętrznym ρ do obwodu drgań jego oporność zostaje powiększona o wartość $\frac{1}{\rho C}$, gdzie C = pojemność obwodu rezonansowego w faradach.

4. Zastosowanie lampy ekranowej.

Lampa ekranowa może być wykorzystana jako wzmacniacz wielkiej częstotliwości, małej częstotliwości, detektor, generator.-

5. Wzmocnienie wielkiej częstotliwości.

Lampa ekranowa nadaje się przede wszystkim do wzmocnienia wielkiej częstotliwości. Sposób łączenia poszczególnych lamp ze sobą jest zasadniczo taki sam jak w układach z triodą. Biorąc pod uwagę dużą oporność wewnętrzną lampy, należałoby w obwód anodowy włączyć organ sprzęgający o bardzo dużym oporze, a to celem osiągnięcia znacznego wzmocnienia napięciowego, a więc celem odpowiedniego wykorzystania lampy. Toteż, jako organ sprzęgający, najlepiej nadaje się tu obwód rezonansu prądów (rys.112). Aby zmniejszyć tłumiące działanie lampy jako bocznika, anoda zamiast z punktem a, rys.112, może być połączona z odpowiednim zwojem cewki L_2 (np.punkt b)

Lampa ekranowa daje zadowalające wyniki jako wzmacniacz napięciowy, pod warunkiem, że amplituda napięcia wzbudzającego nie jest zbyt duża (poniżej 1 V), w przeciwnym bowiem razie punkt pracy może przejściowo przechodzić w obszar wklęśnięcia charakterystyk anodowych (p.cz.I, rys.142.), co w wyniku daje zniekształcenie.-

6. Wzmocnienie małej częstotliwości.

Ze względu na wklęśnięcia charakterystyk anodowych lampa ekranowa nadaje się do wzmacniania niewielkich napięć. Stąd też jej użycie na stopniach małej częstotliwości jest bardzo ograniczone.

Ostatnio[2] zostały opracowane lampy ekranowe, których charakterystyki anodowe są pozbawione wklęśnięć i są zasadniczo podobne do charakterystyk anodowych pentod (cz.I,rys.144). Ujemny efekt emisji wtórnej został zmniejszony do minimum przez dobór odległości pomiędzy anodą a siatką osłonną oraz przez wprowadzenie odpowiednich płytek sterujących wewnątrz lampy. Lampy te nadają się na stopień końcowy odbiornika, jako lampy głośnikowe.

7. Lampa ekranowa, jako detektor może pracować systemem detekcji siatkowej lub anodowej. Układy są zasadniczo podobne do

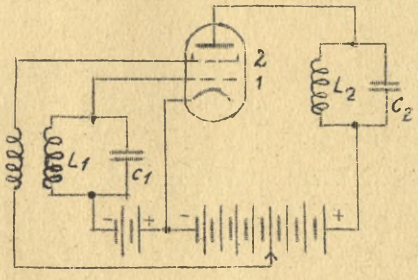
---

1) Por.str.105, § 33.-
2) 1937 rok.-

układów z triodą.-

8. Lampa ekranowa, jako generator[1]. Sprzężenie elektronowe.

Jako generator, lampa ekranowa odznacza się dużą stałością wytwarzanych drgań, jest jednak trudniejsza do uruchomienia. Celem uzyskania sprzężenia zwrotnego może być wykorzystany - podobnie jak w układzie z triodą - obwód anodowy i obwód siatki sterującej, bądź też obwody obu siatek. Zasadniczy schemat dla ostatniego przypadku przedstawia rysunek 113. Siatki 1.i 2. spełniają rolę siatki sterującej i anody zwykłej triody, jeżeli chodzi o wytwarzanie drgań.



Rys.113.

Część elektronów przedostawszy się przez siatkę 2., zostaje wchłonięta przez anodę, tworząc prąd anodowy. Oczywistym jest,że ponieważ strumień elektronowy przedostający się przez siatkę 2. waha się w rytmie zmian potencjału siatek 1.i 2., wobec tego prąd anodowy zawiera składową szybko - zmienną, której częstotliwość określona jest przez obwód rezonansowy L_1-C_1. Składowa ta zasila obwód L_2-C_2.

Jak widzimy, nie mamy tu oddziaływania[1] obwodu L_2-C_2 na obwód L_1-C_1. Sprzężenie dochodzi do skutku za pośrednictwem strumienia elektronów, stąd też ten sposób sprzężenia nosi nazwę elektronowego.

Układ powyższy można uważać jako złożony z lampy generacyjnej i lampy wzmacniającej.

Najczęściej stosowanym sprzężeniem zwrotnym jest tu układ trójpunktowy. Odpowiedni przykład zostanie umówiony w dalszym ciągu.-

C. P e n t o d a

9. Charakterystyka ogólna.

Pomiędzy siatką osłonną a anodą posiada ona dodatkową siatkę, zwaną przeciwemisyjną albo hamującą (p.cz.I, str. 148.), której działanie usuwa ujemny efekt emisji wtórnej.

Dodanie jeszcze jednej siatki zmniejsza znowu przenik, a więc powiększa współczynnik amplifikacji. Napięcie anodowe może wahać się w dużych granicach, a nawet może przejściowo stawać się mniejsze od napięcia siatki osłonnej.

Usunięcie ujemnego efektu emisji wtórnej pozwala stosować dla siatki osłonnej napięcie równe napięciu anodowemu. Duże napięcie siatki osłonnej sprawia, że odcinki górne charakterystyk anodowych przebiegają bardziej poziomo, co

- -

1) w układach odbiorczych.-
2) w sensie indukcyjnym lub pojemnościowym.-

oznacza właśnie zmniejszenie wpływu zmian napięcia anodowego na prąd anodowy; ponadto krzywizna staje się mniej rozległa, co ma ważne znaczenie z punktu widzenia zniekształceń.

Pentoda znajduje zastosowanie jako wzmacniacz wielkiej częstotliwości, małej częstotliwości, detektor. Może być także wykorzystana jako generator, zarówno w układach odbiorczych, jak i nadawczych.-

10. Wzmocnienie wielkiej częstotliwości.

Na stopniu wzmocnienia wielkiej częstotliwości pentoda prawie w zupełności wyrugowała lampę z siatką osłonną. Charakterystyczną cechą pentod współczesnych jest duży opór wewnętrzny (rzędu 1-2 megomów) oraz bardzo mała pojemność pomiędzy anodą a siatką sterującą (0,001-0,006 pF). Z dużym oporem wewnętrznym łączy się bardzo duży współczynnik wzmocnienia (do 5000 V/V). Dzięki tym własnościom, układy z pentodą mogą posiadać bardzo dobrą selektywność. Wzmocnienie (napięciowe) układu z pentodą jest w praktyce znacznie mniejsze od współczynnika amplifikacji: wyraża się w przybliżeniu liczbą 150-300, a to w zależności od jakości obwodu rezonansowego od strony anody, stanowiącego organ sprzęgający. Ten sposób sprzęgania jest tu bowiem najdogodniejszy, podobnie jak w przypadku z lampą ekranową.

Anodę i siatkę sterującą wyprowadza się na zewnątrz w różnych miejscach lampy, co pozwala na dalsze zmniejszenie pojemności pomiędzy tymi elektrodami. Istnieją tu dwa typy: w jednych siatka sterująca dołączona jest wraz z innymi elektrodami (oprócz anody) do cokołu, natomiast anoda jest wyprowadzona na wierzchołku balonu; w drugich siatka sterująca wyprowadzona jest do stykuna wierzchołku balonu, zaś anoda wraz z pozostałymi elektrodami jest doprowadzona do cokołu. Ekran wewnętrzny (połączony z siatką osłonną) nie wystarcza, aby ochronić anodę od elektrostatycznych oddziaływań przewodów zewnętrznych siatki sterującej. Dlatego też balon szklany jest po stronie zewnętrznej pokryty masą metaliczną (tzw. metalizacja), która w nowych typach lamp łączy się ze specjalnym stykiem w cokole, styk zaś łączy się z masą aparatu. Przewód siatkowy na zewnątrz lampy posiada ekran metalowy (przewód "opancerzony"), również uziemiony. Jeżeli siatka sterująca jest wyprowadzona na wierzchołku balonu, to na styk nakłada się specjalny ekran (w kształcie pudełka) połączony z przewodem zewnętrznym siatki. Tylko przez takie staranne ekranowanie możliwym jest pełne wyzyskanie lampy.

W dawniejszych typach lamp siatka hamująca była połączona z katodą wewnątrz lampy, w nowych typach łączy się ze specjalnym stykiem w cokole, połączenie z katodą uskutecznia się więc na zewnątrz lampy. Ten ostatni sposób jest z pewnych względów korzystniejszy.-

11. Wzmocnienie małej częstotliwości.

Pentoda znajduje szerokie zastosowanie jako lampa głośnikowa (wzmacniacz mocy). Pomiędzy detektorem a stopniem końcowym pentoda, jako wzmacniacz małej częstotliwości, nie jest stosowana, gdyż całkowite wzmocnienie byłoby zbyt duże. Bowiem na wyjściu pentody małej częstotliwości można z łatwością otrzymać napięcia zmienne ponad 100 V. Toteż dalsze wzmocnienie takich napięć wymagałoby specjalnych lamp większej mocy.

Najczęściej stosowanym organem sprzężenia międzylampowego jest układ oporowo-pojemnościowy.

W porównaniu z triodą pentoda posiada następujące zalety:

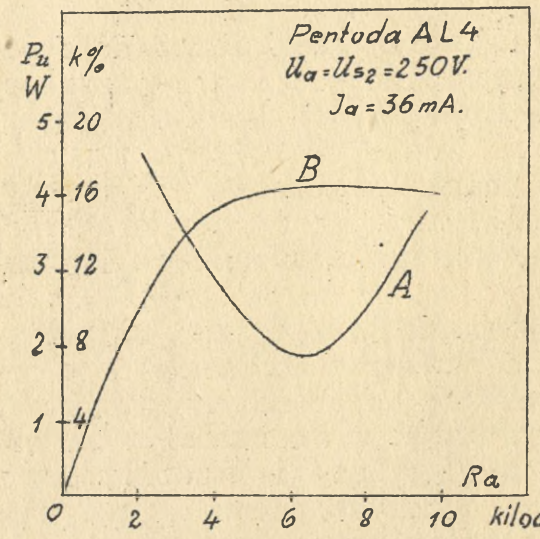
1) pentoda posiada znacznie większą dobroć dzięki dużemu współczynnikowi wzmocnienia i dużemu nachyleniu (dochodzącemu do mniej więcej 10 mA/V); zatem celem wytworzenia pewnej mocy użytecznej potrzebuje znacznie mniejszego (6-8 razy) napięcia wzbudzenia. Dzięki temu pentoda głośnikowa może być połączona bezpośrednio z lampą detekcyjną, natomiast trioda głośnikowa wymaga zastosowania po detektorze wzmacniacza (co najmniej jednostopniowego) małej częstotliwości (w niektórych pentodach głośnikowych pełne wystosowanie lampy uzyskuje się przy napięciu wzbudzającym rzędu 3 V).
2) Ponieważ napięcie siatki osłonnej przesuwa w lewo charakterystyki siatkowe i to tym bardziej im wyższe jest napięcie, wobec tego można uzyskać znacznie większą moc wyjściową.
3) Pentoda pozwala uzyskać znacznie większą sprawność (30%-47%) niż trioda (16-25%)[1].
4) Pomimo dużego oporu wewnętrznego pentody, jej najkorzystniejszy opór anodowy jest stosunkowo niewielki. Przy takim stosunku oporu zewnętrznego do wewnętrznego występuje faworyzowanie tonów wyższych. Dla odbioru odległych stacyj jest to o tyle korzystne, że niezbędna wtedy zwiększona selektywność osłabia wyższe tony, co zostaje częściowo skompensowane przez stopień końcowy, zaopatrzony w pentodę.

W porównaniu z triodą pentoda posiada tę ujemną cechę, że wymaga staranniejszego doboru obciążenia, w przeciwnym razie zniekształcenie amplitudy rośnie szybko, szczególnie gdy opór anodowy staje się większy od właściwego. Pentoda jest więc bardziej wrażliwa na zmiany obciążenia niż trioda. Rys.114. przedstawia zależność zniekształcen od oporu wewnętrznego (krzywa A). Krzywa B przedstawia zależność mocy użytecznej P_u od oporu zewnętrznego. Jak widzimy, moc ta ze

---

1) Odnosi się to do najwyższej dopuszczalnej mocy.-

wzrostem oporu zmienia się nieznacznie, natomiast zniekształcenie rośnie bardzo szybko.

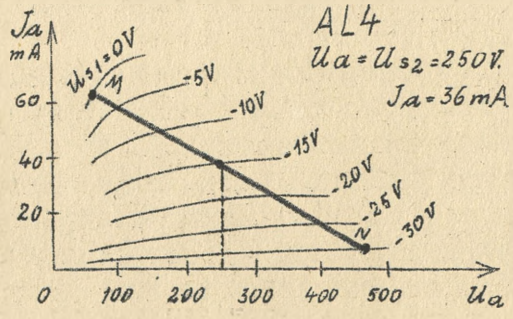


Rys.114.

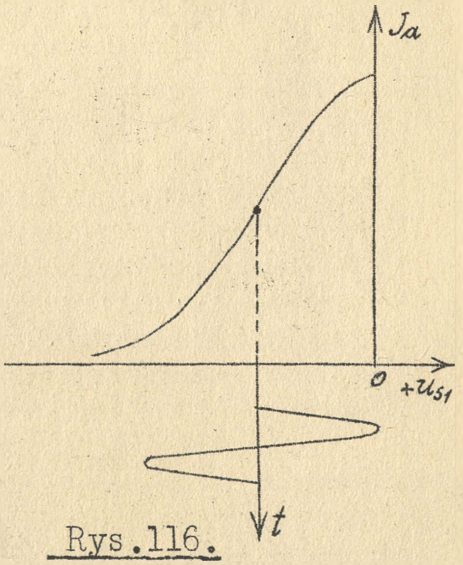
Zaletę triody stanowi wreszcie bardziej równomierne wzmacnianie widma modulacji, podczas gdy pentoda jako wzmacniacz faworyzuje - jak już zaznaczono - raczej wysokie tony.-

Rys.115. przedstawia charakterystyki anodowe pentody wraz z charakterystyką roboczą (prosta M-N). Im bardziej poziomo przebiega charakterystyka robocza, a więc im większy jest opór anodowy, tym większe jest zniekształcenie.

Na rys.116. widzimy charakterystykę roboczą siatkową[1]. Jak widzimy, posiada ona zakrzywienie górne i dolne, w związku z tym oba półokresy prądu anodowego ulegają spłaszczeniu. Takie zniekształcenie wprowadza harmoniczne - drugą i trzecią (wyższe harmoniczne mogą być pominięte), przy



Rys.115.



Rys.116.

czym trzecia harmoniczna przeważa. Przez dobranie odpowiedniego oporu anodowego druga harmoniczna może być zupełnie usunięta, tak że pozostaje tylko harmoniczna trzecia.

---

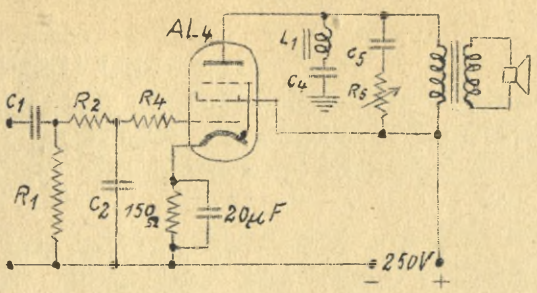
1) Charakterystyki siatkowe statyczne $J_a = f(U_{s1})$ posiadają w przybliżeniu taki sam przebieg, jak dla triody.-

W katalogach lamp podaje się na ogół maksymalną moc użyteczną pentody przy zniekształceniu 10%.

Największą moc użyteczną uzyskuje się w pentodzie przy oporze zewnętrznym: $R_a = \frac{U_a}{J_a}$

Można wykazać, że korzystniejsze jest stosowanie pentody o mniejszym współczynniku wzmocnienia i mniejszym oporze wewnętrznym[1].

Najczęściej stosowane obciążenie pentody jest indukcyjne (indukcyjność głośnika, transformatora). Dla wyższych częstotliwości akustycznych widma modulacji oporność anodowa, a więc i wzmocnienie, wzrasta i to bardzo szybko. Równocześnie zaś powiększa się znacznie zniekształcenie. Aby zapobiec wzrostowi oporności zewnętrznej, załącza się często równolegle do indukcyjności obciążającej kondensator o pojemności rzędu 0,01 mikrofarada wraz z oporem rzędu kilkunastu tysięcy omów (rys.117.- kondensator C_5 i opór R_5). Przez bocznikujące działanie tego układu wyższe częstotliwości zostają w mniejszym lub większym stopniu tłumione. To urządzenie może być wykorzystane do zmiany barwy dźwięków przez zastosowanie zmiennego oporu R (przez stłumienie wyższych tonów dźwięk staje się bardziej głęboki).



Rys.117.

Rys.117. przedstawia przykład stopnia wyjściowego z pentodą AL4. Kondensator C_1 (5000 pF) przekazuje do siatki częstotliwości akustyczne z poprzedniego stopnia (sprzężenie oporowo-pojemnościowe); opór R_1 (0,9 megoma) jest oporem upływowym, R_2 (0,1 megoma) wraz z C_2 (100 pF) stanowi filtr niedopuszczający do siatki sterującej wielkiej częstotliwości, która - jak wiemy - stanowi zawsze składową prądu zdetektorowanego; R_4 (1000 omów) zapobiega powstawaniu w pentodzie drgań pasożytniczych bardzo wielkiej częstotliwości (odpowiadającej falom bardzo krótkim)[2]; L_1 (0,1H) i C_4 (3000 pF) mają za zadanie stłumić ton o wysokości 9 kc/s, który powstaje przez wyprostowanie drgań interferencyjnych, wytworzonych przez nakładanie się fal nośnych dwóch

---

1) Dla pentod głośnikowych opór wewnętrzny rzadko jest mniejszy od 50000 omów, zaś dla triod głośnikowych jest rzędu 1000 omów.-

2) Możliwość powstawania tych drgań istnieje w lampach o dużym nachyleniu. Dlatego też w siatkę włącza się opór tłumiący 100-1000 omów). Opór ten może być włączony szeregowo w obwód anodowy lub siatki osłonnej, wartość jego wówczas nie powinna na ogół przekraczać 100 omów.-

stacyj, których częstotliwości różnią się w przybliżeniu o 9 kc/s. Obwód L_1-C_4 jest właśnie nastrojony na częstotliwość 9 kc/s i jako obwód rezonansu napięć zwiera tę częstotliwość. Jest to -krótko mówiąc- filtr obliczony na tłumienie częstotliwości 9 kc/s.

C_5 (20000 pF) i R_5 (50000 omów) stanowią regulator barwy dźwięków. Identyczny układ może być włączony od strony siatki sterującej, zamiast od strony anody.

Pentoda zasadniczo powinna pracować w układzie wzmacniacza typu A. Może ona również pracować w układzie przeciwsobnym, przy czym stosuje się wzmocnienie typu A, rzadziej B. Układy przeciwsobne są jednak mało stosunkowo rozpowszechnione. Należy tu zaznaczyć, że nie usuwają one trzeciej harmonicznej.

Pentoda, podobnie jak i lampa ekranowa, może ulec uszkodzeniu, jeżeli przy załączonych innych napięciach obwód anodowy zostanie przerwany, bowiem prąd siatki osłonnej wówczas nadmiernie wzrasta.

Zewnętrznie pentoda małej częstotliwości różni się od pentody wielkiej częstotliwości; między innymi nie posiada metalizacji zewnętrznej, przez co polepsza się warunki chłodzenia; jest to bardzo ważne, albowiem moc wydzielana w anodzie jest tu znacznie większa niż w pentodzie wielkiej częstotliwości. Również celem polepszenia chłodzenia pochłaniacz, (tzn.substancja pochłaniająca resztki gazów i tworząca srebrny nalot na ścianie wewnętrznej balonu) pokrywa nie cały balon, a tylko część.

Wewnętrzna powierzchnia balonu często pokryta jest masą grafitową, mającą zapobiegać wytwarzaniu ładunków na ścianie balonu przez tzw. elektrony rozproszone. Pole elektryczne tych ładunków wywierałoby zakłócające działanie na główny strumień elektronów. Masa grafitowa, jako przewodząca, umożliwia odpływ tych ładunków [1].

12. Detekcja.

Do celów detekcji stosuje się pentodę wielkiej częstotliwości. Podobnie jak w układach z triodą czy tetrodą, siatka sterująca spełnia tu funkcję prostownika jednokierunkowego (dioda).

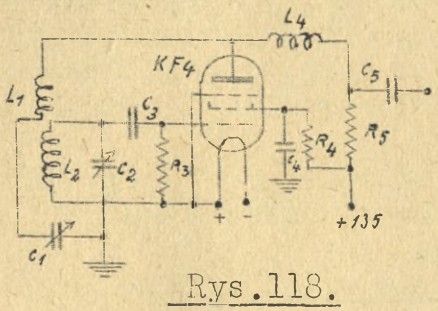
W układzie detekcji anodowej istnieją trudności wzbudzenia drgań, jeżeli pentoda ma być wykorzystana w układzie autodynowym. Ponadto wzmocnienie jest mniejsze. Stąd też prostowanie odbywa się prawie wyłącznie systemem detekcji siatkowej.

Pentoda, jako detektor, znajduje prawie wyłącznie zastosowanie w mniejszych odbiornikach.

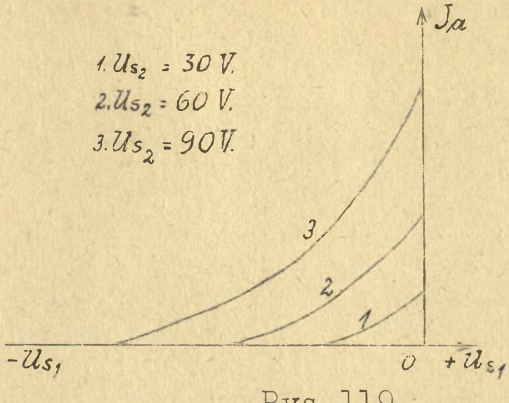
---

1) Podobne substancje polepszające przewodność wewnętrznej powierzchni balonu stosuje się także w lampach wielkiej częstotliwości.-

Rys.118. przedstawia przykład wykorzystania pentody KF4 w układzie reakcyjnym (Reinartz). L_1 i C1 stanowią organy sprzężenia zwrotnego; C3 (100 pF) i R3 (1,5 megoma) stanowią mostek detekcyjny; L_4 -dławik wielkiej częstotliwości[1], R_5 (100000 omów) i C5 (10000 pF) stanowią organ sprzęgający lampę ze stopniem następnym. R_4 (0,5 megoma) obniża napięcie siatki osłonnej; dzięki szeregowemu włączeniu w obwód siatki (por.rys.112.) wywiera on korzystny wpływ na działanie układu detekcyjnego. Celem wyjaśnienia jego działania rozpatrzmy naprzód charakterystyki siatkowe pentody przy stałym napięciu anodowym, a różnych napięciach siatki osłonnej, rys.119. Jak widzimy, wzrost napięcia siatki osłonnej (U_{s2}) przesuwa charakterystykę w lewo, powiększając jej nachylenie. Otóż dzięki szeregowemu włączeniu oporu R_4 napięcie siatki osłonnej ulega zmianom, zależnym od amplitudy napięcia prostowanego. Istotnie, wiemy, że napięcie wzbudzające w detektorze siatkowym obniża średnie napięcie siatki i to tym bardziej, im wyższe jest napięcie wzbudzające, skutkiem czego strumień elektronów maleje, zatem maleje -oczywiście- także prąd siatki osłonnej, a więc i spadek napięcia w oporze R_4. W związku z tym potencjał siatki osłonnej wzrasta, a więc charakterystyka przesuwa się w lewo, tym bardziej im silniejszy jest odbierany sygnał. Wobec tego lampa może prostować większe amplitudy bez zniekształceń.

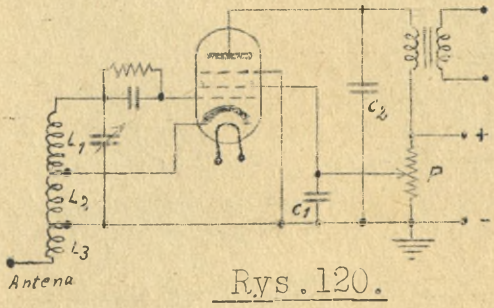


Rys.118.



Rys.119.

Przykład pentody w układzie reakcyjnym do odbioru fal krótkich przedstawia rys.120. Sprzężenie zwrotne dochodzi do skutku przy pomocy cewki trójpunktowej (L_1+L_2) sprzęgającej obwód siatki sterującej i osłonnej. Cewka L_2 znajduje się w obwodzie siatki osłonnej, zaś cewka L_1 - w obwodzie siatki sterującej. Jak widać, katoda nie jest tu uziemiona, a ponieważ jest odgałęziona od cewki obwodu zamkniętego drgań,



Rys.120.

1) Dławik ten może być zastąpiony oporem rzędu kilku tysięcy omów (w mniejszych odbiornikach).-

przeto posiada potencjał szybkozmienny w stosunku do masy aparatu. L_3 sprzęga układ z anteną.

Wzbudzenie i zerwanie drgań uzyskuje się tu przez zmianę napięcie siatki osłonnej przy pomocy układu potencjometrycznego P. Kondensator C_1 (wyrównawczy) przepuszcza składową szybkozmienną obwodu siatki osłonnej, zaś C_2 - składową szybkozmienną obwodu anodowego.

Inne lampy wielosiatkowe ze względu na ich specjalny charakter zostaną omówione w następnych rozdziałach.-

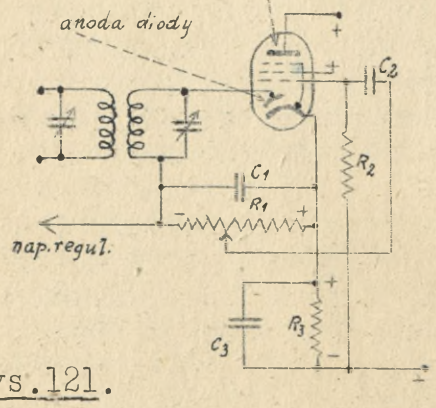
D. Lampy kombinowane. Lampy wielokrotne.

13. Lampy kombinowane.

Detekcja przy pomocy diody nie jest -jak wiemy- połączona ze wzmocnieniem, jak to ma miejsce w przypadku detekcji przy pomocy lampy trójelektrodowej. Aby więc uniknąć stosowania dodatkowej lampy wzmacniającej, umieszcza się w bańce z diodą układ wzmacniający. Powstaje w ten sposób lampa kombinowana, zwana bincdą, w której układ prostujący i układ wzmacniający są zasilane przez wspólną katodę. Układ wzmacniający wzmacnia napięcie małej częstotliwości, dostarczone przez diodę. Układem wzmacniającym może być trioda, tetroda lub pentoda.

Ponieważ wewnątrz lampy spotykają się prądy różnych częstotliwości, przeto koniecznym jest dokładne elektryczne odseparowanie obu systemów wewnątrz lampy, aby usunąć ich wzajemne oddziaływanie. Stosuje się w tym celu wewnętrzne ekrany.

Rys.121. przedstawia układ z binodą. Wzmacniaczem jest tu pentoda. Z opornika zewnętrznego diody R_1 otrzymuje się napięcie regulujące i napięcie małej częstotliwości. To ostatnie poprzez kondensator C_2 zostaje doprowadzone do siatki sterującej wzmacniacza. Spadek napięcia prądu anodowego w oporniku R_3 wytwarza początkowy ujemny potencjał dla siatki sterującej pentody. Opór wysokoomowy R_2 zapobiega zwieraniu się częstotliwości akustycznej.



Rys.121.

Istnieją układy, w których głośnik można włączyć w obwód anodowy wzmacniacza, bez potrzeby stosowania dodatkowego wzmocnienia.-

14. Lampy wielokrotne.

Zawierają one w jednej wspólnej bance kilka jednakowych systemów wzmacniających zasilanych przez wspólną katodę (lam-

py Loewe´go). Elementy sprzęgające (opory i kondensatory) są również umieszczane wewnątrz banki. Poważną wadę stanowi tu fakt, że skutkiem uszkodzenia jednego systemu cały układ staje się niezdatny do użytku. Lampy te straciły obecnie na znaczeniu.-

R O Z D Z I A Ł VI.

Regulacja wzmocnienia. Lampy o zmiennym nachyleniu.

W zależności od mocy i odległości odbieranej stacji nadawczej siła dźwięków w głośniku zmienia się w bardzo rozległych granicach. Otóż w danych warunkach audycji istnieje zawsze pewna moc wyjściowa (siła dźwięków) najdogodniejsza, którą odbiornik powinien wytworzyć, niezależnie od siły sygnałów na jego wejściu.

Regulacja wzmocnienia umożliwia zmianę czułości odbiornika: dla sygnałów słabych czułość odbiornika zostaje powiększona, dla sygnałów silnych - zmniejszona; w ten sposób siłę dźwięków można utrzymać w przybliżeniu na jednym poziomie.

Zmiana wzmocnienia (czułości) może odbywać się bądź ręcznie, bądź automatycznie.-

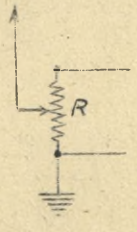
A. Regulacja ręczna

1. Układy z regulacją ręczną.

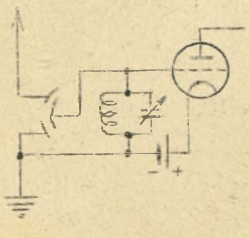
Urządzenie do zmiany siły dźwięków może działać bądź na stopniu wielkiej częstotliwości, bądź też na stopniu małej częstotliwości.

Najprostszym sposobem zmiany czułości, stosowanym w małych aparatach, jest zmiana sprzężenia zwrotnego w układach z reakcją.

W przypadku oporowego sprzężenia anteny ze stopniem wejściowym, rys.122., czułość odbiornika można zmieniać przy pomocy suwaka opornika sprzęgającego R (rzędu 10000 omów). Należy zaznaczyć, że przesuwanie suwaka może powodować trzaski. Zmianę czułości można także osiągnąć przy pomocy kondensatora różnicowego (p.cz.1,str.172),sprzęgającego antenę ze stopniem wejściowym, rys.123. Przez zmianę położenia płytek ruchomych pojemność układu zmianie nie ulega, zmienia się tylko stopień sprzężności z anteną.



Rys.122.



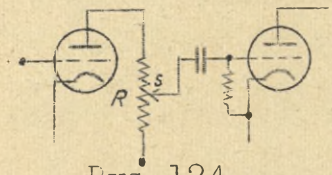
Rys.123.

Na stopniu wzmocnienia małej częstotliwości najlepiej jest zastosować-celem zmiany wzmocnienia- układ potencjometryczny. Przykład podany jest na rys.124. Napięcie małej

częstotliwości przekazywane z jednej lampy do drugiej przy pomocy układu oporowo-pojemnościowego można zmieniać przez zmianę położenia suwaka s.-

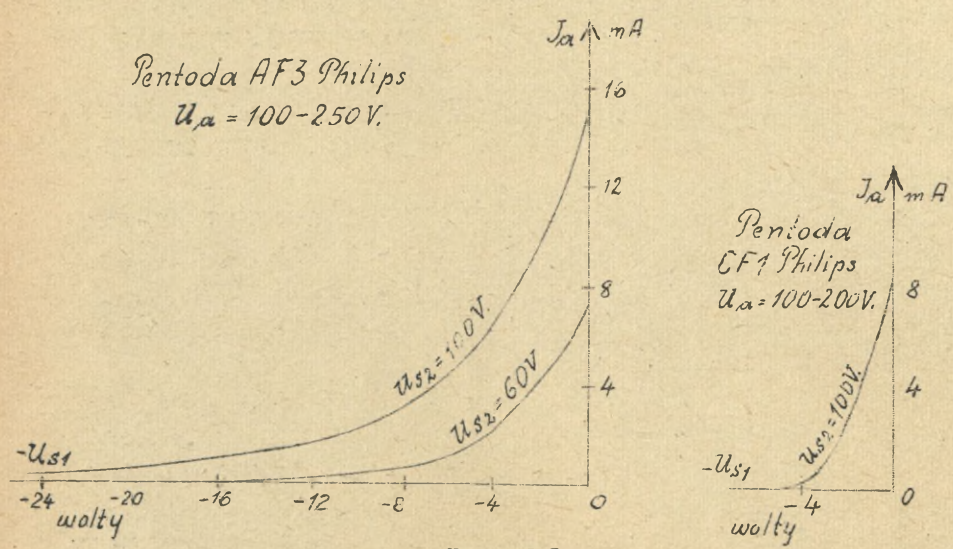
2. Lampy o zmiennym nachyleniu.

Dzięki temu, że charakterystyka siatkowa każdej lampy posiada mniejsze lub większe zakrzywienie, jej nachylenie jest niejednakowe dla różnych odcinków. W związku z tym i wzmocnienie jest w różnych punktach różne. Przesuwając więc początkowy punkt pracy wzdłuż charakterystyki za pomocą zmiany ujemnego potencjału siatki sterującej, możnaby uzyskać zmianę wzmocnienia. Ponieważ jednak zakrzywienie charakterystyki rozpatrywanych dotychczas lamp jest stosunkowo bardzo silne, wobec tego umieszczenie początkowego punktu pracy w okolicy tego zakrzywienia wywołałoby silne zniekształcenia (detekcja anodowa). Sposób ten nadawałby się więc tylko w przypadku nadzwyczaj małych napięć wzbudzających.



Rys.124.

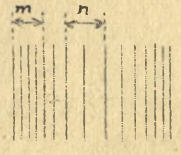
Inaczej przedstawiałaby się sprawa, gdyby krzywizna posiadała znaczną rozciągłość, tzn. gdyby zakrzywienie charakterystyki miało przebieg łagodny, przedstawiony na rys. 125. Nawet dosyć długie odcinki charakterystyki w dowolnym jej miejscu mogą być uważane w przybliżeniu za odcinki prostolinijne. Niezależnie więc od obranego początkowego punktu pracy, napięcia wzbudzające mogą być stosunkowo znaczne, przy czym praktycznie biorąc - wzmocnienie będzie bez zniekształceń. Zmiana początkowego punktu pracy będzie więc miała wpływ tylko na wzmocnienie.



Rys.125.

Jest to właśnie charakterystyka lampy o zmiennym nachyleniu. Dla porównania przedstawiono na rysunku także charakterystykę lampy zwykłej.-

Celem otrzymania charakterystyki o zmiennym nachyleniu[1] wykonuje się siatki o zmiennym skoku nawinięcia: środkowe zwoje są rzadziej nawinięte niżeli skrajne. Przedstawia to schematycznie rys.126. Na odcinku m nawinięcie jest gęstsze, zatem wzmocnienie jest duże, wobec tego nawet niewielki ujemny potencjał siatki zatrzymuje zupełnie strumień elektronów. Wówczas odcinek ten nie bierze udziału w wytwarzaniu prądu anodowego. Pozostaje więc czynny odcinek n, w którym wzmocnienie dzięki rzadszemu nawinięciu jest mniejsze. Przy małym napięciu ujemnym siatki działa więc cała siatka, zaś przy większych-tylko jej pewna część. To przejście odbywa się stopniowo, tak że można sobie wyobrazić, iż lampa składa się jak gdyby z szeregu lamp składowych o różnych nachyleniach, z których tylko pewna ich część zostaje uruchomiona zależnie od wielkości napięcia polaryzacji ujemnej .



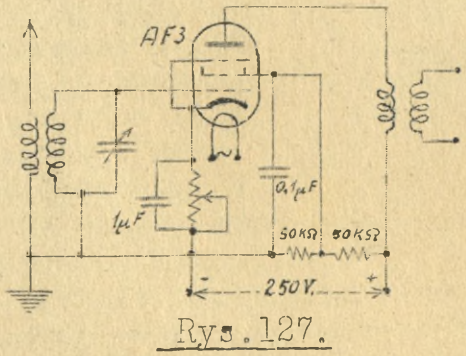
Rys.126.

Oczywistym jest, że gdy amplituda napięcia wzbudzającego jest zbyt duża, tak że obejmuje znaczny odcinek charakterystyki, wówczas zakrzywienie dochodzi do znaczenia, powodując zniekształcenie amplitudy. Tego rodzaju lampy jednak znajdują się zwykle na wejściu odbiornika, gdzie napięcie wzbudzające jest na ogół niewielkie (rzędu ułamka wolta).

Dla przykładu podamy, że w pentodzie AF3 napięcie ujemne siatki, czyli napięcie regulujące, może być zmieniane w granicach od -3 V do -55 V, prąd anodowy zmienia się od 8 mA do wartości poniżej 0,015 mA, nachylenie charakterystyki zmienia się od 1,8 mA/V do wartości poniżej 0,002 mA/V (a więc w stosunku: 900:1), opór wewnętrzny zmienia się od 1,2 megoma do (w przybliżeniu) 10 megomów.

Lampami o zmiennym nachyleniu (wzmocnieniu) są specjalne typy tetrody i pentody; ponadto heksoda i oktoda (p.niżej ciągu.

Lampa o zmiennym nachyleniu, dzięki łagodnemu zakrzywieniu, w znacznym stopniu osłabia zjawisko tzw. modulacji skrośnej, powodujące jak gdyby pogorszenie selektywności układu (p.rozdz.X.). Dlatego też lampa o zmiennym nachyleniu nosi też nazwę selektody.



Rys.127.

Rys.127. przedstawia przykład stopnia wejściowego z selektodą, w którym przesuwanie punktu pracy odbywa się przez zmianę wielkości oporu katodowego przy pomocy suwaka. Zasilanie siatki osłonnej odbywa się sposobem potencjometrycznym, co ma na celu zapewnić stałość napięcia tej siatki (por.§ 12, str.118)

---

1) Ze względu na przebieg charakterystyki lampy takie noszą w literaturze także nazwę lamp "eksponencjalnych".-

B. Regulacja automatyczna

3. Zasada działania.

Poza swym zasadniczym zadaniem, którym jest utrzymanie mocy wyjściowej na poziomie najodpowiedniejszym, regulacja automatyczna kompensuje w dużym stopniu zjawisko zaniku (fading'u), albowiem w chwili zaniku czułość odbiornika automatycznie się powiększa. Stąd też urządzenie automatycznej regulacji siły odbioru nosi także nazwę urządzenia przeciwzanikowego (antifadingowego).

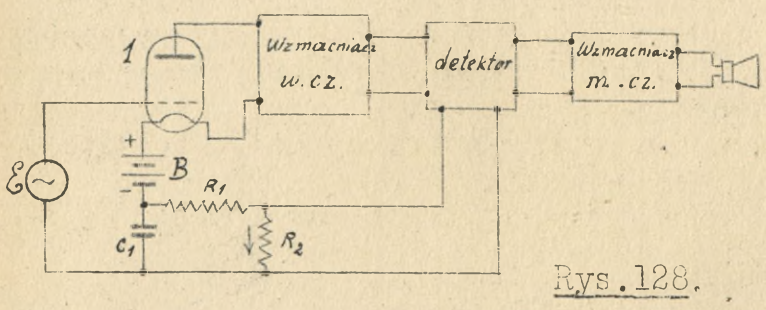
Zasadniczo biorąc, regulacja automatyczna może odbywać się bądź na stopniu wzmocnienia wielkiej częstotliwości, bądź małej częstotliwości. Lepiej jest jednak zastosować regulację na stopniu wielkiej częstotliwości, albowiem amplitudy napięć są mniejsze i dzięki temu regulacja może się odbywać w szerokich granicach bez obawy zniekształceń.

Z praktyki wiadomo, że wahania natężenia fali odbieranej, wywoływane zanikiem, są na ogół rzędu 1:1000, zaś różnice natężeń fal różnych stacyj nadawczych są rzędu 1:100000. Jednakże regulacja wzmocnienia w tak szerokich granicach wymagana jest bardzo rzadko. Nie jest bowiem celowym wzmocnienie sygnałów tych stacyj, których amplituda jest tego samego rzędu co normalny poziom zakłóceń [1] w odbiorniku.

Zasadnicze znaczenie posiada szybkość regulacji: im szybciej następuje zmiana wzmocnienia, tym lepsza jest regulacja, jednakże zbyt duża szybkość może wywołać zniekształcenia.

Regulacja odbywa się przez zmianę wzmocnienia co najmniej jednej lampy wzmacniającej, co się uzyskuje drogą przesuwania punktu pracy wzdłuż charakterystyki. Wykorzystuje się tu lampy o zmiennym nachyleniu.

Napięcie regulujące, potrzebne do przesuwania punktu pracy, uzyskuje się w ten sposób, że napięcie stałe otrzymane przez wyprostowanie wielkiej częstotliwości doprowadza się do siatki sterującej lampy o zmiennym nachyleniu tak, że duża amplituda powoduje przesunięcie punktu pracy w kierunku ujemnym. Napięcie regulujące można uzyskać przy pomocy różnych układów detekcyjnych. Najczęściej stosowanym detektorem jest dioda. Zasadę działania wyjaśnia układ teoretyczny na rys. 128. Prąd wyprostowany, płynąc przez opór R_2 w kierunku strzałki, wywołuje w nim spadek napięcia, skutkiem czego siatka



Rys.128.

1) Na zakłócenia składają się m.in. szumy własne odbiornika, przeszkody atmosferyczne (p.rozdz. X.).-

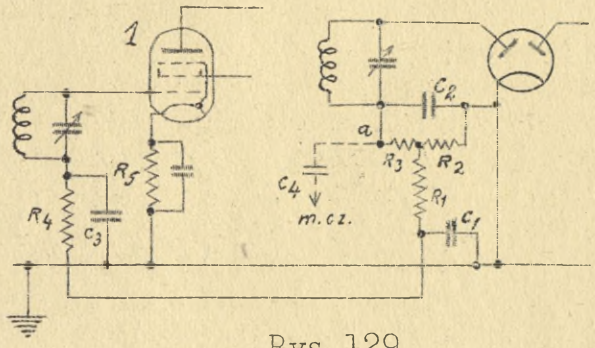
sterująca lampy 1. otrzymuje potencjał ujemny tym większy, im wyższy jest ten spadek napięcia; tym bardziej więc na lewo przesuwa się punkt pracy. Wzrost siły elektromotorycznej E na wejściu powoduje więc zmniejszenie wzmocnienia i na odwrót.

Źródło napięcia B daje początkowe ujemne napięcie dla siatki sterującej lampy 1.

Gdyby nie było kondensatora C_1 i oporu R_1, to napięcie ujemne regulujące wzmocnienie wahałoby się w rytmie modulacji, co wywołałoby znaczne zniekształcenia. Zadaniem C_1 (rzędu 0,1 mikrofarada) i R_1 (rzędu 1 megoma) jest wyrównać napięcie regulujące przez stłumienie składowej akustycznej. Elementy C_1 i R_1 stanowią zatem filtr małej częstotliwości.

W odbiornikach czułych, dostosowanych do wzmacniania napięć różniących się w szerokich granicach, korzystniej jest doprowadzić napięcie do siatek sterujących kilku lamp.

Rys.129. przedstawia bardziej szczegółowy układ do automatycznej regulacji wzmocnienia z diodą. Prąd wyprostowany wywołuje spadek napięcia w oporniku R_3-R_2 (rzędu 0,5 megoma). Spadek napięcia w oporniku R_2 stanowi właśnie napięcie regulujące, które doprowadzamy do lampy 1. o zmiennym nachyleniu. To napięcie regulujące dodaje się do napięcia ujemnego określonego spadkiem napięcia w oporze R_5. Opór R_1 oraz kondensator C_1 stanowią filtr niedopuszczający do lampy regulacyjnej składowych zmiennych zawartych w prądzie wyprostowanym. Od ich wielkości[1] zależy szybkość regulacji. R_4 (wysokoomowy) wraz z C_3 zapobiegają przedostawaniu się napięcia wielkiej częstotliwości (napięcia wzbudzającego) do dalszych obwodów układu.



Rys.129.

Dzięki więc filtrowi R_1-C_1 na siatkę sterującą lampy regulacyjnej działa tylko składowa stała napięcia wyprostowanego. Składowa akustyczna zostaje przekazana do wzmacniacza małej częstotliwości za pośrednictwem kondensatora C_4 (5000--10000 pF). Przewód małej częstotliwości zamiast dołączać na stałe (punkt a), możnaby dołączyć do suwaka ślizgającego się wzdłuż opornika R_3. Możnaby w ten sposób uzyskać równocześnie i ręczną regulację wzmocnienia.

Spośród dotychczas omówionych lamp do celów regulacji wzmocnienia stosowana jest pentoda.

Lampa regulacyjna znajduje się zwykle na stopniu wejściowym odbiornika.-

- -

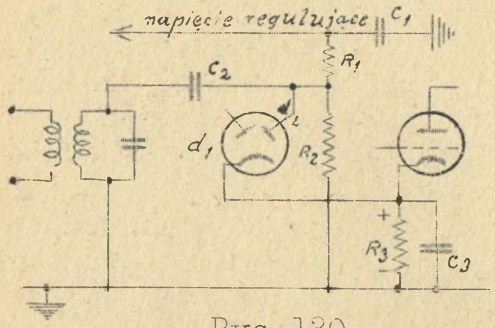
1) Tzn. od wielkości R_1 i C_1.-

4. Regulacja opóźniona.

Układ opisany poprzednio przedstawia tę niedogodność, że nawet bardzo słabe sygnały, wywołując spadek napięcia w oporniku R_2, wytwarzają dodatkowe ujemne napięcie dla siatki lampy regulacyjnej, skutkiem czego czułość układu maleje. Tymczasem powinno być odwrotnie: dla słabych sygnałów układ powinien posiadać największą czułość. Urządzenie regulujące powinno więc działać dopiero poczynając od chwili, gdy amplituda sygnału przekracza pewną wartość. Toteż stosuje się tzw. regulację opóźnioną. W takich układach wykorzystuje się podwójną diodę (duo-diodę), w której jedna dioda dostarcza tylko napięcie małej częstotliwości, zaś druga dioda wytwarza tylko napięcie regulujące.

Dioda regulująca otrzymuje przy tym pewne ujemne stałe napięcie (ujemna polaryzacja początkowa), tak że prąd wyprostowany, a w związku z tym i napięcie regulujące może pojawić się dopiero wówczas, gdy amplituda doprowadzonego do diody napięcia szybkozmiennego jest większa od bezwzględnej wartości tego napięcia początkowego.

Zasadniczy układ przedstawia rys.130. Układ diody detekcyjnej d_1 został tu pominięty ze względu na przejrzystość rysunku. Dioda d_2 wytwarza napięcie regulujące. Jak widzimy, jest to układ równoległy (por.rys.30.); R_2 jest oporem roboczym diody.



Rys.130.

Dioda d_2 otrzymuje początkowe ujemne napięcie z oporu katodowego R_3. Wobec tego prąd w oporniku R_2, a więc i napięcie regulujące pojawi się dopiero przy amplitudach napięcia prostowanego większych od bezwzględnej wartości napięcia początkowego.

Napięcie początkowe można także uzyskać w inny sposób.

Podwójna dioda może być połączona w jednej wspólnej bance z układem wzmacniającym małą częstotliwość (duo-dioda-trioda, duo-dioda-pentoda).-

5. Automatyczna eliminacja trzasków.

Układ odbiorczy z automatyczną regulacją siły odbioru posiada największą czułość w chwili, gdy nie jest dostrojony do żadnej stacji. Wtedy więc występują ze wzmożoną siłą szumy własne, zakłócenia atmosferyczne i in. Toteż przestrajaniu aparatu z jednej stacji na inną towarzyszy znaczny wzrost tła zakłócającego. Automatyczna eliminacja trzasków ma za zadanie zmniejszyć to zjawisko; ponadto ma ona na celu osłabić w ogóle poziom zakłóceń.

Najczęściej stosowane urządzenia do automatycznej eliminacji trzasków działają w ten sposób, że z chwilą gdy na detektorze jest małe napięcie szybkozmienne, bądź też nie ma żadnego napięcia, wzmacniacz małej częstotliwości otrzymuje z odpowiedniego układu dodatkowe ujemne napięcie, tak że przestaje wzmacniać. Wzrost napięcia szybkozmiennego powoduje zmniejszenie ujemnego napięcia siatki i wzmacniacz małej częstotliwości zaczyna wzmacniać. W ten sposób uzyskuje się tzw. ciche strojenie.

Eliminację trzasków można także uzyskać przy pomocy diody w sposób taki sam, jak w przypadku regulacji opóźnionej, opisanej w poprzednim paragrafie. Wszelkiego rodzaju oddziaływania elektryczne, których amplituda jest mniejsza od bezwzględnej wartości napięcia początkowego, nie ulegają wzmocnieniu we wzmacniaczu małej częstotliwości.-

6. Strojenie optyczne.

Pewną niedogodność automatycznej regulacji siły odbioru stanowi trudność dokładnego nastrojenia do rezonansu, albowiem siła dźwięku w okolicy rezonansu w stosunkowo szerokich granicach pozostaje przy strojeniu jednakowa. Maksymalna siła dźwięku nie oznacza więc dokładnego zestrojenia. Na dokładne nastrojenie może wskazywać bądź dobre jakościowo odtwarzanie dźwięków, bądź też najsłabsze tło zakłóceń. Strojenie akustyczne (na maksimum dźwięku) wymaga więc pewnej wprawy. Dlatego też w odbiornikach radiofonicznych stosuje się zamiast strojenia akustycznego - strojenie optyczne. Najprostszy sposób polega na włączeniu w obwód anodowy lampy regulacyjnej przyrządu typu amperomierzowego (na prąd stały): ponieważ składowa stała prądu anodowego tej lampy w chwili zestrojenia posiada, dzięki automatycznej regulacji wzmocnienia, najmniejszą wartość, przeto w ten sposób można bardzo łatwo dokładnie nastroić odbiornik na żądaną stację: odbiornik jest mianowicie nastrojony, gdy prąd anodowy jest najmniejszy. Oprócz tych przyrządów, stosuje się lampy neonowe włączone w obwód anodowy lampy regulacyjnej w ten sposób, że w chwili zestrojenia napięcie pomiędzy elektrodami neonówki wzrasta i skutkiem tego słupek świetlny osiąga największą długość. Ponadto szerokie zastosowanie znajdują obecnie specjalne lampy elektronowe, będące odmianą tzw. rury Brauna (stosowanej w telewizji). Posiadają one ekran fluoryzujący, który skutkiem bombardowania elektronami emitowanymi przez rozgrzaną katodę zaczyna świecić (fluorescencja koloru zielonego).

Przez oddziaływanie na strumień elektronów przy pomocy napięcia regulującego można zmieniać wielkość powierzchni świecącej. Układ jest zestrojony, gdy powierzchnia świecąca jest najmniejsza.-

7. Ciche strojenie.

Ciche strojenie uzyskuje się bądź sposobem automatycznym, bądź też ręcznie. Jeden ze sposobów automatycznego strojenia został opisany wyżej w § 5.

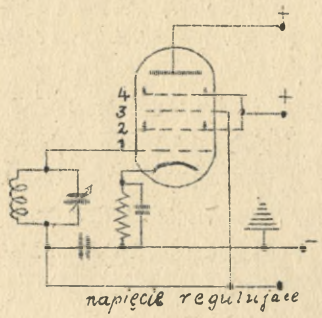
Sposób ręczny polega na tym, że na czas przestrojenia zmniejsza się do minimum czułość odbiornika przy pomocy ręcznego regulatora siły odbioru. Po optycznym stwierdzeniu nastrojenia aparat ustawia się na normalną czułość.

Inny sposób polega na tym, że na czas przestrojenia zostaje wyłączony wzmacniacz małej częstotliwości (np.przez zwarcie wejścia wzmacniacza małej częstotliwości). Dostrojenie stwierdza się przy pomocy optycznego wskaźnika rezonansu.

8. H e k s o d a.

Heksoda posiada sześć elektrod, w tym cztery siatki. Jest stosowana do celów regulacji wzmocnienia oraz do celów przemiany częstotliwości (p.rozdz.VII.).

Schemat heksody do regulacji wzmocnienia przedstawia rys.131. Siatką sterującą jest pierwsza siatka, licząc od katody. Napięcie regulujące doprowadza się do tej siatki oraz do siatki 3.[1] Siatka 2.i 4. są siatkami osłonnymi zasilanymi napięciem niższym od napięcia anodowego. Zaletą heksody w porównaniu z pentodą o zmiennym nachyleniu jest fakt,że przy znacznie mniejszych zmianach napięcia regulującego uzyskuje się te same zmiany wzmocnienia co w pentodzie (i tak : zmianę nachylenia w stosunku 1:1000 można uzyskać, zmieniając napięcie regulujące w przybliżeniu od 0 do -15 V, natomiast w pentodzie zmiana napięcia regulującego powinna wynosić w przybliżeniu od 0 do -30 lub nawet -40 V). Przyczyną tego jest właśnie doprowadzenie napięcia regulującego do dwóch siatek.



Rys.131.

Heksoda umożliwia zmianę wzmocnienia w stosunku: 1:10000, natomiast pentoda w stosunku (przybliżonym)1:1000.

W odbiorniku, w którym napięcie regulujące oddziaływuje na dwie siatki jednej i tej samej lampy, wystarcza w zupełności jedna lampa do automatycznej regulacji wzmocnienia.-

1) Potencjał ujemny początkowy dla siatki 1(i 3),uzyskany przez spadek napięcia prądu anodowego w oporze katodowym, przenosi się do tej siatki następująco: przewód ujemny, masa aparatu,"plus" oporu zewnętrznego diody (plus jest połączony z masą, por.rys.29.), opór zewnętrzny diody, "minus" tego oporu, przewód "napięcie regulujące", siatka 1(i 3).

VII. Układy odbiorcze z przemianą częstotliwości (superheterodyny)

1. Układy odbiorcze proste i złożone.

Układy odbiorcze, omawiane dotychczas, należały do grupy układów prostych. Zasadniczą ich wadę stanowi małe wzmocnienie, szczególnie na falach krótszych oraz mała selektywność.

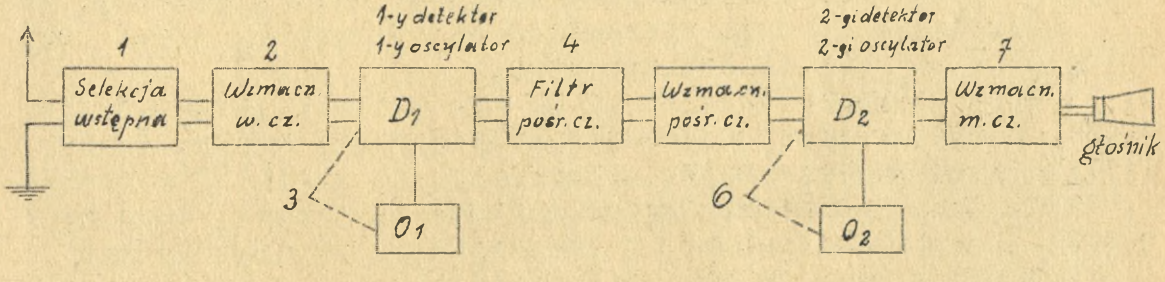
Mała selektywność spowodowana jest tym, że wzmacniacz wielkiej częstotliwości nie może zawierać na ogół więcej niż dwa stopnie, inaczej bowiem łatwo o samowzbudzenie. Stąd też liczba obwodów strojonych jest niewielka (2 lub najwyżej 3), co w obecnych warunkach odbioru nie daje wystarczającej selektywności.

Do układów odbiorczych złożonych należy superheterodyna. W porównaniu z układem prostym odznacza się ona znacznie większym wzmocnieniem i selektywnością oraz lepszą wiernością odtwarzania. Możliwym jest tu bez specjalnych trudności zbudowanie odbiornika wielolampowego (zawierającego kilkanaście i więcej lamp).-

2. Zasada działania.

Metoda superheterodynowa odbioru polega na obniżaniu częstotliwości drgań odbieranych przez wykorzystanie zjawiska interferencji.

Działanie superheterodyny odbywa się zasadniczo wg następującego uproszczonego schematu, rys.132.: przy pomocy obwodów (lub obwodu) rezonansowych 1 częstotliwość pożądana zostaje wydzielona i wzmocniona przy pomocy wzmacniacza wielkiej częstotliwości 2. Układ 3. stanowi stopień przemiany



Rys.132.

częstotliwości; składa się on z generatora szybkozmiennego (heterodyny), inaczej oscylatora O_1 i lampy detekcyjnej D_1. Do lampy detekcyjnej doprowadzone są obie częstotliwości, tzn.: częstotliwość odbierana f_o i częstotliwość lokalna f_1; różnica obu częstotliwości jest znacznie większa od największej częstotliwości słyszalnej (tzn. większa od 10000 okr/s) Obie częstotliwości, nakładając się w obwodzie siatki lampy

detektcyjnej, wytwarzają dudnienia, które po wyprostowaniu przez lampę detektcyjną, dają prąd zmienny o częstotliwości równej różnicy częstotliwości f_1 i f_0. Ta nowa częstotliwość, jako większa znacznie od 10000 okr/s., jest niedostępna dla ucha. Nosi ona nazwę częstotliwości pośredniej. Przebieg tego prądu o częstotliwości pośredniej jest taki sam, jak i drgań na wejściu odbiornika, tzn.: gdy drgania odbierane posiadają stałą amplitudę, to i częstotliwość pośrednia również posiada stałą amplitudę; gdy zaś drgania odbierane posiadają amplitudę zmienną (drgania modulowane), to i amplituda prądu o częstotliwości pośredniej zmienia się dokładnie tak samo. Na stopniu przemiany częstotliwości następuje więc tylko zmiana częstotliwości, natomiast przebieg drgań zmianie nie ulega.

Częstotliwość pośrednia jest dla danego typu odbiornika stała. Zostaje ona wydzielona w obwodzie (filtrze) pośredniej częstotliwości 4, nastrojonym na stałe na daną częstotliwość. Filtrów takich jest zwykle kilka. Częstotliwość pośrednia po wzmocnieniu we wzmacniaczu pośredniej częstotliwości 5 zostaje doprowadzona do drugiego detektora D_2. Gdy drgania odbierane posiadają stałą amplitudę, to (podobnie jak w układzie prostym) należy na częstotliwość pośrednią nałożyć częstotliwość lokalną drugiego oscylatora O_2, tak aby po wyprostowaniu uzyskać częstotliwość słyszalną (np. 1000 okr/s), która po wzmocnieniu przez wzmacniacz małej częstotliwości 7 uruchomi reproduktor dźwięków. Gdy jednak częstotliwość pośrednia posiada przebieg modulowany, to podobnie jak w ogóle przy odbiorze drgań modulowanych, wystarczy przepuścić ją tylko przez detektor, aby otrzymać częstotliwość słyszalną. Oscylator O_2 nie jest więc potrzebny.

Oscylator O_2 może stanowić z detektorem D_2 jedną całość, tzn. że może to być autodyna.

Częstotliwość oscylatora O_2 nie potrzebuje być zmieniana, albowiem częstotliwość pośrednia jest stała. Zatem strojenie odbywa się tylko we wzmacniaczu wielkiej częstotliwości oraz na stopniu przemiany częstotliwości (zmiana częstotliwości oscylatora O_1 tak, aby uzyskać odpowiednią częstotliwość pośrednią). Obsługa odbiornika superheterodynowego jest więc tak samo łatwa, jak i odbiornika prostego. Można ją jeszcze bardziej uprościć przez zastosowanie strojenia równoczesnego (przy pomocy jednego i tego samego pokrętła) obwodów rezonansowych wielkiej częstotliwości i oscylatora O_1.

Duża czułość (tzn. duże wzmocnienie) układu superheterodynowego spowodowana jest właśnie przemianą częstotliwości w stopniu 3, dzięki której następuje obniżenie wielkiej częstotliwości do wartości, która zależnie od typu odbiornika wynosi od 100 kc/s do kilkuset kc/s, co odpowiada falom

od 3000 m do kilkuset metrów, tzn. falom długim. Otóż najskuteczniejsze wzmocnienie wielkiej częstotliwości daje się uzyskać właśnie dla fal długich. Im bowiem krótsze fale, tym silniej występuje zwierające działanie różnego rodzaju pojemności przypadkowych, tym trudniej jest uzyskać dopasowanie oporności anodowej do lampy, ponadto tym większe staje się tłumienie.

Duże wzmocnienie wynika także z faktu, że ponieważ obwody pośredniej częstotliwości są nastrojone na jedną tylko częstotliwość, przeto najkorzystniejsze dopasowanie do tej częstotliwości zostaje ogromnie ułatwione.

Wzrost selektywności spowodowany jest również przemianą częstotliwości. Dla ilustracji zrobimy następujące przeliczenie: niech częstotliwość pośrednia wynosi 30 kc/s, częstotliwość pożądana niech będzie 1000 kc/s, zaś częstotliwość przeszkadzająca niech wynosi 1010 kc/s, tzn. o 1% więcej od częstotliwości pożądanej. Ponieważ obwody rezonansowe 1 (rys.132.) są nastrojone na częstotliwość 1000 kc/s, wobec tego energia częstotliwości przeszkadzającej zostaje w pewnym stopniu stłumiona, np. tylko do 0,85 wartości energii wzbudzanej przy zestrojeniu. Aby usłyszeć stację pożądaną, tzn. aby uzyskać częstotliwość pośrednią 30 kc/s, oscylator O_1 powinien wytworzyć częstotliwość 1030 kc/s. Ta częstotliwość oscylatora interferując z częstotliwością przeszkadzającą, wytworzy częstotliwość pośrednią: 1030-1010 = 20 kc/s, która jest o 1/3, czyli 33⅓% mniejsza od właściwej częstotliwości, tzn. od tej, na którą są nastrojone obwody pośredniej częstotliwości. W wyniku więc przemiany częstotliwości różnica częstotliwości dwóch sygnałów, wynosząca 1%, wzrasta do 33⅓% Selektywność wzrosła więc 33⅓ razy, wobec tego siła sygnału przeszkadzającego zmaleje wielokrotnie.

Im niższa jest częstotliwość pośrednia, tym większa selektywność.

Jednakże tak niska częstotliwość, jak przyjęto w powyższym przykładzie, aczkolwiek była dawniej stosowana, jest zbyt niska dla współczesnych odbiorników, zwłaszcza radiofonicznych. Jedną z zasadniczych przyczyn konieczności stosowania wyższych częstotliwości pośrednich jest zjawisko częstotliwości lustrzanych.-

3. Częstotliwości lustrzane.

Załóżmy, że częstotliwość pierwszego oscylatora wynosząca f_1 jest -jak to zresztą zwykle bywa- większa od częstotliwości odbieranej f_o; częstotliwość pośrednia wynosi więc: $f_p = f_1 - f_o$. Zgodnie jednak z zasadą interferencji, tę samą częstotliwość pośrednią f_p przy tej samej częstotliwości lokalnej f_1 można uzyskać dla innej częstotliwości f_o, większej od f_1. Istnieją zatem zawsze dwie częstotliwości: f_o i

f_o'' wytwarzające przez nałożenie częstotliwości f_1 jedną i tę samą częstotliwość pośrednią, mianowicie:

$$f_p = f_1 - f_o' \text{ , czyli: } f_o' = f_1 - f_p$$
$$f_p = f_o'' - f_1 \text{ , czyli: } f_o'' = f_1 + f_p$$

Jeżeli f_o' jest częstotliwością pożądaną, to f_o'' zakłóca odbiór. Ta ostatnia częstotliwość nosi nazwę lustrzanej. Różni się ona od częstotliwości pożądanej o wartość $2 f_p$ [1], a więc wynosi: $f_o'' = f_o' + 2 f_p$.

Weźmy przykład liczbowy. Niech częstotliwość pośrednia f_p wynosi 50 kc/s , częstotliwość odbierana f_o'=1000 kc/s , zatem częstotliwość f_1 wynosi 1050 kc/s. Jeżeli równocześnie pracuje inna stacja na częstotliwości f_o''=1100 kc/s.,to przy tej samej f_1 = 1050 kc/s wytworzy ona częstotliwość pośrednią także 50 kc/s. Zatem dwie stacje różniące się o 100 kc/s będą słyszane równocześnie. W tym przypadku więc superheterodyna jak gdyby niweluje różnicę pomiędzy obiema częstotliwościami, co jest, oczywiście, równoznaczne z brakiem selektywności.

Gdy częstotliwość pierwszego oscylatora nieco zmienimy, wówczas jedna z częstotliwości interferencyjnych (tzn. pośrednich) wzrośnie, zaś druga zmaleje; obie częstotliwości interferencyjne (pośrednie) nakładając się na siebie,wytworzą dudnienia, które po wyprostowaniu przez drugi detektor, wystąpią w postaci gwizdu.

Ponieważ zjawisko częstotliwości lustrzanej wynika z działania stopnia przemiany częstotliwości, wobec tego nie należy częstotliwości lustrzanej dopuścić do stopnia przemiany częstotliwości. W tym celu należy w stopniach wzmacniacza wielkiej częstotliwości stosować obwody rezonansowe. Liczba tych obwodów zależy od wielkości częstotliwości pośredniej. Istotnie, im większa jest częstotliwość pośrednia, tym bardziej częstotliwość lustrzana różni się od częstotliwości pożądanej (zgodnie ze wzorem: $f_o'' = f_o' + 2f_p$); wobec tego tym silniejsze jest tłumiące działanie obwodów rezonansowych na częstotliwość lustrzaną f_o'', które to obwody są przecież nastrojone na częstotliwość f_o'. Wynika stąd,że ze względu na zjawisko częstotliwości lustrzanych korzystnym jest stosowanie częstotliwości pośrednich wyższych.

Stosowanie wyższych częstotliwości pośrednich jest również korzystne z tego względu, że zostaje zmniejszone oddziaływanie harmonicznych częstotliwości lokalnej.

Z drugiej jednak strony: im wyższa jest pośrednia częstotliwość, tym trudniej jest uzyskać duże wzmocnienie i dobrą selektywność na stopniach pośredniej częstotliwości.

Stosowane obecnie częstotliwości pośrednie są różne i tak: większe superheterodyny (4-5-lampowe) posiadają często-

---

1) $f_o'' - f_o' = (f_1 + f_p) - (f_1 - f_p) = 2f_p$.-

tliwość pośrednią około 150 kc/s; tak niska stosunkowo częstotliwość wymaga kilku obwodów rezonansowych we wzmacniaczu wielkiej częstotliwości, co ze względu na wysoką jakość tych obwodów podraża aparat. Natomiast małe superheterodyny (3-lampowe), w których ze względu na niską cenę liczba obwodów strojonych wielkiej częstotliwości musi być zredukowana, posiadają większą częstotliwość pośrednią (w granicach 400-500 kc/s). Ponieważ w takich superheterodynach nie stosuje się wzmocnienia pośredniej częstotliwości, wobec tego trudności uzyskania dobrego wzmocnienia tak dużej pośredniej częstotliwości odpadają.

Przy częstotliwości pośredniej 110-150 kc/s wzmocnienie pośredniej częstotliwości jest największe, jednakże przed stopniem przemiany częstotliwości musi być obowiązkowo filtr pasmowy (p.niżej); przy częstotliwości 450-490 kc/s wzmocnienie pośredniej częstotliwości aczkolwiek mniejsze, jest jednak jeszcze duże; na wejściu wystarczy zwykły pojedynczy obwód strojony. Częstotliwość pośrednia 1600 kc/s umożliwia budowanie prostych superheterodyn, bez obwodu strojonego na wejściu, jednak wzmocnienie i selektywność są niewielkie. Obecnie najczęściej stosuje się częstotliwość pośrednią 468 kc/s.

Jeżeli chodzi o fale krótkie, to częstotliwość pośrednia nie może być mała, co wynika z następującego przeliczenia: przypuśćmy, że chodzi o odbiór częstotliwości od 6000 do 12000 kc/s, tzn. fal od 50 do 25 m; częstotliwość pośrednia niech wynosi 100 kc/s. Aby odbierać częstotliwość najmniejszą: 6000 kc/s, oscylator musi wytworzyć częstotliwość 6100 kc/s, różniącą się więc od częstotliwości odbieranej zaledwie o 1,7%; długość fali oscylatora wynosi tu 49,2 m. Aby zaś odbierać częstotliwość największą, oscylator powinien wytworzyć częstotliwość 12100 kc/s, różniącą się od częstotliwości odbieranej tylko o 0,83%; fala oscylatora wynosi wówczas 24,8 m. Współistnienie w jednym i tym samym układzie dwóch tak mało różniących się częstotliwości stwarza poważne trudności konstrukcyjne, ponadto wywołuje pewne zjawiska szkodliwe. I tak: może wtedy powstać zjawisko synchronizacji drgań.[1]- . W przypadku odbioru fal krótkich nasuwa się zatem konieczność podwyższenia częstotliwości pośredniej do 500 kc/s, a nawet więcej . Aby zaś uniknąć trudności związanych ze wzmacnianiem tak wysokiej częstotliwości pośredniej, można zastosować system podwójnej przemiany częstotliwości, odznaczający się dużą wydajnością. Polega on na tym, że po pierwszej przemianie otrzymuje się częstotliwość pośrednią wysoką, np.750 kc/s., na którą bezpośrednio, a więc bez wzmacniania nakłada się drugą częstotliwość lokalną taką, że po tej drugiej przemianie otrzymuje się częstotliwość pośrednią małą, np.135 kc/s (2222 m), która zostaje wzmocniona we wzmacniaczu pośredniej częstotliwości.-

1) Polega ono na tym, że przy małej różnicy pomiędzy f_1 i f_0 oscylatorowi zostaje jak gdyby narzucona częstotliwość f_0, tak że zamiast częstotliwości f_1, na którą jest nastrojony, wytwarza on częstotliwość f_0.-

4. Dwufalowość.

W superheterodynach stosuje się obecnie strojenie jednogałkowe, tak że równocześnie z przestrajaniem obwodów rezonansowych wejściowych zmienia się częstotliwość oscylatora (pierwszego). Możliwe jest - jak zobaczymy dalej - takie skonstruowanie układu, że przy dowolnym nastrojeniu częstotliwość pośrednia jest zawsze ta sama.- Gdy selektywność obwodów wejściowych jest niedostateczna, występuje zjawisko zwane dwufalowością, które objawia się w ten sposób, że jedna i ta sama stacja jest słyszana dwa razy przy dwóch różnych położeniach gałki strojeniowej. Zjawisko wyjaśnia się następująco: załóżmy, że częstotliwość oscylatora f_1 jest większa od częstotliwości f_o, którą mamy odbierać; zmniejszając częstotliwość oscylatora, zauważymy w pewnej chwili pojawienie się sygnału, który przy pewnym położeniu gałki strojeniowej wystąpi najwyraźniej; zgodnie z założeniem - częstotliwość pośrednia wynosi: $f_p = f_1 - f_o$. Jeżeli będziemy w dalszym ciągu f_1 zmniejszać, to sygnał zacznie słabnąć aż wreszcie zniknie. Obracając gałkę w dalszym ciągu w tym samym kierunku, zauważymy w pewnej chwili pojawienie się tej samej stacji, przy czym siła sygnału będzie taka sama (lub prawie taka sama). Wynika to stąd, że f_1, zmniejszając się, przyjmuje w pewnej chwili wartość taką, że różnica f_o i f_1 daje znowu częstotliwość pośrednią, tzn.: $f_p = f_o - f_1'$. Podkreślamy, że zjawisko dwufalowości wystąpi tylko przy małej selektywności obwodów wejściowych, ze względu bowiem na strojenie jednogałkowe przy częstotliwości f_1 obwody wejściowe są rozstrojone względem częstotliwości odbieranej f_o.

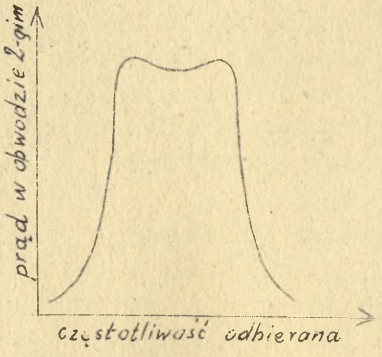
Zjawisko dwufalowości występuje więc w takich samych warunkach co zjawisko częstotliwości lustrzanych, tzn. przy słabej selektywności obwodów wejściowych lub przy zbyt małej częstotliwości pośredniej. Te same sposoby, które usuwają częstotliwości lustrzane, usuwają dwufalowość.-

5. Preselekcja.

Wydzielanie odpowiednich sygnałów w obwodach strojonych wzmacniacza wielkiej częstotliwości będziemy nazywać selekcją wstępną albo też preselekcją. Liczba tych obwodów na ogół nie przekracza trzech.

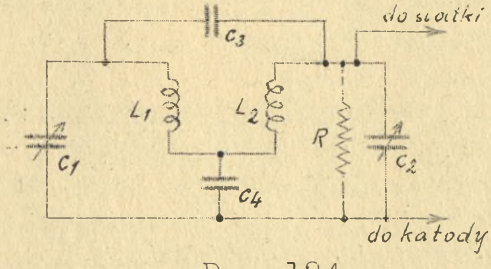
Jak wiadomo, w odbiornikach radiofonicznych krzywa rezonansu obwodów wielkiej częstotliwości musi być na tyle szeroka, aby swobodnie przepuścić częstotliwości zawarte w widmie modulacji. Powinna ona być stroma, aby energicznie tłumić częstotliwości przeszkadzające. Taką krzywą rezonansu uzyskuje się przy pomocy tzw. filtru pasmowego. Składa się on z dwóch obwodów rezonansowych, których krzywa rezonansu dzięki odpowiedniemu sprzężeniu zostaje spłaszczona i posiada przebieg wskazany w przybliżeniu na rys.133.

Wadą czysto indukcyjnego, a także pojemnościowego sprzężenia dwóch obwodów rezonansowych filtru pasmowego jest zależność sprzężności od częstotliwości. I tak, w przypadku sprzężenia czysto indukcyjnego (transformatorowego) sprzężność, odpowiednia dla pewnej częstotliwości, staje się dla częstotliwości wyższych od niej za silna, skutkiem tego szerokość krzywej rezonansu staje się za duża; zaś dla częstotliwości niższych sprzężność jest za słaba, zatem krzywa rezonansu staje się zbyt wąska. W przypadku sprzężenia pojemnościowego (cz.I, rys.37.) zachodzi zjawisko odwrotne. W ten sposób przebieg krzywej rezonansu filtru jest dla różnych zakresów częstotliwości różny.



Rys.133.

Zaradzić temu można przez zastosowanie sprzężeń mieszanych. Jeden z licznych układów przedstawia rys.134. Obwód C_1-L_1 stanowi jeden obwód rezonansowy, obwód L_2-C_2 - drugi. Są one sprzężone sposobem indukcyjnym (przy pomocy cewek L_1 i L_2) oraz sposobem pojemnościowym - przy pomocy kondensatora C_4 o dużej pojemności[1]) oraz kondensatora C_3 o bardzo małej pojemności.[1]) Przy małych częstotliwościach sprzężność, odpowiednio silna, dochodzi do skutku dzięki kondensatorowi C_4 (układ odpowiada wówczas schematowi wg rys.36, cz.I); kondensator C_3 ze względu na bardzo małą pojemność nie odgrywa wtedy praktycznie żadnej roli. Dla wyższych częstotliwości kondensator C_4 przedstawia znikomo małą oporność, zatem daje on sprzężenie słabe; równocześnie jednak im wyższa częstotliwość tym większy prąd przepływa przez kondensator C_3, a więc tym silniejszą daje on sprzężność (podobnie, jak układ na rys.37-c, cz.I).



Rys.134.

Antena może być np. transformatorowo sprzężona z cewką L_1.

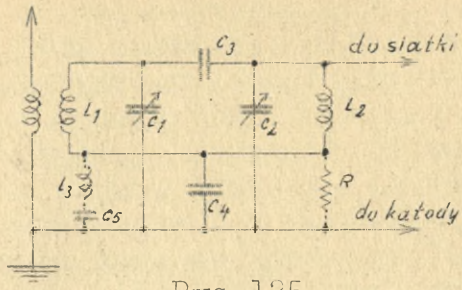
Opór R (wysokoomowy) jest oporem upływowym siatki.

Rys.135. przedstawia filtr pasmowy, tym się różniący od poprzedniego, że nie ma tu oddziaływania indukcyjnego, zastosowano natomiast dwa różne sposoby sprzężenia pojemnościowego. Kondensator C_4 (o dużej pojemności) zapewnia odpowiednio silną sprzężność dla częstotliwości mniejszych, zaś

- -

1) Przy C_1 i C_2 wynoszących po 500 pF pojemność C_4 = 10000 do 50000 pF, zaś C_3 = 4 do 10 pF.-

kondensator C_3 - dla częstotliwości większych.



Rys.135.

Czasami z filtrem pasmowym połączony jest tzw. eliminator, którego zadaniem jest wyeliminować przeszkadzające działanie silnej stacji lokalnej. Eliminatorem na rys.135. jest układ L_3-C_5, który będąc nastrojony na częstotliwość stacji lokalnej, zwiera tę częstotliwość.

W układach tańszych, o zredukowanej liczbie obwodów rezonansowych na wejściu, częstotliwości lustrzane można usunąć przez zastosowanie na wejściu obwodu rezonansu napięć, nastrojonego na daną częstotliwość lustrzaną, która w ten sposób zostaje zwarta.-

6. Zasada działania stopnia z przemianą częstotliwości.

Wyjaśniając mechanizm działania superheterodyny w § 2, przyjęliśmy, że drgania lokalne wytworzone przez jedną lampę (oscylator) zostają doprowadzone do obwodu siatki drugiej lampy, gdzie przez interferencję z częstotliwością odbieraną wytwarzają drgania wypadkowe, które po zdetektorowaniu dają częstotliwość pośrednią. Ta druga lampa stanowi pierwszy detektor[1]. Detektor pracuje zawsze systemem detekcji anodowej.

Sposób ten przedstawia szereg poważnych niedogodności. I tak, aby uniknąć zniekształceń, amplituda drgań odbieranych musi być znacznie mniejsza od amplitudy drgań lokalnych. Następnie, układ wprawdzie może dać bardzo duże wzmocnienie (tzw. wzmocnienie przemiany częstotliwości), zwłaszcza przy użyciu na stopniu detektora lampy z siatką osłonną, to jednak, aby takie wzmocnienie uzyskać, amplituda drgań lokalnych musi posiadać pewną najkorzystniejszą w danych warunkach wartość. Odchylenia od tego najkorzystniejszego napięcia wywołują silne zniekształcenia.

Wreszcie, ponieważ detekcja odbywa się dzięki zakrzywieniu, powstają zniekształcenia amplitudy (pojawiają się harmoniczne).

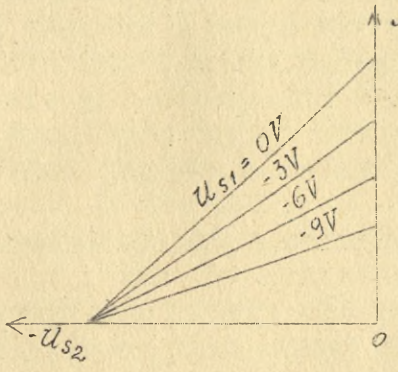
Powyższy sposób, który można nazwać sposobem przemiany przez detekcję, był stosowany w pierwszych układach superheterodynowych. W układach późniejszych zaczęto stosować inny sposób, który dzięki udoskonaleniu lamp odbiorczych jest obecnie przeważnie stosowany, jako że nie posiada wad poprzedniego sposobu. Przemiana odbywa się tu przez zmianę nachylenia charakterystyki w rytmie drgań oscylatora. Sposób ten jest możliwy tylko w lampach posiadających co najmniej dwie

- -

1) Stosuje się także nazwę "zmieniacz" częstotliwości albo "modulator", albowiem w lampie tej skutkiem interferencji następuje zmodulowanie drgań.-

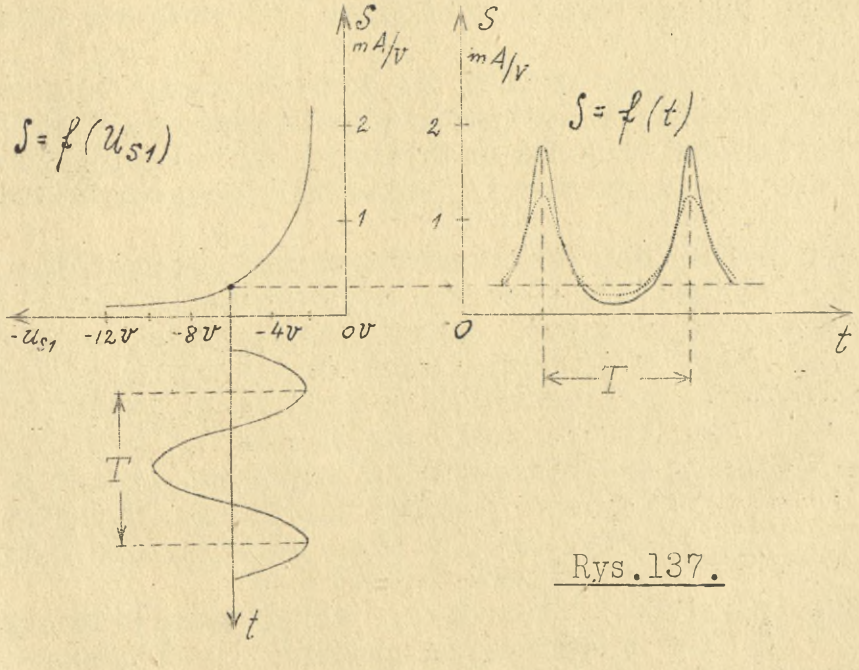
siatki, przy czym częstotliwość oscylatora doprowadza się do jednej siatki, zaś częstotliwość odbieraną do drugiej siatki.

Przypuśćmy, że mamy pewną lampę wielosiatkową, w której natężenie prądu anodowego można zmieniać przez zmianę napięcia jednej z dwóch siatek: siatki 1. bliższej katody i siatki 2. dalszej od katody. Zależność prądu anodowego od napięcia siatki 2.- przy różnych potencjałach siatki 1.-wyraża się graficznie w sposób wskazany na rys.136., na którym dla uproszczenia przyjęto prostolinijny przebieg charakterystyk. Jak widzimy, im niższe jest napięcie siatki 1, tym mniejsze jest nachylenie charakterystyki i tym mniejszy jest prąd anodowy. Nachylenie charakterystyki $J_a = f(U_{S2})$ zależy więc od napięcia siatki 1. Zależność nachylenia od potencjału siatki 1. może być przedstawiona wykreślnie. Przykład tej zależności przedstawia rys.137.,w którym przez S oznaczono nachylenie.



Rys.136.

(Możemy także wykreślić charakterystyki: $J_a=f(U_{S1})$ dla różnych napięć siatki 2. Okazałoby się, że nachylenie charakterystyki $J_a=f(U_{S1})$ zależne jest od napięcia siatki 2.). Przypuśćmy teraz, że do siatki S_2 doprowadzamy częstotliwość odbieraną f_o. Załóżmy dalej, że w chwili,gdy na siatce tej potencjał wzrasta, również i potencjał siatki 1. wzrasta, zatem nachylenie charakterystyki $J_a = f(U_{S2})$ również wzrasta. Gdy zaś na siatce 2. potencjał maleje (ujemny półokres f_o) to i napięcie siatki 1. również maleje, nachylenie więc także maleje. Wobec tego zmiana prądu anodowego, odpowiadająca dodatnim półokresom napięcia na siatce S_2, będzie większa niż



Rys.137.

w czasie ujemnych półokresów tego napięcia. Wahania prądu anodowego będą zatem niesymetryczne względem osi czasu (por. rys.37.), średnia wartość prądu anodowego zwiększy się, czyli wystąpi detekcja.

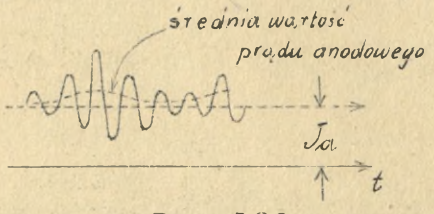
W powyższym rozważaniu przyjęto, że zmiany napięcia siatki 1. są w fazie ze zmianami napięcia siatki 2., czyli że siatka 1. jest zasilana napięciem zmiennym o częstotliwości takiej samej, jak napięcie siatki 2. Stwierdziliśmy, że wahania potencjału U_1 wywołują zmiany nachylenia charakterystyki: $J_a = f(U_{s2})$. Przebieg tych zmian może być przedstawiony graficznie w funkcji czasu na podstawie lewego wykresu rys.137., w którym przyjęliśmy, że napięcie początkowe siatki 1. wynosi -6 V, zaś amplituda doprowadzonego do tej siatki napięcia zmiennego wynosi 4 V. W rytmie zmian tego napięcia zmienia się nachylenie w sposób wskazany w prawej części rysunku 137, wykres: $S = f(t)$ [1]

Ponieważ w czasie dodatniego półokresu, jak to przedstawiono na rysunku, nachylenie jest znacznie większe, niż w czasie ujemnego, przeto zmiana potencjału siatki 2. wywoła w dodatnim półokresie większą zmianę prądu anodowego, niż w półokresie ujemnym.

Na wykresie rys.137. linia kropkowana przedstawia (w odpowiedniej skali) zmiany prądu anodowego pod wpływem zmian napięcia siatki 1.

Jak już zaznaczono, do siatki 2. doprowadzamy częstotliwość odbieraną; natomiast do siatki 1. doprowadza się częstotliwość oscylatora, tak że nachylenie charakterystyki $J_2 = f(U_{s2})$ zmienia się w rytmie tej ostatniej częstotliwości.

Gdy częstotliwości doprowadzone do siatek 1. i 2. nie są jednakowe, to - oczywiście - przez oddziaływanie siatek na strumień elektronowy następuje interferencja tych częstotliwości, skutkiem czego w obwodzie anodowym pojawiają się drgania węzłowe (dudnienia). Jednakże - zgodnie z poprzednimi wyjaśnieniami - amplitudy tych dudnień nie są symetryczne względem osi czasu: średnia wartość prądu anodowego w czasie jednego dudnienia wzrasta, rys.138., a więc zmienia się z częstotliwością dudnień.



Rys.138.

Prostszy, jednak mniej ścisły sposób wyjaśnienia[2] jest następujący: z teorii radiotechniki wiadomo, że modulacja jednej czę-

---

1) Sposób wykreślenia: $S = f(t)$ jest więc zasadniczo podobny do sposobu wykreślenia: $J_a = f(t)$, np. wg rys.37. Wykres: $S = f(t)$, rys.137. odnosi się do pentody. Dla oktody nachylenie krzywej: $S = f(U_{s1})$ jest mniejsze, tak że krzywa: $S = f(t)$ nie posiada tak ostrych wierzchołków.

2) Spotykany w literaturze amerykańskiej i francuskiej.-

stotliwości przy pomocy innej daje w wyniku drgania zawierające częstotliwości boczne; przyjmując, że drgania składowe są sinusoidalne, otrzymamy dwie częstotliwości boczne, z których jedna równa się sumie, druga różnicy częstotliwości składowych. Otóż w przypadku doprowadzenia częstotliwości f_1 i f_o do dwóch różnych siatek lampy zachodzi zjawisko równorzędne, przy czym częstotliwość boczną dolną wykorzystuje się jako częstotliwość pośrednią, którą wydziela się przy pomocy obwodu rezonansowego włączonego w obwód anodowy.

W układzie działającym na zasadzie opisanych zjawisk zostaje wykorzystane sprzężenie elektronowe - zarówno jeżeli chodzi o wzajemne oddziaływanie obu częstotliwości, jak i sposób przekazywania ich do obwodu anodowego.

W opisanym wyżej układzie detekcja, w dotychczasowym rozumieniu tego słowa, nie ma miejsca. Tym nie mniej jednak układ oparty na opisanych zjawiskach będziemy nazywać detektorem, albowiem jego działanie, podobnie jak działanie zwykłego układu detekcyjnego, daje w wyniku nową częstotliwość.-

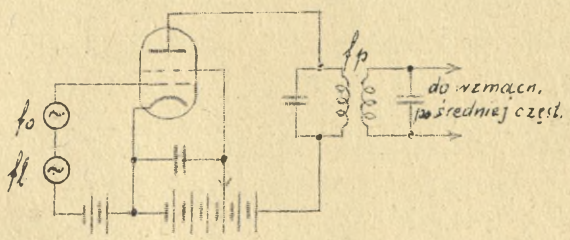
7. Układy do przemiany częstotliwości.

Układy do przemiany częstotliwości podzielimy na dwie grupy: układy dwulampowe i układy jednolampowe. W układach dwulampowych jedna lampa spełnia funkcję oscylatora, druga zaś - funkcję "mieszania" częstotliwości i funkcję detektora. W układach jednolampowych jedna i ta sama lampa spełnia funkcję oscylatora i zmieniacza częstotliwości ("mieszanie" częstotliwości i detekcja). W układach zarówno jedno- jak dwulampowych może być wykorzystany bądź pierwszy sposób przemiany częstotliwości, bądź drugi.-

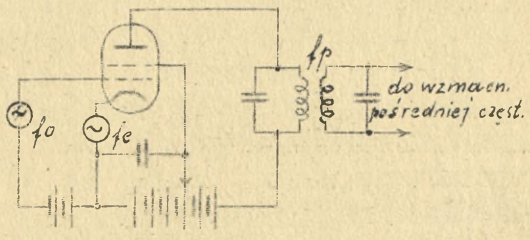
8. Układy dwulampowe.

Istnieje tu ogromna rozmaitość sposobów przekazywania częstotliwości oscylatora do detektora. Wszystkie te sposoby można uogólnić, sprowadzając je do zasadniczych schematów przedstawionych na rys.: 139, 140, 141. Schematy te odnoszą się w ogóle do lamp posiadających co najmniej dwie siatki. Usuwając drugą siatkę na schemacie 139[1]), otrzymamy układ detekcyjny z trjodą.

Na rys.139. częstotliwość odbierana f_o i lokalna f_1



Rys.139.

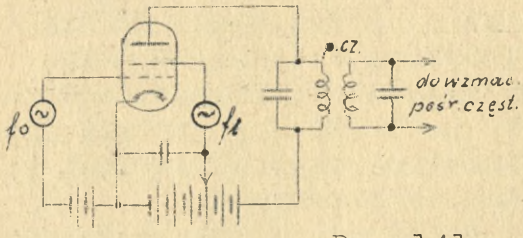


Rys.140.

---

1) lub 140.-

są doprowadzone do jednej i tej samej siatki. Na rys.140. częstotliwość f1 doprowadzona jest od strony katody (sprzężenie katodowe). Układ ten jest, zasadniczo biorąc, identyczny z poprzednim. Na rys.141. częstotliwość f1 jest doprowadzona do siatki drugiej. Częstotliwość lokalna jest najczęściej doprowadzona do pierwszej siatki lub do katody; czasami jest doprowadzona do siatki przeciwemisyjnej (w pentodzie), rzadko zaś do obwodu siatki osłonnej, do obwodu zaś anodowego tylko wyjątkowo.



Rys.141.

W lampach ekranowych i pentodach częstotliwość odbierana doprowadzana jest do pierwszej siatki.

Sposoby sprzężenia oscylatora z detektorem są najrozmaitsze. Oscylator posiada z reguły triodę.-

9. Układy jednolampowe.

Do spełniania wszystkich funkcyj na stopniu przemiany może być wykorzystana trioda, tetroda (m.in. stosowano przez długi czas lampę dwusiatkową) i pentoda.

We wszystkich tych układach istnieje - w mniejszym lub większym stopniu - możliwość zjawiska synchronizacji drgań oraz możliwość przedostawania się napięcia oscylatora do anteny ze względu na duże stosunkowo napięcie tych drgań (rzędu kilku woltów).

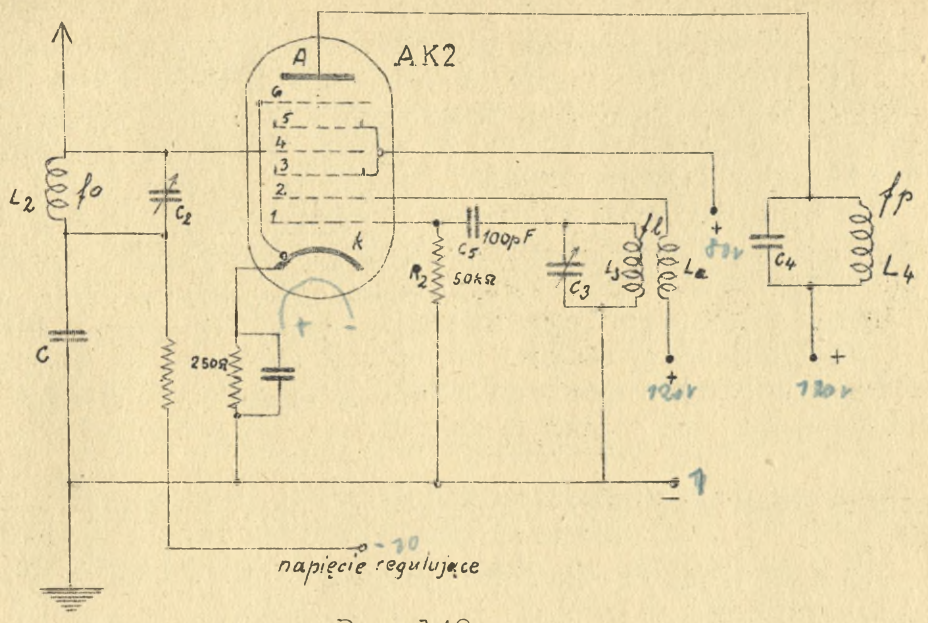
Właściwe rozwiązanie zagadnienia przemiany częstotliwości przy pomocy jednej tylko lampy nastąpiło dopiero z chwilą pojawienia się heksody, heptody, szczególnie zaś dogodną okazała się oktoda. Toteż te właśnie lampy są obecnie stosowane przede wszystkim.-

10. O k t o d a.

Zasadniczy ustrój oktody przedstawia rys.142. Oktodę można rozpatrywać jako lampę złożoną z dwóch układów lampowych: triody i pentody. Trioda spełnia funkcję oscylatora, zaś pentoda funkcję zmieniacza częstotliwości. Obie lampy składowe są sprzężone przy pomocy wspólnego strumienia elektronowego.

Triodę stanowi katoda k, siatka 1 i siatka 2. Siatka 1. jest siatką sterującą oscylatora, zaś siatka 2.- jego anodą. Siatka 2. posiada wysoki potencjał dodatni (może on być nawet równy potencjałowi anody A), tak że w jej obwodzie płynie prąd (anodowy) stosunkowo znaczny (tego samego rzędu lub nawet większy od prądu anodowego oktody). Trioda dzięki sprzężeniu zwrotnemu uzyskanemu przy pomocy cewek L_a-L_2 działa jako oscylator. Dzięki kondensatorowi C_s i oporowi R_s na siatce

1.



Rys.142.

1.oscylatora powstaje automatycznie ujemne napięcie z chwilą powstania drgań przesuwające punkt pracy ku dołowi charakterystyki, skutkiem tego praca oscylatora odbywa się w warunkach korzystniejszych.

Strumień elektronowy zostaje, oczywiście, częściowo wchłonięty przez siatkę 2, tworząc prąd anodowy. Pozostały strumień zostaje przyspieszony przez dodatni potencjał siatki 3.(niższy od potencjału siatki 2.). Natężenie tego strumienia waha się, naturalnie, w rytmie napięcia szybkozmiennego siatki 1.

Drugi układ lampowy oktody stanowi pentoda złożona z siatek: 4,5 i 6 i anody A. Do siatki 4. doprowadzamy napięcie szybkozmienne z anteny; stanowi więc ona właściwą siatkę sterującą oktody; siatka 5. stanowi siatkę osłonną pentody (jak widać, posiada ona taki sam potencjał co siatka 3.),zaś siatka 6. - siatkę hamującą. Katodę pentody stanowi tzw. katoda pozorna. Jest nią ładunek przestrzenny powstający pomiędzy siatkami 4.i 3, skutkiem tego, że siatka 4. posiada potencjał ujemny (rzędu -1 V), tak że część elektronów zostaje zatrzymana w przestrzeni pomiędzy siatkami 3.i 4. Ujemny potencjał siatki 4. otrzymuje się tu przy pomocy oporu katodowego 250 Ω

Potencjał ujemny można także uzyskać automatycznie przy pomocy kondensatora siatkowego, zabocznikowanego oporem wysokoomowym.

Ponieważ oba napięcia: f_1 i f_o doprowadzone są do dwóch różnych siatek, przeto przemiana częstotliwości odbywa się

---

1) początkowy.-

tu przez zmianę nachylenia: w rytmie napięcia szybkozmiennego siatki 1. oscylatora zmienia się nachylenie charakterystyki $J_a = f(U_{s4})$.

W obwodzie anodowym oktody znajduje się obwód L_4C_4 nastrojony na częstotliwość pośrednią.

Obecność siatki osłonnej 3. uniemożliwia z jednej strony promieniowanie oscylatora do anteny, z drugiej zaś strony zapobiega oddziaływaniu drgań odbieranych na drgania oscylatora (synchronizacja drgań).

Siatka 4. jest wykonana w ten sposób, że możliwą jest automatyczna regulacja wzmocnienia, przy czym napięcie regulujące doprowadza się, oczywiście, do tej siatki. Kondensator C(rys.142.) zapobiega zwarciu napięcia regulującego.

Ponieważ oscylator musi stale wytwarzać drgania, przeto sprzężenie zwrotne jest stałe, dobrane w ten sposób, że układ wzbudza się w całym zakresie częstotliwości odbieranych.

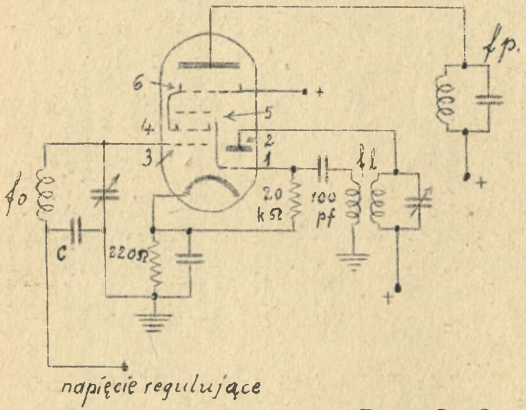
Na wejściu układu widzimy tylko jeden obwód strojony, zatem jest tu zastosowana duża częstotliwość pośrednia.

W § 13. podane są dane elektryczne oktody AK2.-

11. Heksoda.

Stosuje się te same lampy, które służą do automatycznej regulacji wzmocnienia. Jako oscylator stosuje się oddzielną triodę, której drgania doprowadza się do trzeciej siatki heksody. Drgania z anteny doprowadza się do siatki pierwszej. Jest to więc układ dwulampowy.

Przez wbudowanie triody do wspólnej banki otrzymuje się układ jednolampowy. Jest to lampa kombinowana, której schemat przedstawia rys.143. Siatki 1. i 2 wraz z katodą tworzą triodę oscylacyjną. Częstotliwość odbieraną doprowadza się do siatki 3. Strumień elektronów heksody waha się więc w rytmie potencjału siatki 3. i siatki 5.(połączonej z siatką oscylatora). Działanie układu jest więc zasadniczo takie same jak w oktodzie. Siatka 3. oddzielona jest od siatki 1. i 5. przy pomocy ekranu oraz siatki osłonnej 4.



Rys.143.

Kondensator C zapobiega zwarciu napięcia regulującego.[2]

12. Heptoda [1]

Heptoda różni się od oktody tym, że jest pozbawiona

---

1) Rozpowszechniona w Ameryce, w Europie jest mniej rozpowszechniona.

2) Ponieważ jego pojemność w porównaniu z pojemnością kondensatora nastrojczego jest b.duża (rzędu ułamka mikrofarada), przeto nie wywiera on praktycznie żadnego wpływu na nastrojenie układu.-

siatki hamującej (siatka 6.na rys.142) Układ z heptodą jest zasadniczo analogiczny do układu z oktodą.-

13. Nachylenie i wzmocnienie przemiany częstotliwości.

Nachylenie przemiany częstotliwości określa się jako stosunek: $\frac{I_{pm}}{V_{sm}}$, gdzie I_{pm} jest to amplituda składowej zmiennej (pośredniej częstotliwości) prądu anodowego, V_{sm} jest to amplituda napięcia wejściowego (f_o).

Wzmocnienie przemiany częstotliwości określa się jako stodunek $\frac{V_{pm}}{V_{sm}}$, gdzie V_{pm} jest to napięcie na zaciskach obwodu pośredniej częstotliwości. Wzmocnienie przemiany oktod jest około 50.

Dla przykładu podajemy poniżej niektóre dane elektryczne oktody AK2.

$U_ż$	= 4 V	J_a	= 1,6 mA
$J_ż$	= 0,65 A	$J_{s3} + J_{s5}$	= 3,8 mA
U_a	= 250 V	J_{s2}	= 2 mA
U_{s2}	= 90 V	S_p 1)	= 0,6 mA/V
$U_{s3} = U_{s5}$	= 70 V	ρ	= 1,6 megoma
U_{s1}	= - 1,5 V	R_k	= 200 omów

14. Wzmacniacz częstotliwości pośredniej.

Zadaniem jego jest wzmocnienie (w najkorzystniejszych warunkach czułości, selektywności i wierności odtwarzania) częstotliwości pośredniej, wytworzonej przez stopień przemiany częstotliwości. Jak wynika z zasady działania superheterodyny, jest to wzmacniacz wielkiej częstotliwości, dopasowany na stałe do jednej tylko określonej częstotliwości. W zależności od wymagań liczba stopni może być różna. W superheterodynach czterolampowych i większych znajduje się z reguły tylko jeden stopień wzmocnienia pośredniej częstotliwości, co ze względu na duże wzmocnienie współczesnych lamp najzupełniej wystarcza. Dwustopniowe wzmacniacze pośredniej częstotliwości spotyka się rzadko, gdyż bardzo duże wzmocnienie takiego układu tylko wyjątkowo może być rzeczywiście wykorzystane 2).

Jako lampę wzmacniającą stosuje się prawie wyłącznie pentodę wielkiej częstotliwości o zmiennym nachyleniu lub heksodę regulacyjną (p.str.128, § 8.). Możliwą więc staje się wówczas regulacja wzmocnienia zarówno na stopniu wejściowym jak w stopniu pośredniej częstotliwości, co -jak wiemy- dla regulacji automatycznej jest korzystniejsze.

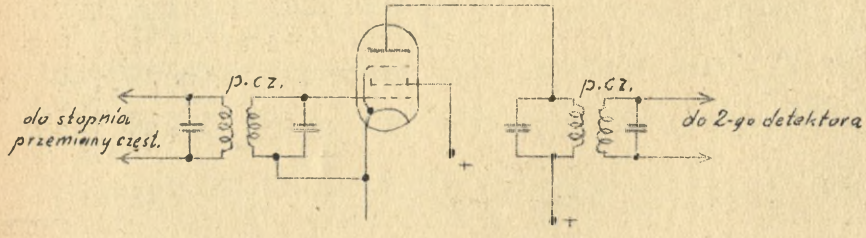
Wzmacniacz pośredniej częstotliwości zaopatrzony jest w co najmniej jeden dwuobwodowy filtr pasmowy.

- -

1) Nachylenie przemiany częstotliwości.-
2) Odnosi się to do odbiorników radiofonicznych.-

Krzywe rezonansu poszczególnych filtrów zostają przy tym tak dobrane, że łącznie z krzywą rezonansu obwodów wejściowych (preselekcji) dają krzywą wypadkową, najbardziej zbliżoną do idealnej. Np. można obwody filtru sprzęgnąć silniej niż trzeba; powstające skutkiem tego wklęśnięcie zostaje wypełnione przez bardziej wąską krzywą rezonansu obwodów preselekcji.

Rys.144. przedstawia jeden z licznych układów wzmacniacza częstotliwości pośredniej. Mamy tu dwa filtry dwuobwodowe pośredniej częstotliwości



Rys.144.

Kondensatory filtrów mogą mieć pojemność stałą, bądź też regulowaną. Pojemność ich jest na ogół stosunkowo niewielka (rzędu 200 pF), tak że stosunek $\frac{L}{C}$ jest duży, co daje krzywą rezonansu o stromych bokach. Jednakże przy zbyt małym kondensatorze przypadkowa, nawet niewielka zmiana pojemności obwodu (np.spowodowana wymianą lampy) wywiera stosunkowo (procentowo) duży wpływ na nastrojenie i dlatego jego pojemność nie powinna być mniejsza od 175-200 pF.

Filtry pośredniej częstotliwości są zamknięte w pudełku (ekran magnetyczny) z metalu niemagnetycznego. Gdy kondensatory są regulowane, wówczas ekran posiada otwory, przez które można - przy zestrajaniu superheterodyny - pokręcać śruby kondensatorów, służące do zmiany pojemności.

Wzmacniacz pośredniej częstotliwości łączy się na wyjściu z detektorem, po którym następuje wzmacniacz małej częstotliwości.-

15. Drugi detektor i oscylator.

Drugi detektor (wraz z ew.drugim oscylatorem) można nazwać drugim stopniem przemiany częstotliwości, gdyż na wyjściu tego stopnia pojawia się nowa częstotliwość, mianowicie częstotliwość akustyczna.

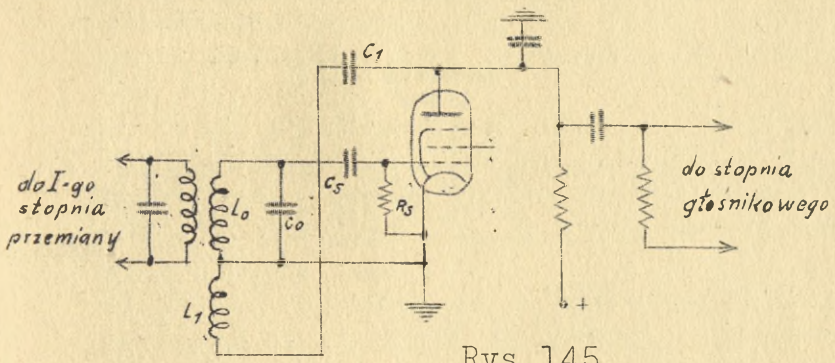
W odbiornikach radiofonicznych detektorem jest często binoda, zawierająca diodę pojedynczą lub podwójną. Jeżeli układem wzmacniającym binody jest pentoda mocy małej częstotliwości, wówczas drugi stopień przemiany częstotliwości stanowi równocześnie stopień wyjściowy aparatu. Dioda podwójna oraz wzmacniacz małej częstotliwości mogą stanowić dwie od-

---

1) A więc cztery obwody rezonansowe. W handlu obwody te są zwykle liczone łącznie z obwodami strojonymi na wejściu. Zatem superheterodyna, np.siedmioobwodowa, posiada w rzeczywistości trzy obwody strojone, pozostałe cztery są obwodami pośredniej częstotliwości.-

dzielne lampy.

W mniejszych superheterodynach (trzylampowych), w których drugi detektor otrzymuje niewielkie stosunkowo napięcie, koniecznym jest detektor bardziej czuły od diody. Stosuje się więc często detektor siatkowy, w którym przez zastosowanie sprzężenia zwrotnego stałego uzyskuje się odtłumienie filtru pośredniej częstotliwości (tzn. obwodu pośredniej częstotliwości, włączonego w obwód siatki detektora), rys.145.



Rys.145.

Sprzężenie zwrotne (układ Reinartz'a) jest tu przy pomocy L_1 i C_1 tak dobrane, że układ znajduje się przed progiem samowzbudzenia. Organy sprzężenia zwrotnego nie są regulowane, o ile układ jest przeznaczony tylko do odbioru fal modulowanych. Sprzężenie ze stopniem głośnikowym - oporowo-pojemnościowe.

W układzie zarówno do odbioru fal modulowanych, jak i ciągłych, sprzężenie zwrotne powinno być regulowane przy pomocy kondensatora C_1. Rzecz jasna, że ponieważ częstotliwość doprowadzona do detektora jest zawsze jednakowa, wobec tego i częstotliwość autodyny może być również dobrana na stałe. Częstotliwość ta jest określona przez obwód L_o-C_o. Nie może ona, oczywiście, być równa dokładnie częstotliwości pośredniej, gdyż - zgodnie z teorią interferencji - częstotliwość dudnień wynosiłaby wówczas zero; obwód L_o-C_o musi więc być nieco rozstrojony w stosunku do częstotliwości pośredniej, przy czym, biorąc procentowo, rozstrojenie jest tym mniejsze, im większa jest pośrednia częstotliwość.-

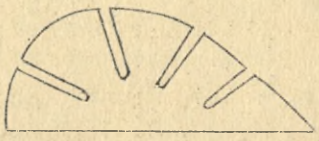
16. Strojenie jednogałkowe.

W superheterodynach stosuje się obecnie z reguły strojenie jednogałkowe, tzn. wszystkie obwody preselekcji wraz z obwodem drgań oscylatora są strojone równocześnie przy pomocy jednego tylko pokrętła.

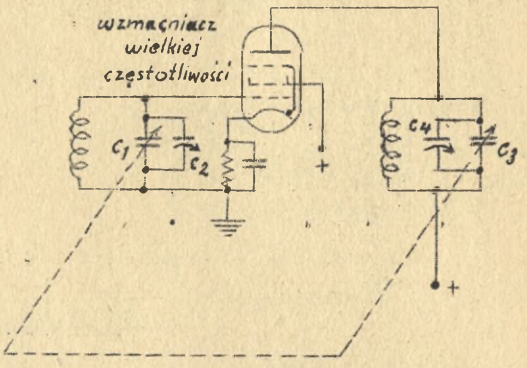
Jeżeli chodzi o równoczesne strojenie obwodów wejściowych, dających selekcję wstępną, to pewna trudność wynika z faktu, że wykonanie dwóch obwodów dokładnie jednakowych jest niemożliwe. Istnieją nie tylko pewne różnice w indukcyjności, ale przede wszystkim pewne różnice w pojemności. Te drobne różnice dochodzą do znaczenia szczególnie przy falach krótszych. Skutkiem tego, pomimo że kondensatory obwodów są usta-

wione w jednakowe położenie, to jednak poszczególne obwody nie są nastrojone na jedną i tę samą częstotliwość.

Te różnice w nastrojeniu usuwa się przy pomocy kondensatorków o małej pojemności (rzędu 10 pF) załączonych równolegle do kondensatorów nastrojczych. Pojemność tych kondensatorów jest regulowana, tak że można łatwo usunąć różnice w nastrojeniu poszczególnych obwodów. Zestrojenie ułatwiają dwie skrajne płyty rotora kondensatora nastrojczego, które posiadają promieniste wycięcia (rys.146.), tak że przez odginanie poszczególnych wycinków można uzyskać dokładne wyrównanie pojemności.



Rys.146.



Rys.147.

Rys.147. przedstawia układ z dwoma obwodami strojonymi równocześnie.[1] Kondensatory C_2 i C_4 są właśnie kondensatorami dodatkowymi. Stosuje się do nich w praktyce angielską nazwę "trimmer" ("gładzik"). Pojemność ich zostaje dobrana na stałe w fabryce.

Obecność trimmera zmniejsza ponadto wpływ przypadkowych zmian pojemności na najkrótszych falach danego zakresu. Przypuśćmy, że w zerowym położeniu kondensatora nastrojczego całkowita pojemność obwodu (tzn. pojemność początkowa kondensatora nastrojczego plus pojemność własna cewki i przewodów oraz pojemność wewnętrzna lampy) wynosi 10 pF, przy czym pojemności trimmera nie bierzemy pod uwagę. Załóżmy teraz, że pojemność obwodu zmieniła się (np.skutkiem wymiany lampy) o 1 pF. Zatem procentowa zmiana pojemności wynosi 10%. Jeżeli pojemność trimmera wynosi np. 15 pF, to wraz z pojemnością poprzednią będziemy mieli 25 pF. Ta sama zmiana pojemności[2] wyrazi się w procentach liczbą 4%. Gdyby pojemność trimmera wynosiła 40 pF, to łącznie z poprzednią pojemnością mielibyśmy 50 pF, zatem procentowa zmiana pojemności wyraziłaby się liczbą 2%. Drogą prostych przeliczeń możnaby się przekonać, że im większa jest procentowa zmiana pojemności skutkiem wpływów przypadkowych, tym większy wywiera ona wpływ na nastrojenie obwodu drgań.

Gdy oba kondensatory z rys.147. zostaną mechanicznie najstrojcze połączone z kondensatorem oscylatora, to w każdym położeniu

---

1) Obwody wejściowe preselekcji.-
2) tzn. o 1 pikofarad.-

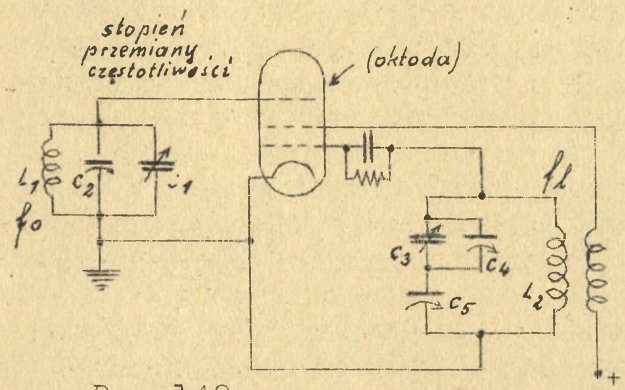
tych kondensatorów różnica pomiędzy częstotliwością rezonansową obwodów wejściowych a częstotliwością oscylatora powinna być zawsze jedna i ta sama i równa częstotliwości pośredniej. Tę stałość częstotliwości pośredniej można uzyskać za pomocą jednego z następujących sposobów:

1) Przez przesunięcie rotorów w kondensatorze obwodu wejściowego i w kondensatorze oscylatora. Muszą tu być kondensatory o skali proporcjonalnej do częstotliwości. Wadą tego sposobu jest zmniejszenie zakresu częstotliwości odbieranych.

Stosowanie jego jest możliwe w przypadku małych częstotliwości pośrednich (50 kc/s), przy większych nie może być stosowany, gdyż przesunięcie rotorów musi być wówczas znaczne.

2) Drugi sposób polega na tym, że kondensator oscylatora posiada rotor o specjalnym profilu, innym niż profil kondensatora obwodu wejściowego. Uruchomienie takiego układu jest dosyć kłopotliwe i w dodatku jest on kosztowniejszy od poprzedniego.

3) Trzeci sposób polega na włączeniu w obwód drgań oscylatora kondensatorów dodatkowych, mianowicie kondensatora równoległego (trimmer'a) i szeregowego, do którego stosuje się w praktyce angielską nazwę: "padding". Zasadniczy schemat przedstawia rys.148. C_3 jest kondensatorem nastrojczym oscylatora, C_4 = trimmer, C_5 = padding. Załóżmy na chwilę, że kondensatorów dodatkowych (C_2, C_4, C_5) nie ma. Przypuśćmy dalej, że kondensatory nastrojcze C_1 i C_3 (jednakowe) posiadają skale proporcjonalne do częstotliwości (kondensatory sierpowe); wobec tego zależność częstotliwości od kąta obrotu (tzn. od podziałki skali) wyrazi się linią prostą. Linia A na rys.149. niech przedstawia wykres skalowania obwodu L_1-C_1; ponieważ częstotliwość oscylatora jest na ogół większa, przeto jego krzywa skalowania powinna przebiegać nad linią A. Ponieważ w dowolnym położeniu rotorów obu kondensatorów (C_1 i C_3) różnica częstotliwości powinna być jedna i ta sama, przeto obie linie powinny być do siebie równoległe. Niech linia B będzie krzywą skalowania obwodu drgań oscylatora.[1]



Rys.148.

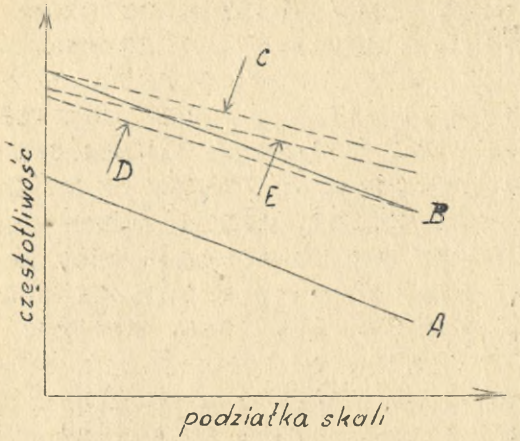
Gdybyśmy żądaną różnicę częstotliwości[2] chcieli uzyskać poprostu przez zmniejszenie indukcyjności L_2 oscylatora, to otrzymalibyśmy wynik zależny od tego, przy jakiej pojem-

---

1) Ponieważ stosuje się przeważnie kondensatory logarytmiczne, przeto obie linie są lekko wklęśnięte ku dołowi.-

2) czyli częstotliwość pośrednią.-

ności kondensatora C_3 nastąpiło zmniejszenie tej indukcyjności. I tak, gdybyśmy obliczyli L_2 przy ustawieniu C_3 w położeniu zerowym, to obracając następnie ten kondensator, otrzymalibyśmy wykres C; gdybyśmy zaś dobrali L_2 dla położenia środkowego kondensatora C_3, otrzymalibyśmy wykres E; i wreszcie dobór L_2 dla największej pojemności C_3 dałby wykres D.



Rys.149.

Widzimy więc, że wymagane różnice częstotliwości otrzymalibyśmy w każdym przypadku tylko dla jednego położenia gałki strojeniowej.

Włączenie kondensatorów dodatkowych pozwala przez odpowiednie dobranie ich pojemności uzyskać - przy zmniejszeniu L_2 - mniej więcej jednakowe różnice częstotliwości w całym zakresie, przy czym trimmery (C_2 i C_4) poprawiają krzywą skalowania dla częstotliwości wyższych (początek skali), zaś padding poprawia krzywą dla częstotliwości niższych. Przebieg czynności zestrojenia przedstawia się np. następująco: ustawiając oba kondensatory nastrojcze: C_1 i C_3 na połowę pojemności, dobiera się indukcyjność L_2 tak, aby uzyskać żądaną różnicę częstotliwości; następnie ustawia się oba kondensatory na pojemność najmniejszą i przez zmianę pojemności równoległych (C_2 i C_4) uzyskuje się znowu jednakową różnicę częstotliwości. Wreszcie ustawia się oba kondensatory na pojemność największą i przez zmianę pojemności kondensatora szeregowego C_5 uzyskuje się znowu żądaną różnicę częstotliwości. Ponieważ pojemność szeregowa C_5 jest duża (kilkakrotnie większa od C_3), wobec tego zmiana tej pojemności nie wywiera praktycznie żadnego wpływu na nastrojenie w początku skali[1]; na odwrót, ponieważ pojemność trimmerka C_4 jest bardzo mała (kilkanaście razy mniejsza od C_3), wobec tego regulowanie tej pojemności wywiera minimalny wpływ na nastrojenie w końcu skali kondensatora.

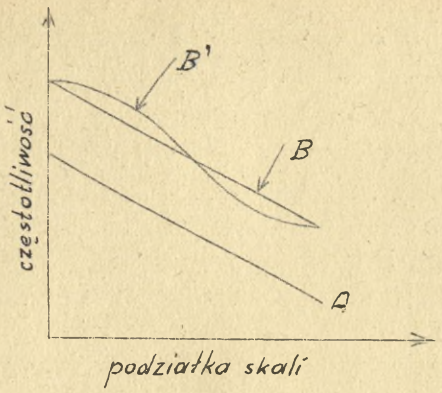
- -

1) Wynika to z zasady łączenia kondensatorów o bardzo różniących się pojemnościach. Niech np. padding posiada C_5 = =700 pF, zaś pozostała pojemność obwodu przy ustawieniu C_3 w położeniu zerowym niech wynosi (łącznie z trimmerem) 20 pF. Pojemność wypadkowa wynosi więc:

$$C_w = \frac{700.20}{700+20} = 19{,}45 \text{ pF}$$

Przypuśćmy, że pojemność padding'a została powiększona o 100 pF i wynosi 800 pF. Pojemność wypadkowa na początku skali wynosi wówczas:

$C_w = \frac{800.20}{800+20} = 19{,}5$ pF, a więc zmiana praktycznie żadna.-



Rys.150.

Uzyskuje się w ten sposób trzy punkty, w których różnica częstotliwości jest jednakowa. Jednakże dla innych punktów różnica jest inna, tak że w rzeczywistości krzywa skalowania oscylatora posiada przebieg wskazany na rys.150, linia B; linia A jest wykresem skalowania obwodu wejściowego L_1-C_1. Przez wyginanie wycinków płyt kondensatora C_3 można różnice zmniejszyć i uzyskać w przybliżeniu wykres B.

Zarówno trimmer, jak i padding mogą zawierać po dwa kondensatory: jeden o pojemności stałej, drugi o pojemności regulowanej.

Trimmer może być załączony równolegle do cewki L_2.-

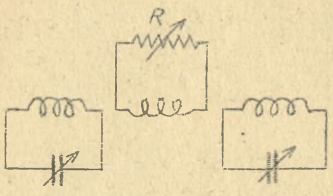
17. Zmiana szerokości krzywej rezonansu.

Zmiana szerokości krzywej rezonansu, stosowana głównie w superheterodynach, umożliwia odbiór stacyj silnych (stacji lokalnej) z dobrą wiernością odtwarzania dźwięków, zaś przy odbiorze stacyj odległych (słabych) pozwala zmniejszyć selektywność i przez to wyeliminować (częściowo lub całkowicie) przeszkody ze strony innych stacyj.

Dobra wierność odtwarzania dźwięków wymaga szerokiej krzywej rezonansu. Szerokość ta ze względu na różnice częstotliwości poszczególnych stacyj nadawczych (fonicznych) nie powinna jednak być większa od 9 kc/s. Ze względu na znaczną stosunkowo szerokość, selektywność układu jest, oczywiście, mniejsza, stąd łatwo o zakłócenie ze strony stacyj nadających na częstotliwościach zbliżonych. Wobec tego szeroka krzywa rezonansu może być wykorzystana tylko przy odbiorze stacyj silnych. Przy odbiorze zaś stacyj słabych (odległych) selektywność układu należy zmniejszyć, inaczej odbiór może zostać zakłócony przez inne stacje o zbliżonych częstotliwościach. Toteż w wielu odbiornikach stosuje się regulację selektywności przez zmianę szerokości krzywej rezonansu. Zmiana ta odbywać się może we wzmacniaczu wielkiej częstotliwości, np. przez zmianę pojemności kondensatorów sprzęgających C_3 i C_4 filtru wejściowego, rys.135; sposób ten jest jednak niedogodny, gdyż równocześnie zmienia się nastrojenie filtru. Dogodniejszy układ przedstawia rys.151, w którym przez zmianę oporu R uzyskuje się w sposób ciągły zmianę sprzężności pomiędzy obwodami rezonansowymi filtru. Zmiana sprzężności powoduje zmianę szerokości krzywej rezonansu.

W superheterodynach zmiana selektywności odbywa się także we wzmacniaczu pośredniej częstotliwości przeważnie

przez zmianę sprzężności obwodów pośredniej częstotliwości.



Rys.151.

Zmiana selektywności może się odbywać automatycznie w ten sposób, że przy odbiorze stacji słabej szerokość krzywej rezonansu automatycznie zmniejsza się, zaś przy odbiorze stacji silniejszej krzywa rezonansu również automatycznie staje się szersza. Układy takie wymagają dodatkowych, dosyć skomplikowanych urządzeń.

Należy podkreślić, że zmiana selektywności oznacza równocześnie zmianę barwy dźwięku. I tak np., wąska krzywa rezonansu obcina skrajne częstotliwości wstęgi modulacji (p. cz.I, str.187), skutkiem tego zostają stłumione wyższe tony - dźwięk staje się bardziej głęboki. Ten sposób zmiany barwy dźwięku jest korzystniejszy, niż sposób opisany na stronie 117.-

- R O Z D Z I A Ł VIII -

Superreakcja

1. Zasada działania.

Jak wiemy, przy pomocy reakcji czułoś odbiornika może być ogromnie zwiększona, przy czym największą czułość układ posiada w okolicy progu samowzbudzenia. Dzięki reakcji obwód drgań zostaje "odtłumiony": do jego obwodu zostaje jak gdyby wprowadzona oporność o znaku ujemnym, skutkiem tego oporność skuteczna obwodu maleje.i może stać się równą zeru, co odpowiada progowi samowzbudzenia. Przy odpowiednim sprzężeniu zwrotnym oporność obwodu staje się ujemna, układ staje się wówczas źródłem drgań.

W odbiorniku reakcyjnym - jak wiemy - odtłumienie układu wykorzystuje się celem wzmocnienia odbioru. Opór obwodu rezonansowego, zmniejszony przez sprzężenie zwrotne, zostaje tu dobrany dla danego sygnału - zasadniczo biorąc - na stałe.

W układzie z superreakcją jest inaczej, mianowicie powiększenie wzmocnienia uzyskuje się w ten sposób, że opór obwodu drgań zmienia się okresowo, przybierając na przemian raz wartość ujemną, drugi raz dodatnią. W ten sposób układ działa na przemian: raz, jako oscylator, raz, jako odbiornik.

Przypuśćmy, że układ reakcyjny znajduje się na progu wzbudzenia. Jeżeli w obwodzie siatki pojawi się nawet bardzo słaby impuls elektryczny, to wzbudzi on w układzie drgania własne o amplitudzie stopniowo rosnącej, która bardzo szybko może stać się znacznie większa od owego wzbudzającego impulsu. W ten sposób bardzo słaby impuls początkowy mo-

że wywołać stosunkowo nadzwyczaj silne drgania, tzn. że tą drogą można uzyskać ogromne wzmocnienie impulsu początkowego.

Ponieważ jednak, jak zaznaczono, układ znajduje się na progu samowzbudzenia, przeto raz wzbudzony będzie oscylował dalej, nawet pomimo, że działanie impulsu początkowego ustanie. Zatem wzmocnienie następnych impulsów staje się w takich warunkach niemożliwe.

Obecność drgań oznacza, że oporność obwodu przybrała wartość ujemną. Aby więc drgania ustały, należy oporność obwodu powiększyć do pewnej wartości dodatniej. Z chwilą, gdy drgania własne ustaną, należy układ znowu sprowadzić do progu samowzbudzenia, przez co stanie się możliwe wzmocnienie następnego impulsu itd. Opór obwodu drgań powinien więc stawać się na przemian dodatnim i ujemnym.

Przypuśćmy, że opór obwodu drgań zmienia się (w funkcji czasu) wg wykresu A na rys.152.

W chwili t_0 opór obwodu drgań jest dodatni i posiada wartość największą. Od chwili t_0 do t_1 opór zmniejsza się, w chwili t_1 wynosi zero, następnie, aż do chwili t_4 posiada wartość ujemną, od chwili t_4 przybiera znowu wartość dodatnią itd.

Załóżmy, że w chwili t_0 w obwodzie, pod wpływem działania anteny, pojawia się siła elektromotoryczna zmienna o przebiegu wskazanym na wykresie B. Ponieważ w tej chwili opór obwodu jest dodatni i stosunkowo duży, przeto prąd wytworzony przez tę siłę jest stosunkowo niewielki.[1] W miarę jednak, jak opór maleje, amplituda prądu i wznieconego w obwodzie drgań, wzrasta, początkowo powoli (wykres C), od chwili zaś t_1, tzn. od chwili gdy opór obwodu stał się ujemny - coraz to prędzej.

Od chwili t_0 do chwili t_1 w obwodzie mamy drgania wymuszone, które w chwili t_1 stają się drganiami swobodnymi (własnymi) układu. Oczywistym jest, że ponieważ drgania swobodne mają być przedłużeniem drgań wymuszonych, częstotliwości ich muszą być jednakowe, układ musi więc być w rezonansie z odbieraną częstotliwością.

Od chwili t_1 układ działa więc jak oscylator.

W chwili t_4 oporność obwodu staje się dodatnia, drgania własne więc gasną, pozostają zatem tylko drgania wymuszone o nieznacznej stosunkowo amplitudzie.

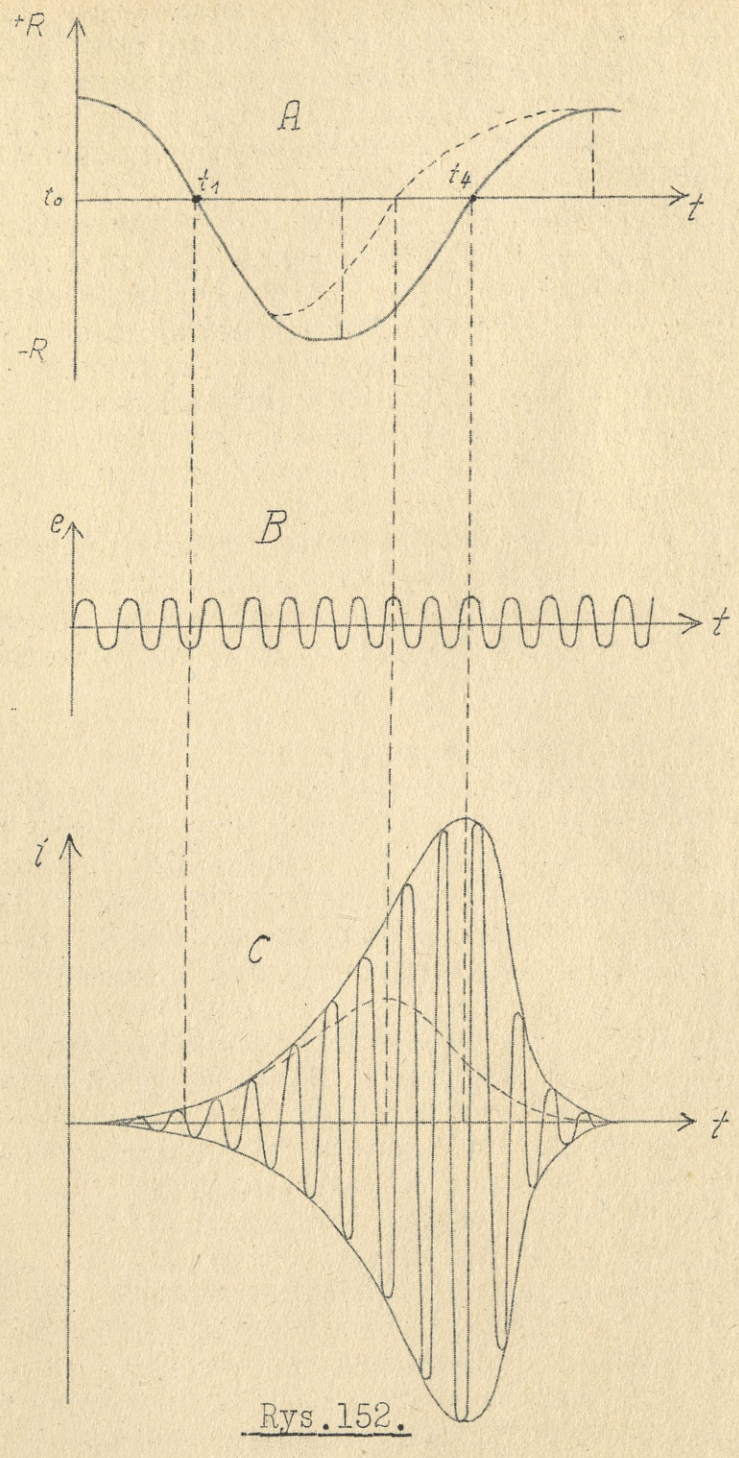
Na przestrzeni czasu od t_1 do t_4 amplituda drgań może w sprzyjających warunkach osiągnąć wartość ogromną w porównaniu z amplitudą drgań wymuszonych, dzięki temu można osiągnąć b. duże wzmocnienie.

Zmiana znaku oporności obwodu rezonansowego odbywa się z częstotliwością rzędu 10000-20000 okr/s.[2] Zmiany te uzyskuje się przez okresowe zmiany napięcia anodowego lub napięcia siatki, co powoduje okresowe przesuwanie początkowego punktu

---

1) Został on na rysunku pominięty.-

2) Odnosi się to do fal dłuższych, które na razie bierzemy pod uwagę.-



Rys.152.

pracy na charakterystyce. Jeżeli np. w pewnej chwili układ wytwarza drgania, to zerwanie ich może nastąpić bądź przez zmniejszenie napięcia anodowego, bądź też przez zmniejszenie napięcia siatki [1]. Punkt pracy przesuwa się wówczas przejściowo ku dołowi charakterystyki, a nawet na lewo od jej początku; drgania się zrywają.

- -

1) tzn. <u>powiększenie</u> ujemnego napięcia siatki.-

Okresowe zmiany napięcia anodowego bądź siatkowego otrzymuje się przez doprowadzenie do obwodu anodowego bądź siatkowego - napięcia zmiennego o częstotliwości rzędu 10000--20000 okr/s. Częstotliwość tę będziemy nazywać częstotliwością modulującą albo superreakcyjną. Doprowadzenie częstotliwości modulującej do siatki jest o tyle dogodniejsze, że amplituda napięcia modulującego może być mniejsza.

Z powyższego wynika, że układ superreakcyjny jest, zasadniczo biorąc, podobny do zwykłej autodyny. Różnica polega na tym, że w układzie superreakcyjnym mamy samowzbudzenie przerywane z częstotliwością nadakustyczną (10000-20000 okr/s) Dzięki temu staje się możliwym wykorzystanie tego wielkiego wzmocnienia, które układ reakcyjny posiada w okolicy progu samowzbudzenia. Nawet słaby sygnał jest zdolny wyzwolić w układzie bardzo dużą energię szybkozmienną. To wyzwalanie energii, tzn. powstawanie i zanikanie drgań własnych, odbywa się w rytmie częstotliwości nadakustycznej (modulującej),[1] przy czym drgania swobodne stanowią jak gdyby przedłużenie impulsu początkowego (czyli drgań wymuszonych przez odbierane sygnały).

2. Odbiór fal modulowanych.

Układ z superreakcją może być użyty do odbioru fal modulowanych i ciągłych. Omówimy naprzód pierwszy przypadek.

Wykres A na rys.153. przedstawia zmiany oporności obwodu drgań w funkcji czasu. Jak widać, czas odpowiadający oporności ujemnej jest krótszy niż dla oporności dodatniej.

Czas odpowiadający oporności dodatniej będziemy w dalszym ciągu nazywać półokresem dodatnim, zaś czas odpowiadający oporności ujemnej - półokresem ujemnym.

Wykres B przedstawia jeden ciąg drgań modulowanych, doprowadzonych do obwodu drgań. Wykres C uwidacznia zmiany amplitudy drgań pod wpływem samowzbudzenia przerywanego. Po wyprostowaniu otrzymujemy prąd wg wykresu D - linia ciągła; średnia wartość tego prądu (linia przerywana) zmienia się w rytmie modulacji drgań odbieranych.

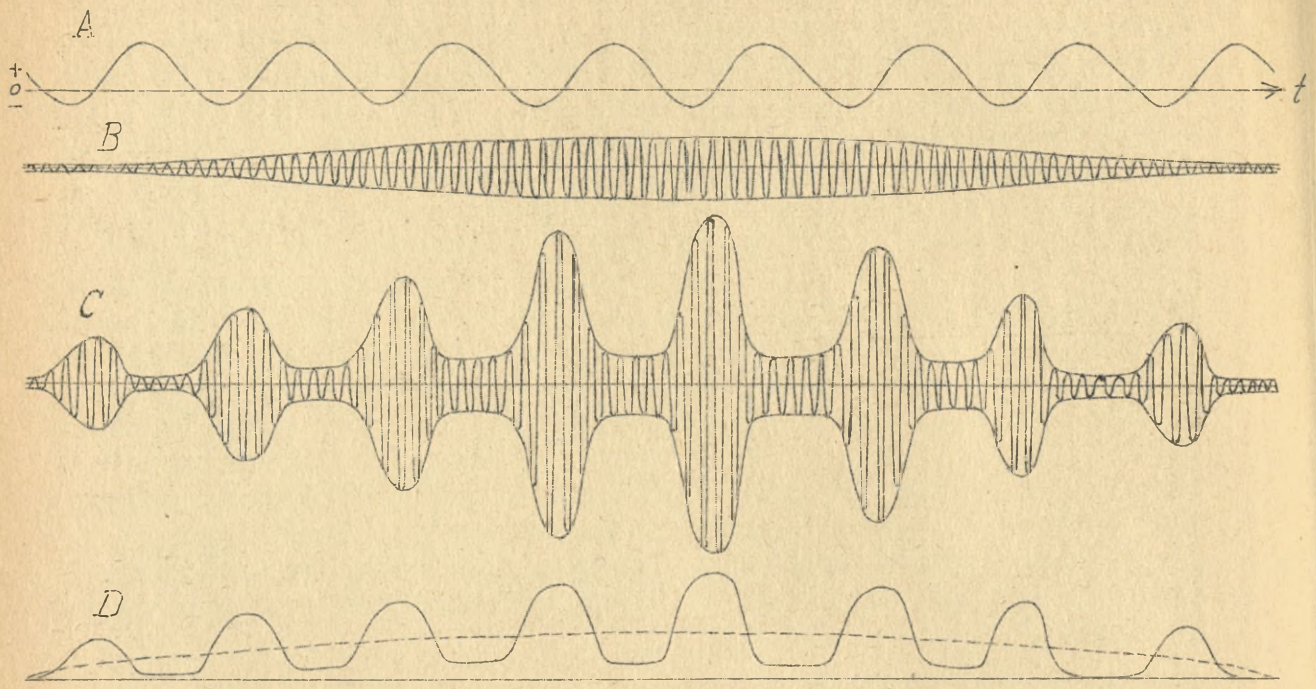
Widzimy więc, że działanie układu wywołuje dodatkową (lokalną) modulację amplitudy drgań odbieranych. Ponieważ zaś modulacja ta odbywa się - jak już wyjaśniono - z częstotliwością nadakustyczną (co najmniej 10000 okr/s.), przeto, praktycznie biorąc, nie wywołuje zakłóceń i zniekształceń.[1]

Działanie układu odbywa się zgodnie z następującymi warunkami:

1. Oporność dodatnia wzrasta do takiej wartości, że drgania swobodne, powstałe w poprzednim półokresie oporności ujemnej, całkowicie gasną. W chwili więc rozpoczęcia się następnego ujemnego półokresu drgań swobodnych nie ma, istnieją tylko drgania wymuszone.

---

1) Częstotliwość modulująca może tu występować w słuchawce w postaci bardzo wysokiego świstu, co jednak nie przeszkadza w odbiorze.-



Rys.153.

2. Amplituda największa drgań swobodnych w każdym półokresie ujemnym jest proporcjonalna do amplitudy drgań wymuszonych, działającej na początku tego półokresu. Jest to możliwe, o ile pominiemy zakrzywienia charakterystyki lampy.

Przy spełnieniu dwóch powyższych warunków kolejne maksima ciągów drgań swobodnych będą zawsze proporcjonalne do amplitud sygnału odbieranego. Gdy ten sygnał - zgodnie z założeniem - jest modulowany, to i drgania swobodne są również modulowane, aczkolwiek modulacja drgań swobodnych jest przerywana przez częstotliwość modulującą lokalną (wykres C). Ponieważ jednak częstotliwość modulacji lokalnej leży w zakresie nadakustycznym, przeto sygnały modulowane mogą być zupełnie dobrze odbierane.

Im większa jest częstotliwość modulacji superreakcyjnej, tym częściej powstają i zanikają drgania swobodne, dlatego też tym wierniejsze jest odtworzenie przebiegu drgań odbieranych. Z drugiej jednak strony, im wyższa jest ta częstotliwość, tym krótszy jest czas trwania ciągu drgań swobodnych, tym mniejszą więc osiągną one końcową amplitudę, a więc

tym mniejsze (jest) wzmocnienie. Należy wreszcie podkreślić, że amplituda koncowa drgań swobodnych zależy od częstotliwości drgań: gdy częstotliwość jest duża (np.fale krótkie), to nawet w czasie krótkiego półokresu ujemnego oscylator zdąży rozkołysać się do znacznej amplitudy i na odwrót: przy małej częstotliwości drgań odbieranych oscylator nie zdąży rozkołysać się do znacznej amplitudy. Stąd wniosek, że układ z superreakcją nadaje się przede wszystkim do odbioru fal krótkich.-

3. Odbiór fal ciągłych.

Oporność ujemna zostaje tu powiększona, zaś dodatnia - zmiejszona do tego stopnia, że drgania swobodne nie zdążają całkowicie zaniknąć w półokresie dodatnim. W ten sposób drgania swobodne istnieją bez przerwy, aczkolwiek w półokresie dodatnim posiadają one amplitudę malejącą.

Jeżeli układ odbiorczy będzie dokładnie w rezonansie z nadajnikiem, to drgania swobodne będą zawsze w fazie z drganiami wymuszonymi, a więc np. drgania własne, które pozostaną w obwodzie w chwili t_8, rys.154, będą w fazie z drganiami odbieranymi, a więc amplituda tych ostatnich zostanie powiększona (wzmocniona).

Następnie drgania swobodne pozostałe w chwili t_5 mają większą amplitudę niż w chwili t_8. Faza ich jest znowu zgodna, wg założenia, z fazą drgań wymuszonych, zatem amplituda drgań swobodnych w półokresie ujemnym $t_5 - t_6$, a więc także i w chwili t_7 będzie większa jak poprzednio. Amplituda drgań będzie więc wzrastała i osiągnie taką wartość, jaką dana lampa może w ogóle wytworzyć.

Jednakże na ogół tak nie będzie, albowiem odbiornik musi być w tym przypadku [1] w pewnym stopniu rozstrojony względem nadajnika. Oznaczmy częstotliwość drgań swobodnych odbiornika przez f_1, zaś częstotliwość drgań odbieranych (wymuszonych) przez f_o. Skutkiem różnicy częstotliwości-fazy drgań swobodnych i wymuszonych będą raz zgodne, raz przeciwne. Skutkiem tego drgania wypadkowe będą raz silniejsze, raz słabsze. Istnieje więc tu pewne podobieństwo z autodyną, jednakże to podobieństwo ogranicza się tylko do krótkiego okresu czasu, tego mianowicie, w którym układ wytwarza drgania własne.

Obie częstotliwości, nakładając się, wytwarzają -oczywiście- dudnienia interferencyjne o częstotliwości: $f_d = f_1 - f_o$ [2] Jednakże, w przeciwieństwie do zwykłego układu reakcyjnego, dudnienia te nie wywołują praktycznie żadnego efektu słuchowego, gdyż częstotliwość ich może być nadakustyczna. Jeżeli jednak nawet i leży w granicach słyszalnych, to i tak nie

---

1) tzn. w przypadku odbioru fal ciągłych;
2) albo: $f_d = f_o - f_1$.-

wywoła praktycznie żadnego efektu ze względu na bardzo małą głębokość modulacji drgań wypadkowych, tzn. ze względu na fakt, że w czasie jednego dudnienia amplituda drgań zmienia się bardzo nieznacznie - w porównaniu z amplitudą drgań swobodnych, która jest bardzo duża. Zgodnie bowiem z zasadami interferencji, gdy jedna częstotliwość składowa posiada bardzo dużą amplitudę, zaś druga (w danym przypadku drgania wymuszone) - nieznaczną, to drgania wypadkowe (dudnienia)są słabo modulowane. Ponadto w czasie półokresu ujemnego modulacja, nawet jeżeli jest głębsza, zmniejsza się skutkiem tego, że ze względu na oporność ujemną amplituda drgań może tylko wzrastać, lub co najmniej posiadać wartość stałą, nie może zaś zmniejszać się. Modulacja (skutkiem interferencji) może więc istnieć tylko w półokresie dodatnim oporności, i to będzie jednak stosunkowo płytka ze względu - jak już zaznaczono - na dużą amplitudę drgań swobodnych.

Oznaczmy częstotliwość modulacji superreakcyjnej przez φ. Niech częstotliwość dudnień f_d będzie wielokrotnością φ, tzn.: $f_d = n \cdot \varphi$ (n - dowolna liczba całkowita dodatnia). Gdy np. $n = 4$, to w czasie jednego okresu modulacji lokalnej powstają pełne 4 dudnienia. Przy takim założeniu na początku każdego ujemnego półokresu (a więc w momentach: t_1, t_3, t_5 itd., rys.154) różnica faz pomiędzy drganiami swobodnymi(zanikającymi) a drganiami wymuszonymi [1] będzie zawsze jedna i ta sama. Np. jeżeli fazy tych drgań były zgodne na początku jednego półokresu ujemnego, to będą również zgodne i w czasie następnych półokresów. Ponieważ zaś, jak wyjaśniliśmy poprzednio (str.154), amplituda drgań swobodnych jest, zasadniczo biorąc, proporcjonalna do amplitudy drgań na początku ujemnego półokresu, przeto przyrosty amplitudy tych półokresów będą zawsze jednakowe. Ponieważ zaś częstotliwość tych przyrostów wynosi φ, przeto odbioru, praktycznie biorąc, nie będzie.

Przypuśćmy teraz, że pomiędzy częstotliwościami f_d i φ istnieje zależność: $f_d = n\varphi + a$, gdzie a jest to liczba całkowita dodatnia. Oznacza to, że liczba f_d nie stanowi całkowitej wielokrotności liczby φ; różnica wynosi: $f_d - n\varphi = a$ okr/sek. Wobec tego różnice faz częstotliwości swobodnej i wymuszonej [1] na początku kolejnych półokresów ujemnych nie będą jednakowe. W związku z tym maksymalne amplitudy drgań swobodnych w poszczególnych półokresach ujemnych będą różne; będą one największe, gdy drgania wymuszone i swobodne będą w fazie na początku danego półokresu ujemnego, w następnych półokresach będą coraz to mniejsze, aż osiągną minimum w tym półokresie ujemnym, na początku którego fazy drgań własnych i wymuszonych będą przeciwne. W dalszym ciągu amplitudy drgań swobodnych w każdym półokresie ujemnym stają się coraz więk-

---

1) czyli faza drgań wypadkowych.-

sze, osiągają znowu maksimum itd. W ten sposób na przestrzeni pewnej liczby okresów częstotliwości superreakcyjne amplituda drgań swobodnych zmienia się od minimum do maksimum i znowu do minimum.

Inaczej mówiąc, na liczbę np. g okresów częstotliwości superreakcyjnej przypada jeden okres zmienności amplitudy drgań swobodnych. Amplituda tych drgań zmienia się więc z częstotliwością g razy mniejszą od φ, tzn. z częstotliwością $\frac{\varphi}{g}$. Otóż można wykazać, że iloraz ten: $\frac{\varphi}{g}$ równa się właśnie a okr/sek.

Streszczając powyższe, stwierdzimy, że dudnienia interferencyjne nie dadzą praktycznie żadnego efektu ze względu na bardzo słabą modulację. Pojawią się natomiast inne dudnienia, wywołane tym, że na początku poszczególnych półokresów ujemnych działają różne fazy prądów składowych. Dudnienia te nazwiemy stroboskopowymi [1]. Ich częstotliwość a wynosi:

$$a \text{ okr/s} = \frac{\varphi}{g}$$

Po wyprostowaniu w ten sposób zmodulowanego prądu pojawi się w słuchawce ton o częstotliwości a okr/sek.

Rys.154. przedstawia uproszczony przebieg zjawisk. Wykres A przedstawia zmiany oporności obwodu drgań. Wykres B przedstawia drgania wypadkowe (wykresy drgań składowych pominięto).

Jak widać, dudnienia interferencyjne (f_d), zresztą słabe, pojawiają się tylko w półokresach dodatnich; w półokresach ujemnych są one tak nieznaczne, że zostały na wykresie nieuwidocznione. W półokresie ujemnym t_1-t_2 drgania swobodne osiągnęły bardzo dużą amplitudę, gdyż na początku tego półokresu fazy częstotliwości swobodnej (pozostałej z poprzedniego półokresu) i wymuszonej były zgodne. W półokresie dodatnim t_2-t_3 drgania maleją. W półokresie ujemnym t_3-t_4 drgania swobodne wprawdzie wzrastają, jednak amplituda maksymalna jest mniejsza jak w poprzednim. W półokresie dodatnim t_4-t_5 drgania swobodne jeszcze bardziej maleją i ponieważ ich amplituda staje się tego samego rzędu co amplituda drgań wymuszonych, przeto występuje wyraźniej dudnienie interferencyjne. W półokresie ujemnym t_5-t_6 drgania swobodne osiągają najmniejszą amplitudę, albowiem w chwili t_5 fazy drgań składowych były przeciwne. W dalszym ciągu widzimy wzrost amplitud w półokresach ujemnych itd.

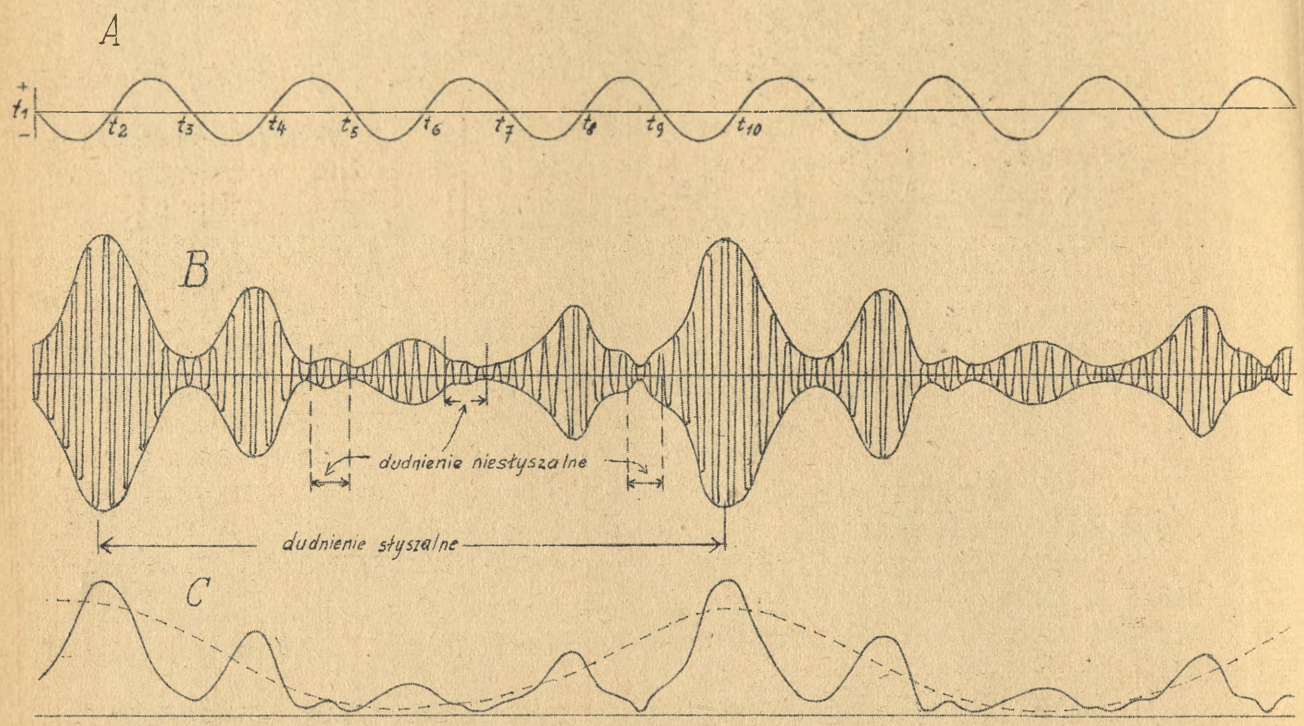
Od chwili t_2 do chwili t_{10} mamy jeden pełny cykl zmienności amplitudy drgań swobodnych, czyli jedno dudnienie stroboskopowe.

Przypada ono, jak widać z rysunku, na cztery okresy modulacji superreakcyjnej. Zatem liczba dudnień stroboskopo-

---

1) Superreakcja działająca w opisany sposób nosi nazwę superreakcji stroboskopowej.-

wych jest w danym przykładzie cztery razy mniejsza od tej ostatniej częstotliwości, tzn. $\frac{\varphi}{4} = a$. Jeżeli więc φ wynosi np.10000 okr/sek., to a = 2500 okr/sek.



Rys.154.

Wykres C przedstawia prąd wyprostowany. Linia przerywana odpowiada częstotliwości słyszalnej. Zmiany prądu przedstawione linią ciągłą, nie zostaną przez słuchawkę odtworzone ze względu na zbyt wielką częstotliwość.

Zasadniczymi warunkami działania układu są następujące:

1. amplituda maksymalna drgań swobodnych powinna być zawsze mniejsza od prądu anodowego nasycenia;
2. w półokresie dodatnim amplituda drgań swobodnych powinna być stłumiona, tak aby jej wartość i wartość amplitudy drgań odbieranych były tego samego rzędu.-

4. Ogólna charakterystyka układów superreakcyjnych.

Jak już wyjaśniliśmy w § 2, czułość układu superreakcyjnego zależy m.in. od częstotliwości drgań odbieranych: im wyższa jest częstotliwość, tym więcej drgań przypada na jeden półokres ujemny, tym większą więc amplitudę osiągną drgania swobodne, tym czułość jest większa. Właściwe wykorzystanie układów znajduje się więc w dziedzinie fal krótkich.

Ze względu na znaczną czułość układ wytwarza w nieobe-

ności sygnału wzmożony szum w słuchawkach, wywołany nieregularnymi impulsami elektrycznymi zewnętrznymi (elektryczność atmosferyczna) i wewnętrznymi (np. efekt śrutowy, p. rozdz.X). Impulsy te, o ile pojawiają się w półokresach ujemnych, pobudzają układ do drgań; ze względu na nieregularne występowanie wytwarzają w słuchawce szum.

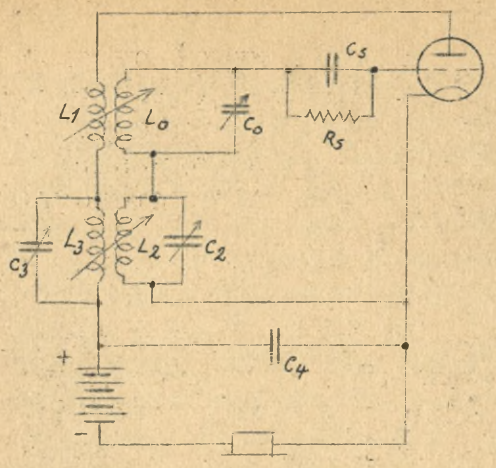
Przy pomocy specjalnych układów szum ten może być znacznie zredukowany.

Największą trudność w odbiorze fal krótkich metodą interferencyjną stanowi fakt, że nawet niewielka procentowo zmiana częstotliwości odbieranej (lub lokalnej) powoduje znaczną liczbowo zmianę częstotliwości; np. przy częstotliwości odbieranej - 10 Mc/s zmiana tylko o 0,1% powoduje zmianę częstotliwości o 10000 okr/s. Skutkiem tego sygnały mogą chwilami zanikać. Otóż układ superreakcyjny umożliwia odbiór nawet wtedy, gdy częstotliwość odbierana (lub lokalna) zmienia się znacznie. Wprawdzie zmienia się przy tym wysokość tonu, jednak odbiór bynajmniej nie zanika. Z drugiej strony fakt ten oznacza, że częstotliwości inne, nawet znacznie się różniące od odbieranej, mogą być odbierane z taką samą siłą, czyli że selektywność układu superreakcyjnego jest niewielka.-

5. Układy superreakcyjne.

Stopień z superreakcją może być jedno- lub dwulampowy. Układy dwulampowe dają lepsze wyniki (m.in. lepsza selektywność) i są pewniejsze w działaniu niż układy jednolampowe. W układzie jednolampowym jedna i ta sama lampa wytwarza przerywane drgania wielkiej częstotliwości oraz napięcie modulujące; równocześnie spełnia funkcję detektora. W układzie dwulampowym drgania modulujące są wytwarzane przez oddzielną lampę (oscylator). Sposoby sprzężenia oscylatora z detektorem są bardzo liczne. Poniżej rozpatrzymy tylko niektóre z nich.

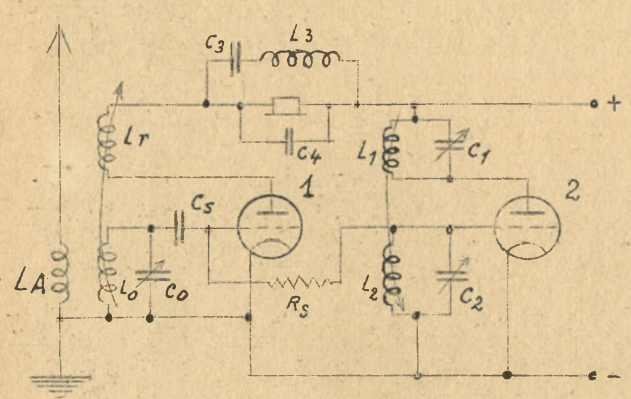
Rys.155. przedstawia przykład układu jednolampowego. Do obwodu L_o-C_o doprowadza się drgania z anteny. Sprzężność zwrotną pomiędzy L_1 i L_o należy tak dobrać, aby układ znajdował się w okolicy progu samowzbudzenia. Drgania modulujące są wytwarzane przez sprzężenie zwrotne dochodzące do skutku przy pomocy obwodów: L_2 - C_2 i L_3 - C_3. Kondensator C_4 bocznikuje słuchawkę, przepuszczając zarówno składową szybkozmienną prądu anodowego (jak w autodynie), jak i częstotliwość modulującą. Ze względu na tę ostatnią częstotliwość jego pojemność powinna być większa niż w zwykłej autodynie (ułamek mikrofarada). Wreszcie C_s - R_s stanowią mostek detekcyjny. Nie jest on tu konieczny, ze względu bowiem na bardzo duże wahania potencjału siatki może być wykorzystana detekcja anodowa.



Rys.155.

Układem superreakcyjnym jednolampowym jest również autodyna, w której sprzężność zwrotna jest zbyt silna, tak że otrzymuje się samowzbudzenie przerywane. Przypadek ten został opisany na str. 49. Przy odpowiednim sprzężeniu zwrotnym oraz odpowiednich wartościach R_s i C_s (rys.52.) można uzyskać odbiór superreakcyjny bądź fal modulowanych, bądź ciągłych. Jednakże tego rodzaju układy nie są obecnie rozpowszechnione.

Przykład układu dwulampowego przedstawia rys.156. Lampa 1. w układzie detekcji siatkowej wytwarza przerywane drgania wielkiej częstotliwości. Lampa 2. wytwarza napięcie modulujące, doprowadzone do siatki lampy za pośrednictwem oporu R_s. Opór ten wraz z kondensatorem C_s tworzy mostek detekcyjny lampy 1. Obwody: L_1-C_1 i L_2-C_2 dają sprzężenie zwrotne. Układ L_3-C_3 jest nastrojony na częstotliwość modulującą oscylatora 2, dzięki temu częstotliwość ta omija słuchawkę 1). C_4 bocznikuje składową szybkozmienną lampy 1. Zamiast słuchawki może być załączony transformator małej częstotliwości, przekazujący częstotliwość akustyczną do wzmacniacza małej częstotliwości.



Rys.156.

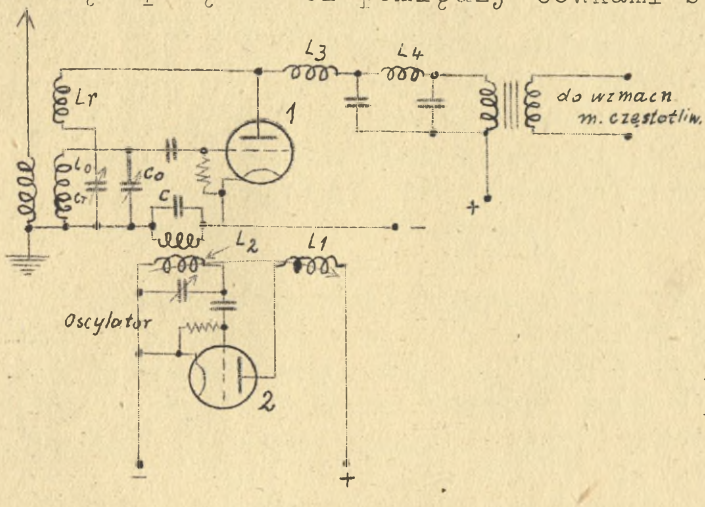
Wahania oporności rzeczywistej obwodu L_o-C_o zmienia się przez zmianę stopnia sprzężności zwrotnej pomiędzy cewkami L_o i L_r. A więc celem np. odbioru drgań niemodulowanych

- -

1) Jeżeli częstotliwość superreakcyjna wytwarzana przez lampę 2 ma być zmienna, to układ L_3-C_3 musi być strojony. Dla L_3 można przyjąć wartość stałą, np. 100000 mikrohenrów, wtedy C_3 powinno być regulowane np. skokami od 1000 do 7000 pF. Odpowiednią wartość C_3 dobiera się dla danej częstotliwości superreakcyjnej eksperymentalnie, tak aby świst superreakcji był najsłabszy. Zostaje wtedy w przybliżeniu spełniony warunek: $L_3 = \frac{1}{\omega C_3}$, gdzie ω = pulsacja częstotliwości superreakcyjnej. Filtr L_3-C_3 nie jest konieczny i może on być zastąpiony przez odpowiedni kondensator, który zastąpi także kondensator C_4.

sprzężność ta powinna być silniejsza niż dla drgań modulowanych.

Amplitudę drgań superreakcyjnych można zmieniać w różny sposób, np. przez zmianę stopnia sprzężności zwrotnej pomiędzy cewkami L_1 i L_2. Jeżeli oscylator jest sprzężony z detektorem transformatorowo, to amplitudę drgań superreakcyjnych wzniecanych w detektorze można także zmieniać przez zmianę sprzężności pomiędzy cewkami sprzęgającymi. Rys.157. przedstawia zasadniczy schemat w przypadku sprzężenia oscylatora od strony siatki detektora.



Rys.157.

Układ z rys.156.nadaje się do fal dłuższych, układ z rys.157. - dla fal krótkich.

W tym ostatnim schemacie kondensator C powinien być tak obliczony, aby z jednej strony swobodnie przepuszczał wielką częstotliwość, z drugiej zaś strony nie powinien zwierać częstotliwości oscylatora. Cewka L_4 wraz z załączonymi do niej kondensatorami stanowi filtr tłumiący w pewnym stopniu szum superreakcji.

Ponieważ oscylator wytwarza stosunkowo niewielką częstotliwość, przeto jego sprzężenie zwrotne może być typu Meissnera.

Na stopniu detektora może być wykorzystana lampa ekranowa lub pentoda. Częstotliwość superreakcyjna może być w tym przypadku doprowadzona do obwodu siatki osłonnej.

Wyregulowanie układu superreakcyjnego wymaga pewnej wprawy. Pierwszą czynnością jest sprawdzenie, czy detektor (lampa 1.) działa. W tym celu należy usunąć lampę 2.i przez zmianę reakcji lampy 1. (kondensator C_r) sprawdzić, czy lampa ta wzbudza się (puknięcie w słuchawce). Następnie wyjąć lampę 1. i załączyć lampę 2. Przy odpowiedniej sprzężności pomiędzy cewkami L_1-L_2 w słuchawkach powinien się pojawić lekki świst. Następnie należy załączyć obie lampy; w słuchawkach pojawi się wówczas mniej lub więcej silny, charakterystyczny szum superreakcji; siła tego szumu zależy od sprzężenia zwrotnego w detektorze (tzn. od położenia cewki L_r na rys.156. lub kondensatora C_r na rys.157.). Po usłyszeniu sygnałów siłę odbioru można zwiększyć przy pomocy reakcji detektora, reakcji oscylatora, a także przez zmianę żarzenia lamp 1.i 2.(w niektórych przypadkach korzystniej jest zaopatrzyć każdą lampę w oddzielny opornik żarzenia) lub też

zmianę napięcia anodowego detektora (przy pomocy odpowiednio włączonego opornika).

Z chwilą pojawienia się sygnału szum superreakcji znacznie się zmniejsza.

Sprawność działania różnego rodzaju układów jest w przybliżeniu jednakowa, o ile zostaną dobrane najkorzystniejsze warunki pracy. Bardzo ważnym czynnikiem jest tu odpowiednie napięcie anodowe i siatki osłonnej detektora, wielkość amplitudy drgań modulujących oraz częstotliwość tych drgań. Jeżeli chodzi o ten ostatni czynnik, to - jak już zaznaczyliśmy - im wyższa jest częstotliwość odbieranych sygnałów, tym wyższa musi być częstotliwość modulująca. I tak np.: dla częstotliwości 50-100 Mc/s częstotliwość modulująca powinna wynosić około 100 kc/s. Dla jeszcze wyższych częstotliwości (200 Mc/s i wyżej) częstotliwość modulująca może być nieco wyższa.

Superreakcja działa dobrze, gdy tłumienie obwodu L_o - $-C_o$ jest bardzo małe. W półokresach ujemnych powstają wówczas drgania o bardzo dużej amplitudzie. Nawet przy odbiorze bardzo słabej stacji mogą powstać napięcia rzędu 50 V.[1] Dlatego też należy stosować lampy o dużym prądzie anodowym nasycenia.

Ze względu więc na tak silne drgania antena sprzężona bezpośrednio z detektorem promieniuje bardzo intensywnie, co może zakłócić pracę odbiorników sąsiednich. Można temu zapobiec przez włączenie pomiędzy antenę a detektor jednostopniowego wzmacniacza wielkiej częstotliwości. Uzyskuje się w ten sposób także pewne polepszenie selektywności. Bardzo ważnym jest tu dobranie odpowiedniego sprzężenia pomiędzy obwodem anodowym wzmacniacza wielkiej częstotliwości a obwodem siatkowym detektora, gdyż stopień superreakcyjny jest bardzo wrażliwy na zmiany obciążenia w obwodzie siatki detektora. Najlepiej jest zastosować tu sprzężenie zmienne, pozwalające dobrać najkorzystniejsze obciążenie.-

- R O Z D Z I A Ł IX -

Układy refleksowe

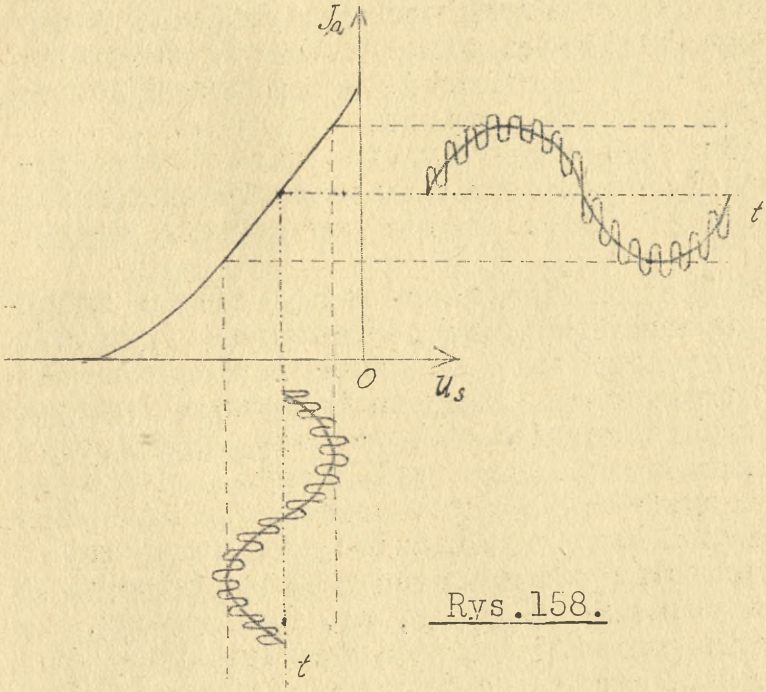
1. W układzie refleksowym jedna lampa (lub też kilka) zostaje dwukrotnie wykorzystana jako wzmacniacz, w ten sposób, że wytworzona w obwodzie anodowym składowa zmienna zostaje ponownie doprowadzona do siatki sterującej tej samej lampy. Ponieważ doprowadzenie z obwodu anodowego do obwodu siatki tej samej częstotliwości oznacza sprzężenie zwrotne, przeto aby zapobiec samowzbudzeniu, częstotliwość doprowadzona ponownie do siatki sterującej musi być inna. Tę częstotliwość otrzymuje się z układu detekcyjnego. W ten sposób stopień refleksowy działa równocześnie jako wzmacniacz wielkiej i

---

1) mowa o napięciu szybkozmiennym w obwodzie siatki sterującej.-

małej częstotliwości; po wyprostowaniu bowiem przy pomocy jakiegokolwiek detektora otrzymuje się częstotliwość akustyczną, którą doprowadza się do tej samej siatki. W lampie zostaje wzmocnione napięcia wypadkowe (tzn. składowa akustyczna z nałożoną składową szybkozmienną). Przebieg tego napięcia wypadkowego oraz wywołanych przez nie zmian prądu anodowego - przedstawia rys.158.

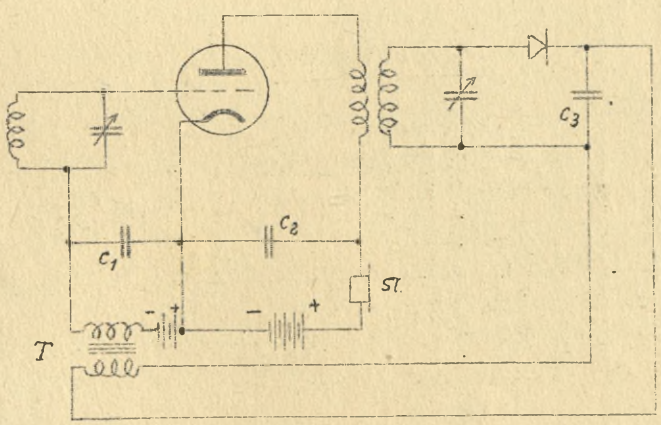
W obwodzie anodowym poszczególna składowe zostają rozdzielone przy pomocy odpowiednich filtrów.



Rys.158.

Jednym z zasadniczych warunków prawidłowego działania jest wykorzystanie tylko prostolinijnego odcinka charakterystyki.

Rys.159. przedstawia układ refleksowy z detektorem stykowym. Częstotliwość akustyczna z detektora zostaje przekazana do siatki przy pomocy transformatora m.cz.T. Słuchawka (sł) znajduje się w obwodzie anodowym. Kondensatory: C_1, C_2 i C_3 zwierają składową szybkozmienną i przez to zapobiegają sprzężeniom zwrotnym.



Rys.159.

Rys.160. przedstawia przykład jednego ze współczesnych układów z pentodą. Drgania z anteny są doprowadzone do siatki sterującej pentody. Drgania wzmocnione zostają przekazane przy pomocy transformatora wielkiej częstotliwości K_2 do diody detekcyjnej (w układzie równoległym). Napięcie

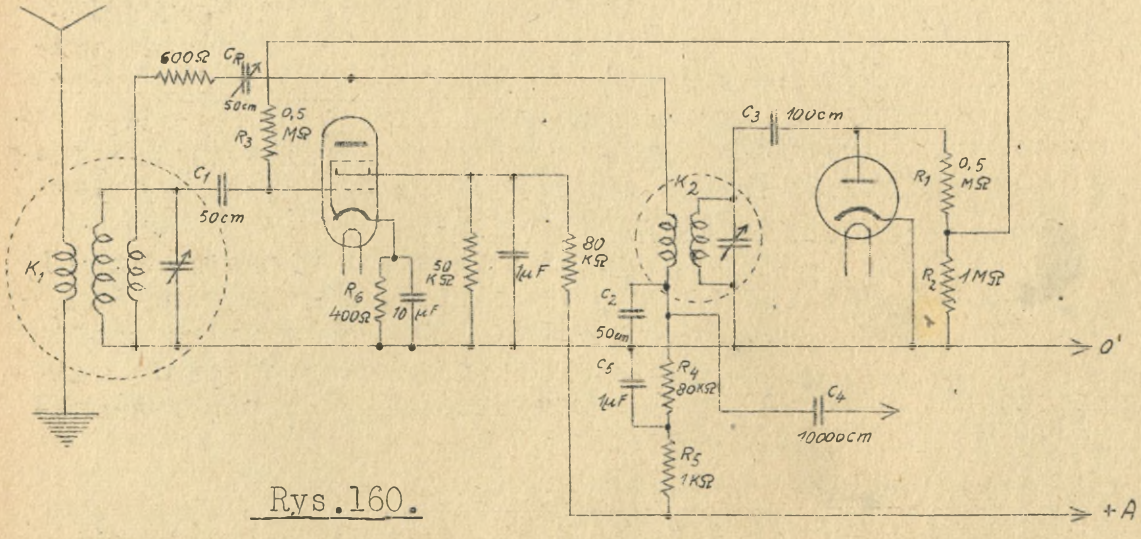
małej częstotliwości zostaje z oporu roboczego R_1-R_2 przekazane do siatki sterującej pentody poprzez opór 0,5 megoma. Opór ten zapobiega przedostawaniu się wielkiej częstotliwości[1]) w kierunku niewłaściwym. Spełnia on więc funkcję dławika wielkiej częstotliwości. Kondensator C_1 zapobiega zwieraniu się małej częstotliwości doprowadzonej do siatki z detektora.

Wzmocniona częstotliwość akustyczna zostaje przekazana do stopnia wyjściowego przy pomocy oporu R_4 i kondensatora C_4 (sprzężenie oporowo-pojemnościowe). Kondensator C_5 zwiera tę częstotliwość do katody (pentody), zaś kondensator C_2 zwiera do tejże katody składową szybkozmienną prądu anodowego. R_5 nie dopuszcza częstotliwości akustycznej do źródła anodowego. Opory: 80 kΩ i 50 kΩ stanowią układ potencjometryczny zasilający siatkę osłonną pentody.

Widoczne na rysunku sprzężenie zwrotne zastosowano celem odtłumienia układu. Wielkość odtłumienia można zmieniać kondensatorem C_R. Opór 600 Ω ma zapobiec powstawaniu drgań własnych.

Układy refleksowe spotyka się także w niektórych mniejszych (trzylampowych) superheterodynach. Mianowicie: jedna i ta sama lampa zostaje wykorzystana do wzmocnienia pośredniej i akustycznej częstotliwości. Przy zastosowaniu heksody na tym samym stopniu może również odbywać się detekcja.

Ze względu na to, że w układzie refleksowym jedna i ta sama lampa jest wykorzystana jako wzmacniacz wielkiej i małej częstotliwości liczba lamp w układzie jest mniejsza, stąd też układ taki daje pewną oszczędność w eksploatacji. Pod względem wydajności układ refleksowy, np. dwulampowy, zajmuje miejsce pośrednie pomiędzy układem zwykłym dwu- i trzylampowym, zbliżając się raczej do tego ostatniego. Układy refleksowe są stosowane obecnie w niektórych tańszych aparatach.



Rys.160.

---

1) Z obwodu siatki sterującej pentody.-

- R O Z D Z I A Ł X -

Zakłócenia w odbiorze

1. Ogólnie o przyczynach zakłóceń.

Pod zakłóceniami w odbiorze będziemy rozumieli wszelkiego rodzaju oboczne wpływy natury elektrycznej, występujące w głośniku (słuchawce)[1] i przeszkadzające w odbiorze. Gdyby nie było tych wpływów, to przy pomocy odpowiednio zbudowanych odbiorników można by odbierać pola elektryczne o natężeniu znacznie mniejszym od 1 μV/m. Obecność zakłóceń sprawia, że w praktyce odbiór pewny uzyskuje się przy natężeniu pola na ogół znacznie większym od podanej wartości ; w niektórych przypadkach powinno ono wynosić nawet dziesiątki miliwoltów na metr.

Zakłócenia powstają bądź pod wpływem oddziaływania prądów małej częstotliwości, bądź też wielkiej częstotliwości. Przyczyną ich mogą być bądź zjawiska zachodzące wewnątrz samego odbiornika, bądź też różnego rodzaju źródła zewnętrzne.

Zjawiska zachodzące w samym odbiorniku mogą być przyczyną powstania bądź prądów małej, bądź też wielkiej częstotliwości. Prądy małej częstotliwości mogą powstawać dzięki przypadkowym sprzężeniom zwrotnym, ponadto występują one w postaci tzw. szumu lampowego; dochodzą do tego różnego rodzaju trzaski (spowodowane np. przez złe styki wyładowaną baterią anodową). Prądy wielkiej częstotliwości powstają skutkiem niepożądanych sprzężeń zwrotnych.

Zakłócenia ze źródeł zewnętrznych dochodzą do odbiorników albo za pośrednictwem fal elektromagnetycznych, albo za pośrednictwem przewodów sieci oświetleniowej.

Oddziaływanie równoczesne dwóch zbliżonych do siebie fal elektromagnetycznych, wypromieniowanych przez dwa różne nadajniki, może doprowadzić do zjawiska tzw. modulacji skrośnej. Źródłem fal elektromagnetycznych są także różnego rodzaju przyrządy elektryczne, zwłaszcza takie, których działanie jest połączone z przerywaniem prądu. Tego rodzaju przeszkody w odbiorze nazwiemy zakłóceniami technicznymi. Wreszcie niewyczerpanym od początku świata istniejącym źródłem fal elektromagnetycznych jest atmosfera: dzięki silnym wyładowaniom elektryczności atmosferycznej, zwłaszcza w czasie burz, powstają zakłócenia atmosferyczne.

Zakłócenia w samym odbiorniku powstają w przypadku wad, błędów lub uszkodzeń konstrukcyjnych aparatu (nie odnosi się to do szumu lampowego). Tego rodzaju zakłócenia są na ogół nie trudne do usunięcia. Inaczej przedstawia się sprawa z zakłóceniami atmosferycznymi i przemysłowymi, których zwalczanie jest znacznie trudniejsze.-

2. Sprzężenia przypadkowe we wzmacniaczach:

Jak wyjaśniono na str.107, § 35, stosuje się niekiedy we wzmacniaczach celem odtłumienia - sprzężenie zwrotne. Takie odtłumienie może stać się jednak źródłem zakłóceń,

---

1) lub też innym urządzeniu odtwarzającym sygnały.-

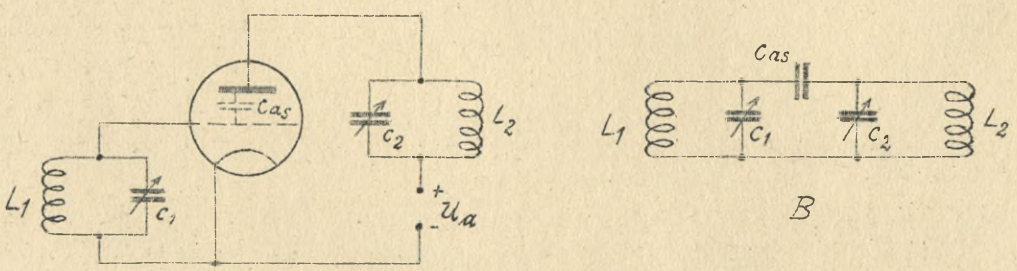
gdy oddziaływanie zwrotne występuje przypadkowo. Posiada ono bądź charakter indukcyjny, bądź pojemnościowy, bądź też indukcyjno-pojemnościowy. Oddziaływanie indukcyjne występuje pomiędzy niewłaściwie ułożonymi przewodnikami, bądź też w przypadku niestarannego ekranowania cewek. Oddziaływanie pojemnościowe, czyli elektrostatyczne, może występować pomiędzy przewodnikami i różnymi częściami układu.

Oddziaływanie zwrotne może wystąpić także dzięki oporności omowej, o ile wchodzi ona w skład obwodów różnych stopni wzmacniacza (np.oporność wewnętrzna baterii anodowej, oporność omowa wspólnych przewodów).

Efekt sprzężeń zwrotnych przypadkowych może występować w sposób widoczny (np. gwizdy, które mogą mieć charakter interferencyjny, bądź też mogą być spowodowane sprzężeniem zwrotnym małej częstotliwości). Jeżeli nawet nie objawiają się w sposób słyszalny, tym niemniej są szkodliwe, albowiem wytwarzane drgania pasożytnicze powodują niepotrzebny rozchód energii elektrycznej.

Jednakże najpoważniejszą przyczyną oddziaływań zwrotnych o charakterze pojemnościowym są pojemności wewnętrzne lampy, w pierwszym rzędzie pojemności pomiędzy anodą a siatką.

Weźmy pod uwagę stopień wzmacniacza wielkiej częstotliwości posiadającego obwód drgań i od strony siatki i od strony anody, rys.161-A. Łatwo zauważyć, że oba te obwody są ze

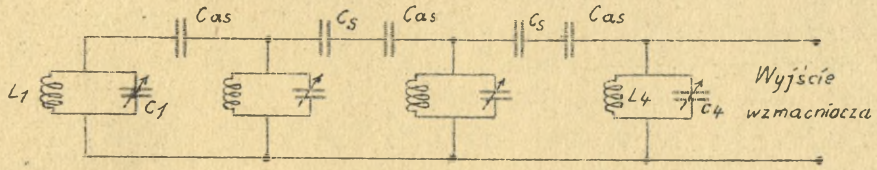


Rys.161.

sobą sprzężone za pośrednictwem pojemności wewnętrznej Cas, tak że układ z rys. A sprawdza się do układu z rys. B, identycznego z układem z rys.37-C, cz.I. Pojemność C_{as} ulega powiększeniu, gdy połączenia z cokołem lampy są blisko siebie położone.

Skłonność do samorzutnego powstawania drgań pasożytniczych rośnie szybko wraz ze wzrostem liczby stopni wzmacniających i ona właśnie stanowi jedną z przyczyn ograniczających liczbę stopni. Pierwszorzędną rolę spełnia tu właśnie pojemność C_{as}. Weźmy pod uwagę wielostopniowy wzmacniacz wielkiej częstotliwości, w którym każdy stopień niech posiada na wyjściu obwód strojony, będący organem sprzęgającym

jedną lampę z drugą. Teoretycznie wzmacniacz taki odpowiada układowi sprzężonemu, rys.162. Kondensator C_s izoluje tu siatkę lampy od składowej stałej napięcia anodowego lampy poprzedniej (por. rys.92.). Ponieważ pojemność kondensatorów C_s jest duża w porównaniu z C_{as}, możemy kondensatorów C_s nie brać pod uwagę przy obliczaniu pojemności wypadkowej. Mamy



Rys.162.

więc tylko kondensatory C_{as} połączone szeregowo.

Dzięki nim isthieje sprzężenie zwrotne pomiędzy obwodem wyjściowym (anodowym) z obwodem wejściowym (siatki).

Jeżeli wzmacniacz posiada n stopni, to pojemność wypadkowa sprzęgająca obwód wyjściowy (L_4-C_4) z obwodem wejściowym (L_1-C_1) wynosi $\frac{C_s}{n}$; jest więc odwrotnie proporcjonalna do liczby stopni, w tym samym więc stosunku maleje oddziaływanie wsteczne. Natomiast wzmocnienie rośnie proporcjonalnie do potęgi z liczby stopni.[1] W takim samym stosunku rośnie i energia w obwodzie wyjściowym. Otóż wielkość energii przekazywanej wstecz z obwodu L_4-C_4 do L_1-C_1 jest proporcjonalna do energii w obwodzie L_4-C_4 pomnożonej przez pojemność sprzęgającą $\frac{C_s}{n}$. Ponieważ zatem energia wyjściowa rośnie szybciej niż maleje pojemność sprzęgająca, wobec tego energia przekazywana wstecz do obwodu L_1-C_1 zwiększa się wraz ze wzrostem liczby stopni.

Każdy wzmacniacz zacznie więc wytwarzać drgania własne, gdy liczba stopni dostatecznie wzrośnie, albowiem wówczas energia oddziaływująca wstecz stale rośnie i w rezultacie staje się większa od strat w obwodzie wejściowym.

Powyższe rozważania odnoszą się również do innych typów sprzężeń międzylampowych.-

3. Sposoby zapobiegania drganiom pasożytniczym we wzmacniaczach.

Sposobów tych jest bardzo wiele. Można je sklasyfikować w sposób następujący:

1. Proste środki ostrożności mające na celu zapobiec pojemnościowym i indukcyjnym oddziaływaniom pomiędzy częściami

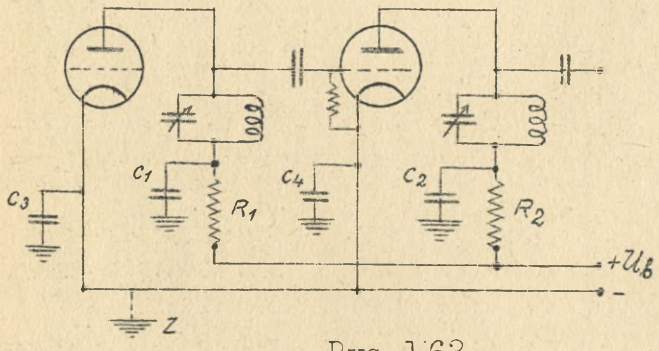
---

1) tzn., że jeżeli wzmocnienie pojedynczego stopnia wynosi k, a liczba takich stopni wynosi n, to całkowite wzmocnienie wynosi: k^n.

układu, a więc: jak najkrótsze połączenia w obwodach wielkiej częstotliwości, krzyżowanie się przewodów pod kątem prostym, oddzielanie poszczególnych stopni wzmacniacza przy pomocy uziemionych ekranów.

2. Bocznikowanie baterii oraz potencjometrów przy pomocy kondensatorów, które ze względu na ich charakter można nazwać odsprzęgającymi (równie dobrze wyrównawczymi), bo usuwają wahania prądu z danej oporności omowej. Bez tego kondensatora zmienny potencjał występujący na oporności omowej wspólnej baterii łatwo mógłby stać się źródłem energii dla każdego stopnia wzmacniacza (zwłaszcza w przypadku baterii częściowo zużytej, gdy jej opór wewnętrzny wzrasta).

W wielu przypadkach bocznikowanie źródła anodowego nie wystarcza, albowiem sprzężenia zwrotne mogą powstać dzięki przewodom anodowym oraz przewodom żarzenia, wspólnym dla kilku lamp. Składową szybkozmienną należy więc przeprowadzić możliwie krótką drogą, z pominięciem wspólnych przewodów zasilających. Osiąga się to przez zastosowanie oporowo-pojemnościowych układów odsprzęgających, którego przykład przedstawia rys.163.



Rys.163.

W obwodzie anodowym każdej lampy widzimy opór R_1 i R_2 (rzędu kilku tysięcy omów), tak dobrany, że wartość jego dla składowej zmiennej prądu anodowego jest znacznie mniejsza, niż oporność pojemnościowa kondensatorów C_1 i C_3, względnie C_2 i C_4. Zatem w obwodzie anodowym pierwszej lampy składowa ta zamknie się do katody poprzez kondensatory C_1 - C_3, zaś w obwodzie anodowym drugiej lampy - poprzez kondensatory C_2 - C_4 (wszystkie te kondensatory są połączone z masą aparatu). Składowa ta nie przepłynie więc ani przez baterię anodową, ani też przez przewody zasilające.

Kondensatory C_3 i C_4 można - na ogół biorąc - wyeliminować; aby jednak umożliwić powrót składowej zmiennej do katody z pominięciem przewodów zasilających i baterii anodowej, należy przewód ujemny połączyć z masą apartu Z, (bądź też sama masa aparatu może stanowić przewód powrotny).

3. Zmniejszenie żarzenia lub też napięcia anodowego. Zmniejsza się wówczas nachylenie charakterystyk lamp, tym samym więc i wzmocnienie.

4. Sztuczne powiększenie tłumienia przez zastosowanie reakcji ujemnej, np. cewkę reakcyjną lub kondensator reakcyj-

ny włącza się tak, aby energia doprowadzona z obwodu anodowego do obwodu siatki tłumiła drgania tego ostatniego, zamiast je podsycać. Wzmocnienie układu, oczywiście, wówczas maleje.

We wzmacniaczach mocy włącza się w obwód siatki lub anody albo w oba obwody - opory rzędu kilkuset omów. Równolegle do tych oporów włącza się czasem dławiki o oporności indukcyjnej, bardzo dużej dla częstotliwości pasożytniczych, a bardzo małej dla prądów o częstotliwości roboczej.

5. Zwiększenie tłumienia obwodu wejściowego. Można to uzyskać, stosując odpowiednio włączone[1] opory, bądź też stwarzając takie warunki pracy dla lampy wejściowej, aby pracowała przy pewnym prądzie siatki. Wzmocnienie układu, oczywiście, maleje.

Często stosowanym obecnie sposobem jest włączenie szeregowo z siatką oporu omowego rzędu 1000 omów.

6. Spłaszczenie krzywej rezonansu obwodu wyjściowego i wejściowego.

7. Neutralizacja (patrz cz.I., str.180).-

4 . Szumy własne wzmacniacza.

Możnaby sądzić, że lampa, jako przekaźnik elektronowy, wolny od bezwładności mechanicznej, zdolna jest wzmacniać napięcia dowolnie małe, o ile tylko zastosuje się dostateczną liczbę stopni wzmocnienia celem uruchomienia odpowiedniego aparatu (słuchawki, głośnika, przekaźnika). Jednakże doświadczenie wwskazuje, że istnieje dolna granica, określona szumami własnymi wzmacniacza:

Przyczyny szumów własnych są trojakiego charakteru:

1) Molekularny (cząstkowy) charakter emisji elektronów przez katodę sprawia, że strumień elektronów jest nieciągły (zwłaszcza w lampach z katodami oszczędnościowymi), lecz waha się w sposób nieregularny, modulując w ten sposób stały na pozór prąd anodowy (tzw.efekt śrutowy). Szumy te dają na zaciskach oporu wyjściowego lampy pewne napięcie, które nietrudno obliczyć. Okazuje się przy tym, że natężenie szumów własnych jest kilkakrotnie większe we wzmacniaczach oporowych, aniżeli we wzmacniaczach rezonansowych.
2) Drugą kategorię szumów własnych stanowią tzw.migotania, polegające na występowaniu nagłych impulsów prądu anodowego, o częstotliwości poniżej 1000 c/s. Impulsy te są 100 do 1000 razy silniejsze niż impulsy efektu śrutowego. Przyczyną ich jest prawdopodobnie odrywanie się od katody jonów dodatnich, powodujących nagłe zobojętnienie ładunku przestrzennego. Zjawisko to występuje zwłaszcza we wzmacniaczach małej częstotliwości. Szumy te rosną proporcjonalnie do prądu anodowego. Szumy efektu śrutowego

---

1) szeregowo lub równolegle.-

są również zależne od wielkości prądu anodowego, jednak ich wzrost jest powolniejszy.

3) Trzeci rodzaj szumów ma swe źródło poza lampą elektronową. Przyczyną jego są bezładne ruchy elektronów wewnątrz przewodników pod wpływem temperatury. Szumy te rosną, jak wykazuje rachunek, ze wzrostem oporu przewodników oraz ze zwiększeniem zakresu wzmacnianych częstotliwości. Stają się szczególnie dotkliwe w układach, w których zastosowane są opory upływowe w obwodzie siatki.

Jak więc widać, powstawanie szumów jest spowodowane molekularną strukturą materii, z której zbudowane są lampy i obwody wzmacniacza; skutkiem tego przebiegi elektronów nie odbywają się w sposób ciągły, lecz nieregularnymi impulsami, dając źródło szumów własnych wzmacniacza, które potęgują się w miarę wzrostu wzmocnienia.

Szumy własne można zmniejszyć, budując odbiorniki na zakres tak wąski, jak tylko pozwalają warunki prawidłowego odtwarzania sygnałów oraz unikając w miarę możności oporów rzeczywistych w obwodach wejściowych wzmacniaczy i zastępując je oporami pozornymi (dławiki, transformatory, obwody rezonansowe).

Odrębne zagadnienia stanowią szumy pochodzące ze źródeł zasilających (sieci, baterii) oraz wywołane zjawiskiem elektrolizy w połączeniach lutowanych, w opornikach wykonanych z masy itd.

Źródłem zakłóceń mogą być źródła zasilające. I tak, w odbiornikach zasilanych z sieci przyczyną szumu jest pozostała, pomimo nawet bardzo starannego wyfiltrowania, składowa zmienna prądu wyprostowanego. [1] W odbiornikach bateryjnych pojawiają się, zwłaszcza pod koniec pracy, urywane trzaski, nieraz dosyć silne, będące wynikiem przebiegów elektrochemicznych w ogniwach.

Wreszcie źródłem zakłóceń jest tzw. mikrofonowanie lamp. Jest ono spowodowane drganiami mechanicznymi cienkiego włókna katodowego pod wpływem wstrząsu. W rytmie tych drgań, posiadających częstotliwość rzędu kilkuset okresów na sekundę, zmienia się oporność wewnętrzna lampy, a więc i prąd anodowy. Powstaje więc w słuchawkach dźwięk. Mikrofonowaniu zapobiega się przez silną konstrukcję mechaniczną włókna. Zjawisko to nie występuje więc w lampach o żarzeniu pośrednim.

Przy racjonalnym wykorzystaniu wymienionych środków można osiągnąć następujące granice czułości urządzeń odbiorczych.

W odbiornikach radiofonicznych średniej czułości wymagana jest minimalna amplituda napięcia zmiennego w obwodzie siatki pierwszej lampy około 10 mikrowoltów.

Wzmacniacze aperiodyczne m.cz. dają napięcie szumów,

---

1) p.niżej.-

odniesione do siatki pierwszej lampy, rzędu kilku mikrowoltów. Wpływ szumów można zmniejszyć, stosując transformator wejściowy w dostatecznie dużej przekładni.

We wzmacniaczach rezonansowych małej częstotliwości szumy są znacznie mniejsze i mogą być utrzymane poniżej 1 mikrowolta na siatce pierwszej lampy.

Wzmacniacze rezonansowe wielkiej częstotliwości mogą pracować przy napięciu wejściowym 1 mikrowolta.-

5 . Modulacja skrośna.

Jest to zjawisko mające miejsce wtedy, gdy na częstotliwość nośną stacji, na którą odbiornik jest nastrojony, nakłada się częstotliwość modulowaną innej stacji (stacja przeszkadzająca). Powstaje ono skutkiem zakrzywienia charakterystyki wzmacniacza wielkiej częstotliwości.

Przypuśćmy, że na siatce sterującej wzmacniacza wielkiej częstotliwości pojawią się jednocześnie dwa napięcia wielkiej częstotliwości. Załóżmy, że różnica częstotliwości tych dwóch sygnałów jest tak duża, że częstotliwość dudnień leży poza granicą słyszalności. Jeżeli oba napięcia nie są modulowane, to nie stwierdzimy słuchowo żadnej interferencji, przebieg charakterystyk jest przy tym rzeczą obojętną. Jednakże, gdy jedna z dwóch odbieranych fal jest modulowana, wówczas i druga fala nośna zmienia się w takt tej obcej sobie modulacji, co właśnie stanowi istotę modulacji skrośnej. Na siatkę wzmacniacza wielkiej częstotliwości oddziaływuje suma obu napięć, tak że wahania potencjału siatki obejmują wówczas długi stosunkowo odcinek charakterystyki. Gdyby odcinek ten był prostolinijny, zjawisko byłoby nieszkodliwe. Ponieważ jednak posiada on krzywiznę, wobec tego występuje we wzmacniaczu wielkiej częstotliwości w pewnym stopniu detekcja napięcia wypadkowego (tzn. częstotliwości pożądanej, zmodulowanej przez sygnały niepożądane).

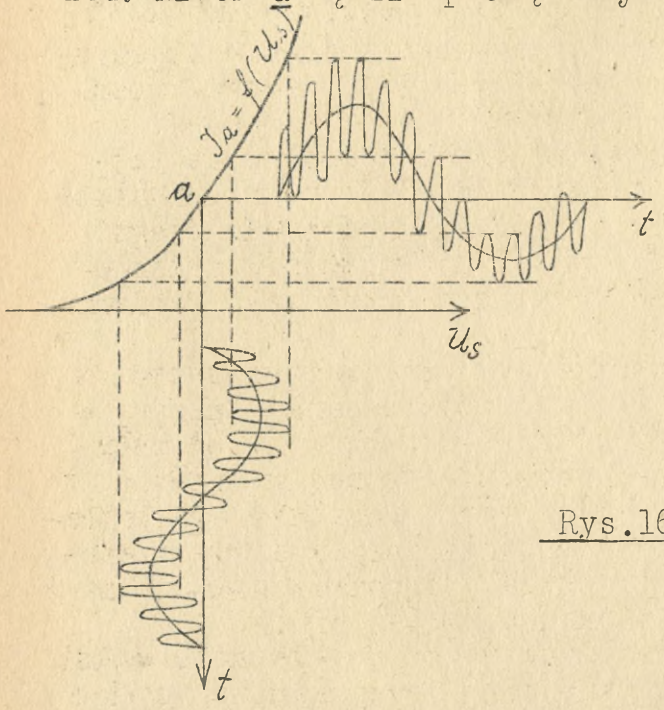
Skutkiem tego usłyszymy równocześnie obie stacje, tzn. stację pożądaną, na którą odbiornik jest nastrojony i (oczywiście słabiej) stację niepożądaną, na którą odbiornik wprawdzie nie jest nastrojony, ale która moduluje falę nośną stacji pożądanej.

Modulację skrośną można w dużym stopniu zmniejszyć przez powiększenie selektywności w odbiorniku, mianowicie przez zastosowanie na wejściu odbiornika kilku obwodów strojonych, co - oczywiście - nie jest dogodne. O wiele skuteczniejszym i dogodniejszym sposobem jest zastosowanie lamp o charakterystykach praktycznie pozbawionych zakrzywienia (p. rozdział VI.).-).

5. Przydźwięk modulacyjny sieci.

Jest to zjawisko analogiczne do modulacji skrośnej. Ob-

jawia się ono w ten sposób, że z chwilą dostrojenia odbiornika do pewnej stacji następuje niekiedy wzrost brzęczenia sieci. Zjawisko występuje wtedy, gdy napięcie małej częstotliwości (pochodzące np.z prostownika sieciowego) przedostaje się bądź skutkiem niedostatecznego filtrowania, bądź też skutkiem oddziaływań elektrostatycznych na siatkę wzmacniacza wielkiej częstotliwości i moduluje sygnał wejściowy. Obecność na siatce lub w obwodzie anodowym tego napięcia małej częstotliwosci byłaby nieszkodliwa, gdyby charakterystyka lampy była linią prostą, wówczas bowiem prąd ten zwierałby się przez cewkę obwodu rezonansowego, włączonego od strony anody, i dlatego nie działałby wcale na siatkę lampy następnej. Jednakże charakterystyka posiada zakrzywienie, rys. 164. Niech a będzie początkowym punktem pracy. Pod wpływem napięcia małej częstotliwości punkt pracy ustawicznie przesuwa się wzdłuż charakterystyki w rytmie tego napięcia. Na to napięcie nakłada się napięcie szybkozmienne. Wobec tego napięcie wypadkowe siatki posiada przebieg wskazany w dolnej części rysunku. Jak widzimy, punkt pracy przesuwa się ustawicznie wzdłuż charakterystyki w rytmie napięcia małej częstotliwości. Gdy punkt pracy znajdzie się przejściowo na zakrzywieniu, amplituda drgań wielkiej częstotliwości maleje, gdy zaś punkt pracy przesunie się na odcinek prostolinijny, to amplituda tych drgań wzrasta. Prąd anodowy posiada więc przebieg wskazany w prawej części rysunku. Amplituda składowej szybkozmiennej zmienia się zatem w rytmie małej częstotliwości, a to właśnie oznacza modulację.



Rys.164.

Zjawisko powyższe daje się usunąć między innymi przez odpowiednie filtrowanie i ekranowanie.

Jak wynika z powyższych wyjaśnień, zarówno modulacja skrośna, jak i przydźwięk sieci pojawiający się w chwili dostrojenia - posiadają charakter zniekształceń amplitudy.-

6. Zakłócenia atmosferyczne.

Antena odbiorcza znajduje się nie tylko w polu elektromagnetycznym stacyj nadawczych lecz również w polu elektromagnetycznym wytwarzanym nieustannie przez kulę ziemską. Zarówno pole elektryczne ziemi, jak i jej pole magnetyczne nie oddziaływało by na antenę odbiorczą, gdyby ich wartości były niezmienne. Jednakże wartości te podlegają ustawicznym zmianom i te właśnie zmiany oddziaływują na antenę odbiorczą, wzbudzając w niej impulsy prądów. Powstają w ten sposób zakłócenia atmosferyczne, występujące na wyjściu odbiornika jako efekty akustyczne w bardzo różnych postaciach. Z grubsza można je podzielić na trzy grupy.

1. Krótkie, urywane trzaski lub puknięcia ("kliki"). Są one wywołane przez krótkie impulsy (czas trwania około 0,0001 sek.) najczęściej aperiodyczne. Są one charakterystyczne dla zakłóceń typu burzowego. Wywołują je prawdopodobnie pojedyncze rozładowania elektryczne. Zasięg ich jest na ogół rzędu kilkuset km.

2. Bulgotanie ("gotowanie"). Jest ono spowodowane najczęściej przez rozładowania wielokrotne elektryczności atmosferycznej (zachodzące np. między dwiema masami ruchomego powietrza). W ten sposób mogą również ujawniać się dalekie burze (kilka tysięcy km). Czas trwania tego rodzaju zaburzeń wynosi ponad 1 sek.

3. Syczenie; jest ono wywołane spływem elektryczności w antenie. Może ono występować np. w czasie padania śniegu, w czasie przesuwania się nad anteną ciężkich chmur. Pod wpływem oddziaływania elektryczności atmosferycznej w antenie (podobnie jak w przewodzie piorunochronu) powstaje elektryczność znaku przeciwnego. Jeżeli w antenie znajduje się szeregowo włączony kondensator, to skutkiem nagromadzenia się na nich ładunków statycznych może on ulec przebiciu.

Wreszcie zakłócenia atmosferyczne mogą wystąpić wprost w postaci akustycznej, czy to jako ciąg drgań zanikających o częstotliwości 1600-4500 okr/sek i czasie trwania poniżej 1/8 sek, czy też jako świst o prawie stałej amplitudzie o częstotliwości około 700-4000 okr/sek i czasie trwania około 1/4 sek.

Zaburzenia mają charakter impulsowy, najczęściej aperiodyczny lub quasiperiodyczny.[1] Ich natężenie zależne jest od pory doby, roku, położenia geograficznego, długości fal.

Minima zakłócen mamy na ogół w godzinach rannych (przy wschodzie słońca). Maxima wypadają przy zachodzie słońca i około północy.

Roczny rozkład zakłóceń wykazuje szerokie minimum w o-

---

1) Drgania quasiperiodyczne nie posiadają stałego okresu. W danym przypadku okres drgań staje się coraz krótszy, sam ciąg drgań jest bardzo krótki.-

kresie zimowym, w lecie nasilenie przeszkód jest największe.

Wreszcie pewna powtarzalność daje się zaobserwować - przynajmniej w zakresie fal długich - w okresach wieloletnich (prawdopodobna zależność od plam słonecznych).

Jeżeli chodzi o położenie geograficzne, to zakłócenia zależą głównie od szerokości geograficznej. Rosną mianowicie w miarę zbliżania się do równika. Na ogół zakłócenia na lądzie są silniejsze niż nad morzem. Silne przeszkody występują zwłaszcza w miejscowościach górzystych.

Natężenie przeszkód rośnie silnie wraz z długością fali. Na falach poniżej 14 m zakłócenia prawie zupełnie nie występują (wyjątek stanowią burze lokalne). Stosunek średniej wartości zaburzeń na falach bardzo długich (kilkanaście tysięcy metrów) i krótkich (kilkadziesiąt metrów) jest rzędu 1000 : 1.

Wielu autorów uważa za najpoważniejsze źródło zakłóceń zjawiska burzowe. Według danych statystycznych, w czasie jednej sekundy trafia w ziemię około 100 piorunów, tym samym więc staje się zrozumiała prawie nieustanna obecność zakłóceń. Szczególną rolę odgrywają tu burze tropikalne. Z pomiarów goniometrycznych (p.rozdz.XIII) wynika, że głównym ogniskiem, jeżeli chodzi o źródła dalekie, jest obszar południowo-zachodniej Afryki. Niezależnie od tego bywają też przejściowe źródła przeszkód atmosferycznych o charakterze lokalnym. One właśnie występują najsilniej w naszym klimacie w miesiącach: lipcu i sierpniu. Zródłem zaburzeń mogą się stać fronty meteorologiczne ze względu na przesuwanie się wzdłuż siebie mas powietrza o różnych właściwościach fizycznych. Zaburzenia mogą być również pochodzenia kosmicznego, bądź to jako oddziaływania przychodzące z poza ziemi, bądź też wytworzone w obrębie naszej atmosfery przez czynniki pozaziemskie. W końcu zaburzenie może powstać przez ładowanie samej anteny odbiorczej ładunkami elektrycznymi unoszonymi lub wytwarzanymi przy zetknięciu się z anteną kropel deszczu, płatków śniegu, ruchomych mas powietrza itd.

Należy wyjaśnić, że potencjał elektryczny atmosfery jest w różnych jej punktach różny. Elektryzowanie atmosfery spowodowane jest zarówno jonizacją pod wpływem promieni słonecznych, jak i działaniem innych czynników. Np. ruch powietrza (wiatr) w czasie deszczu lub w przestrzeni, zawierający parę wodną, powoduje elektryzowanie się cząsteczek wody znakiem dodatnim, zaś cząsteczek powietrza - znakiem ujemnym. Parowanie jest również przyczyną elektryzowania zarówno płynu jak i pary. Również ruch powietrza wzdłuż terenu piaszczystego wzniecający chmury pyłu powoduje intensywne elektryzowanie zarówno cząstek pyłu, jak i powietrza.-

7. Zwalczanie zakłóceń atmosferycznych.

Krótkie, nieregularne impulsy oddziaływań atmosferycznych, ładując antenę odbiorczą elektrycznością, wywołują w układzie odbiorczym drgania swobodne o takiej częstotliwości, na którą odbiornik jest nastrojony. Wynika więc stąd, że zupełne wyeliminowanie zakłóceń atmosferycznych w odbiorze jest niemożliwe. Skuteczne sposoby zwalczania tych zakłóceń są następujące: selektywne odbiorniki, anteny odbiorcze kierunkowe (np. antena ramowa) oraz dostatecznie silne natężenie pola elektrycznego odbieranych sygnałów (tzn. duża moc nadajnika).

Odbiornik selektywny reaguje, oczywiście, tylko na te zakłócenia, których częstotliwość objęta jest krzywą rezonansu odbiornika. W odbiornikach telegraficznych selektywność można - jak wiemy - podwyższyć przez zastosowanie obwodów rezonansowych małej częstotliwości (por.str.93).

Stosowanie anten kierunkowych możliwe jest, oczywiście, tylko wówczas, gdy główny kierunek przeszkód w danej okolicy nie jest zgodny z kierunkiem fal odbieranych.

Dla zabezpieczenia radioodbiornika od silnych wyładowań atmosferycznych (w czasie burzy) antena powinna być zaopatrzona w odgromnik umieszczony na zewnątrz pomieszczenia. Ponadto każda antena powinna posiadać wyłącznik antenowy wyłączający odbiornik i zwierający antenę z ziemią.-

8. Zakłócenia techniczne.

Zakłócenia techniczne występują, oczywiście, tylko w okolicach zelektryfikowanych. Źródłem ich są przeważnie komutatory i wszelkiego rodzaju przerywacze, jak cewki indukcyjne, dzwonki, aparaty telegraficzne, różne aparaty dla użytku domowego, maszyny elektryczne itd. Zakłócenia techniczne mogą być spowodowane oddziaływaniem prądów małej[1]) lub wielkiej częstotliwości.

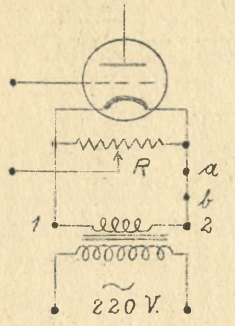
a. Oddziaływanie częstotliwości 50 okr/sek.

Jeżeli chodzi o oddziaływanie małej częstotliwości, to należy między innymi wspomnić o oddziaływaniu prądu sieci oświetleniowej. Otóż bezpośrednia indukcja tego prądu rzadziej się staje dokuczliwą. Częściej występują tu zakłócenia spowodowane wadliwą konstrukcją odbiornika. I tak: przy złym filtrowaniu prądu wyprostowanego lub nieodpowiednim ekranowaniu może powstać przydźwięk modulacyjny sieci (p.wyżej, § 6.). Również niedostateczne filtrowanie i ekranowanie może wywołać ciągłe buczenie sieci w głośniku. Może ono być także wywołane nieprawidłowym sposobem załączenia siatki sterującej w przypadku bezpośredniego żarzenia prądem zmiennym, rys.165. Jeżeli załączymy siatkę do końcówki 1.lub 2.transformatora żarzenia, to przy założeniu, że napięcie żarzenia wynosi 4 V,

---

1) poniżej 10000 okr/s.

na siatkę będzie działać napięcie zmienne o częstotliwości 50 okr/sek i o amplitudzie: 4 V x 1,4 = = 5,6 V, gdyż jedna końcówka włókna katody pięćdziesiąt razy na sekundę zmienia swój potencjał względem drugiej końcówki. Buczenie spowodowane takim niesymetrycznym połączeniem będzie więc dosyć silne. Należy więc znaleźć taki punkt, aby przy zmianie wartości i kierunku napięcia żarzenia - napięcie siatki, a więc i natężenie prądu anodowego nie zmieniało się. Takim punktem jest punkt środkowy włókna, albo środek uzwojenia wtórnego transformatora żarzenia. Gdy środek tego uzwojenia nie posiada wyprowadzenia na zewnątrz, to jednak połączenie ze środkiem elektrycznym obwodu żarzenia można uzyskać w inny sposób, mianowicie przez załączenie równolegle do wtórnego uzwojenia transformatora - jakiegokolwiek obwodu, którego środek elektryczny będzie właśnie punktem środkowym obwodu żarzenia. Na rys.165. równolegle do uzwojenia załączono opór R. Do środka tego oporu należy dołączyć siatkę.



Rys.165.

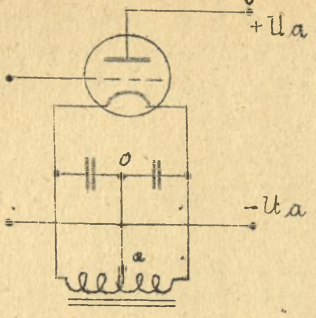
Ponieważ środek geometryczny nie zawsze pokrywa się ze środkiem elektrycznym, przeto opornik jest zaopatrzony w suwak, przy pomocy którego można doświadczalnie wyszukać środek elektryczny. Będzie nim mianowicie ten punkt, w którym wpływ sieci jest najsłabszy.

Prąd płynący przez opór R powinien na ogół wynosić około 10% prądu płynącego przez włókno katody. Przyjmuje się, że celem dostatecznego zmniejszenia buczenia sieci oraz celem zmniejszenia niepotrzebnego zużycia energii opór R powinien być 10-15 razy większy od oporu bocznikowanego przezeń włókna. Dla lamp oszczędnościowych opór ten powinien wynosić około 600 omów. Dla lamp o większym prądzie żarzenia, a także dla lamp żarzonych pośrednio wynosi on 20-50 omów.

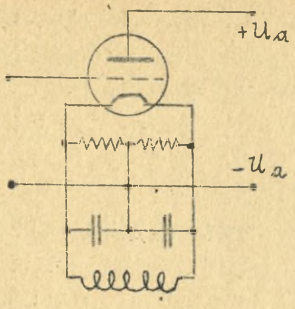
Punkt środkowy można otrzymać nie tylko przy pomocy potencjometrza oporowego, lecz także i potencjometrza pojemnościowego, rys.166. Równolegle do włókna są włączone dwa jednakowe kondensatory C(o pojemności dostosowanej do przepuszczanej przez nie częstotliwości). Składowa zmienna prądu anodowego rozdziela się jednakowo na obie połówki katody, zamykając się do obwodu anodowego poprzez punkt O. Składowa stała prądu anodowego zamyka się poprzez punkt a. Gdy uzwojenie żarzenia nie posiada wyprowadzenia ze środka, to składową stałą można zamknąć przy pomocy opornika równoległego, rys.167.

Jeżeli chodzi o lampy żarzone pośrednio, to i tu ze względu na zmianę różnic potencjałów pomiędzy grzejnikiem a włóknem mogą wystąpić zakłócenia w działaniu układu, tak że dla stabilizacji tego działania koniecznym się staje uzie-

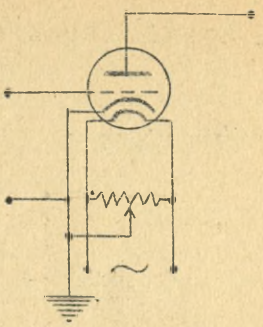
mienie zarówno katody jak grzejnika. Przykład dla tego przypadku przedstawia rys.168.-



Rys.166.



Rys.167.



Rys.168.

Sieć oświetleniowa może oddziaływać na odbiornik pojemnościowo. Chodzi bowiem o to, że sam odbiornik, a także jego elementy składowe oraz przewody zewnętrzne posiadają pewną pojemność nie tylko względem ziemi, lecz także i względem samej sieci. Otóż ta pojemność może okazać się wystarczająca do wytworzenia we wrażliwych punktach odbiornika potencjału zmiennego (o częstotliwości 50 okr/sek), powodującego na wyjściu odbiornika nawet silne buczenie. W takich przypadkach skutecznym środkiem jest uziemienie odpowiedniego punktu układu. Dzięki temu odpowiednie elementy układu otrzymują potencjał stały, równy potencjałowi ziemi. Uziemia się zwykle: przewód minusowy (wspólny) odbiornika, włókna lamp (lub zasilające ich uzwojenia transformatora żarzeniowego), rdzenie żelazne transformatorów i cewek oraz ekrany. Uziemiać należy ostrożnie, gdyż jeżeli prostownik lub odbiornik jest połączony z jednym przewodem sieciowym, już uziemionym, to nowe uziemienie może być powodem zwarcia w linii. Dlatego też sieć oświetleniowa nie powinna się łączyć z żadnymi elementami odbiornika, oprócz naturalnie uzwojenia pierwotnego transformatora sieciowego.[1)]

Uziemienie można uskutecznić bądź przez bezpośrednie połączenie danego punktu z ziemią, bądź też przez połączenie tego punktu za pośrednictwem kondensatora. Wprawdzie części połączone z ziemią za pośrednictwem kondensatora nie posiadają potencjału zerowego, tym nie mniej jednakże przez takie uziemienie uzyskują one potencjał stały.

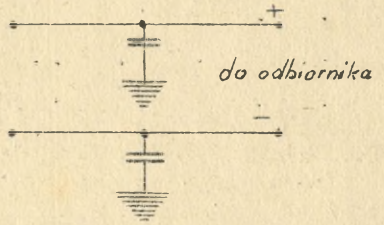
Kondensatory uziemiające stosuje się w przypadkach, gdy bezpośrednie połączenie danego punktu z ziemią może spowodować zwarcie. Pojemność tych kondensatorów, jeżeli chodzi o usunięcie wahań małej częstotliwości, jest rzędu kilku mikrofaradów.

Gdy uziemienie przy pomocy kondensatora jednego z przewodów, doprowadzających do odbiornika napięcie stałe, nie usuwa buczenia sieci, można uziemić poprzez kondensator drugi

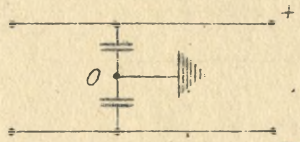
---

1) Nie odnosi się to do odbiorników zasilanych bezpośrednio z sieci prądu stałego i niektórych typów odbiorników uniwersalnych (p.rozdział XI.).-

przewód, rys.169. Układ ten sprowadza się w praktyce do układu z rys.170. Jeżeli oba kondensatory są jednakowe, to dla napięcia zmiennego istniejącego w linii punkt O jest punktem środkowym.-



Rys.169.



Rys.170.

b. Zakłócenia wielkiej częstotliwości.

Wszelkiego rodzaju przyrządy i maszyny elektryczne, w których istnieje możliwość iskrzenia lub też powstawania łuku elektrycznego, mogą być źródłem zakłóceń wielkiej częstotliwości, które mogą rozchodzić się i przedostawać do odbiornika bądź za pośrednictwem sieci oświetleniowej, bądź też zostają wypromieniowane, przedostając się do odbiornika za pośrednictwem jego anteny odbiorczej. Zakłócenia z przewodów sieci są z reguły silniejsze niż zakłócenia wypromieniowane, stąd też w odbiornikach zasilanych z baterii zakłócenia są przeważnie mniejsze niż w odbiornikach zasilanych z sieci.

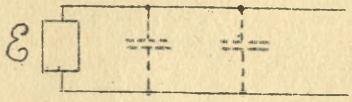
Drgania wytworzone przez źródła zakłócające mogą być tłumione lub nietłumione. Drgania nietłumione stwarzają zakłócenia na jednej tylko fali. Drgania tłumione promieniują pewne pasmo częstotliwości, tym szersze im większe jest tłumienie.

Drgania tłumione są wytwarzane np. przez aparaty do diatermii, w których stosuje się iskierniki (częstotliwość wynosi tu przeważnie 1000 kc/s).

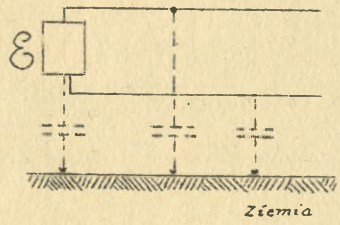
Również każde zamknięcie lub otwarcie jakiegokolwiek obwodu elektrycznego może spowodować powstanie drgań wielkiej częstotliwości, następuje bowiem wówczas zmiana stanu elektrycznego pewnych fragmentów tego obwodu elektrycznego. Otóż można wykazać zarówno teoretycznie jak i praktycznie, że każda zmiana stanu elektrycznego w obwodzie może wywołać drgania swobodne, których częstotliwość jest uzależniona od stałych elektrycznych tego obwodu. Ciąg drgań wzbudzony przez przerwanie lub zamknięcie obwodu występuje w odbiorniku w postaci krótkiego trzasku lub puknięcia.

Zakłócenia rozprzestrzeniające się wzdłuż przewodów mogą mieć przebieg symetryczny lub asymetryczny. W pierwszym przypadku zakłócenie zamyka się pomiędzy przewodami dzięki ich pojemności własnej. Przedstawia to schematycznie rys.171., w którym prąd wielkiej częstotliwości wywołany przez działanie urządzenia elektrycznego E, zamyka

się pojemnościowo pomiędzy przewodami. Jeżeli chodzi o wpływ na antenę, to stopień oddziaływania zależy tu od różnicy pojemności, które poszczególne przewody tworzą z anteną. Jeżeli te pojemności są jednakowe, to oddziaływania obu przewodów znoszą się.



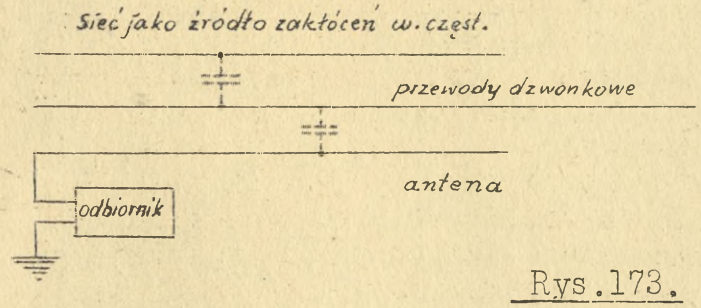
Rys.171.



Rys.172.

W przypadku przebiegu asymetrycznego udział w przenoszeniu zakłóceń bierze ziemia oraz wszelkiego rodzaju przewodniki, tworzące pojemność ze źródłem zakłóceń. Przedstawia to schematycznie rys.172., w którym wielka częstotliwość wytwarzana przez urządzenie elektryczne E zamyka się następująco: urządzenie E, przewody, pojemność pomiędzy przewodami a ziemią, ziemia, pojemność pomiędzy ziemią a urządzeniem E, urządzenie E.

Rys.173. przedstawia przykład asymetrycznego przebiegu zakłóceń. Drgania wielkiej częstotliwości sieci (wytworzone np. przez iskrzenie komutatorowe prądnicy zasilanej przez tę sieć) oddziaływują pojemnościowo na przewody dzwonkowe, stąd zaś zakłócenie przenosi się również pojemnościowo do anteny odbiornika.



Rys.173.

Zakłócenia asymetryczne są o tyle niebezpieczne, że pole sprzęgające może tu być silniejsze. Z drugiej jednak strony, skutkiem oporu ziemi, są one silniej tłumione niż zakłócenia symetryczne. Dlatego też w bliskości źródła zakłócającego przeważają zakłócenia asymetryczne, zaś w większej odległości - zakłócenia symetryczne.

Taki lub inny przebieg zakłóceń zależy od układu połączeń danego źródła zakłócającego. Przez odpowiednie połączenie przebieg asymetryczny może być zmieniony na symetryczny (p.przykład na rys.175.i 176.).

Najskuteczniejszym sposobem zwalczania zakłóceń jest stłumienie ich u wytwarzającego je źródła. Do stłumienia stosuje się cewki lub kondensatory, bądź też jedno i drugie.[1] Kondensatory załącza się równolegle do źródła zakłóceń; w ten sposób drgania przeszkadzające zostają zwarte. Cewki włącza się szeregowo; działają więc jako dławiki. Poniżej rozpatrzymy sposoby usuwania zakłóceń dla niektórych przypad-

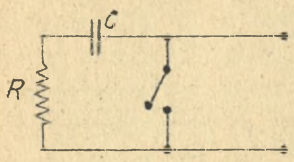
---

1) ponadto stosuje się opory i ekrany.-

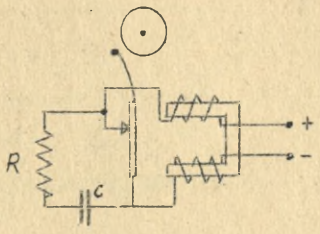
ków.[1]

Wyłączniki. Przerywacze.

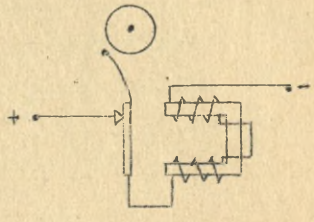
Równolegle do przerwy załącza się kondensator C oraz ewent. opór R, rys.174.



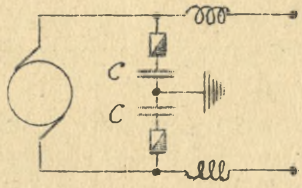
Rys.174.



Rys.175.



Rys.176.



Rys.177.

Pojemność C wynosi dla prądu stałego - 1 mikrofarad, dla prądu zmiennego - 0,1 mikrofarada. Opór R w obu przypadkach: 20-100 omów.[2]

W podobny sposób usuwa się zakłócenia wytwarzane przez dzwonki elektryczne, mianowicie: równolegle do przerwy włącza się kondensator C=0,2 mikrofarada i opór R = 50 omów, rys. 175. Dzwonek ten jest symetryczny: jedno z uzwojeń dzwonka jest włączone w przewód "plusowy", drugie - w przewód "minusowy". Rys.176. przedstawia dzwonek w układzie niesymetrycznym: uzwojenie jest tu mianowicie włączone tylko w przewód "minusowy". Z punktu widzenia przeciwdziałania zakłóceniom układ symetryczny jest korzystniejszy, stąd też wszelkiego rodzaju urządzenia elektryczne mogące wytwarzać zakłócenia powinny być symetryczne.-

Motory elektryczne i prądnice.

Stosuje się cewki i kondensatory włączone w sposób wskazany na rys.177. C dla prądu stałego wynosi 4 mikrofarady, dla zmiennego - 0,2 mikrofarada. Wskazanym jest szeregowo włączyć z kondensatorami bezpieczniki (3 A) celem ochrony instalacji na wypadek przebicia kondensatorów. Dławiki (bezpojemnościowe) posiadają średnicę 10-15 cm; liczba zwojów 50--300. Indukcyjność takich cewek jest rzędu 100 mikrohenrów.

Filtr sieciowy:

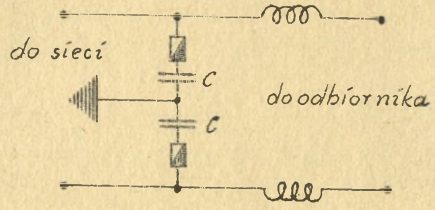
W przypadku, gdy zakłócenia przedostają się do radioodbiornika z sieci, włącza się pomiędzy odbiornik a sieć filtr

---

1) Wskazówki dotyczące sposobów usuwania uszkodzeń są wydane przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich. W niektórych państwach, na podstawie specjalnych ustaw, stosowanie uszkodzeń przeciwzakłóceniowych w urządzeniach elektrycznych jest obowiązkowe.-

2) Podane w dalszym ciągu liczby mają charakter przybliżony. Odpowiednią wartość najlepiej dobrać doświadczalnie.-

wg schematu, rys.178. Jako dławik, może być użyta cewka 100--zwojowa o średnicy 10 cm; C dla prądu stałego - 2 mikrofarady, dla prądu zmiennego - 0,2 mikrofarada .



Rys.178.

Urządzenia przeciwzakłóceniowe dla urządzeń elektrycznych, bardziej złożonych, jak np. różnego rodzaju prostowniki, aparaty medyczne itd., składają się również z cewek, kondensatorów, a w niektórych przypadkach i z oporów. Zasadniczo biorąc, urządzenie przeciwzakłóceniowe, włączane w sieć, jest typu przedstawionego na rys.178.

Nadmienimy wreszcie, że w radioodbiornikach samochodowych źródłem silnych zakłóceń jest urządzenie zapalające. Zakłócenia dają się usunąć przez wbudowanie w przewody świec silnika - oporów rzędu kilkudziesięciu tysięcy omów oraz przez ekranowanie.-

c. Usuwanie zakłóceń w.cz. przy instalacji odbiorczej[1)]

Zakłócenia, dochodzące do odbiornika na skutek promieniowania, nie mogą być usunięte w zupełności, mogą być jedynie zmniejszone. Daje się to osiągnąć przy pomocy odpowiednio zbudowanej anteny odbiorczej i odpowiedniego uziemienia.

Antena oraz doprowadzenie anteny powinny być poprowadzone możliwie zdala od innych przewodów. Dlatego też antena zewnętrzna jest korzystniejsza od anteny wewnętrznej. Doprowadzenie uziemienia powinno być możliwie krótkie i powinno posiadać możliwie mały opór. Znaczne zredukowanie zakłóceń technicznych można uzyskać przez zastosowanie ekranowanego doprowadzenia antenowego.

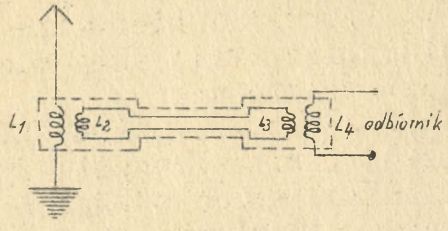
Zakłócenia rozchodzące się dzięki promieniowaniu posiadają na ogół bardzo mały zasięg, zwłaszcza w przypadku, gdy źródło zakłóceń posiada ekran metalowy. Z pomiarów wynika, że już w odległości kilku metrów natężenie pola praktycznie jest równe zeru. Wyjątek stanowią tu aparaty, których właściwym zadaniem jest wytwarzanie prądów szybkozmiennych (np. aparaty do diatermii). Pole zakłóceń sięga na ogół co najmniej 1-1,5 m ponad dach domu. I to właśnie umożliwia stosowanie anten ekranowanych. Częścią ekranowaną jest tu doprowadzenie antenowe. Jest nim przewodnik zamknięty w metalowy płaszcz; płaszcz ten należy uziemić. Istnieją tu specjalne kabelki o zmniejszonej pojemności pomiędzy żyłą a płaszczem metalowym. Celem zmniejszenia wpływu pojemności własnej takiego kabla - sprzęga się samą antenę z doprowadzeniem przy pomocy transformatora obniżającego napięcie, zaś doprowadzenie z odbiornikiem - przy pomocy transformatora podwyższającego napięcie.

---

1) w punkcie poprzednim omówiono sposoby usuwania zakłóceń u ich źródła.-

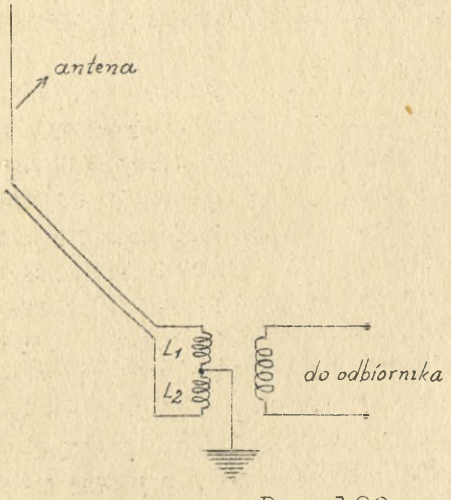
Doprowadzenie posiada w tym przypadku dwie żyły, rys.179.[1]

Doprowadzenie ekranowane powinno być wyprowadzone o 1--1,5 m ponad dach, tak że antena będzie wówczas usunięta z pola zakłóceń. Sama antena nie może być, oczywiście, ekranowana, gdyż nie było by wówczas odbioru.



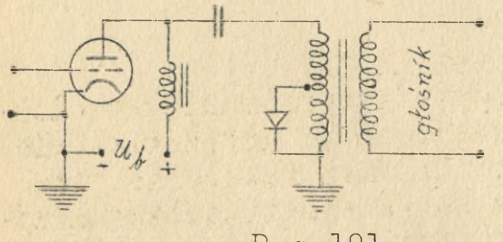
Rys.179.

Inny sposób usuwania zakłóceń polega na zastosowaniu metody kompensacji. Zasadniczy układ przedstawia rys.180. Doprowadzenie składa się z dwóch przewodników biegnących obok siebie(mogą to być np. przewodniki ogumowane, skręcone); jeden z nich łączy się z anteną umieszczoną poza polem zakłóceń, drugi zaś kończy się ślepo. Napięcia wzniecone w obu przewodach przez pole zakłócające znoszą się w cewkach L_1-L_2.[2] Jeżeli zaś chodzi o częstotliwość odbieraną - to, oczywiście, napięcie wzbudzone w układzie: antena - cewka L_1- ziemia znacznie przeważa, a więc układ działa jako zwykła antena. Warunkiem prawidłowego działania jest dokładne elektryczne zrównoważenie obu przewodów wraz z cewkami, co jest możliwe przez przekształcenie powyższego schematu na układ typu mostkowego.



Rys.180.

Usuwanie niektórych zakłóceń możliwe jest wreszcie przez zastosowanie w samym odbiorniku urządzeń ograniczających wzrost amplitudy. Jeden z zasadniczych schematów podany jest na rys.181. Równolegle do uzwojenia pierwotnego transformatora wyjściowego załączony jest prostownik miedziowy (typu używanego w przyrządach pomiarowych). Dla niewielkich napięć (np.poniżej 1V) działających na prostownik, jego opór jest znaczny, prostowania - praktycznie biorąc - nie ma, prąd przez prostownik nie płynie; dla napięć wyższych (powyżej 1 V) prostownik zaczyna prostować, opór jego znacznie się zmniejsza, zaczyna więc przez niego płynąć prąd. Napięcia te zostają więc jak gdyby zwarte w części transformatora, skutkiem tego



Rys.181.

---

1) L_1 może posiadać np. 200 zwojów, L_2 - 25 zwojów, L_3 - 25 zwojów, L_4 - 100 zwojów.-
2) gdyż posiadają kierunki przeciwne.-

występują w głośniku z mniejszą siłą. Prostownik może być włączony w różne miejsca wzmacniacza m.cz. Może tu być np. wykorzystany transformator, którego uzwojenie pierwotne włączone jest równolegle w obwód siatki pierwszej lampy m.cz., w uzwojenia zaś wtórne włączony jest prostownik.

Tego rodzaju układy pozwalają zredukować zakłócenia występujące w postaci krótkich impulsów (np. zakłócenia wywołane przez urządzenia zapłonowe silników samochodowych). W pewnym stopniu występuje tu również stłumienie sygnałów odbieranych, co zresztą można skompensować przy pomocy dodatkowej lampy wzmacniającej umieszczonej za układem z prostownikiem.

Stłumienie krótkich, silnych impulsów zakłócających możliwe jest również przy pomocy odpowiednio zestawionych układów lampowych, których działanie opiera się na następującej zasadzie: krótki, silny impuls wytwarza przy pomocy odpowiedniego układu lampowego dodatkowe ujemne napięcie na wejściu wzmacniacza małej częstotliwości, albo też zwiera wejście tego wzmacniacza, tak że na czas trwania tego impulsu wzmac - niacz ten przestaje działać. Zakłócenie nie dochodzi więc do głośnika. Ponieważ wzmacniacz małej częstotliwości zostaje wyłączony na bardzo krótki przeciąg czasu, przeto działanie urządzenia nie wpływa ujemnie na zrozumiałość sygnałów odbieranych. Oczywistym jest, że gdy zakłócenie wytwarza napięcie o dłuższym czasie trwania, wówczas wyłączenie na przeciąg tego czasu wzmacniacza małej częstotliwości czyni sygnały niezrozumiałymi.

Do zmniejszenia zakłóceń można wykorzystać regulator barwy dźwięków (lub regulator szerokości krzywej rezonansu). Przez ustawienie na niższy ton zostają stłumione zakłócenia wyższych częstotliwości.

Wreszcie zmniejszenie zakłóceń daje się osiągnąć przy pomocy anteny ramowej ze względu na jej kierunkowe działanie (p.rozdział XIII).-

9. Stosunek pola zakłóceń do pola odbiorczego.

Najskuteczniejszym środkiem do zwalczania zakłóceń elektrycznych w odbiorze jest dostatecznie silne natężenie pola elektrycznego odbieranych sygnałów. Stosunek natężenia pola odbieranego do pola zakłóceń zależy od kategorii odbioru. Najmniejsze wymagania pod tym względem stawia się przy odbiorze słuchowym sygnałów telegraficznych, gdyż proste tony harmoniczne stosunkowo łatwo jest wyróżnić spośród wszelkiego rodzaju niemelodyjnych trzasków i szmerów.

Większego natężenia pola odbiorczego wymaga odbiór telegraficzny piszący, odpada tu bowiem selekcja dokonywana przez odbierającego, a każdy impuls po detekcji zdolny jest poruszyć aparat piszący.

Największe wymagania stawia się przy odbiorze telefonicznym, ktory wymaga dobrej zrozumiałości mowy, a szczególnie w odbiorze radiofonicznym, gdzie oprócz zrozumiałości konieczne jest zachowanie wartości artystycznej reprodukcji.

Osobne wymagania stawia się przy odbiorze w warunkach trudnych, jak np. w samolotach i samochodach.

Na podstawie obserwacyj, można dopuścić następujące stosunki pola przeszkadzającego do pola odbieranego:

Odbiór telegraficzny samopiszący 1:3.

Odbiór telegraficzny słuchowy - przy odpowiednim doborze tonów możliwy jest nawet odbiór przy stosunku 1:1.

Telefonia handlowa (płatne rozmowy) - najwyżej 1:10.

Telefonia niehandlowa (np.rozmowy wojskowe) - 1:3.

Radiofonia - możliwy jest odbiór przy stosunku 1:12, jednakże dobry pod względem artystycznym odbiór otrzymuje się przy stosunku 1:50 do 1:100.

Podamy wreszcie, że bardzo dobry odbiór radiofonii na falach średnich otrzymuje się w dużych miastach przy natężeniu pola 2000 - 50000 μV/m, w mniejszych: 1000 - 10000 μV/m, na wsi: 300 - 3000 μV/m.-

- R O Z D Z I A Ł XI -

Odbiorniki lampowe

A. Odbiorniki radiofoniczne

Do odbiorników radiofonicznych zaliczymy te, których zadaniem jest możliwie wierne, artystyczne odtwarzanie dźwięków.

Większość odbiorników radiofonicznych posiada trzy zakresy fal, mianowicie: a) zakres 800-2000 m, b) zakres 200--600 m, c) zakres (w przybliżeniu) 50-80 m. Czułość odbiorników[1] wynosi przeciętnie 50 mW przy napięciu wejściowym 2--1000 mikrowoltów. Odbiorniki reakcyjne (proste) posiadają mniejszą czułość, odbiorniki superheterodynowe - większą.

1. Antena. Jak wyjaśniono w § 16, str.23, antena może być strojona lub niestrojona. Antena strojona umożliwia wydzielenie pożądanego sygnału, zanim on dojdzie do odbiornika, dzięki temu układ z taką anteną odznacza się selektywnością i czułością. Antenę strojoną stosuje się dla odbiorników mało czułych i mało selektywnych (1-3-lampowych), nie posiadających na wejściu stopnia wielkiej częstotliwości (odbiorniki reakcyjne). Antena strojona posiada w swoim obwodzie organ nastrojczy, którym jest najczęściej cewka zmienna skokami umożliwiająca dopasowanie anteny do żądanej częstotliwości. Stosuje się tu indukcyjne sprzężenie anteny z odbiornikiem.

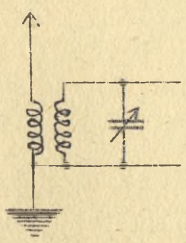
W układach o większej liczbie lamp (4 i więcej) stosu-

---

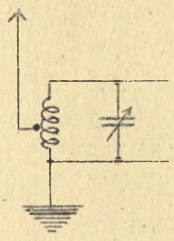
1) czułość odbiornika określa się podobnie jak czułość wzmacniacza mocy - p.str.98, u dołu.-

je się z reguły anteny niestrojone. Jak wiemy, fala własna takiej anteny znajduje się poza zakresem fal odbieranych, co uzyskuje się przez włączenie w obwód anteny odpowiedniej cewki (p.str.23, § 16.). Mniejsza selektywność oraz mniejsza czułość takiej anteny zostaje w zupełności skompensowana przez właściwości samego odbiornika, w którym - jak wiemy - można bez trudu osiągnąć odpowiednią selektywność oraz niezbędną regulację czułości. Stosowanie anteny niestrojonej upraszcza obsługę aparatu, albowiem umożliwia zastosowanie strojenia jednogałkowego. Odbiorniki takie posiadają często dwa gniazdka antenowe: przy użyciu jednego z gniazdek antena zostaje połączona bezpośrednio z cewką antenową (wmontowaną w odbiornik), przy użyciu drugiego gniazdka antena łączy się z tą cewką poprzez kondensator o małej pojemności (10 pF dla fal krótkich, 100 pF dla fal innych). Włączenie kondensatora wprawdzie zmniejsza siłę odbioru, jednakże polepsza selektywność.

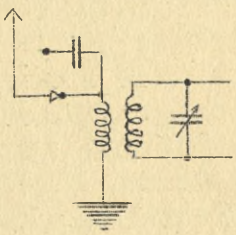
Sposoby sprzężenia anteny z odbiornikiem sprowadzają się do typów przedstawionych na rys.: 182, 183, 184, 185, a także na rys.122. W przypadku sprzężenia transformatorowego stosunek zwojów wynosi przeważnie 1:5.



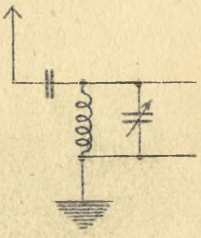
Rys.182.



Rys.183.

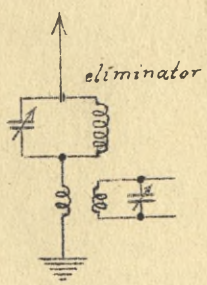


Rys.184.

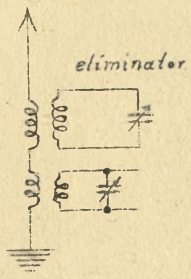


Rys.185.

Celem usunięcia zakłóceń ze strony silnej stacji (lokalnej) w wielu układach antena posiada tzw. eliminator. Jest nim obwód rezonansu prądów, włączony w antenę w sposób wskazany na rys.186. Obwód taki - jak wiemy - dla częstotliwości rezonansowej przedstawia bardzo dużą oporność; zjawisko to zostaje właśnie wykorzystane do stłumienia stacji przeszkadzającej, na częstotliwość której należy, oczywiście, nastroić eliminator.-



Rys.186.



Rys.187.

Eliminator może być także wykonany w sposób uwidoczniony na rys.187. Zgodnie z teorią obwodów sprzężonych, eliminator tłumi tę częstotliwość, na którą został nastrojony.

Eliminator powinien posiadać bardzo małe tłumienie, tak aby jego krzywa rezonansu była możliwie wąska i stroma.

Jeżeli chodzi o wymiary (długość) anteny, należy się stosować do przepisów obsługi danego odbiornika. Przede wszystkim nie należy stosować anten dłuższych od przepisowych, albowiem zysk na sile odbioru jest prawie żaden, natomiast może nastąpić znaczne pogorszenie selektywności. Przepisane wielkości można nawet przeważnie uważać jako maksymalne; można stosować z korzyścią anteny krótsze, aby uzyskać przede wszystkim dobrą selektywność. Już istniejącą zbyt długą antenę można skrócić przez włączenie szeregowo w jej obwód kondensatora (ew.zmiennego) o niewielkiej pojemności.

Wytwórnie podają następujące długości anten dla radioodbiorników: aparaty jednoobwodowe - 15 do 30 m, aparaty ze wzmocnieniem wielkiej częstotliwości - 8 do 10 m.

Poza antenami opisanymi w części I, str.91, może być wykorzystana, jako antena, sieć oświetleniowa[1]. Oczywiście, odbiór jest słabszy i - co najważniejsze - może być znacznie pogorszony przez zakłócenia (wytwarzane przez różnego rodzaju urządzenia elektryczne zasilane z sieci) rozchodzące się wzdłuż przewodów. Sieć załącza się do odbiornika za pośrednictwem kondensatora (200-500 pF na napięcie próbne 1500 V). W wielu odbiornikach kondensator ten jest wmontowany wewnątrz [2].

Lepsze wyniki niż sieć daje antena wewnętrzna. Posiada jednak małą wysokość skuteczną, ponadto oddziaływanie zakłóceń technicznych może być znaczne ze względu na bezpośrednią bliskość różnego rodzaju przewodów. Najlepsze wyniki daje odpowiednio wykonana antena zewnętrzna.

Uziemienie można - jak wiadomo - uzyskać nie tylko przez bezpośrednie połączenie odbiornika z ziemią, lecz także przez wykorzystanie rur wodociągowych lub kanalizacyjnych. Dobre uziemienie niezbędne jest nie tylko ze względu na antenę, ale także i ze względu na masę (chassis) aparatu, które z reguły powinno być uziemione. Złe uziemienie może wywołać zakłócenia w działaniu aparatu (np.oddziaływanie 50-okresowego prądu sieciowego).-

2. Zasilanie odbiorników.

Odbiorniki bateryjne przeznaczone są do zasilania wyłącznie z baterii. Odbiorniki sieciowe są zasilane z sieci.

Odbiorniki bateryjne zasila się z baterii żarzenia (akumulatorów) o napięciu 2-6 V oraz jednej lub kilku baterii anodowych o napięciu mniej więcej do 200 V. Baterie anodowe dostarczają również napięcie początkowe dla siatek sterujących.

Odbiorniki sieciowe załącza się bezpośrednio do sieci oświetleniowej. Istnieją tu odbiorniki sieciowe na prąd zmienny, stały i odbiorniki uniwersalne.

---

1) Odnosi się to także do odbiorników detektorowych.
2) Kondensator ten powinien odpowiadać pewnym warunkom (p. przepisy, p.t.: "Anteny", nakład Stow.Elektryków Polskich).

W odbiornikach sieciowych na prąd zmienny wszystkie napięcia pochodzą z sieci. Napięcie żarzenia, przeważnie 4 V, uzyskuje się przez obniżenie - przy pomocy transformatora - napięcia sieciowego. Celem zasilania obwodów anodowych prąd sieci prostuje się przy pomocy prostownika anodowego.

W odbiornikach sieciowych na prąd stały prąd sieci po wygładzeniu przy pomocy odpowiednich filtrów zostaje bezpośrednio doprowadzony do lamp odbiornika. Wykorzystanie napięcia sieciowego do zasilania żarzenia możliwe jest dzięki istnieniu specjalnych lamp o podwyższonym napięciu żarzenia (p.rozdz.XIV). Włókna katod łączy się tu szeregowo lub szeregowo-równolegle.

Odbiornik uniwersalny dostosowany jest do zasilenia zarówno z sieci prądu zmiennego, jak i stałego. Aby uniknąć potrzeby przełączania, prąd zasilający anody przepływa i w jednym i w drugim przypadku przez prostownik.

We współczesnych aparatach sieciowych stosuje się prawie wyłącznie lampy żarzone pośrednio.

W niektórych aparatach przenośnych, a także w odbiornikach samochodowych całkowite zasilanie aparatu uzyskuje się z akumulatora 6- lub 12-woltowego (akumulatora starterowego).

Napięcie anodowe (100-200 V) uzyskuje się przy pomocy specjalnej przetwornicy [1].-

3. Zasilanie z sieci prądu zmiennego.

Jak już zaznaczono, odbywa się ono za pośrednictwem transformatorów i prostownika anodowego. Jako lampę prostowniczą, stosuje się przeważnie lampę próżniową. Lampa gazowana mniej się tu nadaje ze względu na możliwość powstawania w pewnych warunkach wewnątrz lampy drgań wielkiej częstotliwości, powodujących zakłócenia w odbiorze. W mniejszych aparatach stosuje się prostowniki jednokierunkowe, w większych - dwukierunkowe.

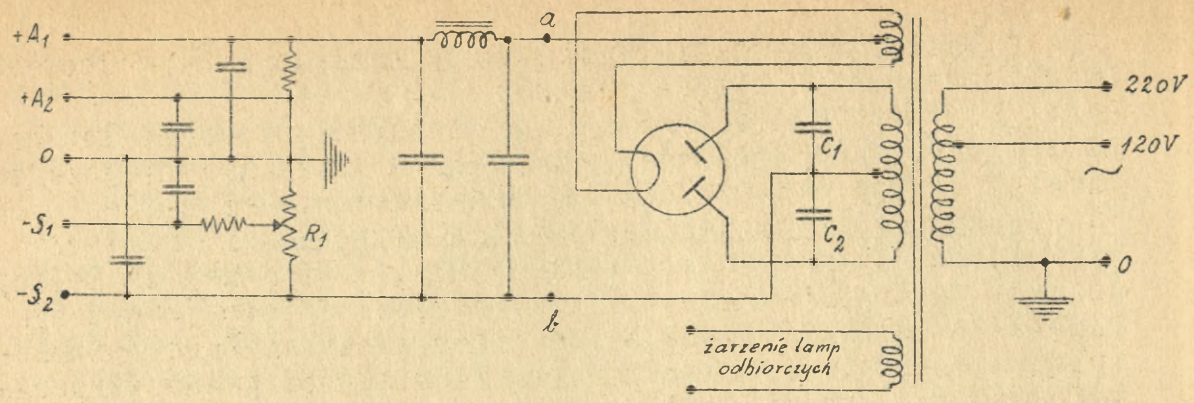
Rys.188. przedstawia zasadniczy schemat prostownika, dostarczającego, dzięki potencjometrowi, dwa różne napięcia: A_1 i A_2 do zasilania anod i ew. siatek osłonnych.

Spadek napięcia prądu w oporniku R_1 zostaje wykorzystany celem udzielenia siatkom początkowego ujemnego potencjału.[2] Kondensatory na wyjściu prostownika wygładzają prąd. Kondensatory C_1 i C_2 (kilka tysięcy pikofaradów) nie dopuszczają do sieci składowej wielkiej częstotliwości, która wrazie przedostania się (drogą pojemnościową) do sieci mogłaby oddziaływać na antenę odbiornika, powodując zakłócenia w odbiorze.

Celem dostosowania transformatora do różnych napięć sieci uzwojenie pierwotne posiada odpowiednie odgałęzienia

---

1) np. przetwornica wahadłowa, odnosi się to m.in. do odbiorników samoch.
2) prądy anodowe poszczególnych lamp, sumując się, zamykają się do prostownika poprzez przewód "O" i opornik R_1.



Rys.188.

zmieniające przekładnię transformatora. 1)

Bezpośrednie zasilanie katod prądem o napięciu obniżonym do 4 V mogło by wywołać zakłócenia (por.str.175, § 8-a). Również z tego względu niedopuszczalne jest zasilanie katod napięciem wyprostowanym, ze względu na zawartą w nim składową zmienną małej częstotliwości. Wygładzenie prądu o tak niskim napięciu wymagało by stosowania kondensatorów elektrolitycznych o pojemności kilkuset mikrofaradów. Toteż stosuje się tu lampy żarzone pośrednio. Moc pobierana na żarzenie przez pojedynczą lampę wynosi 4-6 W. Natężenie prądu żarzenia jest rzędu 1 A. Moc tracona w obwodzie anodowym jest rzędu 0,1-1 W; na stopniu głośnikowym: 1-10 W.

Włókna żarzenia łączy się równolegle do przewodów zasilających.-

4. Zasilanie z sieci prądu stałego.

Prąd stały sieci jest - ściśle biorąc - prądem tętniącym; jego składowa zmienna posiada amplitudę rzędu kilku woltów. Składowa ta zostaje usunięta przy pomocy jedno- lub wieloczłonowego filtru małej częstotliwości.

Jeżeli chodzi o napięcia anodowe, to odpowiednią ich wielkość uzyskuje się przy pomocy układów potencjometrycznych, bądź też przy pomocy włączonych szeregowo oporów. W przypadku zasilania potencjometrycznego schemat połączenia z siecią jest podobny do układu z rys.188, z tą, oczywiście, różnicą, że do punktów a-b zamiast prostownika jest dołączona sieć.

Zmniejszanie napięcia przy pomocy szeregowo włączonych oporów posiada tę przewagę nad zasilaniem potencjometrycznym, że powoduje mniejsze zużycie energii.

Dostosowanie aparatu do różnych napięć sieci odbywa się

---

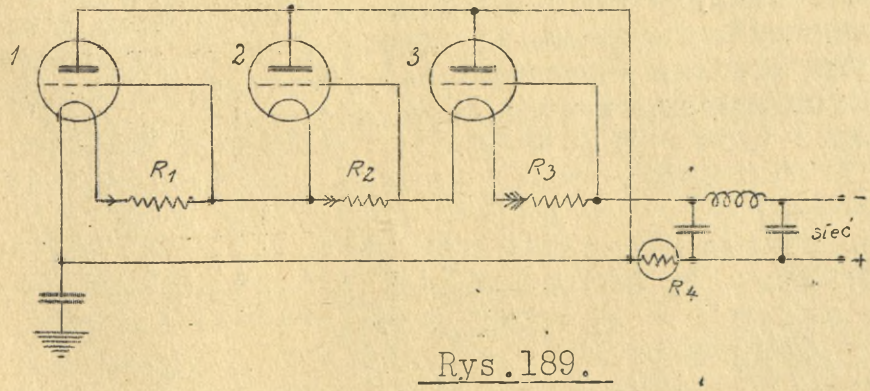
1) Napięcie żarzenia dla lamp odbiorczych otrzymuje się-jak widać z rysunku - z oddzielnego uzwojenia. Napięcie to nie może być dostarczane przez uzwojenie żarzeniowe lampy prostowniczej.-

przez zmianę wielkości (przy pomocy przełącznika) odpowiednich oporów redukujących napięcie.

Mogą tu być stosowane lampy żarzone pośrednio lub bezpośrednio. Lampy o żarzeniu pośrednim są korzystniejsze ze względu na to, że zakłócające oddziaływanie sieci jest słabsze. Aby umożliwić zasilanie katod bezpośrednio napięciem sieci, bez potrzeby jego redukowania, a więc aby zmniejszyć zużycie energii - skonstruowano specjalne lampy o wyższym napięciu żarzenia; włókna tych lamp łączy się nie równolegle, a szeregowo. Celem utrzymania stałości prądu żarzenia stosuje się opornik żelazo-wodorowy włączony szeregowo w obwód żarzenia. Opornikiem tym jest włókno żelazne (lub zawierające żelazo) umieszczone w bańce żelaznej, wypełnionej rozrzedzonym wodorem.[1]) Włókno odznacza się wysokim współczynnikiem cieplnym oporności, tzn. że zmiany temperatury włókna, wywołane zmianą natężenia płynącego przezeń prądu, powodują znaczne zmiany jego oporności; w pewnym zakresie temperatur zmiany oporności są tak duże, że pomimo wahań napięcia sieci natężenie prądu pozostaje praktycznie stałe. Ponieważ opór włókna w stanie zimnym jest znacznie mniejszy niż w stanie gorącym, przeto w chwili włączenia prąd żarzenia jest zbyt duży. Aby temu zapobiec, włącza się w niektórych aparatach, szeregowo z oporem żelazo-wodorowym, opornik, którego oporność w stanie zimnym jest duża, w miarę zaś nagrzewania się (pod działaniem prądu) - maleje. Zachowuje się więc odwrotnie jak opornik żelazo-wodorowy.

Ze względu na to, że jeden przewód sieci jest prawie zawsze połączony z ziemią, aparat należy uziemiać za pośrednictwem kondensatora.-

Rys.189. przedstawia zasadniczy schemat z a s i l a n i a bezpośrednio z sieci prądu stałego (żarzenie bezpośrednie). Opory R_1, R_2 i R_3, dzięki występującemu w nich spadkowi napięcia prądu anodowego, wytwarzają początkowe potencjały dla siatek poszczególnych lamp. Jak widać, przez opór R_1 płynie prąd anodowy lampy 1, przez opór R_2 - prąd anodowy lampy 1 i 2, zaś przez opór R_3 - prąd anodowy wszystkich trzech lamp. R_4 jest opornikiem żelazo-wodorowym.



Rys.189.

Katody łączy się na ogół w kolejności następującej:

1) tzw. baretter.-

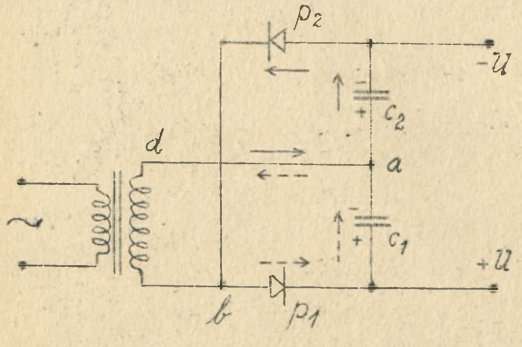
przewód minusowy sieci łączy się z katodą lampy detekcyjnej, dalej następują lampy małej częstotliwości, potem lampy wielkiej częstotliwości. Zużycie mocy żarzenia jest rzędu 2 W na lampę. Zużycie mocy w obwodzie anodowym - jak w lampach na prąd zmienny.-

5. Zasilanie odbiorników uniwersalnych.

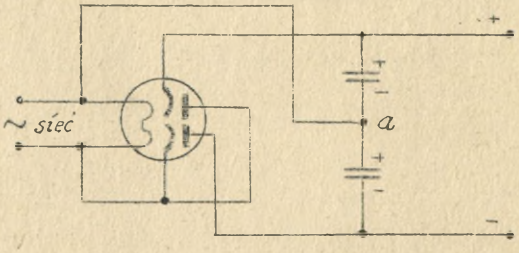
Przełączanie na sieć prądu stałego lub zmiennego może się odbywać przy pomocy specjalnego przełącznika. Gdy aparat nie posiada takiego przełącznika, wówczas prostownik pozostaje włączony również i przy zasilaniu z sieci prądu stałego. Oczywistym jest, że w takich aparatach transformator sieciowy nie może być stosowany; sieć łączy się bezpośrednio z prostownikiem.

W niektórych odbiornikach uniwersalnych zagadnienie zasilania prądem sieciowym stałym lub zmiennym jest rozwiązane inaczej, mianowicie odbiornik jest dostosowany do zasilania wyłącznie prądem zmiennym; w razie konieczności zasilania z sieci prądu stałego zostaje włączona przetwornica wahadłowa, przekształcająca prąd stały na prąd zmienny o częstotliwości 50 okr/sek; prąd ten zasila z kolei za pośrednictwem transformatorów i prostownika - odbiornik.

W niektórych odbiornikach dostosowanie aparatu do napięcia zmiennego sieci odbywa się przy pomocy układu prostowniczego, podwyższającego napięcie. Zasadę działania wyjaśnia rys.190. Mamy tu dwa jednakowe prostowniki: p_1 i p_2. Zależnie od kierunku napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym transformatora działa bądź jeden, bądź drugi prostownik. Załóżmy, że w przypadku gdy napięcie posiada kierunek wskazany strzałką przerywaną, działa prostownik p_1. Załóżmy dalej, że do zacisków wyjściowych "U" nie jest dołączony żaden odbiornik energii. Wówczas napięcie to zamyka się następująco: punkt b, prostownik p_1, kondensator C_1, punkt a, punkt d, uzwojenie wtórne. Kondensator zostaje więc naładowany do napięcia równego amplitudzie napięcia prostowanego. Gdy napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym posiada kierunek przeciwny (strzałka ciągła), wówczas zamyka się ono w sposób następujący: punkt d,



Rys.190.



Rys.191.

punkt a, kondensator C_2, prostownik p_2, punkt b, uzwojenie wtórne. Z kolei zostaje naładowany kondensator C_2. Kondensatory ładują się więc na przemian. Na zaciskach wyjściowych "U", pomiędzy którymi oba kondensatory są połączone ze sobą szeregowo, otrzymamy napięcie równe sumie napięć obu kondensatorów. Jeżeli przez V oznaczymy wartość napięcia skutecznego na końcówkach uzwojenia wtórnego, to napięcie na zaciskach wyjściowych wynosi $2.V.\sqrt{2}$.[1] Odnosi się to do układu nie obciążonego. W przypadku obciążenia napięcie ulega pewnemu obniżeniu, zależnemu od pojemności C_1 i C_2 oraz oporu obciążenia. (C_1 i C_2 są rzędu kilku mikrofaradów).-

Rys.191. przedstawia analogiczny układ z lampą prostowniczą dwukierunkową żarzoną pośrednio. Jak widać, katody są tu elektrycznie od siebie oddzielone. Układ jest bezpośrednio połączony z siecią. W odbiornikach uniwersalnych, zaopatrzonych w tego rodzaju urządzenie, w razie korzystania z sieci prądu stałego obie anody zostają ze sobą połączone przy pomocy specjalnego przełącznika, który łączy ze sobą również obie katody.

W odbiornikach uniwersalnych stosuje się te same lampy co w odbiornikach zasilanych z sieci prądu stałego.-

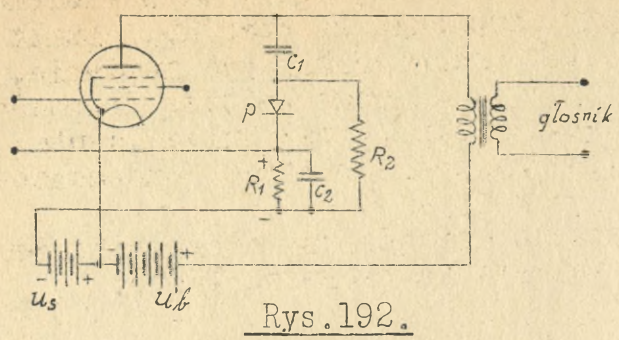
6. Zasilanie z baterii.

Ten sposób zasilania wymaga oszczędnego użytkowania energii. Jeżeli chodzi o obwody anodowe, to największe zużycie energii występuje w lampie głośnikowej. Można je zmniejszyć przy pomocy tzw. układów oszczędnościowych.

Jak wiemy, wzmocnienie bez zniekształceń uzyskuje się, gdy składowa stała prądu anodowego jest co najmniej równa amplitudzie składowej zmiennej tego prądu. Możliwe jest więc znaczne zaoszczędzenie energii, jeżeli wielkość składowej stałej będzie się samoczynnie dostosowywać do wielkości amplitudy składowej zmiennej. Osiąga się to w ten sposób, że w spoczynku lampa głośnikowa posiada wysoki, ujemny potencjał na siatce sterującej, tak że prąd anodowy prawie zupełnie nie płynie. Z chwilą pojawienia się napięcia wzbudzającego punkt pracy przesuwa się automatycznie w prawo aż do miejsca, w którym prąd anodowy osiąga odpowiednią wartość. Często stosowany obecnie układ przedstawia rys.192. W spoczynku ujemny potencjał siatki sterującej równa się napięciu baterii U_s ; prąd anodowy jest prawie równy zeru. Po wzbudzeniu lampy - składowa zmienna prądu anodowego, zamykając się częściowo poprzez kondensator C_1 (kilka tysięcy pF), zostaje wyprostowana przez prostownik (miedziowy) p. W obwodzie utworzonym przez oporniki (wysokoomowe) R_1 i R_2 pojawia się napięcie stałe, którego część określona spadkiem napięcia w oporze R_1 przeciwdziała napięciu baterii U_s i to tym bardziej im większa jest składowa zmienna prądu anodowego, a więc im wyższe

---

1) każdy kondensator ładuje się do napięcia równego amplitudzie napięcia ładującego; pomiędzy amplitudą napięcia V_m a jego wartością skuteczną istnieje związek: $V_m = V\sqrt{2}$.-



Rys.192.

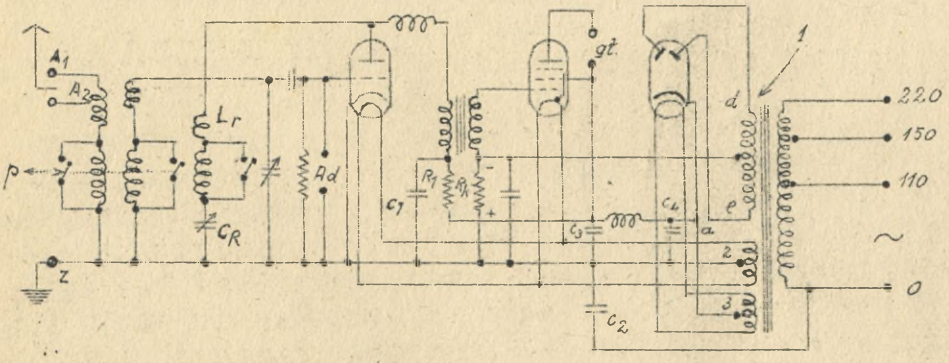
jest napięcie wzbudzające. Potencjał siatki sterującej wzrasta (tzn. ujemny potencjał maleje), wzrasta więc wielkość składowej stałej i dzięki temu wzmocnienie odbywa się bez zniekształceń.

Do układów oszczędnościowych można również zaliczyć wzmacniacze typu "B".

Jeżeli chodzi o żarzenie, to stosuje się wyłącznie lampy żarzone bezpośrednio. Ten sposób żarzenia pozwala zredukować moc traconą na żarzenie. Napięcie żarzenia współczesnych lamp bateryjnych wynosi 2 V; zużycie mocy jest rzędu 0,2-0,5 W na lampę, w stopniu głośnikowym: 0,5 - 1 W. Zużycie mocy w obwodzie anodowym jest mniej więcej tego samego rzędu, co w lampach żarzonych pośrednio (w lampie głośnikowej - mniejsze). Włókna żarzenia łączy się równolegle do przewodów zasilających.-

7. Przykłady odbiorników lampowych.

Rys.193. przedstawia schemat zasadniczy odbiornika jednoobwodowego[1] z reakcją na pierwszą lampę, z jedną lampą małej częstotliwości, zasilanego z sieci prądu zmiennego za pośrednictwem prostownika dwukierunkowego. Antena jest sprzężona transformatorowo z autodyną. Zakres fal (200-600 i 800--2000) zmienia się przy pomocy przełącznika p, na fale krót-



Rys.193.

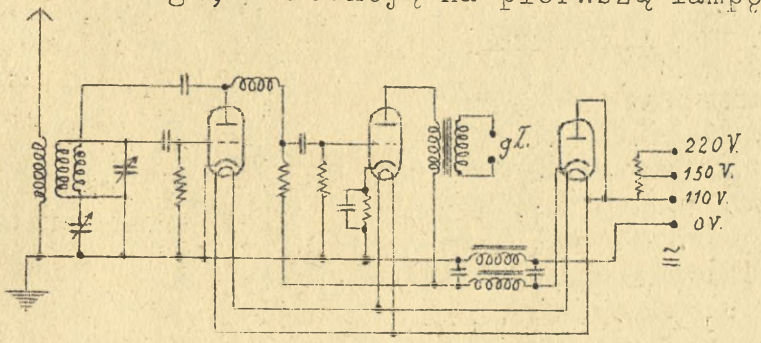
sze cewki zostają częściowo zwarte. Do zacisków Ad dołącza się urządzenie gramofonowe (adapter - p.rozdz.XV). R_k jest oporem katodowym, przez który przepływa prąd anodowy lampy drugiej. Prąd ten zamyka się następująco: końcówka d (lub e) uzwojenia anodowego transformatora, lampa prostownicza, punkt a (który jest zaciskiem dodatnim prostownika), dławik filtru

---

1) tzn. z jednym obwodem strojonym.-

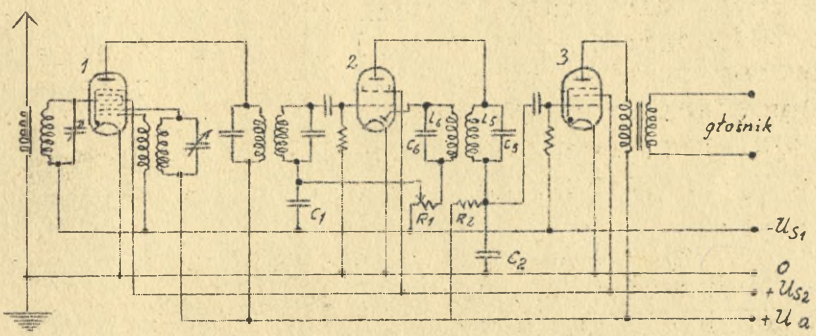
małej częstotliwości, uzwojenie głośnika (gł), anoda-katoda lampy drugiej, punkt środkowy uzwojenia 2, opór R_k, punkt środkowy uzwojenia 1. R_1 jest oporem redukującym napięcie, C_1 zamyka składową zmienną prądu anodowego krótszą drogą do katody. C_3 i C_4 wchodzą w skład filtru prostownika. Jeden zacisk sieciowy jest uziemiony za pośrednictwem kondensatora C_2.

Rys.194. przedstawia schemat zasadniczy odbiornika dwulampowego uniwersalnego, z reakcją na pierwszą lampę.



Rys.194.

Rys.195. przedstawia zasadniczy schemat 3-lampowej superheterodyny refleksowej z oktodą na pierwszym stopniu, binodą na drugim, pentodą małej częstotliwości na trzecim.



Rys.195.

Drgania pośredniej częstotliwości zostają z obwodu L_5 - C_5 przekazane do obwodu L_6-C_6 umieszczonego w obwodzie diody detekcyjnej binody. Mała częstotliwość zostaje przekazana z opornika zewnętrznego diody R_1 do siatki sterującej triody lampy 2. Po wzmocnieniu, częstotliwość ta wytwarza zmienny spadek napięcia w oporze R_2, skąd zostaje przekazana do lampy 3. (sprzężenie oporowo-pojemnościowe). Kondensatory C_1 i C_2 zwierają częstotliwość pośrednią w odpowiednich obwodach, tak że dzięki nim częstotliwość ta omija opory R_1 i R_2.

Na rys.: 193.,194.i 195. przedstawiono zasadnicze schematy. W rzeczywistości odbiorniki współczesne posiadają schematy bardziej skomplikowane. Posiadają one z reguły automatyczną regulację siły odbioru oraz kilka zakresów fal. Rys.196.[1]

---

1) Funk - 5/1937.-

przedstawia, jako przykład, szczegółowy schemat superheterodyny 4-lampowej z oktodą na wejściu; na drugim stopniu znajduje się pentoda AF3 jako wzmacniacz pośredniej częstotliwości; na trzecim - duo-dioda-trioda ABC1, na czwartym -pentoda AL4. Odbiornik posiada jeden obwód preselekcji oraz cztery obwody pośredniej częstotliwości; wynosi ona tu 442 kc/s; zasilanie z sieci prądu zmiennego przy pomocy prostownika dwukierunkowego 5.

W obwodzie antenowym znajduje się eliminator 1, zamknięty w ekranie. W ekranie 2. znajduje się układ, złożony z kondensatora i cewki, nastrojony na częstotliwość pośrednią,tzn. na częstotliwość 442 kc/s.[1]) Zapobiega on przedostawaniu się tej częstotliwości z anteny do siatki pierwszej lampy, co było by przyczyną zakłócen. Dla fal krótkich antena zostaje dołączona do punktu ②ekranu. Jeszcze lepiej jest dołączyć antenę bezpośrednio do siatki oktody za pośrednictwem bardzo małego kondensatora lub też najlepiej przy pomocy pojedynczego zwoju przewodnika. Cewki antenowe (wielozakresowe) oraz cewki obwodu wejściowego zamknięte są w ekranie.Cyfry umieszczone w kółkach oznaczają przejścia izolowane przewodników przez ekran. Zespół cewek oscylatora oktody wraz z kondensatorami równoległymi i szeregowymi jest również umieszczony w pudełku ekranującym. 14 jest filtrem pośredniej częstotliwości, 15 i 16 stanowią filtr nie dopuszczający wielkie częstotliwości do stopni dalszych (organ odsprzęgający). Napięcia dla siatek osłonnych lampy AK2 i AF3 uzyskuje się za pośrednictwem oporów 21 i 17. Taki sposób włączenia oporów przedstawia te same korzyści co układ omówiony na str.119, rys.118. Opór 17 wraz z kondensatorem 18 stanowi organ odsprzęgający. Początkowy ujemny potencjał dla siatki sterującej lampy AF3 otrzymuje się z oporu 20 za pośrednictwem oporu 30 i 15.

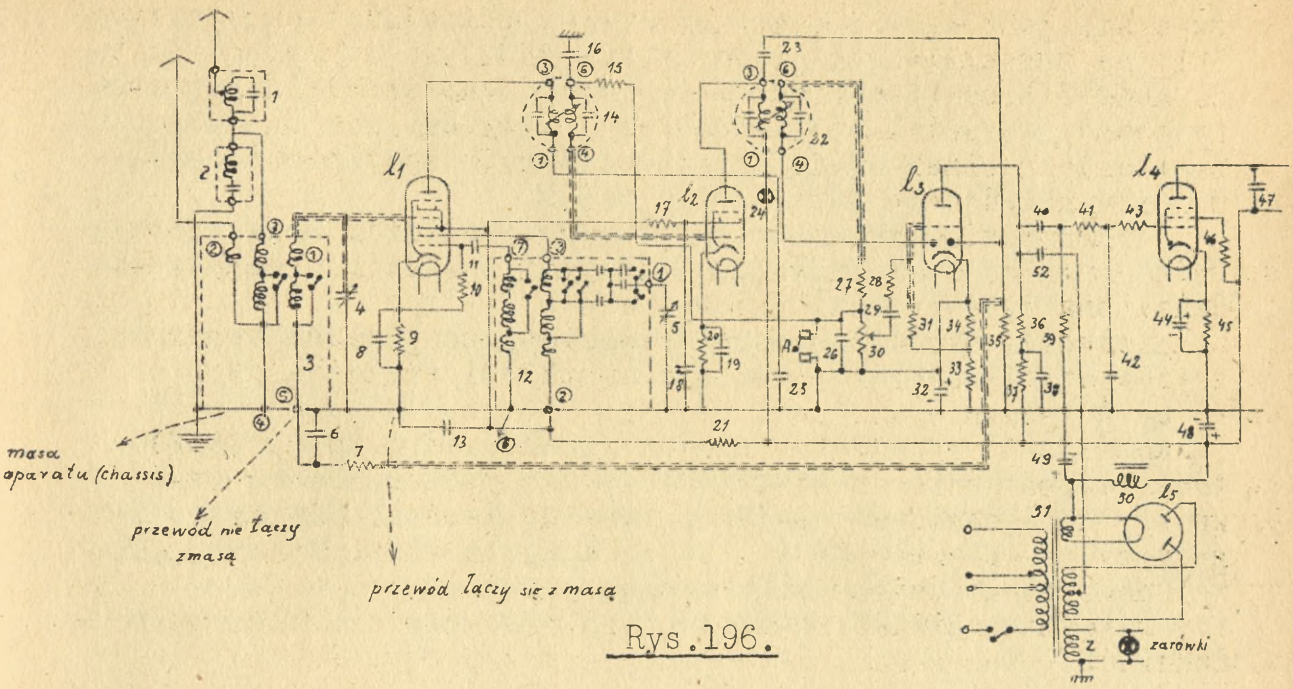
Kondensatory 4.i 5.są mechanicznie ze sobą sprzężone (strojenie jednogałkowe). Równolegle do nich są załączone trimmery (pominięte na rysunku).

Lewa dioda lampy ABC1 stanowi detektor, prawa wytwarza napięcie regulujące. Anoda lewej diody otrzymuje początkowe ujemne napięcie z oporów 33-34 (poprzez 30,27,filtr 22), dzięki temu uzyskuje się eliminację trzasków przy przestrajaniu odbiornika. Aby umożliwić odbiór sygnałów słabych należy zewrzeć opór 33 (Wówczas dioda ma niższy ujemny potencjał na anodzie). Równocześnie jednak wzrośnie szum, towarzyszący przestrajaniu odbiornika.

Dioda detekcyjna otrzymuje napięcie szybkozmienne z wtórnego obwodu filtru 22; opory 27 i 30 stanowią opór roboczy tej diody. Mała częstotliwość z oporu 30 zostaje przekazana do siatki sterującej binody poprzez kondensator 29 i opór 28. Przy pomocy suwaka oporu 30 uzyskuje się ręczną regulację siły odbioru.

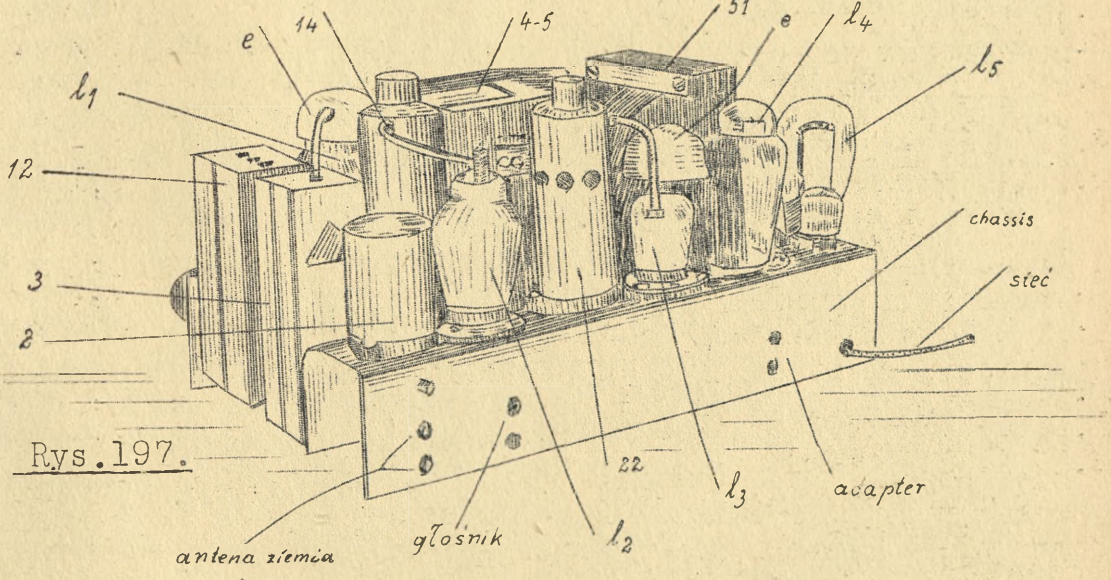
---

1) w zakresie częstotliwości 333-500 kc/s nie ma stacyj radiofonicznych. Zakres ten jest przeznaczony m.in. dla radiokomunikacji morskiej i lotniczej.-



Rys.196.

Napięcie regulujące doprowadza się do lampy AK2 i AF3. Lampa AF3 otrzymuje tu napięcie regulujące z oporu 27-30. Układ 15-16 usuwa z napięcia regulującego składową akustyczną. Oktoda otrzymuje napięcie regulujące z prawej diody, mianowi-



Rys.197.

cie z oporu 35.[1] Dioda ta jest zasilana przez obwód pierwotny filtru pośredniej częstotliwości 22. Optyczny wskaźnik dostrojenia 24 typu miliamperomierzowego) znajduje się w obwodzie anodowym lampy AF3.

Siatka sterująca binody otrzymuje początkowy potencjał z oporu 34 za pośrednictwem oporu 31 (por.rys.121.)

Binoda jest sprzężona z lampą wyjściową sposobem oporowo-pojemnościowym (opór 36 i kondensator 40). 37 i 38 stano-

---

1) Napięcie do regulacji wzmocnienia oktody AK2 musi być wyższe niż dla pentody AF3.-

wią filtr kierujący częstotliwość akustyczną do katody-binody. 52, 41, 42 - stanowią filtr wielkiej częstotliwości. 43 zapobiega powstawaniu drgań własnych bardzo wielkiej częstotliwości (fale ultrakrótkie - por.rys.117.).

Dławik 50 oraz kondensatory 48 i 49 stanowią filtr prostownika. Grzejniki lamp odbiorczych są zasilane z dolnego uzwojenia (Ż) transformatora sieciowego. Uzwojenie to zasila także żarówki do oświetlania skali.

Regulacja wstęgi (tzn.regulacja szerokości krzywej rezonansu) odbywa się tu przez zmianę sprzężności pomiędzy obwodami pośredniej częstotliwości.

Rys.197. przedstawia rozmieszczenie części na podstawie odbiornika; połączenia oraz drobne części znajdują się od dołu podstawy.

Jak widać z rysunku, niektóre połączenia (por.rys.196) są wykonane kablem opancerzonym (ekranowanym), co ma zapobiegać oddziaływaniom wielkiej częstotliwości. Na lampy: l_1 i l_3 są nałożone ekrany[3](e) zapobiegające oddziaływaniu pól szybkozmiennych na siatki sterujące tych lamp.

W tabelce poniżej podany jest spis części składowych aparatu.-

Spis części do rys.197.

Nr	Nazwa	Wielkość	Nr	Nazwa	Wielkość
1.	Eliminator	1)	21.	O p ó r	80000 Ω
2.	Filtr	442 kc/s	22.	Obwód pośr.cz.	jak 14.
3.	Obwód rezonansowy wejściowy	F 170[2]	23.	Kondensator	10 cm
4.)	Kondensator sprzę-		24.	Optyczny wskaźnik strojenia	-
5.)	żony podwójny ze skalą i żarówką	2x500 cm	25.	Kondensator	0,1 µF
6.	Kondensator	0,1 µF	26.	Kondensator	50 cm
7.	O p ó r	1,5 MΩ	27.	O p ó r	0,1 MΩ
8.	Kondensator	30000 cm	28.	O p ó r	1,5 MΩ
9.	O p ó r	250 Ω	29.	Kondensator	2000 cm
10.	O p ó r	50000 Ω	30.	Potencjomierz obrotowy	0,5 MΩ
11.	Kondensator	100 cm	31.	O p ó r	1,5 MΩ
12.	Zespół cewek oscylatora	F 173	32.	Kondensator elektrolitycz.	160 µF
13.	Kondensator	0,1 µF	33.	O p ó r	4000 Ω
14.	Obwód pośr. cz.	442 kc/s	34.	O p ó r	3200 Ω
15.	O p ó r	1,5 MΩ	35.	O p ó r	0,5 MΩ
16.	Kondensator	0,1 µF	36.	O p ó r	0,1 MΩ
17.	O p ó r	1000 Ω	37.	O p ó r	0,03 MΩ
18.	Kondensator	0,1 µF	38.	Kondensator	0,5 µF
19.	Kondensator	0,1 µF	39	O p ó r	0,8 MΩ
20.	O p ó r	1250 Ω	40.	Kondensator	20000 cm

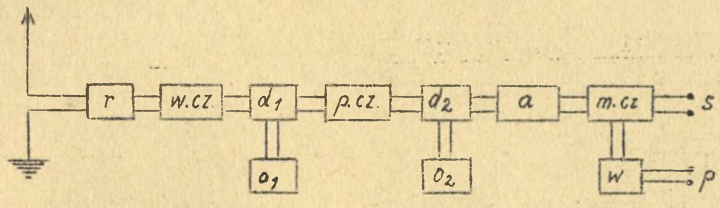
1) Dostosowany do odpowiedniej częstotliwości zakłócającej.
2) Oznaczenia przyjęte na niemieckim rynku radiowym.-
3) tzw. kaptury.-

Nr	Nazwa	Wielkość	Nr	Nazwa	Wielkość
41.	O p ó r	100000Ω	47.	Kondensator	4000 cm
42.	Kondensator	50 cm	48.	Kondensator e-	
43.	O p ó r	1000 Ω		lektrolitycz.	16 μF
44.	Kondensator elek-		49.	" "	16 μF
	trolityczny	100 μF	50.	Dławik m.cz.	100 mA
45.	O p ó r	130 Ω	51.	Transformator	
46.	O p ó r	30 Ω		sieciowy	-
			52.	Kondensator	400 cm

B. Odbiorniki radiotelegraficzne i radiotelefoniczne

8. Odbiorniki stałe.

Celem uzyskania dużego zasięgu oraz celem uzyskania pewności połączenia stosuje się w urządzeniach pocztowych duże, stałe odbiorniki. Jako antenę, stosuje się często antenę ramową podwójną (p.rozdz.XIII), umożliwiającą odbiór kierunkowy. Zasadniczy układ odbiornika stałego dla radiokomunikacji dalekiej przedstawia rys.198. Pożądany sygnał, wydzielony przy pomocy pewnej liczby obwodów rezonansowych wejściowych r, zostaje wzmocniony przy pomocy wzmacniacza wielkiej częstotliwości (w. cz.), posiadającego 3-6 stopni.



Rys.198.

O_1 i d_1 stanowią pierwszy stopień przemiany częstotliwości, po którym następuje wzmacniacz pośredniej częstotliwości (3--6 stopni). O_2 oraz d_2 stanowią drugi stopień przemiany częstotliwości, wytwarzający częstotliwość akustyczną. Częstotliwość ta zostaje pozbawiona harmonicznych przy pomocy filtrów małej częstotliwości (a) i wreszcie podlega wzmocnieniu we wzmacniaczu małej częstotliwości (m.cz.). Zamiast odbioru słuchowego stosuje się często odbiór przy pomocy urządzeń piszących. Celem uruchomienia takiego urządzenia konieczny jest dalszy wzmacniacz małej częstotliwości (w), który po wyprostowaniu wytwarza prąd jednokierunkowy uruchamiający przekaźnik urządzenia piszącego.[1] Urządzenie takie stosuje się w przypadku, gdy nadawanie odbywa się nie ręcznie, a automatycznie. Osiąga się w ten sposób możność szybkiego przekazywania znaków: przy odbiorze na słuch - szybkość wynosi około 100 zn/ /min., przy odbiorze samopiszącym - 300 i więcej znaków na minutę.

Odbiornik radiotelefoniczny posiada na ogół układ podobny do powyższego. Od odbiornika takiego wymagana jest przede wszystkim zrozumiałość w odtwarzaniu dźwięków; nie chodzi tu

---

1) Ogólna liczba lamp w takim odbiorniku wynosi 10-30.-

o artystyczne odtworzenie dźwięków, jak w odbiorniku radiofonicznym. Toteż wstęga modulacji takiego aparatu jest węższa, niż w odbiorniku radiofonicznym (minimalny zakres częstotliwości niezbędny do porozumiewania się wynosi 300-2500 okr/sek).-

9. Odbiorniki przenośne.

Zawierają one zazwyczaj kilka lamp (np.odbiorniki wojskowe). Mogą to być układy proste lub superheterodynowe. Układy odbiorcze proste zawierają zwykle jeden lub dwa stopnie wzmocnienia wielkiej częstotliwości, stopień reakcyjny oraz dwa stopnie wzmocnienia małej częstotliwości.

Zasilanie odbywa się na ogół z baterii.

Odbiornik przenośny powinien odznaczać się dużą czułością przy możliwie małych wymiarach oraz silną konstrukcją.

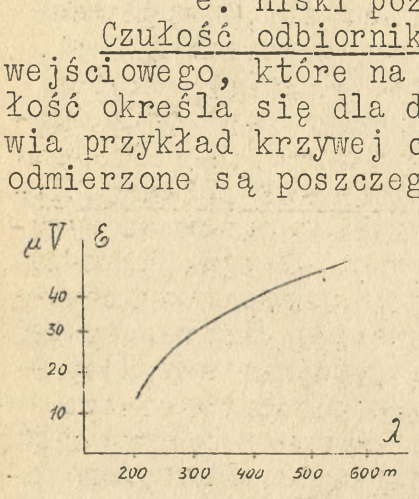
Zarówno odbiorniki radiotelegraficzne, jak i radiotelefoniczne (stałe i przenośne) mogą posiadać te same urządzenia dodatkowe co odbiorniki radiofoniczne (regulacja wzmocnienia, regulacja szerokości krzywej rezonansu itd.).-

C. Właściwości elektryczne odbiornika

10. Dobry odbiornik charakteryzuje:

a. duża czułość,
b. duża selektywność,
c. wierne odtwarzanie,
d. duża, niezniekształcona moc wyjściowa,
e. niski poziom zakłóceń własnych.

Czułość odbiornika określa się wielkością tego napięcia wejściowego, które na wyjściu odbiornika daje moc 50 mW. Czułość określa się dla danego zakresu fal. Rys.199. przedstawia przykład krzywej czułości odbiornika. Na osi poziomej odmierzone są poszczególne długości fal, na które odbiornik został nastrojony, zaś na osi pionowej - te wartości napięcia wejściowego, które na wyjściu odbiornika wytwarzają określoną moc (np. 50 mW) przy pewnej głębokości modulacji.

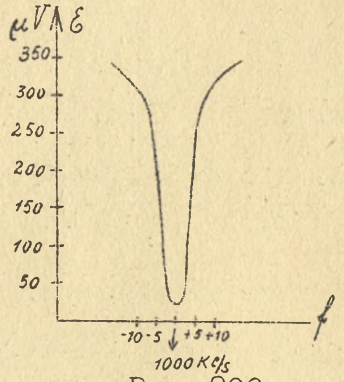


Rys.199.

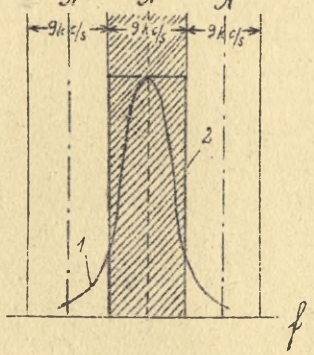
Selektywnością odbiornika nazywamy jego zdolności do wydzielania sygnału pożądanego spośród sygnałów nie pożądanych. Celem określenia selektywności zdejmuje się krzywą rezonansu w ten sposób, że do odbiornika doprowadza się różne częstotliwości, których napięcie zmienia się tak, aby na jego wyjściu moc dla każdej częstotliwości była jednakowa (50 mW). Oczywiście, że najmniejsze napięcie wejściowe, dające moc na wyjściu 50 mW, otrzymamy dla częstotli-

wości rezonansowej (rys.200.).

Jak już wyjaśniono, krzywa rezonansu odbiornika telegraficznego powinna być wąska, krzywa rezonansu odbiornika radiofonicznego - szeroka. Szerokość tej ostatniej krzywej uzależniona jest od odstępów częstotliwości nadajników. Otóż nadajniki radiofoniczne są - jak wiemy - rozmieszczone w odstępach co 9 kc/s, tym samym więc i odbiornik powinien posiadać taką samą szerokość krzywej rezonansu. Na rys.201. powierzchnia zakreskowana odpowiada częstotliwościom promieniowanym przez nadajnik radiofoniczny. Aby te częstotliwości odtworzyć, odbiornik powinien posiadać prostokątną krzywą rezonansu. Ponieważ jednak krzywa rezonansu posiada w rzeczywistości przebieg linii 1, przeto wyższe częstotliwości widma modulacji zostają słabiej odtworzone, ponadto odbiornik odtwarza częstotliwości boczne (wyższe) nadajnika sąsiedniego.



Rys.200.



Rys.201.

Aby więc usunąć wpływ nadajników sąsiednich oraz aby jednak pomimo to nie tłumić nadmiernie wyższych częstotliwości bocznych, odbiorniki radiofoniczne, współczesne posiadają krzywą rezonansu o średniej szerokości 3-5 kc/s, przy czym szerokość krzywej w wielu aparatach można regulować (p.str.149, § 17).

Warunek wierności odtwarzania wymaga, aby przebieg prądu na wyjściu odbiornika był taki sam jak przebieg modulacji. Brak tej cechy może być spowodowany zniekształceniem amplitudy, częstotliwości lub fazy. Zniekształcenia powstają głównie skutkiem zakrzywień charakterystyk lampowych. Największy, dopuszczalny współczynnik chrypienia aparatów odbiorczych wynosi około 5-7% . W aparatach wyższej klasy jest nawet mniejszy od 3%.

Na poziom zakłóceń składają się wszystkie akustyczne zjawiska towarzyszące odtwarzaniu sygnałów. Zostały one opisane w rozdziale IX, w którym zostały podzielone na zakłócenia zewnętrzne oraz wewnętrzne, czyli własne. W prawidłowo wykonanym aparacie zakłócenia własne występują tylko w formie szumu, którego natężenie może być, między innymi, zmniejszone przez dobór elementów składowych (por.str.169, § 4.).-

D. Zwojnice z rdzeniem żelaznym dla wielkiej częstotliwości.[1]

11. W układach odbiorczych stosuje się obecnie często zwojnice z rdzeniem żelaznym, dostosowanym do wielkiej częstotliwości. Aby jak najbardziej zredukować straty energii wywołane obecnością żelaza w polu magnetycznym zmiennym, należy stosować - jak wiadomo - zamiast rdzeni pełnych - rdzenie dzielone; rdzeń taki - jak wiadomo - składa się z cienkich blach lub prętów izolowanych od siebie. Jednakże, dla wielkich częstotliwości, występują jeszcze zbyt duże straty, dlatego też wykonuje się rdzenie z nadzwyczaj drobnego proszku żelaznego (tzw. rdzenie proszkowe), który zostaje zmieszany z masą izolującą, o możliwie małych stratach dielektrycznych; w ten sposób każda cząstka żelaza jest oddzielona od cząstek sąsiednich cienką warstwą izolacji.[2] Duża indukcyjność takich zwojnic pozwala znacznie zmniejszyć liczbę zwojów, co z kolei zmniejsza tłumienie, a więc polepsza - i to znacznie - selektywność. Ponadto wymiary takiej zwojnicy są bardzo małe, dzięki czemu pole rozproszenia magnetycznego jest niewielkie.-

- R O Z D Z I A Ł XII -

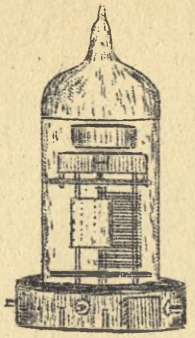
Odbiorniki dla fal krótkich i ultrakrótkich

1. Do odbioru fal krótkich (w zakresie 10-100 m) stosowane są, zasadniczo biorąc, te same układy, które zostały opisane poprzednio. Poważną trudność przedstawia jednak tutaj wzmocnienie wielkiej częstotliwości, szczególnie jeżeli chodzi o fale zakresu 10-30 m, a tym bardziej, jeżeli chodzi o wzmocnienie wielkiej częstotliwości dla fal poniżej 10 m. Dochodzą tu bowiem do znaczenia różnego rodzaju pojemności przypadkowe, a przede wszystkim pojemności wewnętrzne lampy, zwierające wielką częstotliwość, skutkiem czego - jak wiemy wzmocnienie maleje. Ponadto pojemności te wraz z indukcyjnością obwodu rezonansowego określają tę najwyższą częstotliwość, którą można uzyskać przy ustawieniu kondensatora nastrojczego na zero. Dalsze zwiększenie częstotliwości staje się możliwe tylko przez zmniejszenie indukcyjności. Toteż do wzmacniania fal ultrakrótkich (poniżej 10 m) skonstruowano specjalne lampy o b.małych wymiarach (lampy miniaturowe), umożliwiające, dzięki redukcji pojemności wewnętrznych, wzmocnienie fal nawet poniżej 1 m. Dużego wzmocnienia nie da się

---

1) Ustęp ten stanowi uzupełnienie rozdziału VI, część I.-
2) Przenikalność magnetyczna w ten sposób wykonanych rdzeni wynosi od 7 do 20 - zależnie od zawartości żelaza. Rdzenie te posiadają w handlu różne nazwy (ferrocart, sirufer, perminvar).-

tu jednak osiągnąć. Rys.202. przedstawia przykład lampy miniaturowej naturalnej wielkości (trioda Telefunken SD1A).



Rys.202.

Do odbioru fal krótkich stosuje się układy superheterodynowe, bądź też układy reakcyjne z reakcją na pierwszą lampę (reakcja Reinartz'a, Schnell'a lub oporowa). Do odbiorników nie dostosowanych do odbioru fal krótkich może być dołączona "przystawka" krótkofalowa. Jest nią autodyna, która przy pomocy odpowiedniej wtyczki włącza się na miejsce detektora odbiornika. Obwód rezonansowy przystawki sprzęga się bezpośrednio z anteną. Wzmacniacz wielkiej częstotliwości odbiornika nie zostaje tu wykorzystany.

Do odbioru fal ultrakrótkich w zakresie 10-1 m oprócz układów superheterodynowych stosuje się często układy superreakcyjne. Do odbioru fal centymetrowych stosuje się metody odmienne od wyżej opisanych.-

- R O Z D Z I A Ł XIII -

Odbiór kierunkowy. Radiogoniometria

1. Zasada.

Fale elektromagnetyczne (podobnie zresztą jak i każdy ruch falowy) rozchodzą się prostolinijnie.[2] Dzięki temu można określić kierunek, w którym jest położona stacja nadawcza. Określenie kierunku odbywa się przy pomocy urządzenia odbiorczego, zwanego radiogoniometrem lub radiopelengatorem.

Odbiór kierunkowy umożliwia nie tylko określenie kierunku lecz także i miejsca (położenia geograficznego) stacji nadającej. Zagadnienie określania kierunku i miejsca przy pomocy fal elektromagnetycznych stanowi temat specjalnego działu radiotechniki, zwanego radiogoniometrią.

Czynność polegającą na określeniu - przy pomocy radiopelengatora - kierunku lub położenia geograficznego nazywamy pelengowaniem lub pelengacją.-

2. Antena ramowa.

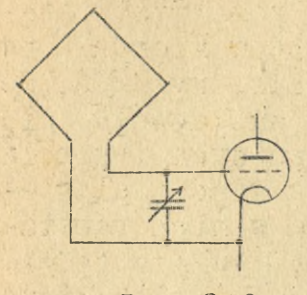
Antena ramowa jest właściwie zwojnicą o zwiększonych wymiarach. Posiada ona kształt wieloboku lub koła (o średnicy mniej więcej od 30 do 100 cm). Liczba zwojów ramy powinna być dostosowana do zakresu odbieranych fal.[1] Ponadto od liczby zwojów zależy wielkość siły elektromotorycznej indukowanej

---

1) Rama o średnicy około 50 cm, posiadająca 6 zwojów, daje zadowalający odbiór dla częstotliwości poniżej 500 kc/s. Dla wyższych częstotliwości lepsze wyniki daje mniejsza liczba zwojów.-

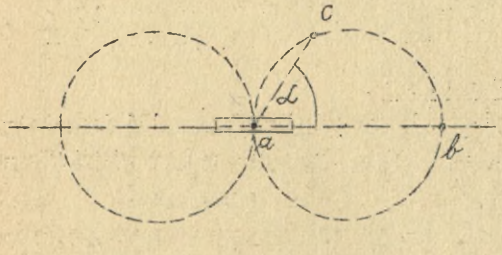
2) W ośrodku jednorodnym.-

przez falę elektromagnetyczną. W najprostszym układzie, równolegle do ramy, włącza się kondensator obrotowy, zaś zaciski ramy łączy się ze wzmacniaczem wielkiej częstotliwości (rys.203.). Najsilniejszy odbiór uzyskuje się wówczas, gdy po pierwsze: obwód ramy jest nastrojony na częstotliwość danej stacji nadawczej, po drugie: gdy płaszczyzna ramy ustawiona jest w kierunku rozchodzenia się fali, a więc w kierunku stacji nadawczej; gdy płaszczyzna ramy nie pokrywa się z kierunkiem rozchodzenia się fali, odbiór jest słabszy i wreszcie, gdy płaszczyzna ramy jest prostopadła do kierunku rozchodzenia się fali - odbiór zanika zupełnie. Obracając więc ramę, łatwo można określić kierunek rozchodzenia się fal elektromagnetycznych.



Rys.203.

Zależność siły odbioru od ustawienia ramy jest łatwo zrozumiała. Aby wyjaśnić zjawisko, możemy brać pod uwagę bądź pole elektryczne, bądź pole magnetyczne fali elektromagnetycznej. Weźmy najprzód pod uwagę pole magnetyczne. Otóż - jak wyjaśniono w cz.I, str.109 - strumień magnetyczny fali można przedstawić jako wektor poziomy, prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali. Strumień ten wzbudzi więc w ramie największą siłę elektromotoryczną wówczas, gdy będzie on, zgodnie z teorią indukcji elektromagnetycznej, prostopadły do płaszczyzny ramy.[1] Zatem płaszczyzna ramy będzie wówczas pokrywała się z linią, wzdłuż której rozchodzi się fala, czyli z promieniem fali. Jeżeli ramę obrócimy o 180°, uzyskamy drugie maksimum, co jest zrozumiałe, albowiem strumień magnetyczny jest wówczas znowu prostopadły do płaszczyzny ramy. Charakterystyka odbiorcza ramy posiada więc dwa maksima i dwa minima, i przedstawia się wykreślnie w postaci przedstawionej na rys.204., gdzie przez prostokąt oznaczono rzut ramy na płaszczyznę poziomą; linia przerywana stanowi promień fali. Jeżeli płaszczyzna ramy pokrywa się z promieniem, to wielkość siły elektromotorycznej wzbudzonej w ramie odpowiada odcinkowi a-b. Jeżeli ramę ustawić pod kątem α do promienia fali, to siła odbioru maleje do wartości wyrażonej odcinkiem a-c.

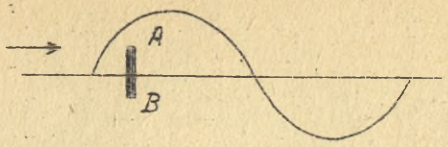


Rys.204.

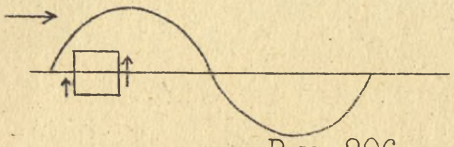
Kierunkowe działanie ramy możemy wyjaśnić, biorąc pod uwagę tylko składową elektryczną fali elektromagnetycznej. Niech wykres sinusoidalny na rys.205. przedstawia przebieg pola elektrycznego odpowiadający jednemu okresowi fali. Jeżeli rama jest prostopadła do promienia fali, to siły elek-

---

1) tzn. prostopadły do płaszczyzny cewki.-



Rys.205.



Rys.206.

tromotoryczne wzniecone[1] w bokach pionowych ramy A-B są jednakowe i skierowane przeciwnie, a więc znoszą się (na boki poziome ramy pole elektryczne nie oddziaływuje). Jeżeli rama jest ustawiona płaszczyzną w kierunku rozchodzenia się fali, rys.206., boki pionowe będą znajdowały się pod działaniem różnych faz pola elektrycznego, a więc i siły elektromotoryczne w nich powstające będą różne; w ramie będzie więc działać siła elektromotoryczna wypadkowa, równa różnicy sił elektromotorycznych powstających w bokach pionowych ramy.

Przy pomiarach goniometrycznych ustawia się antenę nie na maksimum, a na minimum dźwięku, tzn. prostopadle do promienia fali, chodzi bowiem o to, że minimum dźwięku występuje wyraźniej niż maksimum i dlatego pomiar jest dokładniejszy.

Rama jest zmontowana w ten sposób, że można ją łatwo obracać. Posiada ona skalę z podziałką 0-360° oraz wskazówkę; w chwili ustawienia ramy na minimum dźwięku wskazówka wskazuje kierunek rozchodzenia się fali. Aparat ustawia się tak, że punkt zerowy podziałki jest skierowany ku północy.

Siła elektromotoryczna wzbudzona w ramie jest niewielka ze względu na niewielkie na ogół wymiary ramy. Toteż odbiorniki przeznaczone do tego celu muszą odznaczać się zwiększoną czułością. Wysokość skuteczną ramy odbiorczej oblicza się tak samo jak anteny ramowej nadawczej (p.część I, str.107.).

Ze względu na kierunkowe działanie ramy zakłócenia pochodzące ze źródeł zewnętrznych (m.in. wyładowania atmosferyczne) są mniejsze.-

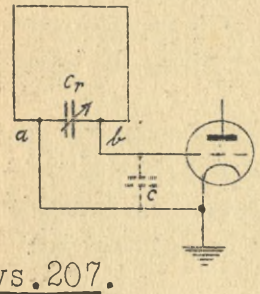
3. Efekt antenowy ramy.

Określenie kierunku przy pomocy ramy nie jest jednak zupełnie dokładne; przyczyną błędów są nie tylko zjawiska towarzyszące rozchodzeniu się fali (p.§ 8.), ale również i sam goniometr, a przede wszystkim rama. Między innymi występuje tu tzw. efekt antenowy ramy, wywołany asymetrią obu boków ramy względem ziemi. Jak widać z rys.207., jeden bok pionowy ramy jest połączony z siatką, drugi - z katodą. Każdy z tych boków posiada pewną pojemność własną względem ziemi: prawy bok zamyka się do ziemi poprzez pojemność C_2, drugi zaś poprzez punkt a do ziemi. Boki pionowe anteny są więc uziemione, jednakże ich połączenia z ziemią są niesymetryczne i dlatego posiadają różne oporności pozorne. Każdy więc z tych bo-

---

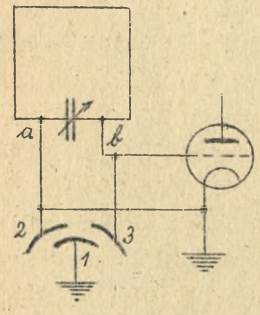
1) Przez oddziaływanie linii elektrycznych.
2) Utworzoną przez pojemność przewodu siatkowego i siatki względem ziemi.-

ków, dzięki połączeniu z ziemią, działa do pewnego stopnia jak antena otwarta, ponieważ zaś oporności są niejednakowe, wobec tego i wzniecone w nich siły elektromotoryczne będą różne. Jeżeli więc nawet ramę zestawimy prostopadle do promienia fali, to dzięki asymetrii boków - punkty a i b będą pod działaniem różnych potencjałów, a więc przez kondensator C_r będzie płynął pewien prąd. Zamiast więc zupełnego zaniku sygnałów stwierdzimy tylko minimum dźwięku, a jeżeli nawet uzyskamy zupełny zanik sygnałów, to nie przy prostopadłym położeniu ramy względem kierunku fali. Goniometr wskaże więc kierunek niewłaściwy.



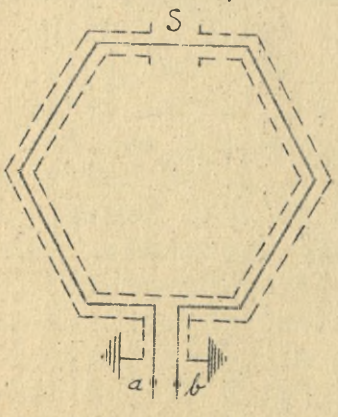
Rys.207.

Efekt antenowy ramy usuwa się bądź zmniejsza przez wyrównanie pojemności obu boków ramy, np. przy pomocy kondensatora różnicowego, rys.208.: przez zmianę położenia płytek ruchomych l można skompensować asymetrię. Inne sposoby polegają na stosowaniu układu przeciwsobnego na wejściu odbiornika, bądź transformatorowego sprzężenia ramy z odbiornikiem.



Rys.208.

Wreszcie efekt antenowy może być zredukowany przy pomocy anteny ramowej ekranowanej; uzwojenie ramy zostaje zamknięte wewnątrz rury metalowej, rys.209. Na odcinku S ekran jest przerwany, oba jego końce są rozdzielone rurą izolującą, tak że w ten sposób prądy nie mogą się zamykać w obwodzie ekranu. Ponieważ obie połówki ekranu są uziemione, przeto działają one jako dwie anteny; powstające jednak w nich prądy są bardzo słabe, gdyż anteny te są znacznie rozstrojone. Stąd też wpływ tych prądów na ramę jest bardzo mały. Siła elektromotoryczna powstająca w ramie jest prawie taka sama jak w przypadku gdyby ekranu w ogóle nie było; wiadomo bowiem z teorii elektrotechniki, że wielkość siły elektromotorycznej jest proporcjonalna do szybkości zmian pola megnetycznego, wielkość zaś tego pola w danym przypadku zostaje w minimalnym stopniu zmieniona obecnością ekranu.

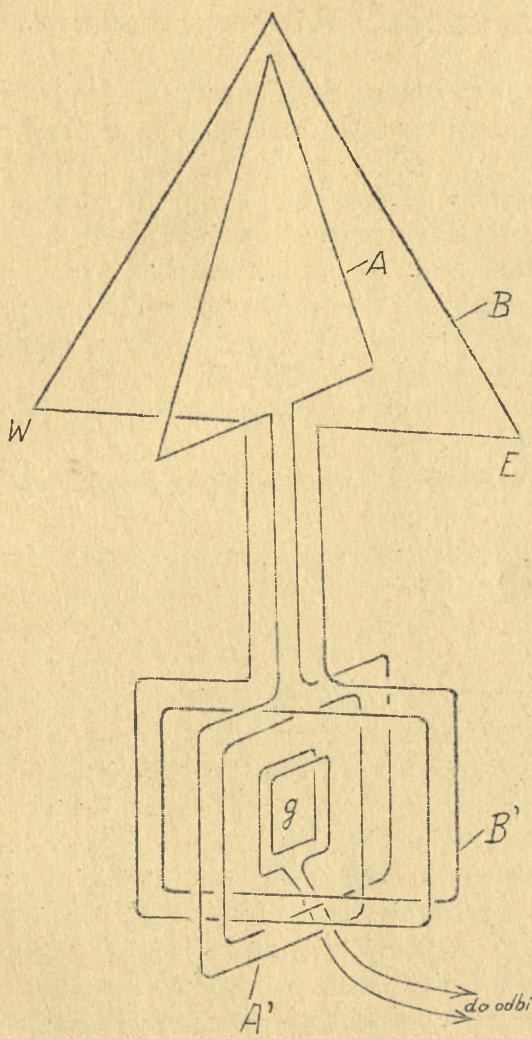


Rys.209.

Tego rodzaju anteny stosuje się między innymi w goniometrach samolotowych i okrętowych dla częstotliwości poniżej 1500 kc/s.

4. Antena Bellini - Tosi.

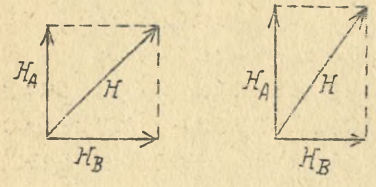
Antena Bellini-Tosi jest anteną ramową jednozwojową nieruchomą. Składa się z dwóch anten ramowych ustawionych w płaszczyznach wzajemnie do siebie prostopadłych. Mogą to być np. ramy trójkątne, rys.210. Wymiary takich anten są stosunkowo znaczne - ich wysokość wynosi kilka - kilkanaście i więcej metrów. Każda z ram jest połączona z nieruchomą cewką; cewki te są ustawione prostopadle do siebie. Wewnątrz nich umieszczona jest cewka obracająca się, rys.210 (zwana potocznie goniometrem). Jedna antena (A) jest ustawiona w kierunku: północ-południe, zaś druga antena (B) -w kierunku: wschód-zachód. Wielkość siły elektromotorycznej, a więc i pola magnetycznego cewek A' i B' zależy od kierunku rozchodzenia się fali elektromagnetycznej. I tak np., fala rozchodząca się po linii: północ-południe nie wywoła w ramie B żadnej siły elektromotorycznej; powstanie ona tylko w ramie A. Fala zaś rozchodząca się po linii: wschód-zachód wznieci siłę elektromotoryczną tylko w antenie B. Fala, której promień tworzy kąt 45° z płaszczyzną każdej anteny, wznieci w obu antenach siły elektromotoryczne jednakowe. Otóż w pierwszym przypadku na cewkę g oddziaływuje tylko pole magnetyczne zwojnicy A', wobec tego w cewce g powstanie największa siła elektromotoryczna wtedy, gdy cewka ta będzie ustawiona w



Rys.210.

w płaszczyźnie zwojnicy A', najmniejsze zaś, gdy obie cewki będą ustawione do siebie prostopadle. W drugim przypadku największe napięcie w cewce g powstanie wtedy, gdy znajdzie się ona w płaszczyźnie cewki B'. Jeżeli zaś chodzi o trzeci przypadek, a także i inne przypadki, to celem wyjaśnienia działania przedstawimy pola magnetyczne cewek A' i B' przy pomocy wektorów, rys.211. Wektor H_A odpowiada, co do

wielkości i kierunku, polu magnetycznemu wznieconemu przez cewkę A', zaś wektor H_B - polu magnetycznemu cewki B'. Wektory są do siebie prostopadłe, gdyż cewki są do siebie prostopadłe. Wektor wypadkowy, tzn. pole magnetyczne wypadkowe, otrzymamy, dodając geometrycznie wektory składowe. Dla trzeciego, wyżej wymienionego przypadku, otrzymamy wektor wypadkowy H, będący przekątną kwadratu (lewy rysunek). Dla innego kierunku fali otrzymamy np. wektor wypadkowy, jak na prawym rysunku. Wektor pola magnetycznego wypadkowego pokrywa się więc zawsze z kierunkiem rozchodzenia się fali. A więc najsilniejszy odbiór otrzymamy, ustawiając cewkę g wzdłuż tego wektora (tzn. w kierunku pola magnetycznego wypadkowego), najsłabszy zaś przy prostopadłym ustawieniu cewki g do tego wektora. Właściwe ustawienie dla każdej poszukiwanej stacji określa się, oczywiście, eksperymentalnie. Jak już wyjaśniono, goniometr ustawia się nie na maksimum, a na minimum dźwięku.



Rys.211.

Obwody poszczególnych ram nie są na ogół strojone. Strojonym jest natomiast obwód cewki g.

Celem zmniejszenia efektu antenowego środek cewki A' i B' zostaje uziemiony.

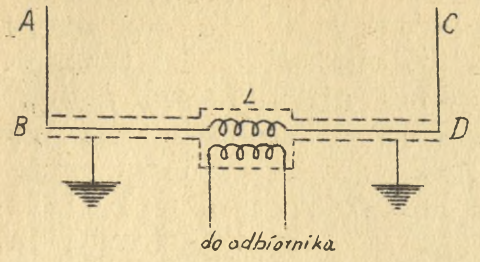
Antena Bellini-Tosi ze względu na większe wymiary daje silniejszy odbiór niż antena ramowa.-

5. Efekt nocny.

Fala spolaryzowana normalnie posiada wektor elektryczny skierowany pionowo, zaś magnetyczny - poziomo (p.cz.I,str. 109.). W czasie rozchodzenia się kierunki wektorów mogą ulec zmianom; odnosi się to szczególnie do fali odbitej przez jonosferę; polaryzacja fali skutkiem odbicia może ulec znacznym zmianom. Jeżeli pole elektryczne takiej fali jest skierowane ukośnie względem poziomu, zawiera ono składową poziomą, która wznieca w bokach poziomych anteny ramowej siły elektromotoryczne różnej wielkości, wytwarzające w ramie pewien prąd wypadkowy; płynie on nawet wówczas, gdy antena jest ustawiona prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali (przyziemnej). Skutkiem tego minimum jest niewyraźne, a nawet może zupełnie nie pokrywać się z właściwym kierunkiem fali. Ponieważ warunki odbicia od jonosfery są zmienne, wobec tego minimum może wypadać w coraz to innym miejscu, wskazany kierunek będzie się więc ciągle zmieniał. Zjawisko to występuje szczególnie w nocy (dla fal poniżej 150 m i w dzień), stąd też powstała nazwa.

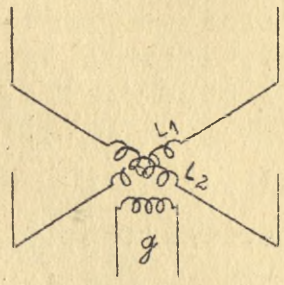
Zjawisko efektu nocnego daje się zredukować przy pomocy anteny systemu Adcock'a. Jest to rama, w której usunięto bok poziomy górny, zaś bok poziomy dolny jest ekranowany. Działa-

ją zatem tylko boki pionowe. Schemat zasadniczy takiej anteny przedstawia rys.212. Boki A-B i C-D odpowiadają pionowym bokom anteny ramowej; są one połączone ekranowanym kablem (podziemnym). Ze względu na różnicę faz pola elektrycznego fali (por.rys.206.) siły elektromotoryczne wzniecone w bokach: A-B i D-C nie są jednakowe; są one skierowane przeciwnie. W obwodzie anteny działa więc pewna siła elektromotoryczna wypadkowa wytwarzająca w cewce L pewien prąd.



Rys.212.

Układ systemu Adcock'a, równoważny układowi antenowemu systemu Bellini-Tosi, przedstawia rys.213.-

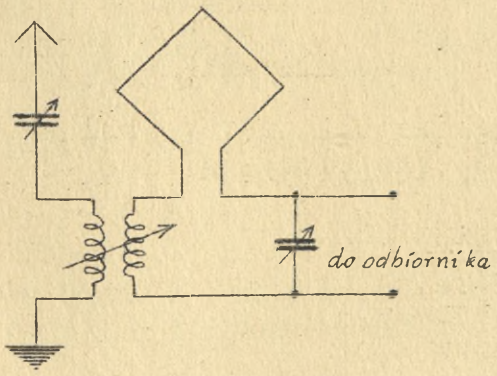


Rys.213.

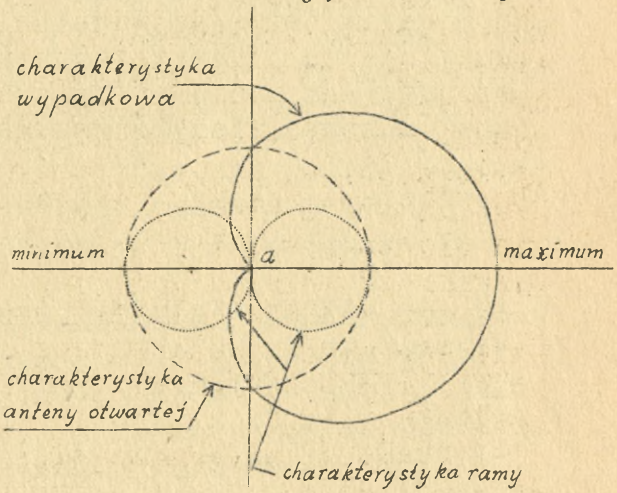
6. Określenie strony kierunku.

Opisane poprzednio anteny pozwalają określić jedynie kierunek fali, lecz nie wskazują strony, z której fala ta przychodzi (niepewność 180°). Wątpliwość strony usuwa się w sposób następujący: przypuśćmy, że przy ustawieniu anteny ramowej na pewien nadajnik powstaje w niej siła elektromotoryczna o kierunku, zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Jeżeli ramę przekręcimy o 180°, to wielkość siły elektromotorycznej wzbudzanej w ramie pozostanie ta sama, natomiast kierunek tej siły (czyli faza) zmieni się o 180°, czyli będzie odwrotny. Albo inaczej, dwa nadajniki położone w płaszczyźnie ramy po obu jej stronach wzbudzają w ramie siły elektromotoryczne przeciwne.

W antenie otwartej natomiast zarówno amplituda jak i faza drgań są - jak wiemy - niezależne od strony, w której jest położony nadajnik.



Rys.214.



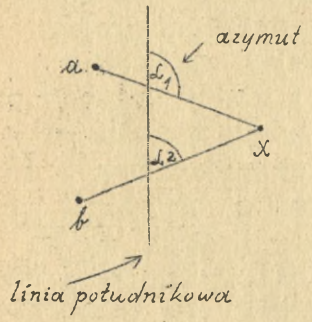
Rys.215.

Przypuśćmy dalej, że odbiornik jest sprzężony równocześnie z anteną ramową i z anteną otwartą (tzw."antena-rama"). Przy pewnym ustawieniu ramy napięcie pochodzące z ramy będzie się dodawać do napięcia pochodzącego anteny otwartej, natomiast przy obroceniu o 180° oba napięcia będą się odejmować; jeżeli wielkości obu napięć uczynimy jednakowymi, to odbiór zaniknie. Jeden z zasadniczych schematów przedstawia rys.214. Na rys.215. uwidoczniona jest charakterystyka odbiorcza "anteny-ramy" (umieszczonej w punkcie a).-

7. Zasadnicze sposoby radiopelengacji.

Urządzenia odbiorcze przeznaczone do pelengacji podzielimy na dwie grupy: urządzenia do pelengowania obcego i urządzenia do pelengowania własnego.

Zasada pelengacji obcej jest następująca: przy pomocy dwóch (co najmniej) stacyj goniometrycznych, położonych w pewnej od siebie odległości, określa się kierunek rozchodzenia się fali tej stacji nadawczej, której położenie geograficzne ma być znalezione. W ten sposób określone kierunki wyznacza się na mapie; punkt przecięcia się obu kierunków, rys.216, określa położenie stacji nadającej (położenie goniometrów - a i b - jest wiadome).



Rys.216.

Dokładniejsze wyniki otrzymuje się przy pomocy trzech stacyj goniometrycznych. Linie wyznaczające kierunki fali nie schodzą się w jednym punkcie, lecz tworzą pewien, niewielki stosunkowo trójkąt, wewnątrz którego znajduje się stacja nadająca.

Przy pelengacji własnej ramę goniometru ustawia się kolejno na kierunki dwóch stacyj nadawczych, których położenie geograficzne jest znane. Przecięcie się tych kierunków określa położenie danej stacji goniometrycznej. Ten sposób jest między innymi stosowany w lotnictwie oraz marynarce. Stacjami o znanym położeniu są tzw. radiolatarnie, tzn. specjalne stacje nadawcze, nadające pewne sygnały, przy pomocy których stacja goniometryczna pokładowa (okrętowa lub samolotowa) określa położenie statku lub samolotu.

Radiogoniometria znajduje bardzo szerokie zastosowanie między innymi w wojsku, marynarce, lotnictwie.-

8. Błędy pomiarów goniometrycznych.

Dokładność, z jaką można określić kierunek stacji nadawczej, zależy od dwóch czynników: od właściwości rozchodzenia się oraz od właściwości goniometru.

Wpływ pierwszego czynnika może się wyrazić nieprostoli-

nijnością rozchodzenia się fali elektromagnetycznej, spowodowaną niejednorodnością terenu dla fali przyziemnej oraz niejednorodnością atmosfery dla fali przestrzennej. Niejednorodność terenu powoduje załamanie kierunku fali; niejednorodność atmosfery powoduje odbicia, załamania oraz zmianę polaryzacji fali (efekt nocny). W obu wypadkach kierunek promienia fali w punkcie, gdzie znajduje się goniometr, może się odchylać od właściwego kierunku stacji nadawczej. Odchylenia takie mogą być stałe lub zmienne, zależnie od stanu terenu, atmosfery, a także pory doby. W dzień na falach powyżej 200 m i na niezbyt wielkich odległościach wpływ tych czynników jest stosunkowo niewielki. Natomiast nocą, a w szczególności około wschodu lub zachodu słońca, występują one w stopniu znacznie większym, powodując duże błędy w określeniu kierunku. Błędy te rosną na ogół wraz z częstotliwością.

Jak wykazały doświadczenia, do celów radiopelengacji najlepiej nadają się fale od 400 do 4000 m. Praktycznie najczęściej stosuje się fale od 550 do 1200 m. Praktyczny zasięg urządzeń radiopelengacyjnych i radiolatarni przy stosowanych mocach wynosi średnio około 150 km. Oczywiście, pelengowanie stacyj silnych możliwe jest i przy większych odległościach.

Drugim czynnikiem, będącym przyczyną błędów, jest sam radiogoniometr, mianowicie: niedokładność znajomości charakterystyki kierunkowej anteny oraz niedokładność w ustawieniu jej kierunku na kierunek przychodzących sygnałów. Wreszcie źródłem poważnych błędów może być wpływ bezpośredniego otoczenia, np.: anten, mas przewodzących (szkielet metalowy statku, samolotu). Goniometr powinien więc być zainstalowany zdala od anten na przestrzeni otwartej. Jeżeli zaś chodzi o stacje pokładowe, to ponieważ błąd wywołany oddziaływaniem (tzw. promieniowaniem wtórnym) masy metalowej statku jest stały, przeto łatwo można go określić i uwzględniać przy pomiarach. Wpływ ten może być usunięty w prosty sposób przy pomocy odpowiednio rozwieszonego na izolatorach przewodu (pętli), otaczającego radiopelengator ze wszystkich stron i stanowiącego coś w rodzaju ekranu.-

---

- R O Z D Z I A Ł XIV -

Klasyfikacja lamp odbiorczych. Konstrukcja zewnętrzna lamp

1. Serie lamp.

Na podstawie porozumienia pomiędzy trzema największymi europejskimi wytwórniami lamp odbiorczych [1] - do oznaczania lamp stosuje się kombinacje liter i cyfr. Pierwsza litera znaku określa tzw. serię lamp i charakteryzuje lampę pod względem żarzenia, druga (ewent. trzecia) określa konstrukcję, a także przeznaczenie lampy, cyfra oznacza numer kolejny w procesie rozwojowym danego typu lampy. Zestawienie stosowanych liter podaje poniższa tabelka.

Pierwsza litera seria lamp	Druga litera Konstrukcja lampy	Cyfra i numer bieżący
A - lampy 4-woltowe na pr.zm.	A - d i o d a	
	B - duo - dioda	
	C - trioda, oprócz lampy głośnik.	Jeżeli w przyszłości ukaże się inny typ lampy o tej samej konstrukcji, wówczas ten typ otrzyma następny numer bieżący, zachowując przy tym te same litery.-
C - lampy o prądzie żarzenia 200mA dla sieci prądu st.i zmien. oraz lampy samochodowe 13 V	D - trioda głośnikowa	
	E - tetroda	
	F - pentoda w.cz.	
	H - heksoda	
	K - o k t o d a	
E - lampy o napięciu żarzenia 6,3 V do odbiorników samochodowych.	L - pentoda głośn.	
	M - wskaźnik strojenia	
	X - 2-kierunkowa gazowana lampa prostownicza	
K - lampy bateryjne 2-woltowe.	Y - jednokierunkowa lampa prost.	
	Z - dwukierunkowa lampa prostow.	

Np. lampa ze znakiem AL5 jest pentodą głośnikową (litera L), żarzoną prądem zmiennym o napięciu 4 V (litera A); cyfra 5 oznacza, że jest to piąty model tej lampy. Lampa ABC1 jest lampą kombinowaną zawierającą podwójną diodę (litera B) oraz (pojedynczą) triodę (litera C) [2].

W każdej serii znajdują się jednakowe zasadnicze typy lamp, jeżeli chodzi o konstrukcję. I tak np.: we wszystkich seriach znajdziemy oktodę, lampę głośnikową itd. Lampy jednakowego przeznaczenia, należące do różnych serii, różnią

---

1) Philips, Valvo, Telefunken.-
2) Wytwórnia Tungsram do powyższych oznaczeń dodaje lit.T, np. TAL5.-

się więc tylko pod względem żarzenia.

Lampy serii A są żarzone pośrednio, z wyjątkiem triody głośnikowej AD1, która jest żarzona bezpośrednio. Prąd żarzenia wynosi od 0,5 A do 2 A, zatem moc żarzenia od 2 do 8 W. Największą moc pobiera, oczywiście, lampa głośnikowa, która wymaga co najmniej 3 W. Włókna lamp łączy się równolegle.

Lampy serii C są żarzone pośrednio. Ponieważ przy zasilaniu żarzenia z sieci prądu stałego włókna lamp należy łączyć szeregowo, a to celem lepszego wykorzystania napięcia sieciowego, przeto wszystkie lampy tej serii posiadają jednakowy prąd żarzenia - 0,2 A. Napięcia żarzenia są różne (13 V; 20 V; 30 V). Lampy tej serii o napięciu żarzenia 13 V są także przeznaczone do odbiorników samochodowych dla wozów posiadających baterię starterową o napięciu 13 V. Włókna lamp łączy się w różny sposób (zależnie od typu i liczby lamp odbiornika).

Lampy serii E są przeznaczone do odbiorników samochodowych dla wozów posiadających akumulator starterowy 6 V. Żarzenie - pośrednie. Celem zaoszczędzenia tego akumulatora skonstruowano katody pobierające niewielką moc na żarzenie (przeciętnie około 1,5 W).

Należy zaznaczyć, że w niektórych krajach lampy tej serii są stosowane nie tylko w odbiornikach samochodowych, lecz także w odbiornikach sieciowych na prąd zmienny oraz w odbiornikach uniwersalnych. Zastępują więc one lampy serii A.1) Lampy te tworzą tzw. "serię czerwoną".

Lampy serii K są lampami żarzonymi, oczywiście, bezpośrednio. Prąd żarzenia wynosi zależnie od typu od 0,05 do 0,265 A. Ze względu na niewielki prąd żarzenia włókno katody jest bardzo cienkie i dlatego łatwo może wpaść w wibracje mechaniczne, zwłaszcza w odbiornikach przenośnych; powstaje wtedy zjawisko mikrofonowania (p.str.170). Aby temu zapobiec, stosuje się staranną amortyzację podstawki lampowej.

Lampy bateryjne 4-woltowe (seria H) nie są więcej produkowane. Jeżeli były stosowane tak długo, to dlatego, że dopiero stosunkowo niedawno zagadnienie obniżenia napięcia żarzenia - bez pogorszenia właściwości lampy - zostało w sposób odpowiedni rozwiązane.-2)

2. Konstrukcja katody.

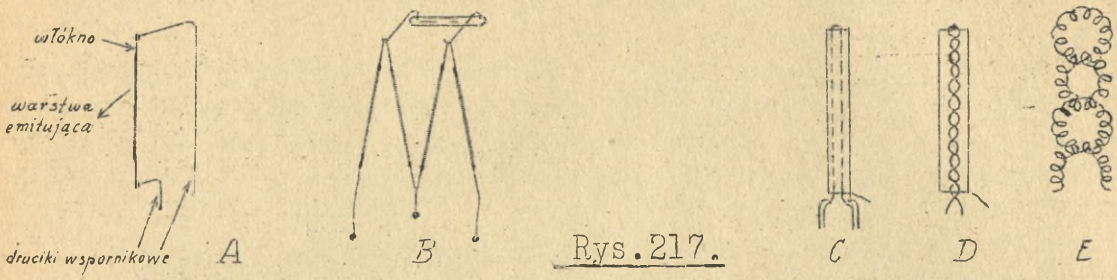
Na rys.217. przedstawiono katody różnych serii. Rys. A przedstawia katodę lampy bateryjnej. Aby zwiększyć emisję oraz nachylenie charakterystyki, powiększa się długość katody

---

1) Zaznacza się tu wpływ techniki amerykańskiej, gdzie obecnie istnieją właściwie dwie serie lamp: a) lampy o napięciu 6,3 V do zasilania z baterii starterowej oraz z sieci pr.zm.i st. oraz b) 2-woltowe lampy bateryjne. Inne serie należą do produkcji dawniejszej. Unifikacja typów powoduje, oczywiście, zmniejszenie kosztów produkcji.-

2) Dawniejsza seria B(prąd żarzenia 180 mA)została zastąpio-

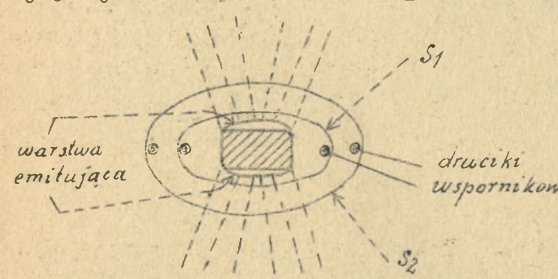
przez zygzakowate poprowadzenie włókna, rys.B; jest to również katoda żarzona bezpośrednio. Katodę żarzoną pośrednio napięciem zmiennym 4 V, w dawniejszym wykonaniu, przedstawia rys.C; podgrzewacz jest przeciągnięty wewnątrz rurki izolacyjnej, na którą jest nałożona rurka metalowa (niklowa lub miedziana), pokryta substancją emitującą. Na rys.D widzimy włókno bifilarne (dwunitkowe) katody żarzonej pośrednio; taki sposób poprowadzenia drucika zapobiega powstawaniu zmiennego pola magnetycznego naokoło katody, tym samym więc zapobiega oddziaływaniu tego pola na siatkę. Rys.E przedstawia katodę, w której drut grzejnika jest podwójnie spiralizowany; ten sposób nawinięcia pozwala umieścić w niewielkiej rurce izolującej drut znacznej stosunkowo długości (lampy o wyż - szym napięciu żarzenia).



Rys.217.

Katoda żarzona pośrednio, ze względu na większą masę, zużywa więcej energii niż katoda żarzona bezpośrednio; ponadto lampa zaczyna działać dopiero po pewnym czasie od chwili włączenia. W lampach dawniejszych czas ten wynosił około 50 sek, w lampach nowych został zredukowany mniej więcej do 25 sek, a to dzięki temu, że nie stosuje się rurki izolującej, a sam grzejnik pokrywa się specjalną masą izolującą i następnie umieszcza go się w rurkę metalową.

Szczególną konstrukcję posiada katoda w lampach głośnikowych większej mocy. Posiada ona mianowicie przekrój owalny i jest pozbawiona warstwy emitującej na powierzchni przylegającej do drucików wspornikowych siatki sterującej (rys.218.) Dzięki temu zmniejsza się nagrzewanie siatki. Ponadto, skutkiem tego, że siatki posiadają również kształt owalny, uzyskuje się korzystniejszy przebieg charakterystyk prądu anodowego, co daje mniejsze zniekształcenie oraz lepsze wykorzystanie lampy. Strumień elektronów zostaje tu zwężony do dwóch wiązek. Rys. 218. przedstawia przekrój poprzeczny katody .



Rys.218.

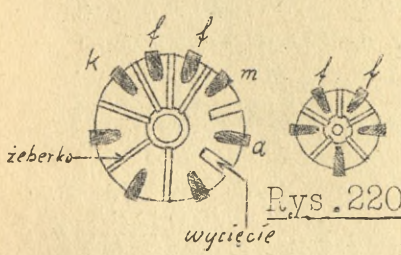
---

na przez serię C; seria F została włączona do serii C. W Niemczech istnieje seria V (prąd żarzenia 50 mA, napięcie żarzenia 55 V), dostosowana do niemieckich odbiorników ludowych.-

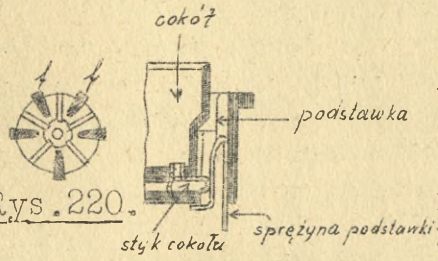
3. Cokoły lampowe.

Wraz z udoskonaleniem lamp ich wymiary stawały się coraz to mniejsze, liczba siatek wzrastała, pojemności wewnętrzne lampy ulegały redukcji. Jednakże cokół pozostawał długi czas bez zmiany. Cokół nóżkowy (wtyczkowy), zwany także europejskim, był dopóty dobry, dopóki liczba styków wynosiła cztery. Ze wzrostem jednak liczby elektrod wzrosła liczba styków w cokole, co z kolei spowodowało powiększenie pojemności cokołu. Ze względu na znaczne zredukowanie pojemności wewnętrznych lampy, pojemność cokołu należało również zmniejszyć. Aby to osiągnąć, rozmieszczono styki kołowo, dzięki czemu zwiększono odstępy między nimi. Jednakże dopiero pojawienie się cokołów beznóżkowych pozwoliło radykalnie zmniejszyć pojemność własną cokołu. Tego rodzaju cokoły posiadają wszystkie nowe typy lamp. Cokół posiada styki płaskie, masywne. Gniazdo (podstawka) cokołu, w postaci niewielkiego jak gdyby kubka, posiada styki sprężynujące, zapewniające bardzo dobry kontakt, nawet przy najsilniejszych wstrząsach. Całkowita wysokość cokołu wynosi 22 mm, natomiast cokołu dawniejszego - 44 mm (łącznie z wtyczkami); dzięki temu wymiary lampy zostały znacznie zredukowane.

Na rys.219. przedstawiono rozmieszczenie styków w cokole ośmiokontaktowym (cokół widziany od dołu). Dzięki małym wymiarom oraz znacznemu oddaleniu styków, pojemności między nimi są bardzo małe. Aby zwiększyć oporność powierzchniową (a więc aby zmniejszyć tzw. straty upływności), umieszczono pomiędzy stykami wystające żeberka. Styki, pomiędzy którymi upływność jest mała (podgrzewacz, katoda, metalizacja zewnętrzna), są do siebie zbliżone w tym celu, aby zwiększyć oporność powierzchniową pomiędzy pozostałymi stykami, bardziej wrażliwymi na upływność. Ponadto styk anodowy jest szczególnie starannie izolowany. Aby zapobiec utlenianiu się styków (powodującemu wzrost oporności), zostają one posrebrzone.



Rys.219.



Rys.221.

Styki cokołu ośmiokontaktowego łączy się z następującymi elektrodami lampy (p.rys.219.): f - f = grzejnik, k - katoda, m - metalizacja zewnętrzna lampy, a - anoda; do pozostałych styków dołączone są inne elektrody lampy w sposób zależny od konstrukcji lampy. W lampach o mniejszej liczbie elektrod niewykorzystane styki są ślepe. W wielu lampach siatka sterująca łączy się ze stykiem umieszczonym na wierzchołku balonu lampowego.

Oprócz cokołu ośmiostykowego stosuje się w niektórych typach lamp cokół pięciostykowy, o mniejszych wymiarach (rysunek 220.).

Podstawka lampy (rys.221.) posiada również b.małą pojemność własną. Aby ułatwić prawidłowe umieszczenie lampy, podstawka posiada na swej górnej krawędzi - przy styku anodowym- stożkowate wklęśnięcie, zaś cokół lampy zaopatrzony jest - również przy styku anodowym - w wystającą wąską listewkę.Jeżeli listewka znajduje się ponad wklęśnięciem, to cokół zajmuje prawidłowe położenie i może być wciśnięty do podstawki. Rys. 221 przedstawia częściowy przekrój podstawki z wciśniętym cokołem.-

4. Balon.

Lampy europejskie posiadają balon szklany. W Ameryce oprócz lamp z balonem szklanym są produkowane lampy z balonem metalowym (lampy metalowe). Pod względem właściwości elektrycznych lampy metalowe bynajmniej nie przewyższają lamp szklanych. Większa wytrzymałość mechaniczna balonu metalowego nie daje żadnej większej korzyści, albowiem procent lamp szklanych, unieruchomionych skutkiem stłuczenia balonu, jest znikomo mały. Wprawdzie wymiary lampy metalowej są niewielkie, ale lampę szklaną można bez trudności zmniejszyć, o ile to z jakichkolwiek względów jest konieczne lub pożyteczne.Aczkolwiek lampy metalowe posiadają mniejszą pojemność wewnętrzną lamp szklanych amerykańskich, jednakże z trudem dorównuje pod tym względem lampom europejskim.

Lampa metalowa zawdzięcza swoje powstanie przede wszystkim względom konkurencyjnym. Jej fabrykacja wymagała pokonania olbrzymich trudności technicznych. Trudności te zostały przezwyciężone i obecnie na rynku amerykańskim konkuruje ona skutecznie z lampą szklaną.-

- ROZDZIAŁ XV -

Elektroakustyka

A. Głośniki

Ponieważ zadaniem głośnika jest wytworzyć znacznie większą energię akustyczną, przeto wymiary jego muszą być większe niż wymiary słuchawki.

Celem uzyskania dobrej sprawności [1] powierzchnia zetknięcia membrany z powietrzem powinna być duża. Zależnie od konstrukcji głośnika - sprawność wynosi od 1 do 10%.

Każdy głośnik składa się z trzech zasadniczych części,

---

1) Pod sprawnością głośnika rozumiemy stosunek energii,wypromieniowanej w postaci fal głosowych, do energii elektrycznej, doprowadzonej do głośnika. Ta energia elektryczna jest mocą użyteczną (wyjściową) odbiornika, wzgl. wzmacniacza.-

mianowicie:

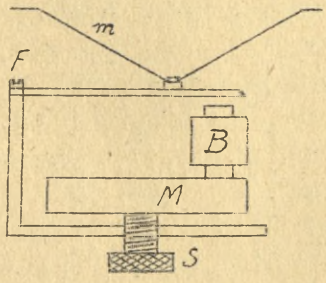
1. urządzenia, przetwarzającego drgania elektryczne na drgania mechaniczne; urządzenia te są typu magnetycznego lub
2. elektrodynamicznego;
2. urządzenia, przetwarzającego drgania mechaniczne na fale głosowe; jest nim membrana;
3. urządzenia, nadającego falom głosowym odpowiedni kierunek; może być nim ekran, tuba, lub tzw. rozsiewacz dźwięków.-

1. Głośnik elektromagnetyczny.

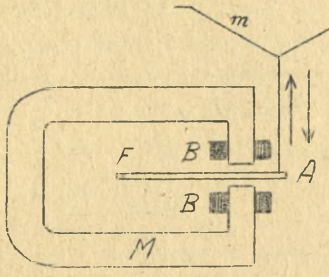
Głośnik elektromagnetyczny jest zasadniczo podobny do słuchawki, różni się od niej wymiarami.

Zasadniczy schemat najprostszego głośnika elektromagnetycznego (systemu Brown'a) przedstawia rys.222. Na magnes stały M nasadzony jest elektromagnes B, którego uzwojenie jest zasilane prądem o częstotliwości akustycznej. Nad elektromagnesem znajduje się sprężynująca kotwiczka, umocowana nieruchomo w punkcie F. Do kotwiczki jest przytwierdzony stożek aluminiowy m. Drgania kotwiczki A, wywołane prądem doprowadzonym do elektromagnesu, pobudzają do drgań stożek i dzięki temu, że jego powierzchnia styku z powietrzem jest stosunkowo duża, uzyskuje się odpowiednio silne drgania cząsteczek powietrza. Przy pomocy śruby S można zmieniać odległość pomiędzy elektromagnesem a kotwiczką, a tym samym zmieniać siłę dźwięków.

Udoskonaleniem powyższego głośnika jednobiegunowego jest głośnik dwubiegunowy, rys.223. M jest to magnes stały, zaopatrzony w uzwojenia (B), połączone ze sobą, do których doprowadza się prąd małej częstotliwości z odbiornika.



Rys.222.

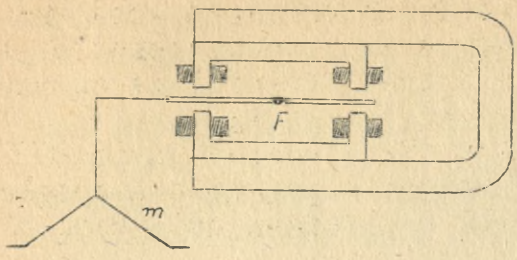


Rys.223.

Dalsze wreszcie udoskonalenie stanowi głośnik czterobiegunowy, rys.224., w którym każda para biegunów wywiera przeciwne oddziaływanie na kotwiczkę.

Opór uzwojenia jest rzędu kilku tysięcy omów i dlatego może ono być bezpośrednio włączone w obwód anodowy lampy wyjściowej.

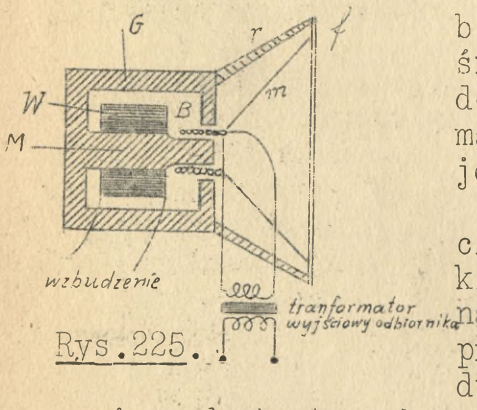
Wprawdzie głośnik elektromagnetyczny odznacza się dobrą sprawnością i dostateczną czułością, jednakże wprowadza on, obok zniekształceń amplitudy, także zniekształcenia częstotliwości, albowiem niedostatecznie reaguje na niższe częstotliwości akustyczne.



Rys.224.

2. Głośnik elektrodynamiczny.

Jest on obecnie szeroko rozpowszechniony. Głośnik ten posiada ruchomą cewkę umieszczoną w polu magnetycznym (pole wzbudzające) silnego elektromagnesu lub magnesu stałego. Rys.225. przedstawia schematycznie konstrukcję takiego głośnika z elektromagnesem. Stożkowata membrana m (wykonana np. z kartonu) jest przy pomocy krążka filcowego f umocowana do ramy r tak, że może się łatwo poruszać. Do stożka jest umocowana zwojnica B, zasilana przez transformator wyjściowy radioodbiornika. W jest uzwojeniem wzbudzającym, do którego doprowadza się prąd stały. G stanowi oprawę żelazną głośnika. Stałe pole magnetyczne elektromagnesu zamyka się następująco: rdzeń M, masa żelazna (powierzchnia zakreskowana) G, pierścieniowa szczelina, w której znajduje się zwojnica B, rdzeń M. Pod wpływem prądu akustycznego, przepływającego przez cewkę B, wykonuje ona ruch drgający wzdłuż swej osi, ruch ten udziela się, oczywiście, stożkowi m.



Rys.225.

Ponieważ opór cewki jest najczęściej bardzo mały (5 do 20 omów), przeto głośnik musi być - jak wiemy - dopasowany do lampy końcowej przy pomocy transformatora o odpowiedniej przekładni, który jest najczęściej wbudowany w głośnik.

Głośnik odznacza się dobrą wiernością odtwarzania tonów, zarówno wysokich, jak i niskich. Ze względu jednak na słabe pole magnetyczne wytwarzane przez cewkę B, czułość jego nie jest duża i dlatego moc prądu akustycznego powinna być stosunkowo znaczna (rzędu co najmniej 0,5 W).

Jeżeli chodzi o uzwojenie wzbudzające W, może tu być wykorzystane bądź niskie, bądź wysokie napięcie. W pierwszym przypadku napięcie wynosi kilka woltów, natężenie 0,5-1 A. Stosuje się odpowiednie prostowniki i filtry. Zasilanie wysokim napięciem (100-400 V) odbywa się również przy pomocy odpowiedniego prostownika; natężenie prądu wzbudzającego wynosi 20-200 mA. Opór omowy uzwojenia wzbudzającego wynosi - zależnie od typu głośnika - od 1000 do 20000 omów (w wielu głośnikach - 2500 omów). Do wygładzenia wyprostowanego prądu może być w pewnych wypadkach wykorzystane uzwojenie wzbudzające, jako dławik filtru.

Konieczność zasilania uzwojenia wzbudzającego jest w pewnych przypadkach połączona z trudnościami (np. odbiorniki

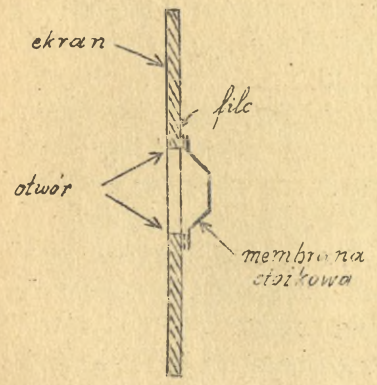
bateryjne). Toteż skonstruowano głośniki elektrodynamiczne, ze stałym magnesem, wykonanym ze stali z domieszką kobaltu, dzięki czemu wymiary magnesu zostały zredukowane, ponadto jego trwałość została znacznie powiększona. Głośniki te są obecnie coraz częściej stosowane.

Największe głośniki elektrodynamiczne pobierają do 20 W. Dla przeciętnego pokoju mieszkalnego moc doprowadzona do głośnika (moc wyjściowa) powinna wynosić - zależnie od typu głośnika - 0,2 do 0,5 W.-

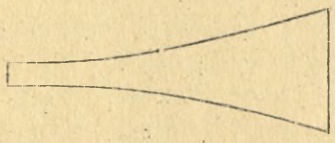
3. Ekrany, tuby.

Celem nadania falom głosowym odpowiedniego kierunku stosuje się w głośnikach ekrany i tuby. Dotyczy to szczególnie głośników większej mocy (megafonów).

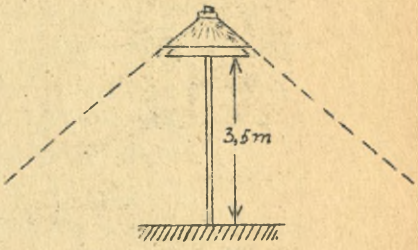
Ekran posiada kształt płaskiej tarczy, rys.226., wykonanej z drzewa (grubość 2 cm i więcej). Średnica tarczy powinna wynosić co najmniej ćwierć długości fali najniższej częstotliwości, która ma być wypromieniowana przez głośnik (dla częstotliwości 100 okr/s średnica powinna wynosić około 100 cm, dla 60 okr/s - 160 cm, dla częstotliwości 40 okr/s - 240 cm). Ekran odznacza się promieniowaniem kierunkowym, prostopadłym do jego powierzchni.



Rys.226.



Rys.227.



Rys.228.

Tuba posiada przeważnie przekrój o przebiegu wykładniczym, rys.227, co ma na celu osłabić drgania własne tuby, powodujące zniekształcenia.

Jeżeli chodzi o równomierne promieniowanie dźwięków we wszystkich kierunkach (w płaszczyźnie poziomej), głośniki zaopatruje się w tuby, zwane "rozsiewaczami" dźwięków, rys.228. Oprócz dużych głośników tego typu (moc 20 W), budowane są również głośniki mniejsze, znajdujące coraz szersze zastosowanie w radioodbiornikach.-

4. Sposoby łączenia głośnika ze wzmacniaczem.

Należy tu mieć na uwadze warunek dopasowania głośnika, jako odbiornika energii, do lampy wyjściowej, stanowiącej źródło energii (p.str.99, § 27.). Jeżeli prąd anodowy jest duży i istnieje możliwość nasycenia magnetycznego rdzenia transformatora, stosuje się układ wg rys.101.-

B. Urządzenie gramofonowe w radioodbiorniku

W wielu radioodbiornikach możliwe jest odtwarzanie muzyki z płyt gramofonowych. Do tego celu niezbędny jest tzw. adapter.-

5. Adapter.

Jest to przyrząd, przy pomocy którego drgania mechaniczne zostają przekształcone na drgania elektryczne. Posiada on kształt dźwigni, której jedno ramię posiada igłę gramofonową, ślizgającą się po powierzchni płyty gramofonowej, do drugiego zaś ramienia przytwierdzona jest niewielka kotwiczka z metalu magnetycznego, poruszająca się (pod wpływem drgań ramienia z igłą) w polu magnetycznym elektromagnesu, podobnego do elektromagnesu słuchawki. Drgania kotwiczki są przyczyną zmian wielkości strumienia magnetycznego, przecinającego uzwojenia elektromagnesu; skutkiem tego w uzwojeniu powstaje siła elektromotoryczna indukowana (rzędu 0,5-1 V); amplituda tej siły waha się, oczywiście, w rytmie dźwięków utrwalonych na płycie gramofonowej.

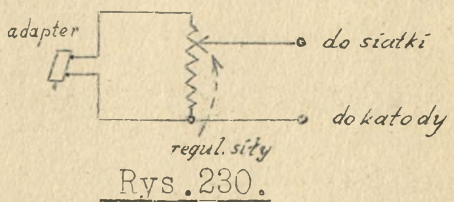
Uzwojenie adaptera zostaje połączone z obwodem siatki wzmacniacza małej częstotliwości, np. w sposób wskazany na rys.230; jak widzimy, jest tu możliwa zmiana napięcia, wzbudzającego obwód siatkowy, a więc regulacja siły dźwięków.

Celem wzmocnienia napięcia adaptera tak, aby można było wykorzystać głośnik, konieczny jest dwustopniowy wzmacniacz małej częstotliwości. Zostaje wykorzystany do tego celu wzmacniacz m.cz. radioodbiornika. Wzmacniacz wielkiej częstotliwości jest, oczywiście, wówczas nieczynny.

Sposób załączania adaptera przedstawia również przykład na rys.196. (zaciski oznaczone "Ad").



Rys.229.



Rys.230.

W mniejszych radioodbiornikach, posiadających tylko jeden stopień wzmocnienia małej częstotliwości, wykorzystuje się lampę detekcyjną, jako wzmacniacz małej częstotliwości.

Adapter włącza się w jej obwód siatkowy. W niektórych aparatach zostaje równocześnie przesunięty początkowy punkt pracy w dogodniejsze miejsce charakterystyki, aby uniknąć zniekształceń.

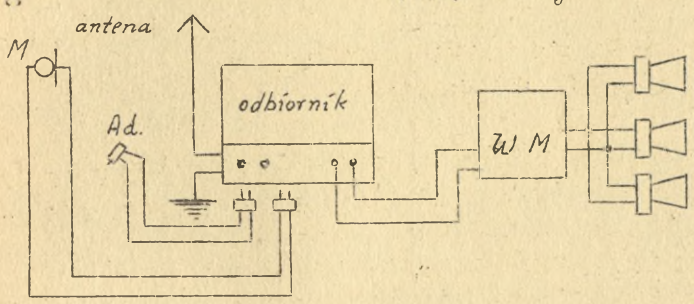
Opisany adapter, najczęściej stosowany w praktyce, jest typu elektromagnetycznego (rys.229.).-

C. Instalacje głośnikowe

6. Układ zasadniczy.

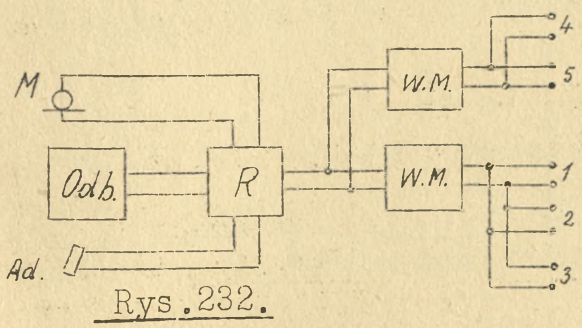
Celem instalacji głośnikowej jest umożliwić audycję większej liczbie słuchaczów. Głośniki mogą być połączone bądź ze zwykłym radioodbiornikiem, zasilanym przez antenę odbiorczą, bądź też tylko ze wzmacniaczem małej częstotliwości, zasilanym przez adapter lub mikrofon. Każda instalacja głośnikowa zawiera więc trzy zasadnicze części: źródło częstotliwości akustycznej (radioodbiornik, mikrofon, adapter), wzmacniacz i głośnik lub głośniki.

Rys.231. przedstawia zasadniczy schemat mniejszej instalacji, pozwalającej korzystać na przemian bądź z radioodbiornika, bądź z mikrofonu (M), bądź z adaptera (Ad). Mikrofon może być w najprostszym przypadku włączony na miejsce adaptera. Głośnik lub głośniki można połączyć bądź bezpośrednio z radioodbiornikiem, bądź też za pośrednictwem dodatkowego wzmacniacza (WM) w tym mianowicie przypadku, gdy moc wyjściowa odbiornika jest niewystarczająca do zasilania głośników. Wzmacniaczy takich może być zresztą kilka do zasilania różnych grup głośników. W lepszych instalacjach dodatkowe wzmacniacze mocy są niezależne od radioodbiornika, rys.232.;



Rys.231.

R jest tu urządzeniem rozdzielczym, pozwalającym włączyć na przemian mikrofon, radioodbiornik lub adapter; mamy tu dwa wzmacniacze (WM); głośniki dołącza się do zacisków oznaczonych cyframi od 1-5.



Rys.232.

Dalszym udoskonaleniem powyższego schematu jest włączenie pomiędzy urządzenie rozdzielcze R a wzmacniacze WM - tzw. stopnia przedwzmacniającego albo sterującego. Uzyskuje się w ten sposób, po pierwsze, możliwość wysterowania kilku wzmacniaczy mocy (zasilających kilka grup głośników), po dru-

gie uzyskuje się pewną rezerwę mocy, którą można wykorzystać np. w przypadku zastosowania mikrofonu kondensatorowego.(p. niżej §).-

7. Określenie mocy potrzebnej do zasilania głośników.

Wielkość mocy elektrycznej, niezbędnej do zasilania głośników, zależy od wielkości przestrzeni, którą ma pokryć promieniowanie głośników, od czasu trwania podźwięku oraz od poziomu zakłóceń zewnętrznych, istniejących w danej przestrzeni. Dla audycyj muzycznych podźwięk jest zjawiskiem korzystnym, dla audycyj mówionych jest jednak niekorzystny, gdyż utrudnia zrozumienie wyrazów. Dla sal o objętości do 5000 m^3 czas trwania podźwięku wynosi około 1 sekundy; dla sal o objętości 500-5000 m^3 wynosi około 1,3 sek. Jeżeli podźwięk jest bardzo wyraźny, powyższe liczby należy mnożyć przez dwa. Jeżeli podźwięku prawie nie ma, bierze się 1/3 tych liczb. Podźwięk zostaje stłumiony w salach wypełnionych publicznością, a także przez różne przedmioty znajdujące się na sali (np. dekoracje).

Dla pomieszczeń zamkniętych, spokojnych i dla przeciętnych głośników moc Pg, niezbędna do zasilania głośników, może być określona ze wzoru przybliżonego: 1)

$$Pg = \frac{V}{200 \times p} \text{ (watów)},$$

gdzie V - jest to objętość sali w m^3, p - czas trwania w sekundach podźwięku. W pomieszczeniach mniej spokojnych (np.sala jadalna) potrzebna jest moc trzykrotnie większa, wreszcie w pomieszczeniach hałaśliwych (sala tanca) - nawet dziesięciokrotnie większa.2)

Dla przestrzeni otwartych, gdzie zjawisko podźwięku nie istnieje, moc Pg potrzebną do zasilania głośników można określić ze wzoru przybliżonego:

$$Pg = \frac{S}{20} \text{ (watów)},$$

gdzie S jest to powierzchnia w m^2, która ma być pokryta promieniowaniem głośników. W przestrzeni otoczonej domami lub drzewami moc musi być większa. W miejscach hałaśliwych (ulica, plac) moc musi być zwiększona 10-krotnie.

Moc Pg można określić w zależności od liczby słuchaczów (w przestrzeni otwartej) ze wzoru:

$$Pg = \frac{n}{60} \text{ (watów)},$$

gdzie n jest to liczba słuchaczów. Przyjmuje się, że trzy osoby zajmuje powierzchnię 1 m^2.

Dla głośników o dużym współczynniku sprawności (większe głośniki, megafony) można wykorzystać następujące liczby przy-

---

1) Dane f."Telefunken".
2) Przy uwzględnieniu współczynnika sprawności głośników wzór ten posiada postać: $Pg = \frac{V}{10^4 \cdot \eta \cdot p}$ gdzie V =obję-

bliżone:

- na zebraniach w pomieszczeniach zamkniętych potrzebna moc wynosi 1 wat na 100 słuchaczów;
- w przestrzeni otwartej o znacznych wymiarach oraz w wielkich salach potrzebna moc wynosi 1 wat na 35 m^2 powierzchni.

Wielkie głośniki (ponad 15 W), odznaczające się dużą sprawnością, potrzebują do zasilania mniej więcej jedną trzecią powyższych wartości mocy, przy głośnikach małych ("pokojowych") do uzyskania tej samej mocy akustycznej potrzebna jest moc mniej więcej trzy razy większa od liczb podanych.

Należy mieć na uwadze, że głośnik może być zasilany mocą mniejszą od normalnej, jednakże zasilanie mocą większą nie tylko daje audycję zniekształconą, ale także skraca żywot głośnika.

Jednym z zasadniczych warunków dobrej audycji jest prawidłowe rozmieszczenie głośników. Działanie ich powinno obejmować tylko ten obszar, na który ma być przekazana audycja (głośniki o promieniowaniu kierunkowym). Dobre wyniki daje również stosowanie zamiast jednego silnego głośnika, kilka głośników mniejszych, rozstawionych w różnych punktach danej przestrzeni. Jeżeli na sali znajduje się mikrofon instalacji głośnikowej, to nieprawidłowe umieszczenie mikrofonu może doprowadzić do akustycznego sprzężenia zwrotnego, powodującego mniej lub więcej silne zniekształcenie. Toteż mikrofon nie powinien znajdować się w polu bezpośredniego promieniowania głośnika.-

8. Dopasowanie głośników.

Aby wzmacniacz oddał do obwodu zewnętrznego, tzn. do głośników, największą moc, całkowity opór głośników, musi być równy oporowi wyjściowemu wzmacniacza. Opór całkowity głośników może być większy od oporu wyjściowego wzmacniacza, nie może jednak być mniejszy. Oporem głośnika jest oporność pozorna jego uzwojeń (dla częstotliwości 800 obr/sek).

Jak już wyjaśniono w § 27. na str.99., dopasowanie głośnika elektrodynamicznego do lampy końcowej odbywa się za pośrednictwem transformatora obniżającego napięcie. Jeżeli długość linii łączącej głośnik ze wzmacniaczem jest niewiększa niż 50 m, głośnik może być połączony ze wzmacniaczem za pośrednictwem tego właśnie transformatora. Dla przewodów o długości poniżej 10 m przekrój przewodów powinien wynosić 1,5 mm^2, dla przewodów dłuższych - co najmniej 2,5 mm^2.

Przy odległościach ponad 50 m - celem zmniejszenia strat w linii - wzmacniacz powinien posiadać specjalny transformator wyjściowy, podwyższający napięcie, do którego dołącza

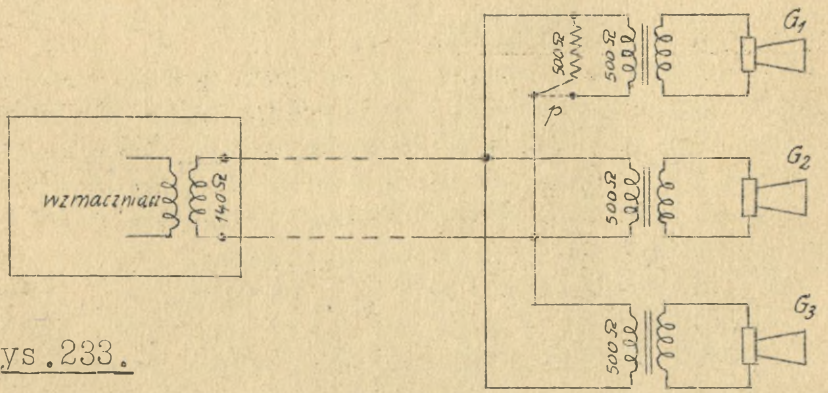
---

tość sali w m^3, p = czas trwania podźwięku w sekundach, η = współczynnik sprawności głośników, który dla głośników beztubowych wynosi w przybliżeniu 0,02 do 0,05, zaś dla głośników tubowych - 0,04 do 0,1.-

się linię z głośnikami. Głośniki dołącza się do linii również za pośrednictwem transformatorów. Uzwojenie wtórne transformatora wzmacniacza posiada więc opór większy (100-500 omów), jak w przypadku poprzednim.

Jeżeli np. oporność wyjściowa wzmacniacza wynosi 15 omów, to można załączyć albo trzy głośniki o oporze 6 omów każdy, przy czym należy je połączyć ze sobą szeregowo (opór wypadkowy będzie więc większy od najkorzystniejszego, co jest dopuszczalne), albo 2 głośniki o oporze 30 omów każdy, przy czym trzeba je połączyć ze sobą równolegle. Przy większej liczbie głośników (kilka - kilkanaście) należy je zawsze połączyć tak (szeregowo, równolegle lub sposobem mieszanym), aby oporność całości była równa oporności wyjściowej wzmacniacza. Należy podkreślić, że bierzemy tu pod uwagę głośniki o jednakowym oporze (jednakowej mocy). 1)

Jeżeli głośniki są załączone do linii za pośrednictwem transformatorów (linie dłuższe), to i w tym przypadku opór wypadkowy całości powinien być dostosowany do oporu wyjściowego wzmacniacza. Pomiędzy stopniem końcowym wzmacniacza a każdym głośnikiem znajdują się w tym przypadku dwa transformatory: jeden pomiędzy tym stopniem a linią, drugi pomiędzy linią a głośnikiem. Opór wypadkowy uzwojeń pierwotnych tych drugich transformatorów powinien być dopasowany (równy) do oporu uzwojenia wtórnego pierwszego transformatora. Na rys. 233. przedstawiono zasadniczy schemat instalacji głośnikowej, zasilanej przez wzmacniacz za pośrednictwem linii długiej. Przyjęto, że głośniki są jednakowe. Jak widzimy, opór



Rys.233.

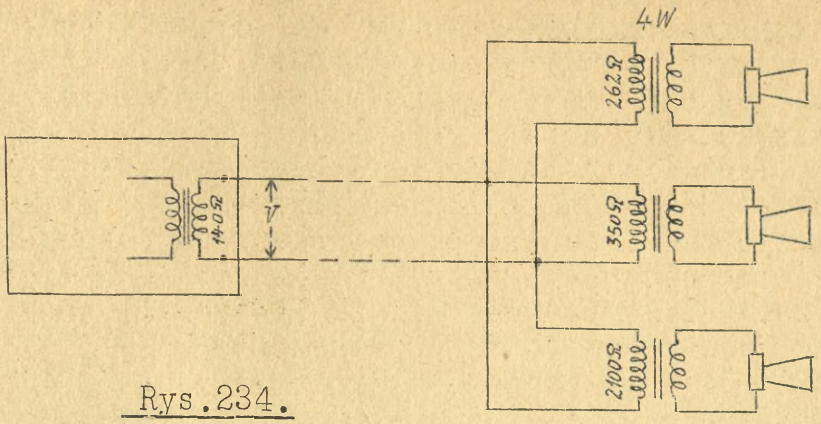
wypadkowy uzwojeń pierwotnych równa się w przybliżeniu oporowi wyjściowemu wzmacniacza. Gdy stawia się żądanie, aby wyłączenie jednego z głośników nie wpływało na siłę dźwięków głośników pozostałych, to na miejsce głośnika wyłączonego włącza się opór zastępczy (R), równoważny oporności wejściowej wyłączonego głośnika. W przykładzie powyższym do włączania oporu służy przełącznik p.

W przypadku, gdy głośniki są niejednakowej mocy, każdy z nich musi być oddzielnie dopasowany do linii. Wyjaśnimy to

---

1) Jeżeli przy łączeniu mieszanym na jedną z grup przypadnie mniejsza liczba głośników niż w grupach pozostałych, to brakujące głośniki można zastąpić oporami omowymi tak, aby opór każdej grupy był jednakowy.-

na przykładzie, rys.234. Przypuśćmy, że moc wyjściowa wzmacniacza wynosi 7,5 W, jego opór wyjściowy - 140 omów.Przy pełnym wykorzystaniu wzmacniacza oddaje on do linii moc 7,5 W.



Rys.234.

Ze wzoru: $P = \frac{V^2}{R}$ znajdziemy napięcie V na wyjściu wzmacniacza, mianowicie: $V = \sqrt{P.R} \cong 32$ V. Przy równoległym połączeniu głośników, uzwojenie pierwotne każdego z nich jest więc zasilane napięciem 32 V. Przypuśćmy, że załączone są trzy głośniki: jeden 4-watowy, jeden 3-watowy i jeden 0,5-watowy.Aby przy napięciu V = 32 V odbiornik (głośnik) pobrał moc P_1 = = 4 W, jego opór R_1 powinien wynosić: $\frac{V^2}{P_1} = \frac{32^2}{4} \cong 262$ omy.

W ten sam sposób znajdziemy dla drugiego głośnika: $R_2 = \frac{V^2}{P_2} = \frac{32^2}{3} \cong 350$ omów; dla trzeciego: $R_3 = \frac{V^2}{P_3} = \frac{32^2}{0,5} \cong 2100$ omów.

Nie jest bynajmniej konieczne ścisłe przestrzeganie otrzymanych wyników; można je zaokrąglić w górę; np. dla uzwojenia pierwszego - do 300 omów, drugiego - do 400 omów.

W powyższych rozważaniach opór linii, jako nieznaczny, nie był brany w rachubę.

Do instalacyj głośnikowych stosuje się obecnie coraz to częściej głośniki dynamiczne ze stałym (stalowym) magnesem. Odznaczają się one taką samą wiernością odtwarzania i taką samą sprawnością, co głośniki dynamiczne ze wzbudzeniem obcym, w eksploatacji są zaś prostsze i tańsze, gdyż nie wymagają zasilaczy (prostowników) do wzbudzenia.

Do łączenia głośników ze wzmacniaczem stosuje się przewodnik miedziany dwużyłowy, ogumowany. W instalacjach stałych mogą być stosowane inne typy przewodników dobrze izolowanych, np. zwykłe przewody silnoprądowe (jak w instalacjach oświetleniowych). Przewodniki mogą być ekranowane lub nieekranowane. Dla mocy poniżej 150 W i odległości poniżej 1000 m - przekrój przewodnika powinien wynosić 1,5 mm^2,dla odległości większych - 2,5 mm^2.-

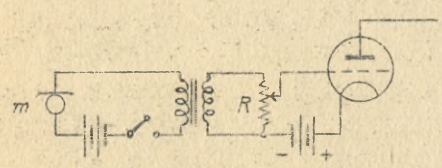
9. Mikrofon.

Zadaniem mikrofonu jest przekształcić energię fal głosowych na energię elektryczną.

a. Mikrofon węglowy. Składa się on z membrany węglowej i proszku (kulek) węglowych, zamkniętych w puszce metalowej. Jedna powierzchnia membrany styka się z proszkiem. Pod wpływem fal głosowych membrana drga i wobec tego jej nacisk na proszek jest zmienny, w związku z czym zmienia się i opór proszku węglowego: przy większym nacisku opór maleje, przy mniejszym - wzrasta. Wobec tego w obwodzie z mikrofonem, zasilanym przez stałe napięcie będzie płynął prąd tętniący. Do zasilania obwodu mikrofonowego potrzebna jest bateria mikrofonowa, której napięcie zależy od typu użytego mikrofonu.

W prostych urządzeniach głośnikowych, gdy chodzi tylko o zrozumiałość dźwięków, może być z powodzeniem stosowany zwykły mikrofon telefoniczny. Gdy jednak chodzi o odtwarzanie artystyczne (muzyka), należy stosować mikrofony węglowe specjalne o wysokiej jakości. Zwykłe mikrofony telefoniczne do tego celu nie nadają się.

Mikrofon łączy się ze wzmacniaczem za pośrednictwem transformatora podwyższającego napięcie, rys.235. Celem regulacji siły dźwięku można zastosować potencjomierz R (50000-100000 omów), włączony w sposób wskazany na rysunku. Transformator mikrofonowy powinien znajdować się zasadniczo bezpośrednio przy wzmacniaczu, nie zaś przy mikrofonie. Mikrofon łączy się ze wzmacniaczem dobrze izolowanym przewodami o średnicy 0,8 mm. Może to być przewód ekranowany.-



Rys.235.

b. Mikrofon Reiss'a. Zamiast membrany węglowej, posiada on membranę gumową lub mikową. Proszek węglowy umieszczony jest we wgłębieniu ciężkiego bloku marmurowego - lub metalowego.-

c. Mikrofon dynamiczny. W silnym polu magnetycznym znajduje się przewodnik (taśma metalowa lub cewka), poruszający się pod wpływem fal głosowych. Wytworzone w ten sposób w przewodniku napięcie zostaje przekazane do wzmacniacza za pośrednictwem transformatora podwyższającego napięcie. Wzmacniacz musi posiadać więcej stopni niż w przypadku mikrofonu węglowego, gdyż napięcie akustyczne jest tu bardzo małe.-

d. Mikrofon kondensatorowy. Składa się z dwóch płyt kondensatorowych, z których jedna jest nieruchoma, druga zaś utworzona jest przez cienki arkusz aluminiowy, który zostaje wprawiony w drgania przez fale głosowe. Powstające w ten sposób zmiany pojemności można wykorzystać do wytworzenia napięcia zmiennego. Ze względu na bardzo małą wartość tego napię-

cia konieczny jest wzmacniacz mikrofonowy o dużym wzmocnieniu napięciowym; tworzy on zwykle jedną całość z mikrofonem (rys.236.) i jest zamknięty w podłużnej puszce.



Rys.236.

Wzmacniacz mikrofonowy zasila z kolei wzmacniacz mocy.

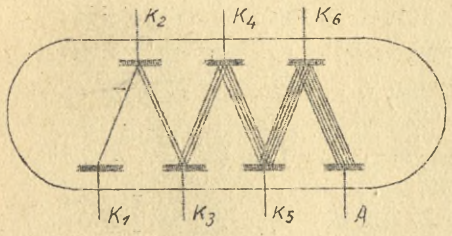
Mikrofon dynamiczny, szczególnie zaś mikrofon kondensatorowy, stosuje się w instalacjach wyższej klasy.[1]

- ROZDZIAŁ XVI -

Nowe kierunki w technice lamp odbiorczych

1. Multiplikator elektronowy.

Działanie układu opiera się na zjawisku emisji wtórnej. Rys.237. przedstawia zasadniczy układ. W bańce szklanej, pozbawionej powietrza, znajduje się pewna liczba elektrod: K_1 do K_6 i A. Elektrony emitowane przez katodę K_1 zostają przyspieszone przez wyższy potencjał elektrody K_2, której powierzchnia jest pokryta substancją o dużej emisji wtórnej, tak że liczba elektronów wtórnych wielokrotnie przewyższa liczbę elektronów pierwotnych. Elektrony wtórne elektrody K_2 zostają z kolei przyspieszone przez jeszcze wyższy potencjał elektrody K_3; zwiększony strumień elektronowy zostaje z kolei skierowany ku elektrodzie K_4 itd. Każda następna elektroda posiada wyższy potencjał od poprzedniej i wytwarza większy strumień elektronowy. Do anody A dochodzi strumień elektronowy wielokrotnie (milion) razy większy od strumienia pierwotnego. W ten sposób można teoretycznie uzyskać wymagane do uruchomienia głośnika wzmocnienie przy pomocy jednej tylko lampy, bez potrzeby stosowania organów sprzęgających.



Rys.237.

Układy z multiplikatorem nie wyszły jeszcze poza stadium badań laboratoryjnych.-

2. Renoda.

Naprzeciw katody żarzonej pośrednio znajduje się adnoda pomocnicza, z bardzo małym otworem pośrodku, przez który prze-

---

1) Wymienione rodzaje mikrofonów znajdują zastosowanie także w nadawczych stacjach radiofonicznych.-

pływa strumień elektronów w postaci wąziutkiego promienia. Dzięki ogromnemu pędowi, elektrony przelatują poza anodę pomocniczą, gdzie wpadają w obszar oddziaływania elektrod umieszczonych z boku i posiadających pewien stały potencjał ujemny; skutkiem tego pęd elektronów zostaje do tego stopnia zmniejszony, że osiąga się bardzo silne działanie sterujące tych elektrod, a więc duże nachylenie. Na drugim końcu lampy znajduje się właściwa anoda, na której, w zależności od wielkości zmiennego potencjału elektrod bocznych, ląduje mniejsza lub większa liczba elektronów. Zaletę układu ma stanowić brak prądu w obwodach elektrod - oprócz, naturalnie, obwodu anody właściwej - oraz brak zakrzywienia dolnego charakterystyki. W rzeczywistości jednak zakrzywienie to istnieje.

Pod względem wzmocnienia i mocy renoda ustępuje znacznie pentodzie.-

D O D A T E K

Podział fal [1)]

Nazwa fal wg długości	Długość fali w metrach	Nazwa fal wg częstotliwości	Częstotliwość w kilocykl.na sek
myriametrowe	powyżej 10000	najniższe	niższe od 30
kilometrowe	10000-1000	niskie	30 - 300
hektometrowe	1000-100	pośrednie	300 - 3000
dekametrowe	100 - 10	wysokie	3000 - 30000
metrowe	10 - 1	b.wysokie	30000-300000
decymetrowe	1 - 0,1	ultra wys.	300000-3000000
centymetrowe	0,1-0,01	najwyższe	3000000-30000000

Uwagi: Fale decymetrowe i centymetrowe praktycznie podaje się w centymetrach, a częstotliwości fal powyżej 3000 kc/sek (niższe od 100 m) - w megacyklach/sek.-

---

1) Ustalony na IV Zjeździe Międzynarodowego Doradczego Komitetu Radiokomunikacyjnego w Bukareszcie w 1937 roku.-

- SPIS RZECZY -

- R O Z D Z I A Ł I. -

Zasada detekcji. Detektory stykowe. Odbiorniki detektorowe

A. Ogólna teoria detekcji

1 - W s t ę p ..... str. 1
2 - Zasada detekcji ..... " 2
3 - Odbiór fal ciągłych i modulowanych ..... " 6
4 - Detekcja prostolinijna, krzywolinijna (kwadratowa) ..... " 8
5 - Czułość detektora ..... " 10
6 - Kondensator wyrównawczy ..... " 10
7 - Praca detektora z załączoną opornością ..... " 11
8 - Dopasowanie odbiornika energii do detektora .. " 12
9 - Słuchawka magnetyczna ..... " 13
10 - Rezonans mechaniczny słuchawki ..... " 15
11 - Słuchawki o dużej i małej oporności ..... " 16

B. Detektory stykowe

12 - Detektory kryształkowe. Detektor galenowy ... " 17
13 - Detektor miedziowy ..... " 18

C. Odbiorniki detektorowe

14 - Zasadnicze typy układów odbiorczych ..... " 19
15 - Dopasowanie obwodu sprzężonego z anteną .... " 22
16 - Antena strojona i niestrojona ..... " 23
17 - Uwagi o odbiornikach detektorowych ..... " 24
18 - Detekcja dwukierunkowa ..... " 25

- R O Z D Z I A Ł II -

Detekcja przy pomocy lampy elektronowej prądów modulowanych

A. Detekcja przy pomocy diody

1 - Zasada działania ..... str. 26
2 - Charakterystyka dynamiczna diody ..... " 27
3 - Charakterystyka statyczna diody ..... " 28

B. Detekcja prądów modulowanych przy pomocy triody

4 - Detekcja anodowa ..... " 31
5 - Ujemna polaryzacja siatki ..... " 32
6 - Detekcja siatkowa ..... " 33
7 - Łączenie obwodu siatki z katodą w detektorze siatkowym ..... " 36
8 - Dobór elementów dla detektora siatkowego ... " 37
9 - Porównanie detekcji siatkowej i anodowej .... " 38
10 - Z a s a d a ..... " 38
11 - Detekcja anodowa ..... " 39
12 - Detekcja siatkowa ..... " 39

- R O Z D Z I A Ł III -
Detekcja prądów niemodulowanych. Układy z reakcją

A. Zasada detekcji

1 - Metoda dudnień elektrycznych ..... str. 40
2 - A u t o d y n a ..... " 43

B. Układy z reakcją

3 - Układ typu Meissnera ..... " 43
4 - Wzmocnienie przy pomocy reakcji ..... " 44
5 - Reakcja twarda, miękka ..... " 47
6 - Drgania relaksacyjne w autodynie ..... " 49
7 - Autodyna jako odbiornik ..... " 50

C. Zasadnicze układy reakcyjne

8 - Sprzężenie zwrotne typu Meissnera ..... " 52
9 - Układ z reakcją oporową ..... " 52
10 - Układ z reakcją typu Reinartz'a ..... " 52
11 - Układ z reakcją typu Schnell'a ..... " 54
12 - Układ z reakcją pojemnościową ..... " 55

- R O Z D Z I A Ł IV -
Lampa trójelektrodowa jako wzmacniacz (amplifikator)

A. Ogólna teoria wzmocnienia (amplifikacji)

1 - Zasada wzmacniania ..... str. 55
2 - Podział wzmacniaczy lampowych ..... " 58
3 - Ogólna charakterystyka poszczeg.typów wzmacn. " 60
4 - Sposoby ujemnej polaryzacji siatki ..... " 63
5 - Charakterystyka statyczna i dynamiczna lampy wzmacniającej ..... " 64

B. Wzmocnienie mocy

6 - Określenie mocy użytecznej we wzmacniaczu typu A. 67
7 - Maksymalna moc użyteczna we wzmacniaczu typu A " 67
8 - Sprawność wzmacniacza typu A ..... " 70
9 - Moc użyteczna i sprawność wzmacn.typu B i C " 73
10 - W n i o s k i ..... " 75
11 - Przybliżone obliczenie mocy użytecznej (wyjściowej) triody ..... " 75
12 - Graficzne określenie mocy przy pomocy charakterystyki roboczej ..... " 76

C. Zniekształcenia we wzmacniaczach lampowych

13.- Rodzaje zniekształceń ..... str. 79
14 - Zniekształcenie amplitudy ..... " 79
15 - Zniekształcenie częstotliwości ..... " 81
16 - Zniekształcenie fazowe ..... " 82
17 - Układ przeciwsobny ..... " 82

D. Sposoby wzmocnienia napięciowego

18 - Sprzężenie oporowe ..... " 86

19 - Wzmacniacz dławikowy ..... str. 89
20 - Autotransformator strojony ..... " 90
21 - Wzmacniacz transformatorowy ..... " 91

E. Wzmacniacz małej częstotliwości

22 - Wzmocnienie małej częstotliwości ..... " 92
23 - Wzmacniacz oporowy ..... " 95
24 - Wzmacniacz dławikowy ..... " 95
25 - Wzmacniacz transformatorowy ..... " 96
26 - Wzmocnienie typu A ..... " 97
27 - Dopasowanie oporu anodowego lampy głośnikowej " 99
28 - Wzmocnienie typu B ..... " 100
29 - Wzmacniacz przeciwsobny małej częstotliwości " 100
30 - Sprzężenie zwrotne m.cz. w lampie głośnikowej " 103

F. Wzmacniacze wielkiej częstotliwości

31 - Charakterystyka ogólna ..... " 103
32 - Wzmacniacze niestrojone ..... " 104
33 - Wzmacnicze rezonansowe ..... " 105
34 - Sprzężenie transformatorowe ..... " 106

G. Sprzężenie zwrotne we wzmacniaczach - str. 107

H. Ogólna charakterystyka triod odbiorczych - str.108

J. Pojemność wejściowa i wyjściowa lampy - str. 108

- R O Z D Z I A Ł V -

Lampy wieloelektrodowe w układach odbiorczych

A. Lampa z siatką przeciwładunkową - str. 109

B. Lampa z siatką osłonną. Lampa ekranowa - str.109

2 - Lampa z siatką osłonną ..... str. 109
3 - Lampa ekranowa ..... " 110
4 - Zastosowanie lampy ekranowej ..... " 112
5 - Wzmocnienie wielkiej częstotliwości ..... " 112
6 - Wzmocnienie małej częstotliwości ..... " 112
7 - Lampa ekranowa jako detektor ..... " 112
8 - Lampa ekranowa jako generator. Sprzężenie elektronowe ..... " 113

C. P e n t o d a

9 - Charakterystyka ogólna ..... " 113
10 - Wzmocnienie wielkiej częstotliwości ..... " 114
11 - Wzmocnienie małej częstotliwości ..... " 115
12 - D e t e k c j a ..... " 118

D. Lampy kombinowane. Lampy wielokrotne

13 - Lampy kombinowane ..... " 120
14 - Lampy wielokrotne ..... " 120

- R O Z D Z I A Ł VI -
Regulacja wzmocnienia. Lampy o zmiennym nachyleniu

A. Regulacja ręczna

1 - Układy z regulacją ręczną ..... str. 121
2 - Lampy o zmiennym nachyleniu ..... " 122

B. Regulacja automatyczna

3 - Zasada działania ..... " 124
4 - Regulacja opóźniona ..... " 126
5 - Automatyczna eliminacja trzasków ..... " 126
6 - Strojenie optyczne ..... " 127
7 - Ciche strojenie ..... " 128
8 - H e k s o d a ..... " 128

- R O Z D Z I A Ł VII -
Układy odbiorcze z przemianą częstotliwości (superheterodyny)

1 - Układy odbiorcze proste i złożone ..... str. 129
2 - Zasada działania ..... " 129
3 - Częstotliwości lustrzane ..... " 131
4 - D w u f a l o w o ś ć ..... " 134
5 - P r e s e l e k c j a ..... " 134
6 - Zasada działania stopnia z przemianą częstotl. " 136
7 - Układy do przemiany częstotliwości ..... " 139
8 - Układy dwulampowe ..... " 139
9 - Układy jednolampowe ..... " 140
10 - O k t o d a ..... " 140
11 - H e k s o d a ..... " 142
12 - H e p t o d a ..... " 142
13 - Nachylenie i wzmocnienie przemiany częstotl. " 143
14 - Wzmacniacz częstotliwości pośredniej ..... " 143
15 - Drugi detektor i oscylator ..... " 144
16 - Strojenie jednogałkowe ..... " 145
17 - Zmiana szerokości krzywej rezonansu ..... " 149

- R O Z D Z I A Ł VIII -
Superreakcja

1 - Zasada działania ..... str. 150
2 - Odbiór fal modulowanych ..... " 153
3 - Odbiór fal ciągłych ..... " 155
4 - Ogólna charakterystyka układów superreakcyjnych " 158
5 - Układy superreakcyjne ..... " 159

- R O Z D Z I A Ł IX -
Układy refleksowe

str. 162

- R O Z D Z I A Ł X -
Zakłócenia w odbiorze

1 - Ogólnie o przyczynach zakłócenia ..... str. 165

2 - Sprzężenie przypadkowe we wzmacniaczach ... str. 165
3 - Sposoby zapobiegania drganiom pasożytniczym we wzmacniaczach ..... " 167
4 - Szumy własne wzmacniacza ..... " 169
5 - Modulacja skrośna ..... " 171
6 - Zakłócenia atmosferyczne ..... " 173
7 - Zwalczanie zakłóceń atmosferycznych ..... " 175
8 - Zakłócenia techniczne ..... " 175
9 - Stosunek pola zakłóceń do pola odbiorczego " 183

- R O Z D Z I A Ł XI -
Odbiorniki lampowe
A. Odbiorniki radiofoniczne

1 - A n t e n a ..... str. 184
2 - Zasilanie odbiorników ..... " 186
3 - Zasilanie z sieci prądu zmiennego ..... " 187
4 - Zasilanie z sieci prądu stałego ..... " 188
5 - Zasilanie odbiorników uniwersalnych ..... " 190
6 - Zasilanie z baterii ..... " 191
7 - Przykłady odbiorników lampowych ..... " 192

B. Odbiorniki radiotelegraficzne i radiotelefoniczne

8 - Odbiorniki stałe ..... str. 197
9 - Odbiorniki przenośne ..... " 198
C. Właściwości elektryczne odbiornika " " 198
D. Zwojnice z rdzeniem żelaznym dla w.cz. - str. 200

- R O Z D Z I A Ł XII -
Odbiorniki dla fal krótkich i ultrakrótkich - str.200

- R O Z D Z I A Ł XIII -
Odbiór kierunkowy. Radiogoniometria

1 - Z a s a d a ..... str. 201
2 - Antena ramowa ..... " 201
3 - Efekt antenowy ramy ..... " 203
4 - Antena Bellini-Tosi ..... " 205
5 - Efekt nocny ..... " 206
6 - Określenie strony kierunku ..... " 207
7 - Zasadnicze sposoby radiopelengacji ..... " 208
8 - Błędy pomiarów goniometrycznych ..... " 208

- R O Z D Z I A Ł XIV -
Klasyfikacja lamp odbiorczych. Konstrukcja zewnętrzna lamp

1 - Serie lamp ..... str. 210
2 - Konstrukcja katody ..... " 211
3 - Cokoły lampowe ..... " 213

3438

4 - B a l o n ..... str. 214

- R O Z D Z I A Ł XV -

Elektroakustyka

A. Głośniki

1 - Głośnik elektromagnetyczny ..... str. 215
2 - Głośnik elektrodynamiczny ..... " 216
3 - Ekrany, tuby ..... " 217
4 - Sposoby łączenia głośnika ze wzmacniaczem.. " 218

B. Urządzenie gramofonowe w radioodbiorniku

5 - A d a p t e r ..... " 218

C. Instalacje głośnikowe

6 - Układ zasadniczy ..... " 219
7 - Określenie mocy potrzebnych do zasilania głośników ..... " 220
8 - Dopasowanie głośników ..... " 221
9 - M i k r o f o n ..... " 224

- R O Z D Z I A Ł XVI -

Nowe kierunki w technice lamp odbiorczych

1 - Multiplikator elektronowy ..... " 225
2 - R e n o d a ..... " 225

- D o d a t e k -

Podział fal - str. 226





BIBLIOTEKA NAUKOWA WAP
2941/3