

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

im. generała broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ II
KATEDRA NR 23

JAWNE

~~AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO~~
~~WARSZAWA~~

Egz. Nr

kmdr por. Jerzy J. NOWAK

WYBRANE ZAGADNIENIA Z RADIONAWIGACJI

(Materiały uzupełniające do wykładów)



WARSZAWA

PAŹDZIERNIK

ARCHIWUM 1968
BIBLIOTEKI SZKOLENIOWEJ
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO

34578



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

im. generała broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ II
KATEDRA NR 23

JAWNE

~~SECRET~~
~~SECRET~~
~~SECRET~~ E

Egz. Nr

kmr por. Jerzy J. NOWAK

WYBRANE ZAGADNIENIA Z RADIONAWIGACJI

(Materiały uzupełniające do wykładów)



WARSZAWA

PAŹDZIERNIK

ARCHIWUM 1968
BIBLIOTEKI SZKOLENIOWEJ
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

34578

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ II

Protokół prot 12617 KATEDRA NR 23



egz. nr

ZATWIERDZAM
SZEF KATEDRY NR 23

Dnia 1968 r.

Kmdr por. Jerzy J. NOWAK

WYBRANE ZAGADNIENIA Z RADIONAWIGACJI
/Materiały uzupełniające do wykładów/



WARSZAWA

Październik

1968 r.

ARCHIWUM
BIBLIOTEKI SZKOLENIOWEJ
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

34578

W S T ę P

Niniejszy skrypt przeznaczony jest głównie dla słuchaczy Oddziału 2 ASG, którzy w czasie studiów zapoznają się w sposób ogólny z teoretycznymi podstawami radionawigacji, zasadami pomiarów nawigacyjnych elementów lotu oraz z urządzeniami i systemami radionawigacyjnymi. Skrypt ten ma służyć jako pomoc w szerszym zrozumieniu materiałów przetwarzanych na wykładach z zakresu radionawigacji, zasad działania urządzeń i systemów radionawigacyjnych oraz metod ich wykorzystania.

Opracowując skrypt pt. "Wybrane zagadnienia z radionawigacji", autor przyjął, że Czytelnik zna w sposób ogólny podstawy radiotechniki, elektroniki, propagacji fal radiowych itp. Uwzględniając te założenia, w skrypcie pominięto szereg zagadnień, które w sposób pośredni łączą się z radionawigacją. Poruszone zostały natomiast te problemy, które w sposób ogólny omawiane są lub tylko sygnalizowane na wykładach z przedmiotu "Radionawigacja", a także te, które wiążą się z urządzeniami i systemami radionawigacyjnymi, lecz nie są omawiane na wykładach z uwagi na ograniczoną ilość godzin, przypadających na ten przedmiot.

1. NIEKTÓRE POJĘCIA I DEFINICJE STOSOWANE W RADIONAWIGACJI

1.1. RADIONAWIGACJA I JEJ ZADANIA

Ogromny rozwój techniki lotniczej - zwłaszcza po drugiej wojnie światowej - spowodował rozwój teoretycznych podstaw nawigacji lotniczej^{x/} oraz wzrost znaczenia i zastosowań urządzeń i systemów radionawigacyjnych.

Rzeczywisty rozwój urządzeń i systemów radionawigacyjnych stosowanych w lotnictwie, wymagał równoległe opracowania skutecznych metod ich wykorzystania do nawigowania samolotem w czasie lotu. Tak powstał nowy kierunek w nawigacji - zwany radionawigacją.

Mówiąc w sposób ogólny, radionawigacja lotnicza jest to dziedzina techniki, która zajmuje się głównie:

- opracowywaniem teoretycznych i praktycznych metod kierowania samolotem przez załogę w czasie lotu, w oparciu o urządzenia i systemy radionawigacyjne;
- taktyczno-technicznymi możliwościami wykorzystania urządzeń i systemów radionawigacyjnych oraz UL i wypracowaniem odpowiednich form ich zastosowania do celów nawigacyjnych.

1.2. SŁUŻBA UBEZPIECZANIA LOTÓW I JEJ ZADANIA

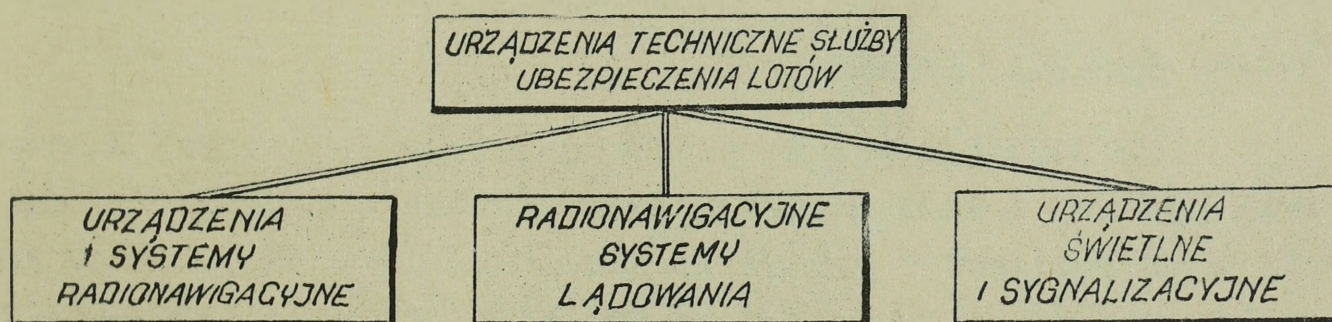
W oparciu o osiągnięcia współczesnej nauki i techniki umożliwiające rozwój urządzeń i systemów radionawigacyjnych, służba ubezpieczania lotów zajmuje się możliwościami wykorzystania urządzeń i systemów radionawigacyjnych w lotnictwie, wypracowywaniem odpowiednich form zastosowania środków radionawigacyjnych, łączeniem poszczególnych urządzeń radionawigacyjnych w systemy radionawigacyjne oraz ich wykorzystaniem itp.

x/ W opracowaniu niniejszym zagadnienia dotyczące nawigacji morskiej nie będą omawiane.

Służba ubezpieczenia lotów, dysponując odpowiednimi siłami i środkami radionawigacyjnymi, powinna między innymi zapewnić:

- kontrolę lotów samolotów po ustalonych lub nakazanych trasach powietrznych;
- określenie pozycji /miejsca/ samolotów podczas lotu oraz udzielenie pomocy załogom w odzyskaniu utraconej pozycji;
- zbiórki grup samolotów w powietrzu;
- kontrolę i kierowanie lotami samolotów w rejonie lotniska;
- sprowadzanie samolotów w rejon lotniska i rozpuszczenie do lądowania;
- wyprowadzenie samolotów w rejon celu i wykonanie bombardowania w trudnych warunkach atmosferycznych;
- sprowadzenie samolotów w rejon desantowania wojsk i szereg innych zadań.

Do realizacji tych zadań, służba ubezpieczenia lotów posługuje się odpowiednimi urządzeniami i systemami radionawigacyjnymi /rys. 1-1/.



Rys. 1-1. Podstawowa klasyfikacja urządzeń technicznych służby ubezpieczenia lotów.

1.3. POJECIA DOTYCZĄCE URZĄDZEŃ I SYSTEMÓW RADIONAWIGACYJNYCH

1.3.1. Urządzenia radionawigacyjne

Urządzeniem radionawigacyjnym nazywamy - mówiąc ogólnie - zespół aparatury radioelektronicznej /i pomocniczej/, przeznaczony do wyznaczania lub określania nawigacyjnych elementów lotu samolotu, wykorzystujący właściwości propagacji fal elektromagnetycznych i posiadający możliwości kształtowania odpowiednich przebiegów fal radiowych dla celów nawigacyjnych.

1.3.2. Systemy radionawigacyjne

Systemem radionawigacyjnym nazywamy zespół urządzeń radionawigacyjnych /i pomocniczych/, rozmieszczonych w jednym lub w kilku naziemnych punktach oraz na pokładzie samolotu, którzy przy jednoczesnej pracy umożliwia określenie nawigacyjnych elementów lotu samolotu.

1.3.3. Systemy czynne

Radionawigacyjnym systemem czynnym /aktywnym/ nazywamy taki system, w którym załoga samolotu otrzymuje informacje o przestrzennym położeniu samolotu w stosunku do znanego punktu. Na podstawie tych informacji dokonuje ona korekty lotu.

1.3.4. Systemy bierne

Radionawigacyjnym systemem biernym /pasywnym/ nazywamy taki system, w którym załoga samolotu nie otrzymuje informacji o przestrzennym położeniu samolotu, lecz odpowiednie korekty, według których powinna ona wykonać swoje czynności związane z nawigowaniem samolotu.

1.4. ELEMENTY RADIONAMIERZANIA

1.4.1. Definicja radionamierzania

Radionamierzaniem nazywamy - mówiąc ogólnie - określenie kierunku za pomocą środków radiotechnicznych w celu ustalenia linii pozycyjnej samolotu /linii położenia/ oraz

jego pozycji /miejsca położenia/, określanego skrótem MS.

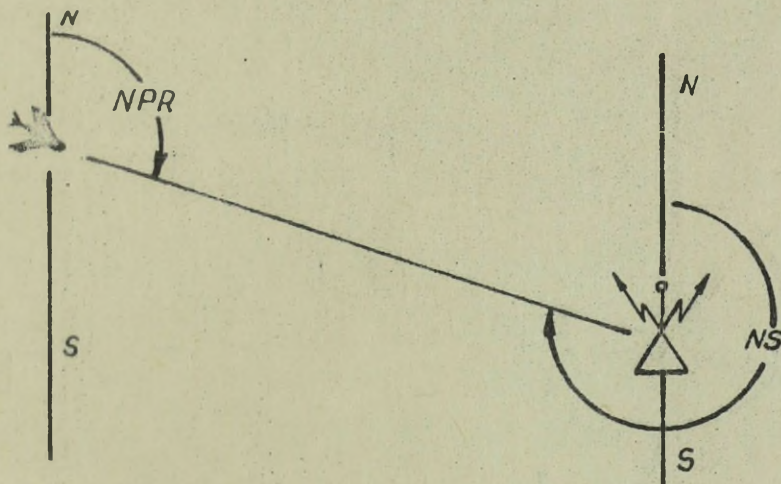
1.4.2. Środki radionamierzenia

Radionamierzenie, czyli określanie linii pozycyjnej lub pozycji samolotu może odbywać się za pomocą różnych środków radiotechnicznych, które ogólnie można podzielić na:

- radionawigacyjne urządzenia i systemy do pomiaru kąta /azymutu/;
- radionawigacyjne urządzenia i systemy do pomiaru odległości.

1.4.3. Radionamiar i jego składowe

NPR /Namiar punktu radionawigacyjnego/ - jest to kąt, zawarty między północnym kierunkiem południka przechodzącego przez samolot a ortodromicznym kierunkiem^{x/} na punkt radionawigacyjny /rys. 1.2./.



Rys. 1.2. Zasady wyznaczania kątów NPR i NS.

NS /Namiar samolotu/ - jest to kąt zawarty między północnym kierunkiem południka przechodzącego przez punkt radionawigacyjny a ortodromicznym kierunkiem na samolot /rys. 1.1/.

x/ Kierunek ortodromiczny, inaczej - prosty, od greck. słowa ortos - prosty.

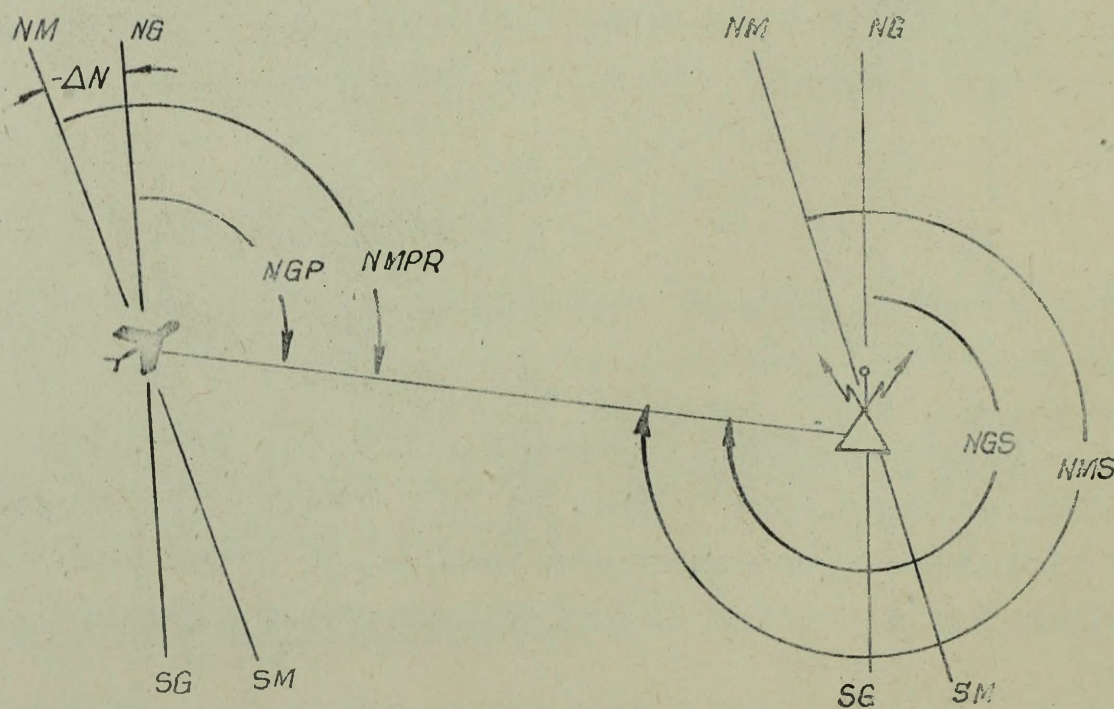
Zarówno namiar NPR jak i NS mierzy się w prawo od północnego kierunku południka 0° . Znając wartość namiaru punktu radionawigacyjnego, można obliczyć namiar samolotu /NS/, tzn. kierunek z punktu radionawigacyjnego na samolot, posługując się wzorem:

$$NS = NPR \pm 180^{\circ}$$

/1-1/

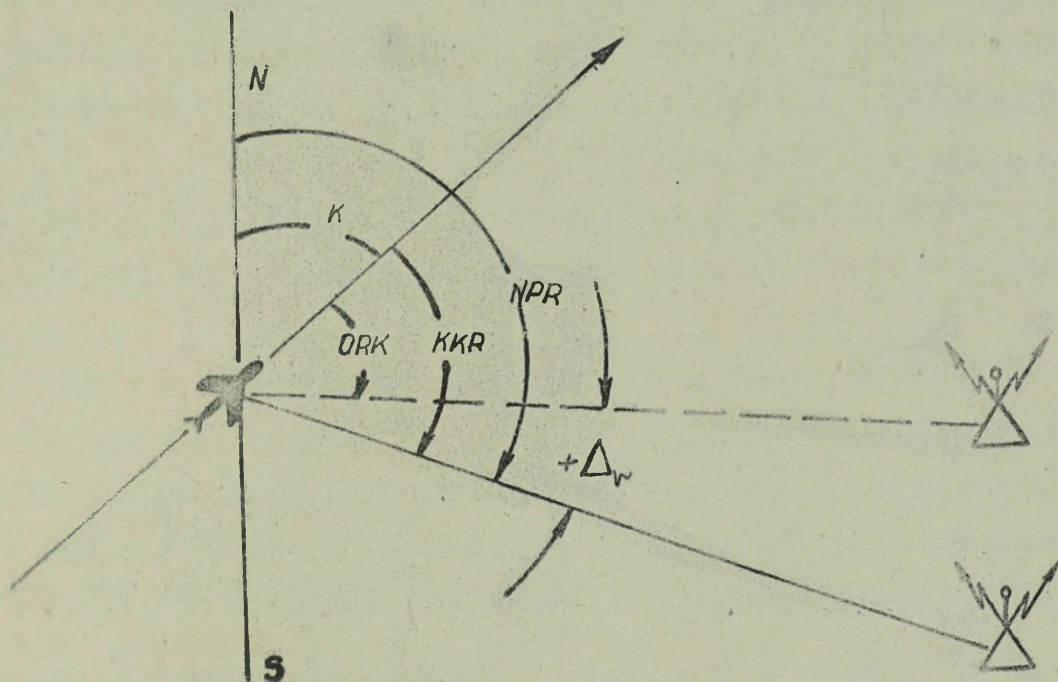
Namiary NPR i NS mogą być również mierzone od południka geograficznego lub magnetycznego /rys. 1.3/ i wówczas noszą nazwę:

- NGPR - namiar geograficzny punktu radionawigacyjnego;
- NMPR - namiar magnetyczny punktu radionawigacyjnego;
- NGS - namiar geograficzny samolotu;
- NMS - namiar magnetyczny samolotu.



Rys. 1.3. Zasada namiarów geograficznych i magnetycznych

1.4.4. Elementy namiaru punktu radionawigacyjnego -- na NPR składają się: pomiar z kursu samolotu /K/ i pomiar kąta kursowego radiostacji /KKR/ jak to przedstawiono na rys. 1.4, gdzie ORK -- odczyt radiokompasu.



Rys. 1.4. Elementy NPR

KKR /kąt kursowy radiostacji/ -- jest to kąt zawarty między podłużną osią samolotu a ortodromicznym kierunkiem na punkt radionawigacyjny /radiostację/. Kąt ten jest mierzony w prawo od podłużnej osi samolotu od 0° do 360° , a zatem:

$$\text{NPR} = \text{K} + \text{KKR}$$

/1-2/

UWAGA:

Podstawowe nawigacyjne elementy lotu oraz inne zagadnienia jak na przykład: zasady określania kursu samolotu, kursu busoli, linie drogi, kąt drogi itp. nie będą poruszane w niniejszym skrypcie, gdyż zagadnienia te są obszernie omawiane w nawigacji.

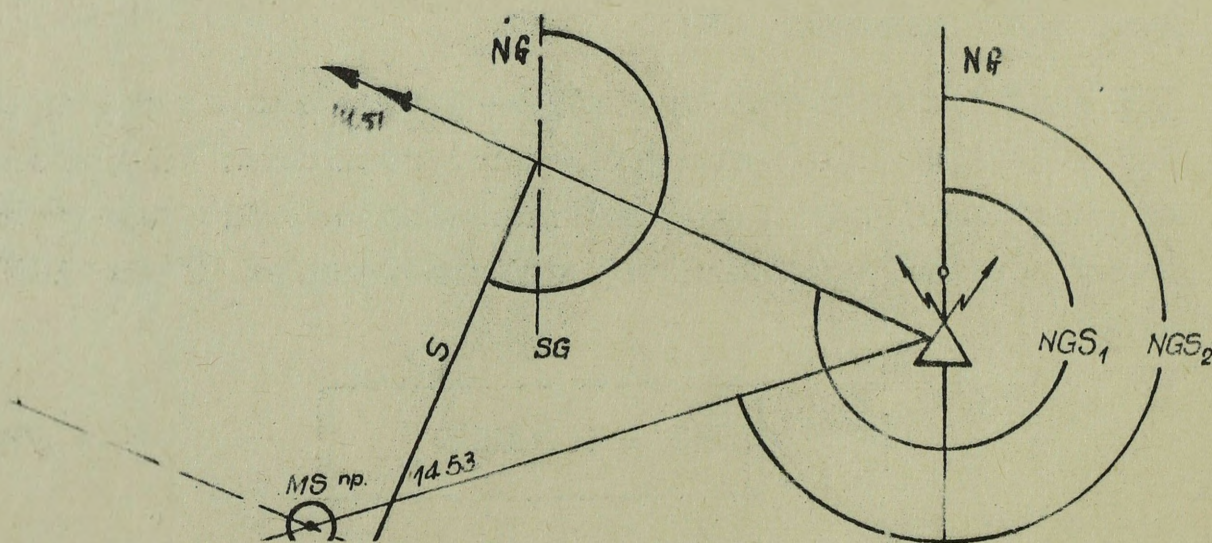
1.4.5. Pojęcie radiodewiacji

Ponieważ fale elektromagnetyczne są odbierane nie tylko przez anteny automatycznego radiokompasu /ARK/, lecz również przez części metalowe samolotu, to części te "wysyłają" wtórną falę elektromagnetyczną, która odbierana przez antenę ramową, powoduje jej nieprawidłowe ustawienie w stosunku do radiostacji nadawczej, co pociąga za sobą błędne wskazania ARK. Tego rodzaju błędy nazywane są radiodewiacją. (Δ_r)

Pod pojęciem radiodewiacji - rozumiemy kąt zawarty między zmierzonym a rzeczywistym kierunkiem na radiostację /rys. 1.4/.

Radiodewiacja mierzona w prawo jest dodatnia $+ \Delta_r$, a mierzona w lewo ujemna $- \Delta_r$ ^{x/}. Przy dokładnym skompensovaniu radiokompasu radiodewiacja może być całkowicie zlikwidowana. Stąd kąt kursowy radiostacji /KKR/ składa się z odczytu radiokompasu /ORK/ oraz radiodewiacji Δ_r .

Odczyt radiokompasu /ORK/ - jest to kąt między podłużną osią samolotu a zmierzonym kierunkiem na radiostację /rys. 1.5/.



Rys. 1.5. Zasada określania miejsca samolotu przy namierzaniu na radiostację.

x/ Wielkość radiodewiacji odczytuje się z wykresu umieszczonego w samolocie.

Ponieważ:

$$KKR = ORK + (\pm \Delta r)$$

$$NPR = K + ORK + (\pm \Delta r)$$

wiec:

$$NS = K + ORK + (\pm \Delta r) \pm 180^\circ$$

/1-3/

1.4.6. Zasady określania NGPR, NGS

Wykorzystując radionamierzanie do celów nawigacji, zachodzi konieczność wykreślenia radionamiarów na mapie. Wówczas nawigator musi obliczyć geograficzne wartości radionamiarów posługując się następującym wzorem:

$$NGPR = KB + (\pm \Delta B) + (\pm \Delta M) + ORK + (\pm \Delta r)$$

$$NGS = KB + (\pm \Delta B) + (\pm \Delta M) + ORK + (\pm \Delta r) \pm 180^\circ$$

/1-4/

Należy przy tym pamiętać, że namiar otrzymany z radionamiernika jest namiarem magnetycznym punktu radionawigacyjnego - NMPR i aby uzyskać namiar geograficzny samolotu należy zastosować wzory:

$$NGPR = NMPR + (\pm \Delta M)$$

$$NGS = NMPR + (\pm \Delta M) \pm 180^\circ$$

/1-5/

Występujące we wzorach 1-4 i 1-5 wyrażenia ΔB i ΔM oznaczają:

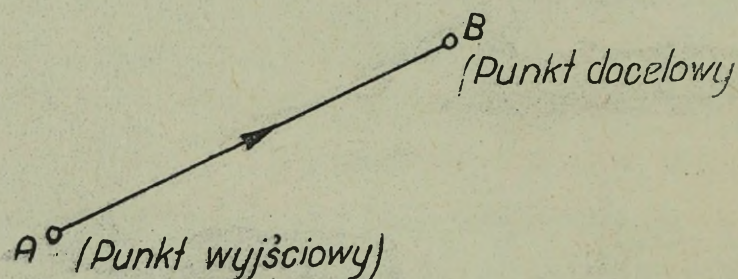
ΔB - dewiacje - jest to kąt zawarty między północnym kierunkiem południka magnetycznego a północnym kierunkiem południka busoli. W zależności od kierunku odchylenia się igły magnetycznej dewiacja może być ujemna $/-\Delta B/$ lub dodatnia $/+\Delta B/$ podobnie jak deklinacja.

ΔM - deklinacja występuje wówczas gdy igła magnetyczna odchyła się od południka geograficznego. Przy odchyleniu w prawo od południka geograficznego deklinację przyjęto nazywać dodatnią $/+\Delta M/$, przy odchyleniu w lewo - ujemną $/-\Delta M/$.

2. TEORETYCZNE PODSTAWY RADIONAWIGACJI

2.1. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Zasadniczym zadaniem nawigacji, jako nauki o metodach poruszania się w powietrzu i na morzu, jest określenie miejsca znajdowania się /pozycji/ jednostki ruchomej - samolotu, okrętu /statku/ - oraz prowadzenie jej po określonej trasie z punktu wyjściowego /A/ do punktu docelowego /B/, a więc po wybranej trasie /rys. 2-1/.



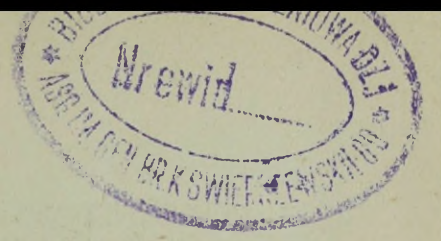
Rys. 2-1 Trasa nawigacji

Mówiąc o zadaniach nawigacji, można je sprecyzować w formie odpowiedzi na pytanie: w jaki sposób powinna poruszać się jednostka ruchoma /samolot, okręt, itp./, czyli - inaczej precyzując - w jakim kierunku i jak daleko, aby dotarła ona do miejsca przeznaczenia według z góry przyjętego planu.

Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy przede wszystkim dokonać odpowiedniego rozpoznania terenu, po który dana jednostka będzie się poruszać. Rozpoznanie terenu przeprowadza się różnymi metodami, na przykład: za pomocą bezpośredniej obserwacji lub na podstawie mapy. Oczywiście, w znanym sobie terenie przez bezpośrednią obserwację możemy stosunkowo łatwo i szybko zorientować się co do miejsca swojego położenia, jest to tzw. orientacja wzrokowa.

2.1.1. Zasady prowadzenia orientacji wzrokowej

Orientacja wzrokowa polega na określaniu miejsca położenia /pozycji/ samolotu przez porównywanie z terenem w za-



sięgu widoczności obiektów orientacyjnych.

Orientację wzrokową przy widoczności ziemi i obecności w terenie obiektów orientacyjnych stosuje się w każdym locie dla kontroli drogi /trasy/ i wyprowadzenia samolotu na nakazany punkt orientacyjny.

Za pomocą orientacji wzrokowej miejsce samolotu może być określone:

- według przelotu nad rozpoznany obiekt orientacyjnym;
- przez wzrokowe porównanie położenia samolotu w stosunku do rozpoznanych obiektów, znajdujących się w nieznacznym oddaleniu od samolotu.

Warunki prowadzenia orientacji wzrokowej zależne są głównie od:

- rodzaju i widoczności obiektów orientacyjnych;
- pory roku i doby;
- wysokości i prędkości lotu;
- warunków obserwacji z samolotu itp.

Czas szczegółowego rozpoznania obiektów orientacyjnych /w sekundach/ w zależności od wysokości lotu samolotu podano przykładowo w tabeli 2.1.

Tabela 2.1

PRĘDKOŚĆ 720 km/h	WYSOKOŚĆ LOTU W METRACH/CZAS ROZPOZNANIA					
	200	400	600	800	1000	1500
	5	10	15	20	25	37,5

Jeżeli bezpośrednia obserwacja jest niemożliwa ze względu na odległość lub złe warunki widzialności, wówczas konieczne jest stosowanie bardziej złożonych, pośrednich metod obserwacji. W takim przypadku do prawidłowego poruszenia się niezbędne staje się zastosowanie nawigacji i wykorzystanie urządzeń i systemów radionawigacyjnych.

2.2. PODSTAWOWE ELEMENTY POMIARÓW W NAWIGACJI

Podstawowymi elementami pomiaru w nawigacji są pomiary kierunku i odległości. Stąd też urządzenia radionawigacyjne można ogólnie podzielić na:

- urządzenia do pomiaru kątów;
- urządzenia do pomiarów odległości.

Podział ten, oparty na wymaganiach eksploatacyjnych /to jest na wymaganiach nawigacji/ pokrywa się z podziałem technicznym, gdyż fizyczne zasady działania radionawigacyjnych urządzeń do pomiaru kąta i odległości znacznie różnią się między sobą. Odmianę urządzeń do pomiaru odległości stanowią systemy hiperboliczne, oparte na zasadzie pomiaru różnicy odległości. Jest to podział najbardziej podstawowy. Stosowane w praktyce urządzenia mogą być bardziej złożone, - pomiar kierunku i odległości może być wykonywany równocześnie w jednym urządzeniu /na przykład w stacji radiolokacyjnej stosowanej w systemach UL/, albo też różne pomiary mogą być wykonywane w odrębnych urządzeniach tworzących wspólny system radionawigacyjny.

2.3. GEOMETRYCZNE ZASADY POMIARÓW NAWIGACYJNYCH ELEMENTÓW

LOTU

Dla rozwiązania geometrycznej zasady pomiaru, z technicznego punktu widzenia, należy wziąć pod uwagę parametry fali elektromagnetycznej, które są wykorzystywane do pomiarów nawigacyjnych elementów lotu.

Wartość chwilowa natężenia pola fali elektromagnetycznej w punkcie odbioru wynosi:

$$E = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} d + \varphi \right) = E_m \sin \left[\omega \left(t - \frac{d}{c} \right) + \varphi \right]$$

/2-1/

gdzie: E_m - amplituda pola elektrycznego fali;

ω - pulsacja, $\omega = 2\pi f$, (ω -omega);

φ - faza odniesienia /w punkcie promieniowania/;

λ - długość fali, $\lambda = c/f$;

d - droga przebyta przez falę.

Wniosek:

Biorąc pod uwagę chwilową wartość natężenia pola fali elektromagnetycznej w punkcie odbioru, do przeprowadzenia pomiaru nawigacyjnych elementów lotu można wykorzystać:

- amplitudę pola elektrycznego fali $/E_m/$;
- czas przelotu fali $/t/$, jako zmienna niezależna;
- częstotliwość fali $/f/$;
- faza odniesienia $/\varphi/$.

2.3.1. Amplituda

Jeżeli ziemię będziemy traktować jako powierzchnię płaską, wówczas amplituda natężenia pola maleje z odległością, według zależności:

$$E_m = k \frac{\sqrt{P}}{d}$$

/2-2/

gdzie: k - współczynnik uwzględniający tłumienie ziemi;

P - moc promieniowania;

d - droga przebyta przez falę

Wobec tego, przekształcając wzór 2-2, odległość można określić przez pomiar natężenia pola fali elektromagnetycznej, a mianowicie:

$$d = k \frac{\sqrt{P}}{E_m}$$

/2-3/

Należy podkreślić, że możliwość wykorzystania takiego pomiaru jest jednak wątpliwa, gdyż wspomniany współczynnik $/k/$, podany w wyrażeniu $/2-2/$ i $/2-3/$, a uwzględniający tłumienie ziemi, zależy jest w dość złożony sposób od warunków terenowych, od częstotliwości i odległości.

Dla fali jonosferycznej relacja $/2-3/$ oczywiście nie jest ważna. Pomiar natężenia pola dałby więc stosunkowo najlepsze wyniki w nawigacji krótkodystansowej przy stosowaniu fali ultrakrótkiej. Jednak wówczas wpływ ziemi, zmiany współczynnika wzmocnienia odbiornika i tym podobne czynniki przypadkowe czynią pomiar odległości bardzo mało dokładny i niepewny.

Były wprowadzić próby zastosowania pomiaru natężenia pola do określenia ścieżki schodzenia przy lądowaniu samolotu bez widoczności, lecz wobec zbyt małej dokładności nie znalazły one szerszego zastosowania.

Bardzo szerokie zastosowanie w radionawigacji mają natomiast porównawcze pomiary natężenia pola przy wykorzystaniu charakterystyki kierunkowej, przy uwzględnieniu zależności:

$$E_{\vartheta} = E_0 f(\vartheta)$$

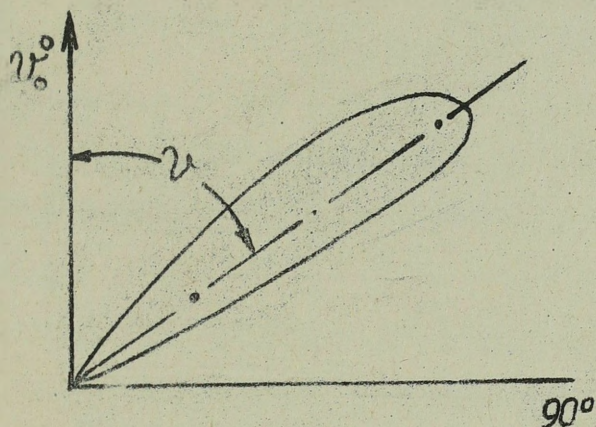
$/2-4/$

- gdzie: E_{ϑ} - natężenie pola na kierunku ϑ ;
 E_0 - natężenie pola na kierunku odniesienia;
 ϑ - kąt w stosunku do kierunku odniesienia.

Na wspomnianej zasadzie działa większość urządzeń zwanych radiogoniometrami. Istnieją przy tym dwie zasadnicze możliwości, które omawiane są poniżej.

Pierwszą możliwością jest określenie punktów charakterystycznych na charakterystyce kierunkowej. Takimi punktami są maksimum lub minimum charakterystyki kierunkowej.

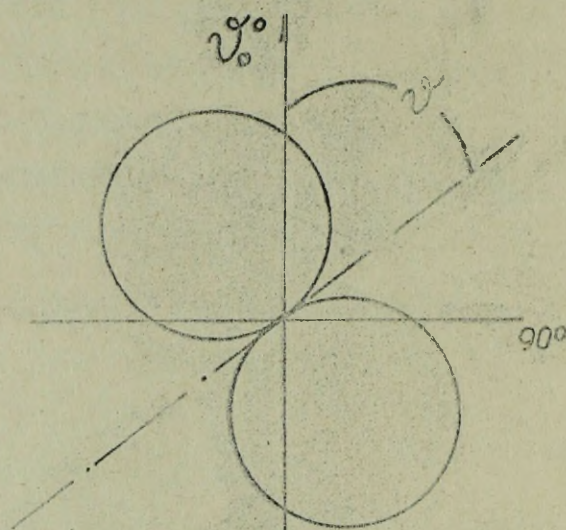
Maksimum charakterystyki kierunkowej uzyskać można w urządzeniach ultrakrótkofalowych lub mikrofalowych /na przykład w stacji radiolokacyjnej pracującej systemem impulsowym/, w których możliwe jest wytworzenie wąskiej charakterystyki kierunkowej /rys. 2-2/. Pomiar kierunku polega tu na stwierdzeniu odbioru sygnału i pomiarze jego maksimum.



Rys. 2-2. Zasada pomiaru na maksimum sygnału

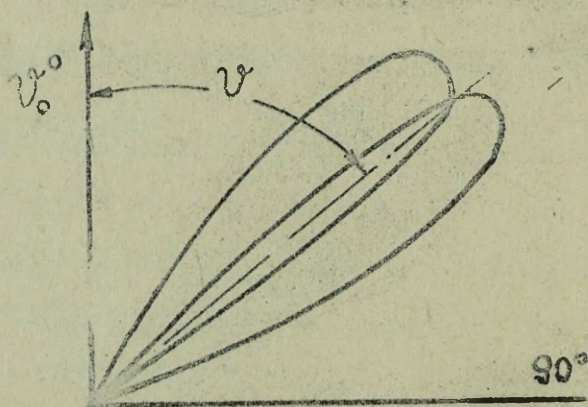
W urządzeniach pracujących na falach długich / $\lambda = 10 \text{ km} - 1 \text{ km}$; $f = 30 \text{ kHz} - 300 \text{ kHz}$ / i średnich / $\lambda = 1000 - 100 \text{ m}$; $f = 300 \text{ kHz}$ /, gdzie wymiary anten nie pozwalają na uzyskanie wąskiej charakterystyki kierunkowej, uzyskuje się minimum charakterystyki.

Najszerszym stosowanym przykładem takiego rozwiązania jest radionamiernik, w którym pomiar kąta odbywa się przez znalezienie zaniku sygnału na kierunku minimum charakterystyki kierunkowej ψ , co w sposób poglądowy przedstawiono na rysunku 2-3.



Rys. 2-3. Zasada pomiaru kąta przez znalezienie zaniku sygnału na kierunku minimum charakterystyki kierunkowej ψ .

Drugą dość szeroko stosowaną możliwością jest porównywanie sygnałów, odpowiadających dwóm przesuniętym charakterystykom kierunkowym /rys. 2-4/. Namierzony kąt ψ określa tutaj strefa równych sygnałów.



Rys. 2-4. Zasada namiaru metodą równych sygnałów

2.3.2. Czas przelotu fali

Uwidoczniony we wzorze 2-1 czas "t" jest zmienną niezależną. Do pomiaru odległości można uzyskać jednak interwał czasu Δt , jaki upływa między momentem nadania i odbioru fali. Wówczas drogę określa się ze wzoru:

$$d = c \cdot \Delta t$$

/2-5/

gdzie: - c - prędkość rozchodzenia się fali; $c = 3 \cdot 10^8$ m/sek.

Przy stałej prędkości rozchodzenia się fali pomiar drogi /odległości/ w systemach impulsowych sprowadza się do pomiaru odcinka czasu, a mianowicie:

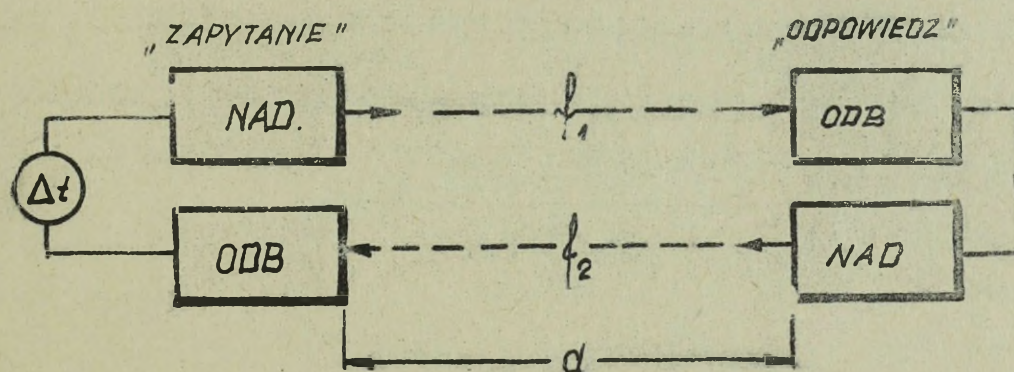
$$\Delta t = t_n - t_o$$

/2-6/

gdzie: t_n - moment nadania sygnału;

t_o - moment odbioru sygnału.

Ze względu na konieczność określenia punktu odniesienia, do pomiaru odległości w omawianym przypadku, niezbędne jest stosowanie urządzenia odzewowego /rys. 2-5/ lub uzyskanie odbicia i odbiór echa jak to ma miejsce w urządzeniach radiolokacyjnych.



Rys. 2-5. Zasada pomiaru odległości z wykorzystaniem urządzenia odzewowego

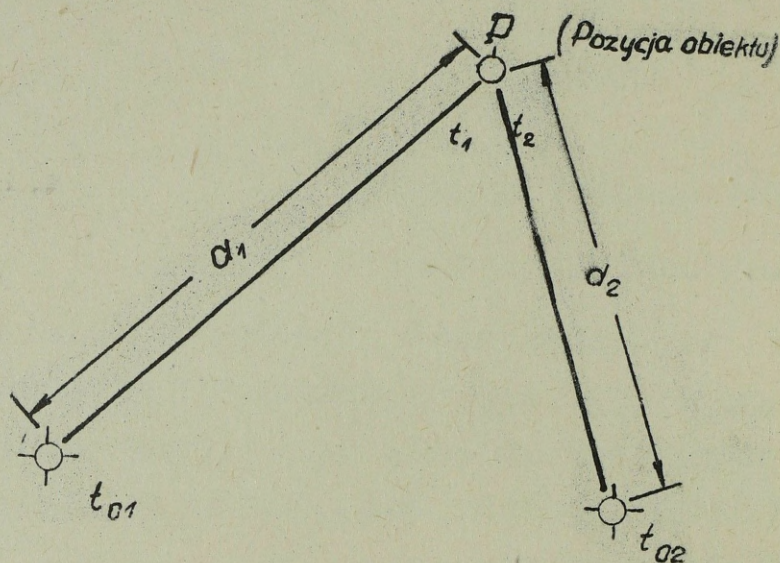
Przy wykorzystaniu urządzenia odzewowego, impuls przebywa drogę "d" dwukrotnie, wówczas słuszny jest wzór:

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

/2-7/

W nawigacji do określania pozycji konieczny jest pomiar odległości do określonego i znanego nawiazania. Identyfikacja poszczególnych odbić jest często utrudniona i niepewna; wówczas korzystniejsze jest stosowanie urządzenia odzewowego. Jednakże z drugiej strony, urządzenie odzewowe wymaga czynnej współpracy strony zapytującej, z odpowiadającą w związku z czym przepustowość systemu

staje się ograniczona. Wadę tę można usunąć przez pomiar różnicy odległości, co prowadzi do koncepcji systemu hiperbolicznego /rys. 2-6/.



Rys. 2-6. Uogólniona koncepcja systemu hiperbolicznego

W systemie hiperbolicznym, pomiar odległości wykonuje się od dwóch punktów promieniowania, wówczas:

$$\begin{aligned} d_1 &= c \cdot \Delta t_1 = c(t_1 - t_{01}); \\ d_2 &= c \cdot \Delta t_2 = c(t_2 - t_{02}); \end{aligned}$$

gdzie: t_1, t_2 - momenty odbioru sygnałów;

$t_{01}, i t_{02}$ - momenty nadania sygnałów;

A więc różnicę dróg można określić ze wzoru:

$$\begin{aligned} \Delta d &= d_1 - d_2 = c \cdot \Delta t_1 - c \cdot \Delta t_2 = c(t_1 - t_{01}) - c(t_2 - t_{02}) = \\ &= c[(t_{02} - t_{01}) - (t_2 - t_1)] = c(\Delta t_0 - \Delta t_2) \end{aligned}$$

czyli:

$$\Delta d = c(\Delta t_0 - \Delta t_\alpha)$$

/2-9/

gdzie: Δt_0 - oznacza różnicę momentów odniesienia, która jest stałą systemu, wynikającą z warunków synchronizacji;

- oznacza różnicę czasu, odpowiadającą różnicy dróg. Ta różnica dróg określa hiperbolę, odpowiadającą stałej $\Delta\alpha$.

2.3.3. Częstotliwość

Częstotliwość "f" można wykorzystać do pomiaru odległości w układach z modulacją częstotliwości. Przy zachowaniu odpowiednich warunków modulacji różnica częstotliwości nadawanej i odbieranej dzięki odbiciu /to jest częstotliwości dudnień f_r / jest liniową funkcją odległości, to znaczy:

$$f_r = \frac{2}{c} \frac{df}{dt} d$$

/2-10/

gdzie: f_r - częstotliwość dudnień;

f - częstotliwość promieniowania;

d - odległość mierzona.

Zasada ta znajduje zastosowanie w stacjach radiolokacyjnych pracujących z modulacją częstotliwości, a zwłaszcza w lotniczych radiowysokościomierzach. Ponadto częstotliwość może być wykorzystana do pomiaru prędkości metodą echa, przez wykorzystanie zjawiska Dopplera.

Wskutek zjawiska Dopplera przy odbiciu od celu ruchomego powstaje różnica między częstotliwością promieniowaną i odbieraną, dającą dudnienie, a mianowicie:

$$f_{\nu} = \frac{2}{c} f \nu$$

/2-11/

gdzie: f_{ν} - częstotliwość dudnień;

f - częstotliwość promieniowana;

c - prędkość propagacji fali radiowej;

ν - prędkość przedmiotu odbijającego względem punktu promieniowania.

Zasada ta jest wykorzystywana w stacjach radiolokacyjnych na fali ciągłej, służących do wykrywania celów ruchomych. Praktyczne zastosowanie układów pracujących na

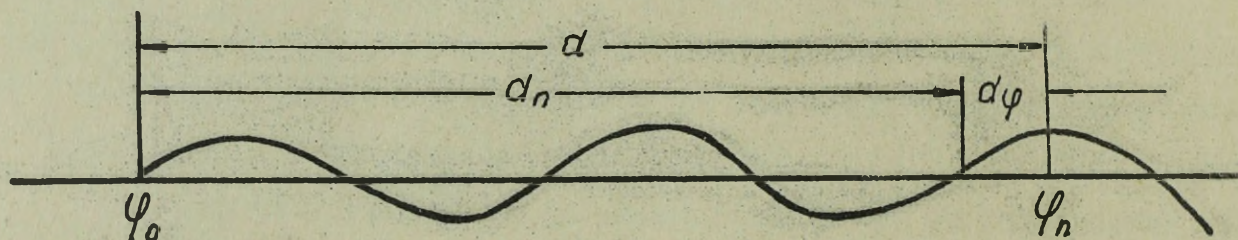
zasadzie pomiaru częstotliwości dudnień jest niezbyt szerokie. Powszechnie stosowanym w radionawigacji urządzeniem należącym do tej grupy jest radiowysokościomierz.

2.3.4. F a z a

Pomiar fazy znajduje zastosowanie do pomiarów odległości i kąta. Fala elektromagnetyczna rozchodząca się na drodze "d" doznaje opóźnienia fazy o kąt równy 2π na jednej długości fali " λ ". A zatem na drodze "d" następuje opóźnienie fazy " φ ", co można wyrazić wzorem:

$$\varphi = 2\pi \left(n + \frac{d\varphi}{\lambda} \right); \quad /2-12/$$

gdzie: n - oznacza ilość pełnych długości fali, mieszczącą się na drodze "d" /zilustrowanie na rys. 2-7/;
d - odległość mierzona /droga/;
 λ - długość fali.



Rys. 2-7. Wykres ilustrujący przesunięcie fazy na drodze "d".

Jak wynika z rys. 2-7 przesunięcie fazowe fali elektromagnetycznej na drodze "d" można wyrazić wzorem: jako różnica d-d_n, czyli:

$$d\varphi = d - d_n \quad /2-13/$$

Między fazą odniesienia w punkcie promieniowania φ_0 a fazą φ , występującą na odległości "d", istnieje zatem różnica faz, a mianowicie:

$$\phi = \varphi_0 - n 2\pi - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d\varphi \quad /2-14/$$



gdzie: φ_0 - stała układu, wynikająca z synchronizacji promieniowanych częstotliwości.

Występującej we wzorze 2-14 wielkości $n2\pi$ nie można oczywiście zmierzyć, pomiar odpowiada jedynie opóźnieniu fazy na odcinku $d\varphi$, to jest:

$$\Phi = -\frac{2\pi}{\lambda} d\varphi$$

/2-15/

Wykazana na rys. 2-7 wielkość odcinka d_n , odpowiadająca fazie $n2\pi$, jest wielokrotnością długości fali, której, jak wspomniano, nie można określić pomiarem. Powstaje zatem wieloznaczność, którą można rozstrzygnąć przez powtórzenie pomiaru na znacznie dłuższej fali lub przez przybliżony pomiar inną metodą.

Jest to wada tej koncepcji, lecz wada ta ma znaczenie raczej drugorzędne wobec dominującej zalety, jaką stanowi duża dokładność pomiaru.

Błąd pomiaru fazy, mierzonej tylko na odcinku $d\varphi$ /rys. 2-7/, odnosi się do całej przebytej przez falę drogi "d", dzięki czemu błąd wypadkowy można określić wzorem:

$$\delta d = \frac{\rho}{n} [\%]$$

/2-16/

gdzie: δd - błąd procentowy pomiaru odległości d;
 ρ - błąd procentowy pomiaru fazy.

Wniosek:

Metody pomiaru odległości oparte na pomiarze fazy należą do najdokładniejszych i mają zastosowanie nie tylko w radionawigacji, ale również na przykład w geodezji, gdzie wymagania dokładności są bardzo duże.

Mówiąc o pomiarze fazy ϕ , należy dodać, że pomiar ten wiąże się z koniecznością porównywania fazy na odległość "d" z fazą odniesienia φ . Konieczne więc jest, podobnie jak w metodzie impulsowej, zastosowanie urządzenia odzewowego /punkt 2.3.2, rys. 2-5/, a wówczas:

$$\phi = \varphi_0 - \left(2 \frac{2\pi}{\lambda} d + \psi \right)$$

/2-17/

gdzie: ψ oznacza dodatkowe przesunięcie fazy w urządzeniu odzewowym.

Wypada nadmienić, że trudności wynikające z konieczności porównania z fazą odniesienia można ominąć, podobnie jak w systemach impulsowych, przez pomiar różnicy odległości, wówczas odpowiednie wyrażenia przyjmą postać:

$$\begin{cases} \phi_1 = \varphi_{01} - \frac{2\pi}{\lambda} d_1 \\ \phi_2 = \varphi_{02} - \frac{2\pi}{\lambda} d_2 \end{cases}$$

/2-18/

czyli otrzymamy:

$$\phi = \phi_1 - \phi_2 = \varphi_0 - \frac{2\pi}{\lambda} (d_1 - d_2)$$

/2-19/

gdzie: φ_0 - jest stałą układów, wynikającą z synchronizacji promieniowanych częstotliwości;

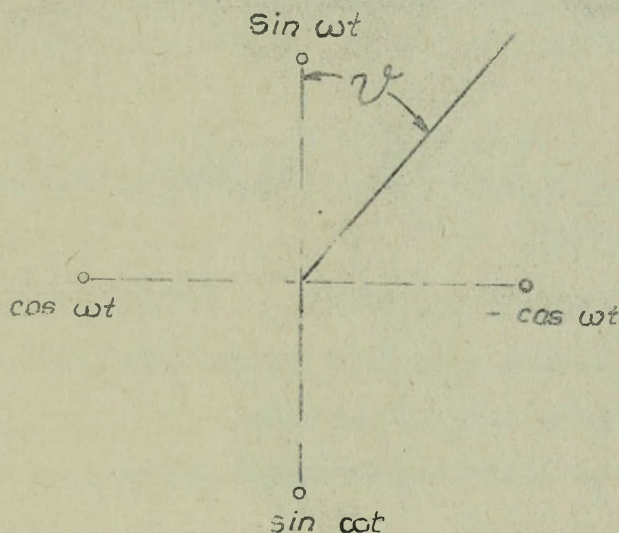
$\frac{2\pi}{\lambda} (d_1 - d_2)$ - jest fazą mierzoną, proporcjonalną do różnicy odległości i określającą hiperbolę pozycyjną.

Wniosek:

W oparciu o powyższe zasady pomiarów działają systemy hiperboliczne, które są najdokładniejsze ze wszystkich znanych obecnie systemów radionawigacyjnych i mają szerokie zastosowanie nie tylko w nawigacji, lecz również w pomiarach specjalnych, wymagających bardzo dużej dokładności /np. w kartografii i geodezji/.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na fakt, że pomiar fazy może być uzyskany również w radiogoniometrii. Rozpatrzmy pokrótce na czym polega ten pomiar.

Jeżeli dwie prostopadłe pary anten o sinusoidalnej charakterystyce kierunkowej, na przykład: ramy skrzyżowane, promieniują falę o tej samej amplitudzie i częstotliwości, lecz przesunięte w fazie o wielkość $\pi/2$, wówczas amplitudy natężenia pola wypromieniowanego są proporcjonalne odpowiednio do $\sin \psi$ i $\cos \psi$ /rys. 2-8/.



Rys. 2-8. Ilustracja przesunięć fazowych o wielkość $\pi/2$.

Przy powyższym założeniu pole wypadkowe można określić za pomocą wzoru:

$$E = E_m (\cos \psi \sin \omega t + \sin \psi \cos \omega t)$$

czyli:

$$E = E_m \sin(\omega t + \psi)$$

/2-20/

a zatem: pomiar fazy jest równoznaczny z pomiarem kierunku. Jest to więc podstawowa zasada radiolatarni kierunkowych o fazie okrężnej.

3. KLASYFIKACJA URZĄDZEŃ I SYSTEMÓW RADIONAWIGACYJNYCH

3.1. ZASADY KLASYFIKACJI ŚRODKÓW UL

W punkcie 1.2 omówiono w sposób ogólny zadania służby, ubezpieczenia lotów oraz podano podział urządzeń technicznych stosowanych przez tę służbę. Jednakże po-

dział ten jest niezbyt precyzyjny, gdyż urządzenia i systemy radionawigacyjne można klasyfikować w różny sposób, co zostanie udowodnione w niniejszym punkcie.

Środki ubezpieczenia lotów /UL/ można najogólniej podzielić na:

- środki radiowe /radionawigacyjne/;
- środki optyczne.

Zasadniczą rolę w cząstkach ubezpieczenia lotów spełniają urządzenia i systemy radionawigacyjne, natomiast urządzenia optyczne znajdują zastosowanie szczególnie podczas lądowania.

Urządzenia i systemy radionawigacyjne można klasyfikować między innymi według:

- a/ charakteru promieniowania;
- b/ stopnia autonomiczności i automatyzacji;
- c/ metody wskazań i pomiarów;
- d/ różnych cech jakościowych i przeznaczenia.

Wyjaśnijmy pokrótce na czym polega ta klasyfikacja.

Ad a/ Według charakteru promieniowania rozróżniamy urządzenia /systemy/ radionawigacyjne z ciągłym i impulsowym promieniowaniem.

Ad b/ Według stopnia autonomiczności i automatyzacji, środki radionawigacyjne dzielą się na:

- autonomiczne;
- nieautonomiczne.

Urządzenia autonomiczne posiadają aparaturę zainstalowaną na pokładzie samolotu i załoga określa wielkość nawigacyjną bez otrzymywania informacji z naziemnego punktu radionawigacyjnego. /Autonomiczność urządzenia radionawigacyjnego jest jego bardzo wielką zaletą/.

Urządzenia nieautonomiczne tworzą systemy radionawigacyjne. Większość współczesnych systemów radionawigacyjnych jest nieautonomiczna.

Automatyzacja w urządzeniach radionawigacyjnych jest bardzo wskazana. Nie można jej jednak wprowadzać za wszelką cenę, ponieważ może to doprowadzić do znacznej złożoności układów. Automatyzacja urządzeń radionawigacyjnych na samolocie ma duże znaczenie ze względu na odciążenie załóg w pracach związanych z dokonywaniem pomiarów nawigacyjnych elementów lotu.

Ad. c/ Metody wskazań i pomiarów odnoszą się do sposobu indykacji tzn. sposobów zobrazowania pomiarów nawigacyjnych elementów lotu. Metody te można ogólnie podzielić na słuchowe i wzrokowe. Wskazania wzrokowe stosowane są najczęściej, ponieważ są dokładniejsze od słuchowych i mniej absorbują operatora. Wskazania wzrokowe osiąga się za pomocą przyrządów wskaźnikowych. W systemach radionawigacyjnych stosuje się następujące metody pomiaru wielkości: pomiar bezpośredni, pośredni i metodą kompensacyjną. Pomiar metodą kompensacyjną jest najbardziej dokładny.

Ad. d/ Podział według cech jakościowych i przeznaczenia, jest ściśle związany z takimi cechami urządzeń radionawigacyjnych jak: zasięg, moc, częstotliwość pracy itp.

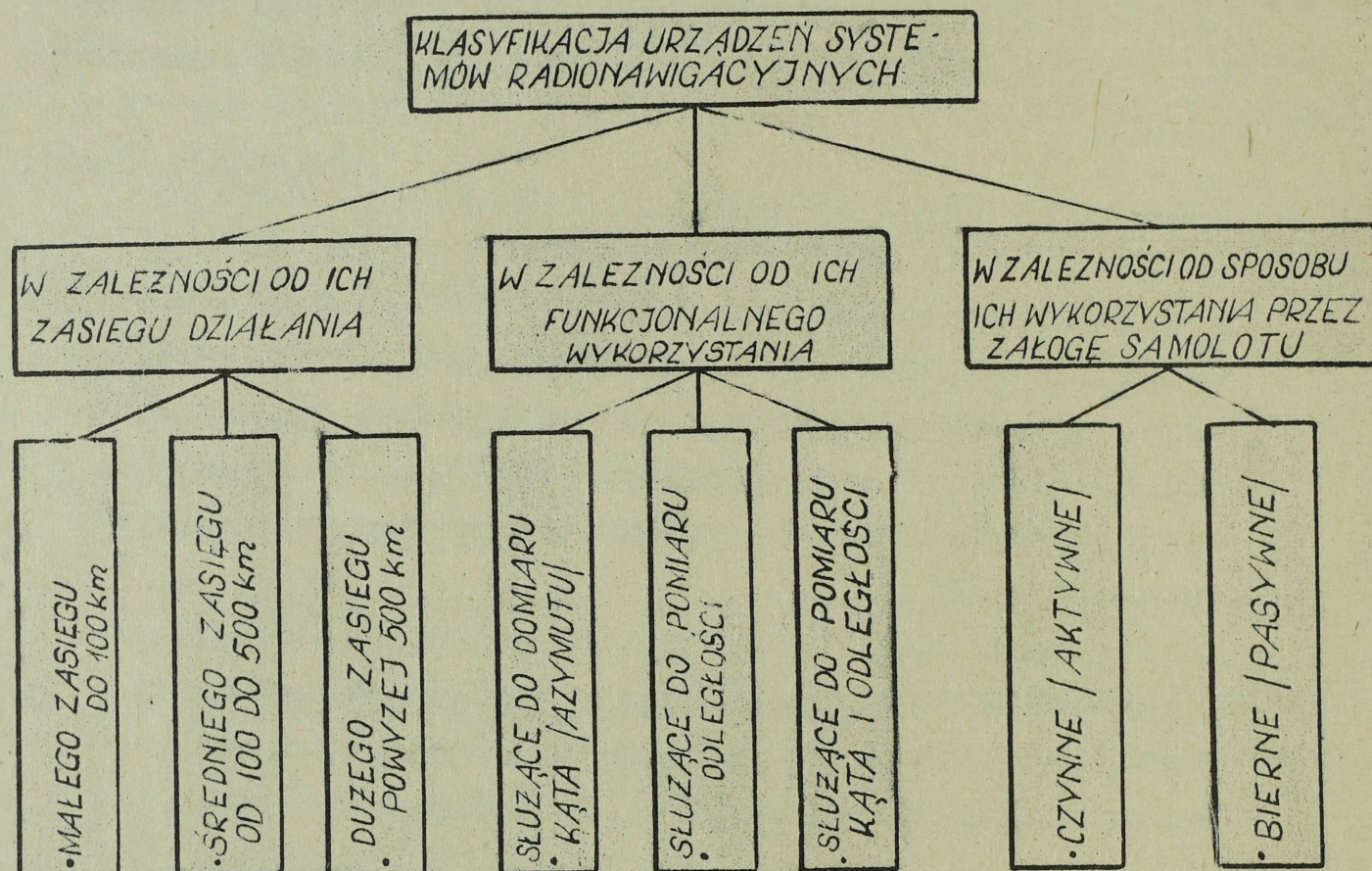
Cechy te są ze sobą ściśle związane, niemniej jednak tworzy się często grupy biorąc pod uwagę jedną z cech, jak na przykład urządzenia i systemy radionawigacyjne:

- o dużym, średnim i małym zasięgu;
- dużej, średniej i małej mocy;
- długofalowe, średnio, krótko i ultrakrótkofalowe.

Przeznaczenie urządzeń i systemów radionawigacyjnych ukształtowało dwie zasadnicze grupy:

1. Urządzenia i systemy ubezpieczające loty i zadania trasowe /poza rejonem lotniska/;
2. Urządzenia i systemy ubezpieczające lądowanie samolotów oraz kierowanie lotami w rejonie lotniska.

Uproszczoną klasyfikację urządzeń i systemów radionawigacyjnych podano na rys. 3-1.



Rys. 3-1. Uproszczona klasyfikacja urządzeń i systemów radionawigacyjnych.

Amplitudowe urządzenia radionawigacyjne, pracują na zasadzie wykorzystania zależności amplitudowych pola elektromagnetycznego lub też amplitudy odebranych sygnałów posiadających informację zawartą w danym sygnale. Innymi słowy, urządzenia te pracują na zasadzie kierunkowego promieniowania i odbioru fal radiowych.

W danym przypadku urządzenia promieniujące energię fal elektromagnetycznych i posiadające anteny o kierunkowej charakterystyce promieniowania - nazywane są radiolatarniami.

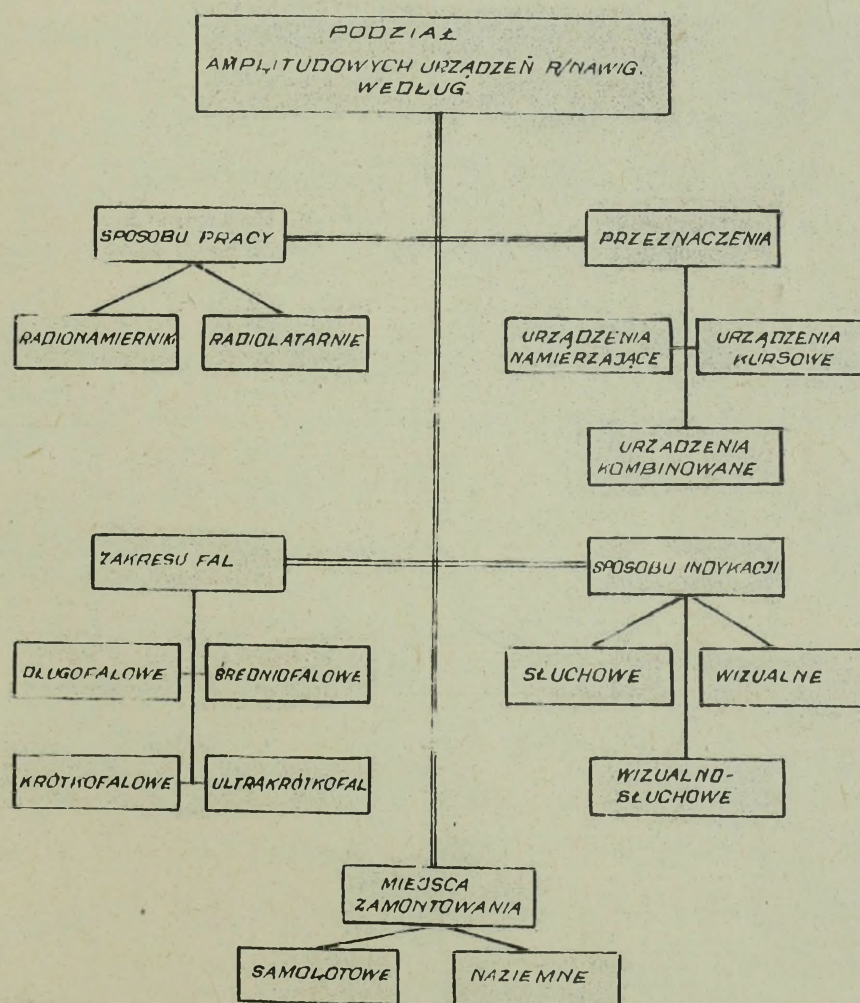
Natomiast urządzenia odbiorcze nazywane są radionamiernika-
mi.

3.2. KLASYFIKACJA AMPLITUDOWYCH URZĄDZEŃ RADIONAWIGACYJNYCH

Szeroko stosowany jest również podział urządzeń ra-
dionawigacyjnych na:

- amplitudowe urządzenia /systemy/ radionawigacyjne;
- impulsowe " " "
- fazowe " " "
- częstotliwościowe " "

Amplitudowe urządzenia radionawigacyjne można kla-
syfikować według sposobu podanego na rys. 3-2.



Rys. 3-2. Klasyfikacja amplitudowych urządzeń radiona-
wigacyjnych.

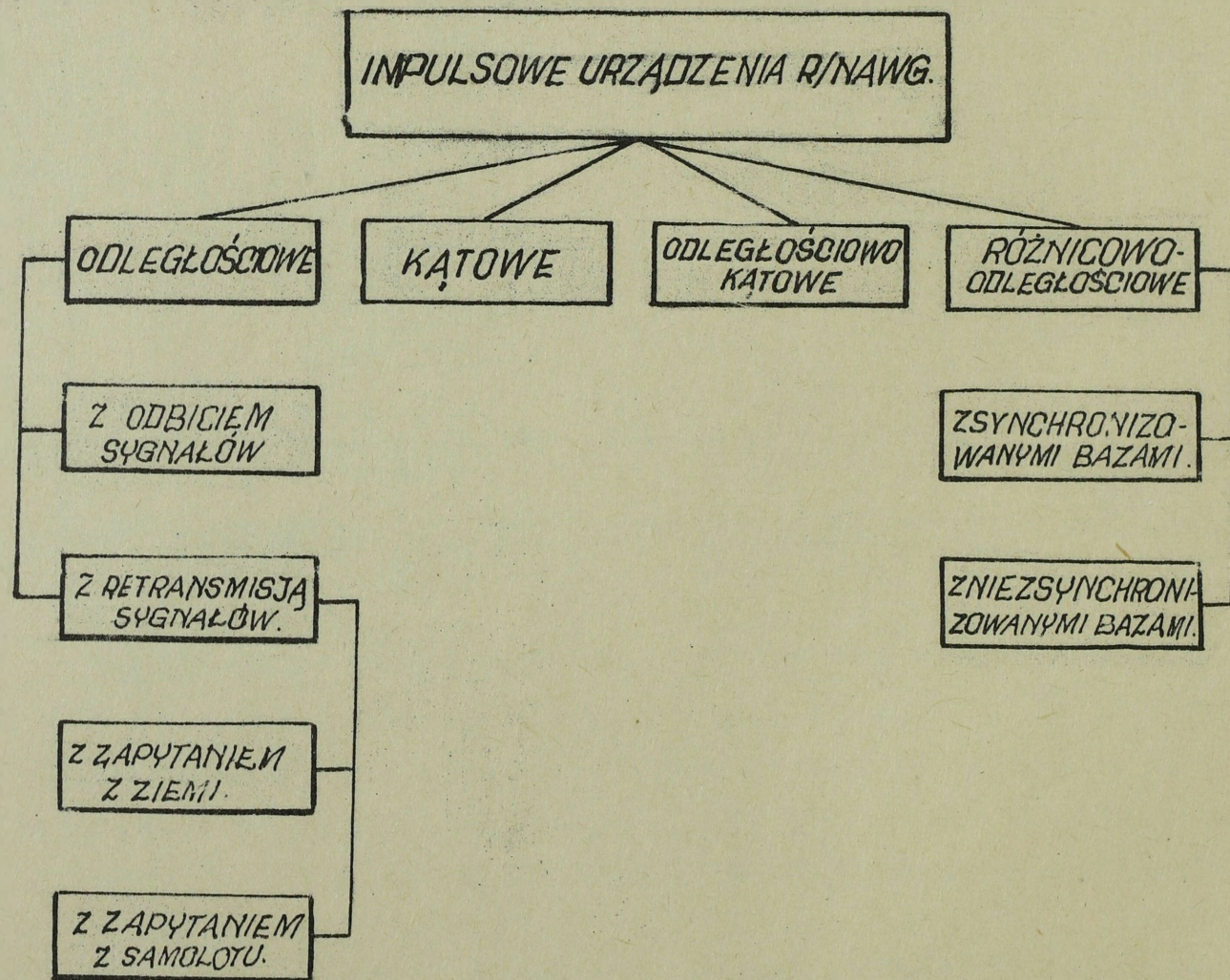
Podział tych urządzeń wynika z zasad omówionych w punkcie 2.3.

3.3. KLASYFIKACJA IMPULSOWYCH URZĄDZEŃ RADIONAWIGACYJNYCH

Impulsowe urządzenia radionawigacyjne pracują na zasadzie wykorzystania zależności między czasem rozchodzenia się fal elektromagnetycznych a współrzędną nawigacyjną, najczęściej stanowiącą odległość lub odległość i kąt /gdzie kąt określany jest za pomocą amplitudowych urządzeń radionawigacyjnych/.

Innymi słowy, pomiary nawigacyjne za pomocą tego typu urządzeń dokonywane są przez pomiar czasu pomiędzy dwoma impulsami napromieniowanymi, czyli na pomiarze czasu przejścia impulsu między stacją samolotową i naziemną.

Podział impulsowych urządzeń radionawigacyjnych podano na rys. 3-3.



Rys. 3-3. Klasyfikacja impulsowych urządzeń radionawigacyjnych.

3.4. KLASYFIKACJA FAZOWYCH I CZESTOTLIWOŚCIOWYCH URZADZEŃ RADIONAWIGACYJNYCH

Fazowe urządzenia radionawigacyjne pracują na zasadzie wykorzystania zależności między fazą sygnału radiowego a współrzędną nawigacyjną. Mówiąc ściślej, praca tego typu urządzeń oparta jest na wykorzystaniu właściwości propagacji fal radiowych i liniowej zależności między zmianą fazy fali a odległością przebytą przez tę falę.

Fazowe /odległościowe/ systemy radionawigacyjne dzielą się na:

- systemy z zachowaniem podstawowej fazy w punkcie pomiaru;
- systemy z retranslacją sygnałów.

Częstotliwościowe urządzenia radionawigacyjne pracują na zasadzie wykorzystania różnic między chwilową częstotliwością fal promieniowanych, a częstotliwością fal odbieranych. Przykładem częstotliwościowych urządzeń radionawigacyjnych mogą być radiowysokościomierze.

3.5. ZASADY ZASZEREGOWANIA URZADZEŃ R/NAWIGACYJNYCH

W oparciu o powyższe klasyfikacje oraz podział urządzeń i systemów radionawigacyjnych, można każde z nich odpowiednio zaszeregować.

Na przykład: radiostacja prowadząca wraz z automatycznym radiokomпасem /lub radiopółkompasem/ tworzy system radionawigacyjny, amplitudowy, kątomierny, ciągłego promieniowania, nieautomatyczny, nieautonomiczny, wskazówkowy, średniego zasięgu, średniofalowy i trasowy.

Podobnie można by zaszeregować inne urządzenia systemy radionawigacyjne, będące na wyposażeniu Wojsk Lotniczych i OFK, to jest:

- radionamierniki;
- nadajniki radiosygnalowe;

- radiodalmierze /naziemne stacje odzewowe/;
- naziemne urządzenia systemu lądowania według przyrządów /radiolatarnie kursowe i ślizgowe/;
- naziemne urządzenia radiolokacyjnego systemu lądowania /systemu lądowania według komend z ziemi/, w tym: radiolokacyjne stacje obserwacji okrężnej, radiolokacyjne stacje dyspozytorskie i radiolokacyjne stacje lądowania;
- naziemne urządzenia radionawigacyjnych systemów bombardowania i inne.

4 PODSTAWOWE WYMAGANIA TAKTYCZNO-TECHNICZNE STAWIANE ===== ŚRODKOM RADIONAWIGACYJNYM =====

ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Urządzenia i systemy radionawigacyjne powinny charakteryzować się: odpowiednią manewrowością, dużą trwałością /niezawodnością/ i łatwością maskowania oraz innymi zaletami taktycznymi i technicznymi, omówieniem których zajmiemy się poniżej.

4.1. Manewrowość

Urządzenia i systemy radionawigacyjne muszą posiadać specjalną konstrukcję umożliwiającą szybkie ich przebazowanie z jednego lotniska na drugie. Tylko takie urządzenia i systemy radionawigacyjne są w stanie zabezpieczyć sprawne działanie bojowe współczesnego lotnictwa.

4.2. Trwałość

Konstrukcja poszczególnych urządzeń i systemów radionawigacyjnych powinna uwzględniać w maksymalnym stopniu trudne warunki eksploatacyjne tych urządzeń oraz możliwość szybkiej wymiany uszkodzonych elementów, podzespołów i zespołów, celem przywrócenia w jak najkrótszym czasie uprzed-

nich parametrów technicznych.

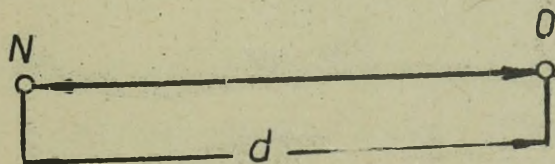
4.3. Łatwość maskowania

Pojęcie maskowania obejmuje maskowanie bezpośrednie urządzeń i systemów radionawigacyjnych oraz maskowanie ich pracy. Zapewnienie łatwości maskowania bezpośredniego urządzeń i systemów radionawigacyjnych wymaga odpowiedniej konstrukcji aparatury. Wymiary aparatury powinny być jak najmniejsze; szczególnie wymiary takich zespołów aparatury jak systemy antenowe, które ze względu na swój charakter pracy nie mogą być ukryte w schronach.

4.4. Zasięg działania

Zasięgiem działania nazywamy maksymalną odległość między samolotem, a punktem radionawigacyjnym, przy której zabezpieczona jest dostateczna dokładność pomiaru nawigacyjnych elementów lotu.

Jeżeli nadajnik /N/ i odbiornik /O/ urządzenia radionawigacyjnego znajduje się w odległości "d" /rys. 4-1/, wówczas moc promieniowana przez nadajnik musi być wystarczająca do wzbudzenia w antenie odbiorczej siły elektromotorycznej, wystarczającej do uzyskania odpowiedniego stosunku sygnału użytecznego do szumu, o czym jest mowa poniżej.



Rys. 4-1. Rozmieszczenie nadajnika i odbiornika urządzeń radionawigacyjnych na drodze "d"

W urządzeniach radionawigacyjnych, podobnie jak we wszystkich urządzeniach łączności radiowej, o możli-

wości odbioru sygnału decyduje stosunek sygnału do szumu, to znaczy:

$$\xi = \frac{P_r}{P_n}$$

/4-1/

gdzie: P_r - moc sygnału odebranego;

P_n - całkowita moc szumu w kanale odbiorczym.

Wartość tego stosunku, konieczna do prawidłowego działania urządzeń, zależna jest od rodzaju urządzenia, a przede wszystkim od rodzaju i warunków wskazania.

Przy wskazaniu akustycznym, to jest przy odbiorze słuchowym, jaki stosuje się często np. w radiogoniometrii, wystarcza dość mała wartość stosunku do szumu, wówczas przy projektowaniu tego rodzaju urządzeń można przyjąć

$$\xi = 1.$$

Przy innych rodzajach wskazania, a więc przy wskaźniku oscylograficznym, mechanicznym, rejestrującym lub automatycznym sterowaniu wartość ξ musi być większa i wynosi zwykle $3 \div 12$ dB /zależnie od konkretnych warunków technicznych danego urządzenia/. Ustalona w ten sposób wartość ξ wyznacza minimalną moc odbioru, konieczną dla danego urządzenia i wówczas:

$$P_{r_{min}} = \xi \cdot P_n$$

/4-2/

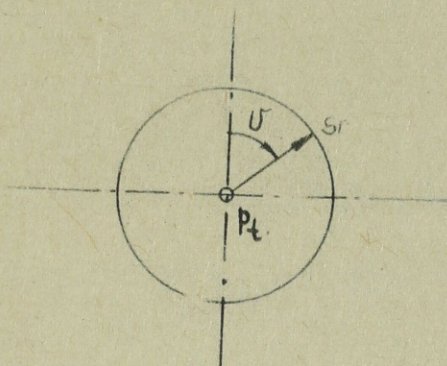
Z powyższym zagadnieniem ściśle związane jest pojęcie "równania zasięgu", wobec czego poniżej dokonana została analiza tego równania, które często zwane jest "równaniem komunikacyjnym".

4.4.1. Analiza równania zasięgu

Jeżeli nadajnik promieniuje energię elektromagnetyczną izotropowo, to znaczy, że moc $/P_t/$ rozchodzi się równomiernie we wszystkich kierunkach /rys. 4-2/, wówczas w odległości "r" gęstość mocy wynosi:

$$S_r = \frac{P_t}{4\pi r^2}$$

/4-3/



Rys. 4-2. Zasada promieniowania energii elektromagnetycznej przez nadajnik w sposób izotropowy

Antenę odbiorczą można scharakteryzować jej powierzchnią skuteczną A_r , będącą funkcją stosunku wymiarów geometrycznych do długości fali.

Moc odebraną przez antenę określa wzór:

$$P_r = A_r \cdot S_r$$

/4-4/

Jeżeli więc "r" oznacza wymagany zasięg, to moc P_r jest minimalna moc odbioru P_{rmin} /wzór 4-2/, określona wymaganym stosunkiem sygnału do szumu.

Zatem

$$P_{rmin} / A_r = P_t / 4\pi r^2$$

/4-5/

Stąd moc P_t równa się:

$$P_t = \frac{4\pi \cdot P_{rmin}}{A_r} r^2$$

/4-6/

Równanie 4-6 określa moc promieniowaną, konieczną do uzyskania zasięgu "r" przy danej mocy minimalnej P_{rmin} , odbieranej za pomocą anteny o powierzchni skutecznej A_r .

Inaczej mówiąc, jest to moc minimalna, konieczna do nawiązania łączności; równanie 4-6, można więc określić jako "równanie komunikacyjne".

2. Zasada zwiększania zasięgu

Zasięg można wydatnie zwiększyć przez zastosowanie promieniowania kierunkowego. Daje to koncentrację mocy, której gęstość na kierunku maksimum charakterystyki wzrasta G-krotnie, gdyż:

$$G_t = \frac{P_t}{P_k} \quad /4-7/$$

gdzie: G_t - zysk;

P_t - moc potrzebna przy promieniowaniu bezkierunkowym /izotropowym/;

P_k - moc potrzebna przy promieniowaniu kierunkowym.

Uwzględniając powyższe założenia, równanie komunikacyjne będzie miało postać:

$$\| P_t = 4\pi P_{rmin} r^2 / G_t A_r \| \quad /4-8/$$

Wielkości G_t i A_r zależne są od geometrycznych kształtów anten i dla anten ścianowych i reflektorów parabolicznych związane są relacją:

$$\| G_t = kA/\lambda^2, A_r = kA/4\pi \| \quad /4-9/$$

gdzie: A - oznacza geometryczną powierzchnię anteny;

k - jest współczynnikiem zależnym od rodzaju i kształtu anteny;

Na przykład, dla anten ścianowych współczynnik ten wynosi $k = 10 \div 12$, natomiast dla reflektorów parabolicznych $k = 6 \div 8$.

4.5. Dokładność pomiarów

Urządzenia i systemy radionawigacyjne powinny zabezpieczyć pomiar nawigacyjnych elementów lotu z dokładnością, która określa ich przeznaczenie.

Dokładność pomiaru nawigacyjnych elementów lotu jest zależna od typu stosowanych urządzeń lub systemów radionawigacyjnych. Na przykład, systemy radionawigacyjne przeznaczone do sprowadzenia samolotów w rejon lotniska lub udzielenia pomocy załodze w odzyskaniu utraconej orientacji mogą spełniać swe zadania, jeśli określają:

- azymut z dokładnością $\pm 5^\circ$;
- odległość z dokładnością 5%.

Natomiast dokładność systemów radionawigacyjnych zabezpieczających lądowanie samolotów powinna być znacznie większa. Systemy mogą spełniać swe zadania, jeśli określają:

- azymut z dokładnością do $15'$;
- kąt elewacji od $10'$ do $15'$.

Jeszcze innej dokładności pomiaru nawigacyjnych elementów lotu wymaga się od radionawigacyjnych systemów zabezpieczających bombardowanie bez widoczności ziemi.

4.6. Przepustowość

Przepustowością urządzeń lub systemów radionawigacyjnych nazywamy zdolność jednoczesnego obsłużenia określonej liczby samolotów.

Przepustowość urządzeń lub systemów radionawigacyjnych jest różna w zależności od ich przeznaczenia. Może ona wynosić od 1 do 100 /i więcej/ jednocześnie obsługiwanych samolotów, lub być nieograniczona, na przykład przy pomiarze azymutu.

4.7. Szybkość pomiaru

Szybkość pomiaru nawigacyjnych elementów lotu jest szczególnie ważna dla współczesnych samolotów osiągających duże prędkości. Gdyby na przykład pomiar odległości trwał 30 sekund, wówczas samolot lecący z prędkością 1200 km/godz. przeleciałby w tym czasie odległość równą 10 km. Oczywiście taki pomiar nie miałby praktycznego znaczenia dla załogi samolotu. Z tego względu czas pomiaru nawigacyjnych elementów lotu nie powinien przekraczać trzech-czterech sekund.

4.8. Zakres częstotliwości roboczych

Z zakresem częstotliwości roboczych wiąże się zasięg działania urządzeń i systemów radionawigacyjnych, dokładność pomiaru nawigacyjnych elementów lotu oraz odporność na zakłócenia. W związku z tym, urządzenia i systemy radionawigacyjne powinny posiadać odpowiedni zakres częstotliwości roboczych, który nie kolidowałby z innymi wymaganiami taktyczno-technicznymi.

4.9. Ciągłość pracy

Ciągłość pracy urządzeń i systemów radionawigacyjnych jest pojęciem złożonym. W nim zawiera się bezawaryjność /niezawodność/ pracy sprzętu radionawigacyjnego oraz zdolność utrzymania parametrów technicznych tego sprzętu przy pracy w dowolnych warunkach atmosferycznych. Zagwarantowana ciągłość pracy urządzeń i systemów radionawigacyjnych, wyrabia u personelu latającego wiarę w niezawodność sprzętu, co doprowadza do pełnego i skutecznego jego wykorzystania, a tym samym zwiększa bezpieczeństwo wykonywanych lotów.

4.10. Odporność na zakłócenia

Odpornością na zakłócenia nazywamy - mówiąc ogólnie - zdolność radionawigacyjnych urządzeń i systemów do odbioru sygnałów użytecznych, przy występowaniu zakłóceń określonego rodzaju. Aby wymagania te były spełnione sprzęt radiona-

wigacyjny powinien być możliwie w maksymalnym stopniu uodporniony na działanie zakłóceń biernych i czynnych.

Przeciwdziałanie zakłóceniom pracy urządzeń i systemów radionawigacyjnych ma na celu stworzenie normalnych warunków pracy przy zabezpieczaniu działań bojowych własnego lotnictwa. Czynniki umożliwiającymi normalne warunki pracy urządzeń i systemów radionawigacyjnych są na przykład:

- radiolokacyjne maskowanie punktów i systemów radionawigacyjnych;
- maskowanie radioelektroniczne pracy urządzeń i systemów radionawigacyjnych;
- niszczenie urządzeń zakłócających nieprzyjaciela;
- inżynieryjne maskowanie miejsc rozwinięcia urządzeń i systemów radionawigacyjnych itp.

4.11. Rozmiary i ciężar

Rozmiary i ciężar urządzeń radionawigacyjnych zwłaszcza montowanych na pokładzie samolotu powinny być jak najmniejsze. Kształty aparatury, a zwłaszcza anten powinny być tak dobrane, by nie pogarszały właściwości aerodynamicznych samolotów. Aparatura naziemna swoimi rozmiarami i ciężarem nie powinna utrudniać transportu przy użyciu dowolnych środków transportowych.

5. URZĄDZENIA RADIONAWIGACYJNE DO POMIARU KĄTA /AZYMUTU/

UWAGI OGÓLNE:

Radionawigacyjne urządzenia znajdujące się na wyposażeniu służby ubezpieczenia lotów a służące do pomiaru kąta /azymutu/ można ogólnie podzielić na dwie grupy, a mianowicie:

1. Radionamierniki

2. Radiostacje przewodzące

Uwzględniając ten podział w niniejszym punkcie omówione zostaną teoretyczne podstawy działania tego typu urządzenia, ich budowa, możliwości wykorzystania itp.

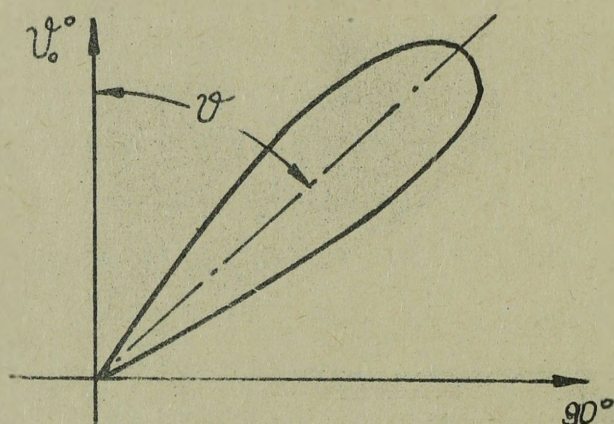
5.1. ZASADY POMIARU

Pomiaru kąta za pomocą fali elektromagnetycznej można dokonać przy użyciu dwóch parametrów fali, a mianowicie:

1. Jako pomiaru względnego natężenia pola na charakterystyce kierunkowej według zależności /patrz wzór 2-4/:

$$E_{\vartheta} = E_0 f(\vartheta)$$

/5-1/



- gdzie: E_{ϑ} - natężenie pola na kierunku ϑ ;
 E_0 - natężenie pola na kierunku odniesienia;
 ϑ - kąt w stosunku do kierunku odniesienia.

2. Jako pomiaru fazy, zależnej od kierunku, według zależności:

$$E = E_m \sin(\omega t + \vartheta)$$

/5-2/

/omówienie wzoru w punkcie 2.3.4 rys. 2-8 i wzór 2-20/.

W obu wspomnianych przypadkach charakterystykę kierunkową lub fazową może mieć nadajnik albo odbiornik. Jeżeli charakterystykę tę ma odbiornik - nosi on wówczas nazwę radionamiernika. Jeżeli zaś charakterystyka wytwarzana jest po stronie nadawczej - urządzenie nosi nazwę radiolatarni kierunkowej lub kursowej.

Radionamiernik należy na okręcie /lub statku/ do podstawowego wyposażenia radionawigacyjnego. W lotnictwie podstawową pomocą nawigacyjną jest radionamiernik automatyczny, zwany również radiokompasem.

Zaletą radionamiernika jest prosta zasada działania oraz możliwość określania kierunku w stosunku do dowolnego nadajnika o znanej pozycji. Jest to najstarsze urządzenie radionawigacyjne i wybrzeża morskie oraz trasy lotnicze są obecnie pokryte gęstą siecią radiolatarni stanowiących punkty nawiazania dla radionamierników.

Z powodu tych zalet radionamiernik przez długi jeszcze czas pozostanie ważną pomocą w radionawigacji średnio-dystansowej, pomimo rozwoju bardziej nowoczesnych, dokładniejszych i bardziej zautomatyzowanych środków, jak np. ultrakrótkofalowa radiolatarnia kierunkowa i systemy hiperboliczne.

Radionamiernik ma jednak poważne wady. Przede wszystkim w radionamiernikach pokładowych promieniowanie wtórne i błędy polaryzacji zmuszają do stosowania fal długich, co nie jest dogodne zarówno ze względu na warunki odbioru, jak i ze względu na zagęszczenie służb na tym zakresie częstotliwości.

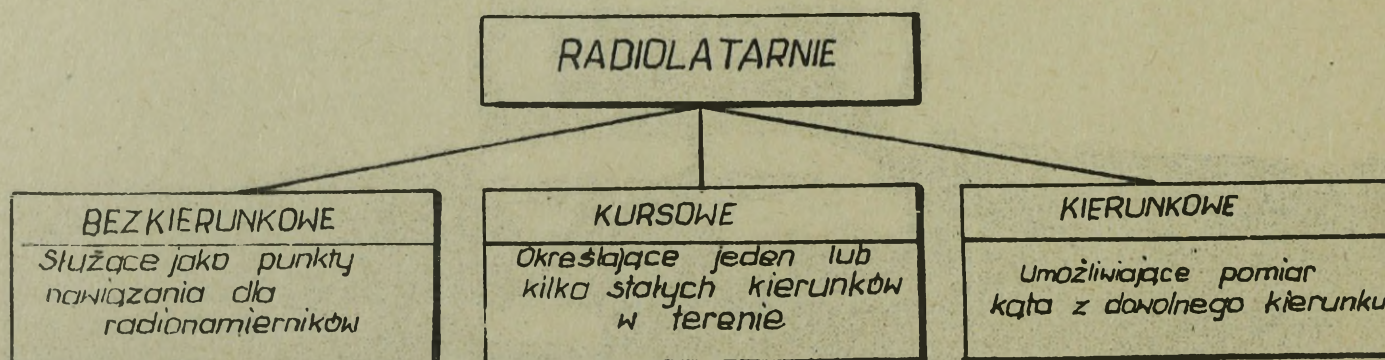
W radionamiernikach pokładowych pomiar kierunku wykonywany jest w stosunku do symetrii samolotu /okrętu/. Jest to namiar względny, a dla uzyskania namiaru rzeczywistego - azymutalnego - konieczne jest uwzględnienie wskazania kompasu, co wymaga dodatkowych czynności i może spowodować błędny pomiar wskutek niedokładności w kompensacji dewiacji magnetycznej.

Określenie pozycji wymaga wykreślenia wykonywanych namiarów kierunku, co często jest niedogodne zwłaszcza na mniejszych samolotach /jednostkach morskich/ i zabiera dużo czasu. Wprawdzie możliwe jest przygotowanie tzw. wykresu goniometrycznego, lecz metoda ta nadaje się jedynie dla tras stałych, np. w lotnictwie i wymaga gęstej sieci radiolatarni. Z uwagi na powyższe niedogodności radionamiernik często służy jedynie do nawigacji docelowej.

Jeżeli radionamiernik umieszczony jest na lądzie, kierunkiem odniesienia jest z zasady północ i otrzymany kąt jest namiarem rzeczywistym. Jednakże przekazanie wyniku /namiaru/ na samolot wymaga dodatkowej komunikacji radiowej i przepustowość /przelotowość/ systemu jest silnie ograniczona.

W lotnictwie średnio - i długofalowe radionamierniki naziemne wychodzą z użycia, gdyż nowoczesne samoloty nie posługują się pokładowymi nadajnikami średnio - i długofalowymi. Normalnie stosowane są urządzenia komunikacyjne ultrakrótkofalowe. Z tego powodu dla kontroli ruchu w rejonie lotniska dość szerokie zastosowanie mają radionamierniki naziemne ultrakrótkofalowe, pozwalające na wykonanie namiaru na samolot, na którym pracuje nadajnik UKF.

5.1.1. Klasyfikacja radiolatarni



Rys. 5-1. Klasyfikacja radiolatarni

Radiolatarnie bezkierunkowe - są ustawiane w odpowiednich dla wymagań nawigacyjnych punktach, jako radiolatarnie trasowe w lotnictwie /jako latarnie nadbrzeżne w żegludze morskiej/.

Swego rodzaju latarnią bezkierunkową jest również radionadajnik komunikacyjny na samolocie /jednostki morskiej/ wtedy, gdy na ten nadajnik wykonuje się namiary za pomocą radionamierników naziemnych.

Radiolatarnie kursowe i kierunkowe - są z zasady urządzeniami naziemnymi. Kierunkiem odniesienia jest normalnie północ, dzięki czemu uzyskany namiar jest namiarem rzeczywistym i nie wymaga znajomości kąta kursowego.

Kierunki w stosunku do radiolatarni mogą być naniiesione na mapę i uzyskanie pozycji nie wymaga kreślenia linii pozycyjnych. Na pokładzie nie ma anteny kierunkowej - nie mogą więc tam powstać błędy wskutek promieniowania wtórnego i możliwa jest praca również na falach ultrakrótkich. Są to niewatpliwie zalety radiolatarni w porównaniu z radionamiernikami. Wadę ich stanowi ograniczenie możliwości korzystania z radiolatarni do obszaru pokrytego jej zasięgiem, podczas gdy radionamiernik pokładowy jest bardziej uniwersalny, gdyż w zasadzie może korzystać z każdej radiostacji o znanej pozycji pracującej w danym paśmie częstotliwości.

5.2. ZASADY KIERUNKOWEGO PROMIENIOWANIA - CHARAKTERYSTYKI KIERUNKOWE URZADZEŃ RADIONAWIGACYJNYCH

Aczkolwiek warunki formowania charakterystyk kierunkowych są tematem należącym do teorii anten, obszernie omawianym w specjalnej literaturze, to jednak ze względu na specyficzne wymagania radionawigacji, konieczne jest zestawienie ogólnych zasad promieniowania kierunkowego i wyodrębnienie tych układów, które dla radionawigacji mają szczególne znaczenie.

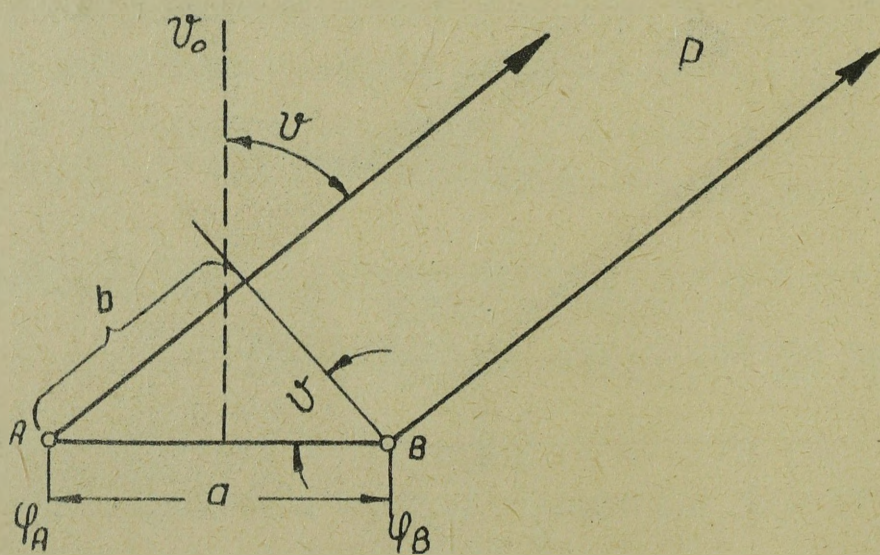
Ogólna zasada promieniowania kierunkowego polega na odpowiednim przestrzennym rozkładzie źródeł drgających. Wówczas na danym kierunku fale elektromagnetyczne pochodzące z różnych elementów układu promieniującego przebywają różne drogi, a wskutek różnicy dróg doświadają różnych opóźnień fazy według relacji:

$$\varphi = 2\pi \left(n + \frac{d\varphi}{\lambda} \right) \quad /5-3/$$

analiza wzoru zilustrowana na rys. 2-7. /wzór 2-12/.

W wyniku sumowania wektorowego natężenie pola wypadkowego jest funkcją kierunku. Najprostszym, lecz ważnym dla radionawigacji przykładem takiej sytuacji jest charakterystyka kierunkowa powstająca wskutek promieniowania dwóch punktów drgających A i B rozstawionych w odległości "a" /ilustracja na rys. 5-2/ i drgających z tą samą częstotliwością, lecz z fazą przesuniętą o kąt:

$$\phi = \varphi_A - \varphi_B \quad /5-4/$$



Rys. 5-2. Zasada promieniowania dwóch punktów drgających.

Za takie dwa punkty drgające można uważać na przy-

kład dwie anteny ustawione prostopadle do płaszczyzny badanej charakterystyki kierunkowej.

Do odległego punktu odbioru /P/ położonego pod kątem ϑ w stosunku do kierunku odniesienia / ϑ_0 / i w odległości /d/ dużej w porównaniu z odległością /a/ fale promieniowane z obu punktów A i B przebywają drogę różniącą się o odcinek $b = a \sin \vartheta$. Na tym odcinku powstaje przesunięcie fazy, które można wyrazić wzorem:

$$\left\| \varphi_{\vartheta} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot b; b = a \cdot \sin \vartheta; \varphi_{\vartheta} = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \vartheta \right\| \quad 15-5/$$

Dla /d \gg a/ kąt położenia punktu odbioru w stosunku do obu punktów drgających można uważać za równy i pole wypadkowe w punkcie P wynosi:

$$\left\| E_{\vartheta} = E_A \cdot e^{j(\omega t + \varphi_A - \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \vartheta)} + E_B \cdot e^{j(\omega t + \varphi_B)} \right\| \quad 15-6/$$

gdzie: E_A i E_B oznaczają odpowiednią amplitudę składowych natężenia pola w odległości "d", pochodzące od punktów A i B.

Jeżeli moce promieniowane w obu punktach są równe, wówczas dla /d \gg a/ będzie $E_A = E_B = E_1$.

gdzie: E_1 - oznacza natężenie pola pochodzące od jednego punktu promieniującego.

W danym wypadku zmienność czasowa nie ma tu znaczenia, a amplituda pola wypadkowego na kierunku ϑ wynosi:

$$\left| E_{\vartheta} = E_1 (e^{j\psi_A} + e^{j\psi_B}) = E_1 [\cos \psi_A + \cos \psi_B + j(\sin \psi_A + \sin \psi_B)] \right| \quad 15-7$$

W równaniu 5-7 odpowiednie wyrażenia oznaczają:

$$\left\| \psi_A = \varphi_A - \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \vartheta; \psi_B = \varphi_B \right\| \quad /5-8/$$

Po przekształceniu wzoru 5-7 i uwzględnieniu wzoru 5-8 otrzymamy:

$$\left\| \begin{aligned} E_{\vartheta} &= E_1 \left(2 \cos \frac{\psi_A + \psi_B}{2} \cos \frac{\psi_A - \psi_B}{2} + j 2 \sin \frac{\psi_A + \psi_B}{2} \cos \frac{\psi_A - \psi_B}{2} \right) \\ E_{\vartheta} &= E_p \cos \frac{\psi_A - \psi_B}{2} \left(\cos \frac{\psi_A + \psi_B}{2} + j \sin \frac{\psi_A + \psi_B}{2} \right); \\ E_{\vartheta} &= E_p \cos \frac{\psi_A - \psi_B}{2} \cdot e^{j \frac{\psi_A + \psi_B}{2}}; \end{aligned} \right\| \quad /5-9/$$

gdzie: $E_p = 2E$.

Wektor pola wypadkowego $/W/$ posiada fazę będącą średnią faz obu pól składowych, a jego amplituda proporcjonalna jest do wyrażenia $/5-10/$, będącego współczynnikiem kierunkowości układu.

$$\left\| \begin{aligned} \mathcal{H} &= \cos \frac{\psi_A - \psi_B}{2} \\ \mathcal{H} &= \cos \left(\frac{\phi}{2} - \frac{\pi a}{\lambda} \sin \vartheta \right) \end{aligned} \right\| \quad /5-10/$$

gdzie: $\phi = \varphi_A - \varphi_B$ jest różnicą faz obu punktów promieniujących.

Współczynnik kierunkowości \mathcal{H} $/5-10/$ określa zależność pola promieniowanego od kierunku ϑ . Współczynnik ten może się zawierać w granicach od $+1$ do -1 przechodząc przez zero na kierunkach następujących:

$$\left[\frac{\phi}{2} - \frac{\pi a}{\lambda} \sin \vartheta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots, (2n-1)\frac{\pi}{2} \right]$$

/5-11/

Są to kierunki minimów charakterystyki. Kierunki te można wyliczyć z warunku 5-11 jako:

$$\left\| \sin \vartheta = \frac{\lambda}{\pi a} \left[\frac{\phi}{2} - (2n-1)\frac{\pi}{2} \right] \right\|$$

/5-12/

gdzie: n - jest liczbą całkowitą.

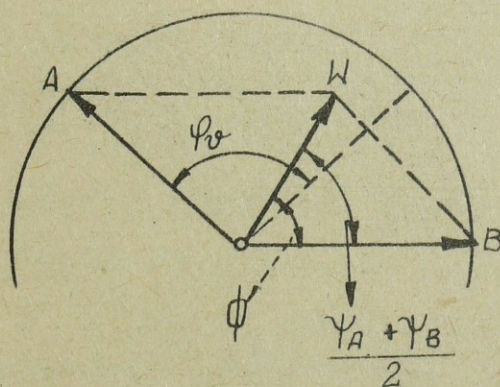
Musi tu być spełniony warunek $\sin \vartheta < 1$ to jest:

$$\left\| \frac{\lambda}{\pi a} \left[\frac{\phi}{2} - (2n-1)\frac{\pi}{2} \right] \leq 1 \right\|$$

/5-13/

Znak równości w tym wyrażeniu określa ilość minimów na ćwiartce okręgu, odpowiadającą danemu stosunkowi a/λ .

Zasadę powstawania charakterystyki kierunkowej określonej współczynnikiem \mathcal{H} /wzór 5-10/ wyjaśnia rys. 5-3.



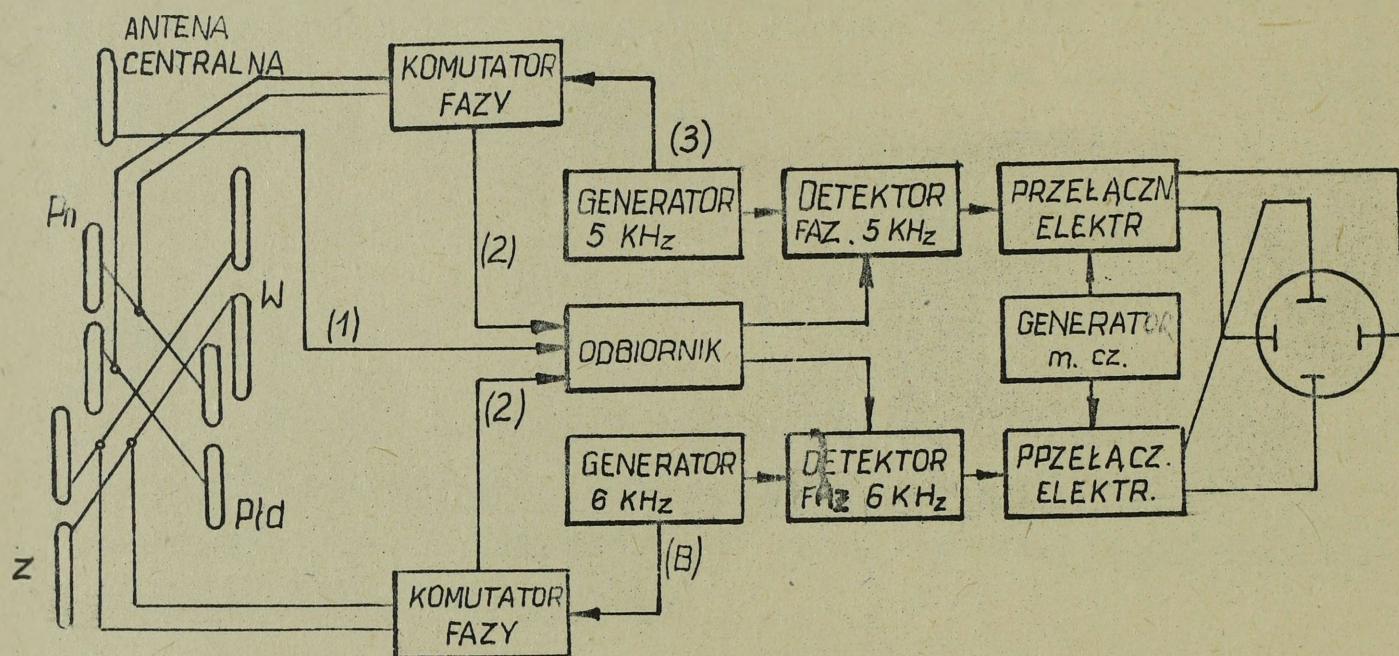
Rys. 5-3. Zasada powstawania charakterystyki kierunkowej określonej współczynnikiem kierunkowości.

6. RADIONAMIERNIKI

W punkcie niniejszym omówione zostaną ogólne zasady pracy radionamierników z uwzględnieniem radionamierników naziemnych i pokładowych oraz podane będą zasady ich pracy.

6.1. BUDOWA I ZASADA PRACY RADIONAMIERNIKÓW UKF

W radionamierniku UKF stosuje się dwie anteny typu H /dipole Pn-Płd, Z-W/, rozmieszczone prostopadle względem siebie oraz jedną antenę centralną /rys. 5-4/.



Rys. 6-1. Uproszczony schemat blokowy radionamiernika.

Drgania zaindukowane w każdej z tych anten przechodzą jak to wynika z rys. 5-4. różnymi drogami do odbiornika. Drgania z anteny centralnej podawane są bezpośrednio na wejście odbiornika /1/, zaś z anten typu H poprzez komutatory fazy /2/.

W komutatorach faz następuje modulowanie drgań napięciami 5 kHz i 6 kHz. Napięcia te uzyskiwane są ze specjalnych generatorów /3/. Zsumowanie wszystkich drgań

daje na wejściu odbiornika dwa napięcia modulowane częstotliwościami 5 kHz i 6 kHz.

Fazy obu napięć zależą od kierunku na radiostację w stosunku do usytuowania anten typu H. Napięcia po wzmocnieniu w odbiorniku podlegają detekcji, zaś na wyjściu odbiornika, przy pomocy odpowiednich filtrów, wytwarzane są napięcia o częstotliwościach 5 kHz i 6 kHz.

Każde z tych napięć podawane jest na inny detektor fazowy. Na detektory fazowe przychodzą również napięcia z generatorów małej częstotliwości, te same, które podawane były na komutatory faz.

Każdy z detektorów fazowych wytwarza napięcie stałe, zależne od kierunku namierzanej radiostacji w stosunku do anteny. Podanie tych napięć na płytki lampy oscyloskopowej, spowoduje wychylenie plamki ze środka w kierunku zgodnym z kierunkiem radiostacji.

Podawanie jednak napięć stałych wywoła stałe wychylenie plamki w postaci nieruchomego punktu świetlnego. Odczytanie azymutu może być wtedy niewygodne; o wiele wygodniejsze jest gdy obraz na ekranie ma postać linii świetlnej, wychodzącej ze środka ekranu. Obraz taki można uzyskać przez wytworzenie napięć piłozębnych, których amplituda jest proporcjonalna do wielkości podawanych napięć stałych. Do tego celu służy w radionamierniku przełącznik elektronowy wraz z generatorem m.cz.

Generator ten wytwarza napięcie zatykające okresowo lampy przełącznika elektronowego. Powoduje to kolejne ładowanie i rozładowanie kondensatorów, a zatem wytwarzanie napięcia piłozębowego. Dopiero to napięcie podawane jest na płytki odchylające, powodując wytworzenie linii świetlnej.

6.2. AUTOMATYZACJA NAMIARÓW - RADIONAMIERNIKI AUTOMATYCZNE

Automatyzacja namiarów radionawigacyjnych ma na celu skrócenie czasu namiaru oraz uproszczenie obsługi radionamiernika. Jest to szczególnie ważne w lotnictwie, gdzie przy dużej prędkości samolotów czas potrzebny na wykonanie namiaru ma znaczenie pierwszorzędne. Ponadto

nawigator na pokładzie samolotu powinien otrzymać namiar w formie gotowego wskazania kierunku, konieczności wykonania bez dodatkowych, absorbujących uwagę, czynności. Dlatego w lotnictwie stosowanie radionamierników automatycznych, zarówno naziemnych, jak i pokładowych /zwanych również radiokompasami/, jest obecnie powszechne.

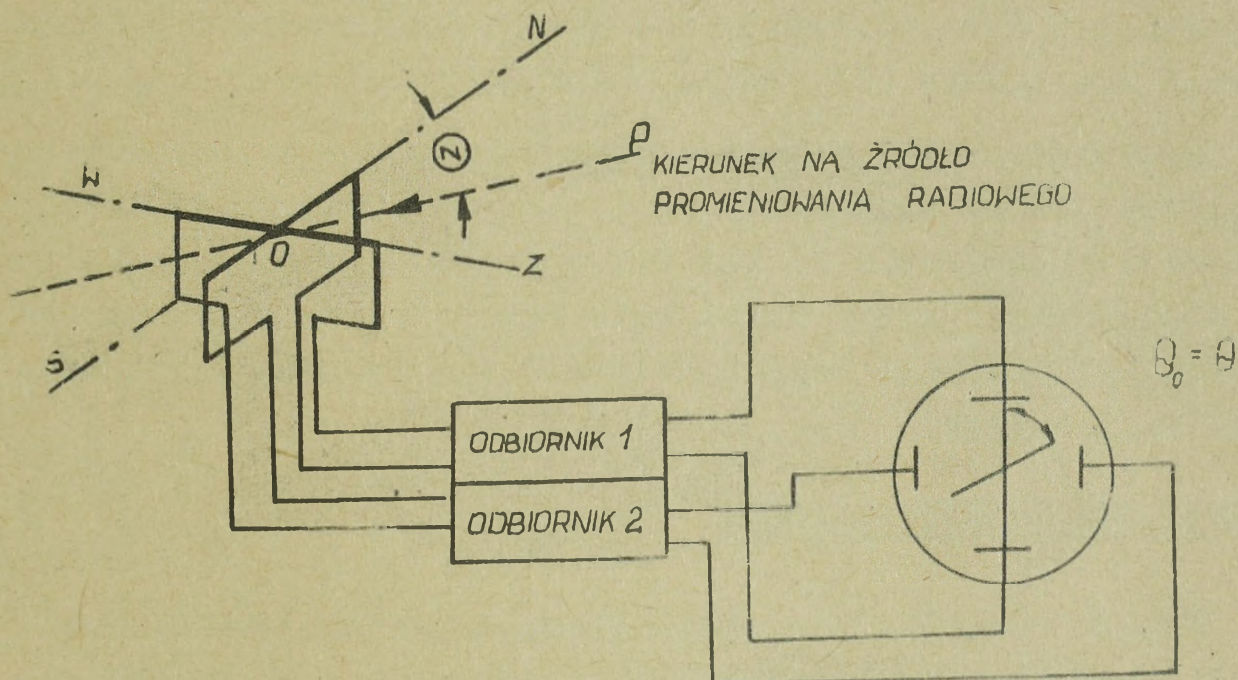
W realizacji automatyzowania namiarów można wyodrębnić 5 ogólnych koncepcji, których realizacja prowadzi do różnych rozwiązań konstrukcyjnych, z których można wymienić:

1. Automatyczne wyszukiwanie minimum charakterystyki, która to koncepcja w gruncie rzeczy polega na zastąpieniu czynności wykonywanych przez operatora, urządzeniem automatycznym. Oś ramy anteny połączona jest z obwodem automatyki w taki sposób, że odbiór sygnału powoduje obracanie ramy aż do momentu zaniku sygnału. Rama zatrzymuje się w położeniu odpowiadającym kierunkowi minimum.
2. Ruch wirowy charakterystyki ósemkowej lub kardoidalnej - ruch wirowy charakterystyki kierunkowej powoduje modulację amplitudy sygnału. Pomiar kierunku sprowadza się wówczas do pomiaru fazy obwiedni modulacji. W rozwiązaniu tej koncepcji można wyodrębnić kilka metod, w których typowy pomiar fazy może być zastąpiony pomiarem położenia minimum.
3. Pomiar fazy określonej - w układzie ram skrzyżowanych można uzyskać napięcie, którego faza jest proporcjonalna do kierunku odbieranego sygnału. Pomiar tej fazy jest więc pomiarem kierunku.
4. Ruch wirowy wąskiej charakterystyki kierunkowej zsynchronizowany z obrotem podstawy czasu na wskaźniku oscylograficznym. Odbiór sygnału daje na wskaźniku rysunek charakterystyki kierunkowej, a gdy charakterystyka jest dostatecznie wąska, namiarem odebranego sy-

gnału jest kierunek listka tej charakterystyki.

5. Pomiar stosunku napięć w ramach skrzyżowanych - w ramach skrzyżowanych napięcia proporcjonalne są odpowiednio do $\sin \vartheta$ i $\cos \vartheta$. Przyłożenie tych napięć na wskaźnik oscylograficzny daje prostą, nachyloną pod kątem ϑ

Obecnie omówiona zostanie w sposób ogólny zasada pracy radionamierników automatycznych /dwukanałowych/ w oparciu o schemat blokowy podany na rys. 5-5.



Rys. 6-2. Uproszczony schemat radionamiernika automatycznego.

W radionamierniku użyte są dwa jednakowe odbiorniki przyłączone z jednej strony do wzajemnie prostopadłych anten ramowych, z drugiej zaś do dwóch par płytek odchyłających lampy oscyloskopowe.

Sygnaly radiowe przychodzące z kierunku OP wytwarzają na wejściu odbiorników następujące napięcia:

- na wejście 1 odbiornika: $C_1 = E_1 \cos \vartheta \sin \omega t$

- na wejście 2 odbiornika: $C_2 = E_1 \sin \vartheta \sin \omega t$

Jeżeli odbiorniki są identyczne i pracują w jednakowych warunkach, to napięcia na ich wyjściach będą równe, a mianowicie:

- na wyjściu 1 odbiornika $e_{\omega_1} = E_1 k \cos \vartheta$

- na wyjściu 2 odbiornika $e_{\omega_2} = E_1 k \sin \vartheta$

gdzie: k - współczynnik wzmocnienia odbiorników.

Wskutek jednoczesnego działania obu napięć $C\omega_1, C\omega_2$ na ekranie lampy oscyloskopowej powstanie linia świetlna nachylna pod kątem Θ do osi pionowej lampy, tzn.:

$$\Theta_0 = \text{arc tg } \frac{C\omega_1}{C\omega_2} = \text{arc tg } (\text{tg } \Theta) = \Theta$$

Z powyższego wynika, że znajomość kąta umożliwia wyznaczenie namiaru Θ . Długość linii świetlnej na ekranie lampy oscyloskopowej jest proporcjonalna do natężenia pola elektromagnetycznego, wytwarzanego przez stację namierzaną w punkcie odbioru i nie zależy od azymutu obiektu powietrznego.

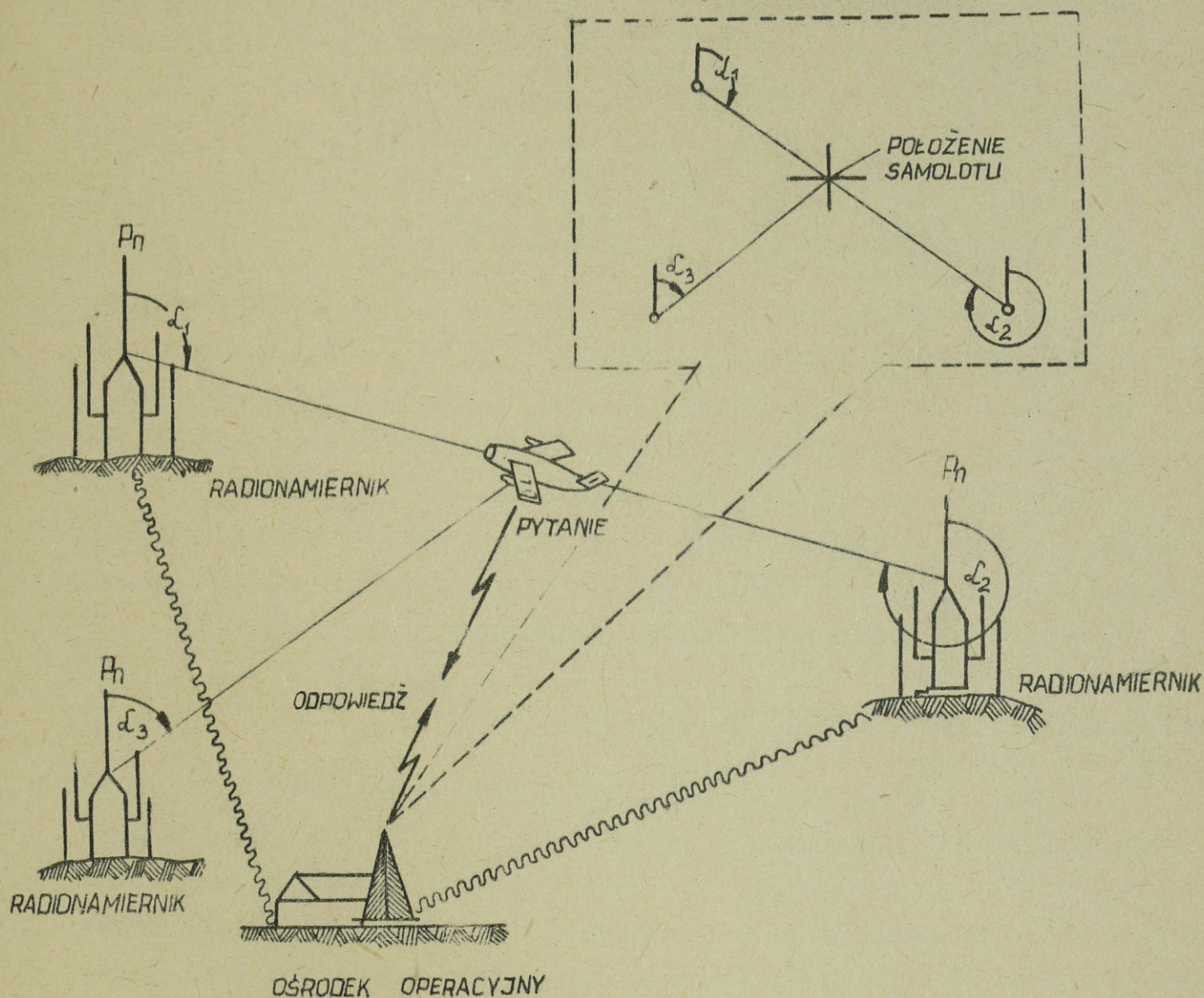
Dwukanałowe automatyczne radionamierniki ze wskaźnikami oscyloskopowymi umożliwiają jednoczesne namierzanie dwóch radiostacji pracujących na tej samej częstotliwości. Sygnały dwóch radiostacji tworzą na ekranie wskaźnika oscyloskopowego równoległobok, którego boki są odpowiednio równoległe do szukanych linii namiaru.

6.3. RADIONAMIERNIKI NAZIEMNE

Radionamierniki naziemne należą do najstarszych urządzeń stosowanych w radionawigacji, a ze względu na szereg zalet, zwłaszcza konstrukcyjnych, znajdują nadal szerokie zastosowanie w praktyce.

Omówimy pokrótce zasadę określania położenia obiektu, za pomocą sieci radionamierników naziemnych, w oparciu o schemat podany na rys. 5-6.

ZOBRAZOWANIE SYTUACJI
W OŚRODKU OPERACYJNYM



Rys. 6-3. Zasada określania położenia samolotu za pomocą sieci radionamierników naziennych.

6.3.1. Zasada określania położenia samolotu

1. Na pokładzie samolotu znajduje się radiostacja nadawczo-odbiorcza, natomiast na ziemi pracuje sieć radionamierników składająca się z trzech stacji nadawczo-odbiorczych, posiadających anteny do kierunkowego odbioru sygnałów radiowych.

2. Pracą sieci kieruje ośrodek operacyjny, w którym m.in. znajduje się mapa z naniesionymi rozmieszczeniami radionamierników i środki do łączenia się z nimi /przewodowe lub radiowe, często też jedno i drugie/.
3. Stacje radionamierzenia /na zapotrzebowanie radiostacji pokładowej, nadającej określony sygnał/ określają za pomocą anten kierunkowych azymut samolotu.
4. Wyniki pomiarów zostają przekazane do ośrodka operacyjnego, gdzie poszczególne azymuty nanosi się na mapę. Przesunięcie się na mapie trzech linii odpowiadających zmierzonym azymutom /namiarom/ daje zwykle trójkąt błędu z jakim określono położenie radiostacji samolotowej. Na podstawie kilku namiarów określa się kurs i ewentualne odchylenia od niego. Opracowane wyniki pomiarów podaje się do wiadomości zainteresowanym drogą radiową.

6.3.2. Zasięg radionamierników naziemnych

Zasięg radionamierników naziemnych zależy od ich mocy i częstotliwości nadajników pokładowych /radiostacji/. W systemach radionawigacyjnych o dużym zasięgu mogą być stosowane radiostacje samolotowe, pracujące na falach długich, krótkich i ultrakrótkich. Dla każdego zakresu fal muszą być jednak stosowane różne moce nadajników.

Z powodu ograniczonego zasięgu fal ultrakrótkich, do uzyskania dużych zasięgów, organizowane są "łańcuchy" składające się z licznych sieci radionamierników naziemnych, które wzajemnie "przekazują" sobie samoloty wykonujące dalekie przeloty.

6.3.3. Zalety i wady radionamierników naziemnych

Do podstawowych zalet radionamierników naziemnych można zaliczyć:

- prostotę sprzętu pokładowego /radiostacja nadawczo-odbiorcza, przeznaczona do łączności/;

- dokładność wystarczającą do nawigacji;
- łatwość obsługi w samolocie;

Do wad radionamierników naziemnych zaliczamy:

- ograniczony zasięg;
- brak ciągłości w określaniu położenia;
- niemożliwość jednoczesnego namierzania kilku samolotów, których radiostacje pracują na jednej fali;
- duży czas namiaru.

7. RADIOSTACJE PROWADZĄCE

7.1. OKREŚLENIE I PRZEZNACZENIE RADIOSTACJI

Radiostacje prowadzące są lotniczymi, nadawczo-odbiorczymi, telegraficzno-telefonicznymi radiostacjami średniej mocy, przeznaczonymi do pracy w systemie ślepego lądowania i prowadzenia samolotów wyposażonych w radiokompasy. Oprócz tego radiostacje prowadzące, mogą być wykorzystywane jako telegraficzno-telefoniczne radiostacje łącznościowe /korespondencyjne/ lub dla innych celów.

7.2. OGÓLNA ZASADA PRACY RADIOSTACJI

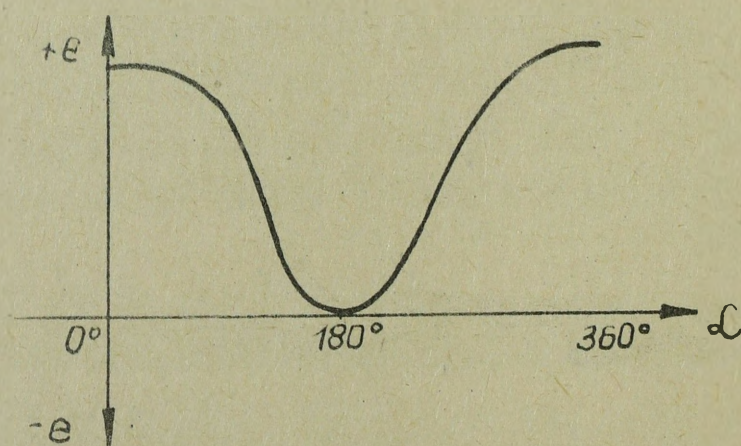
Lotnicza radiostacja prowadząca, wykorzystywana zgodnie ze swym podstawowym przeznaczeniem, stanowi radio-techniczne urządzenie nawigacji lotniczej. Możliwości nawigacyjne radiostacji sprowadzają się do określenia kierunku /kursu/ na radiostację.

Z uwagi na bezkierunkowe promieniowanie energii elektromagnetycznej przez antenę radiostacji, kierunek na radiostację określa się za pomocą urządzenia radionawigacyjnego znajdującego się w samolocie. Urządzenie to nazywa się radionamiernikiem lub radiokompasem /radiopółkompasem/.

Główną częścią składową radiokompasu jest antena ramowa, za pomocą której można określać kierunek na radiostację, co jest zasadniczym przeznaczeniem tego urządzenia. Antena ramowa pozwala na wyraźne określenie kierunku obieranych sygnałów, przychodzących z różnych stron, pod warunkiem, że jej wymiary są mniejsze od długości fali odbieranej radiostacji, co dla anten samolotowych współpracujących z radiostacjami /typu PAR/ jest zawsze spełnione.

Fizyczny sens tego zjawiska polega na tym, że w bokach anteny ramowej indukuje się siła elektromotoryczna /SEM/, wywołana przychodzącą falą radiową, stanowiącą kombinację pola elektrycznego i magnetycznego. W zależności od położenia płaszczyzny ramki anteny w stosunku do kierunku przychodzącej fali elektromagnetycznej, powstaje w niej prąd elektryczny o mniejszym lub większym natężeniu.

W wypadku gdy płaszczyzna ramki będzie prostopadła do kierunku przychodzącej fali, wypadkowa SEM indukowana w antenie będzie minimalna. Jeżeli natomiast antena zostanie obrócona od tego położenia o 90° , to SEM indukowana pod wpływem fali elektromagnetycznej danej radiostacji będzie maksymalna. We wszystkich innych pośrednich położeniach anteny wielkość indukowanej SEM zmienia się według sinusoidy, tzn. sinusoidalnie, jak to przedstawia rys. 7-1.

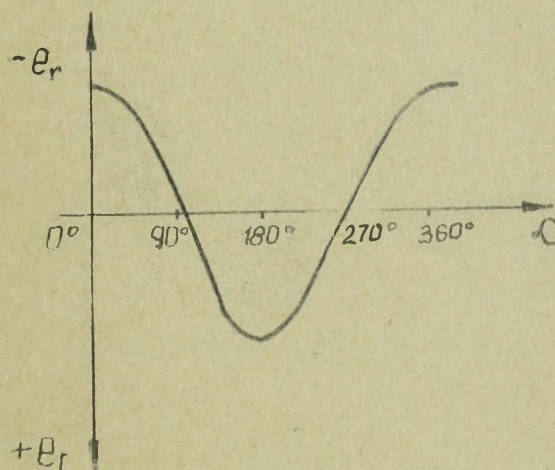


Rys. 7-1. Zmiana siły elektromotorycznej w antenie ramowej w zależności od kąta jej obrotu.

Z rysunku 7-1 wynika, że po obróceniu anteny o 360° otrzymamy dwa minima $/90^\circ$ i $270^\circ/$ i dwa maksima $/180^\circ, 360^\circ/$ siły elektromotorycznej tej samej radiostacji.

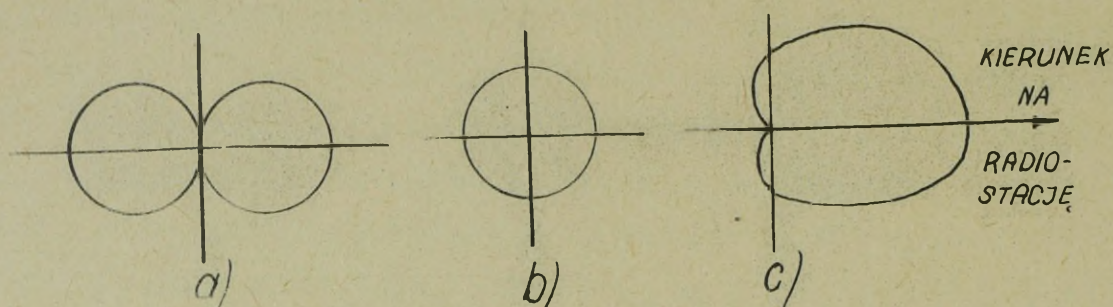
Wiadomo jest, że za pomocą anteny ramowej można określić kierunek na radiostację /np. na minimum SEM indukowanej pod wpływem fali danej radiostacji/, jednak określenie takie będzie d w u z n a c z n e, tzn. rzeczywiste minimum występuje dwukrotnie wówczas położenie radiostacji może być wykazane po obydwu stronach płaszczyzny ramki.

Dwuznaczność wskazań anteny ramowej usuwa się przez zastosowanie odbioru kombinowanego, tj. odbioru równocześnie z dwóch anten: ramowej i prętowej. Podział prądów w kombinowanym systemie antenowym w zależności od obrotu ramki będzie wyglądać tak, jak pokazuje rys. 7-2.



Rys. 7-2. Zależność siły elektromotorycznej kombinowanego układu antenowego /antena ramowa i prętowa/ w zależności od kąta obrotu anteny.

Aby dokładniej wyjaśnić zagadnienie zlikwidowania dwuznaczności określania kierunku na radiostację na rys. 7-3 przedstawiono wykresy charakterystyki odbiorczej anteny ramowej i prętowej oraz charakterystykę wypadkową układu kombinowanego. Zastosowanie takiego układu anten eliminuje dwuznaczność w określaniu kierunku na pracującą radiostację.



Rys. 7-3. Zasada powstawania charakterystyki kierunkowej anteny kombinowanej.

- a/ wykres kierunkowości anteny ramowej w płaszczyźnie poziomej;
- b/ wykres kierunkowości anteny prętowej w płaszczyźnie poziomej;
- c/ charakterystyka wypadkowa anteny kombinowanej w płaszczyźnie poziomej.

Praca radiostacji prowadzącej polega na nieprzerwanym promieniowaniu energii elektromagnetycznej /które jest konieczne do namierzania - określania kierunku - za pomocą radiokompasu/ i okresowym nadawaniu sygnałów rozpoznawczych przydzielonych dla danej radiostacji. Nawigator samolotu przez nieprzerwane namierzanie radiokomпасem może wyprowadzić na nią swój samolot , bez widoczności naziemnych punktów orientacyjnych.

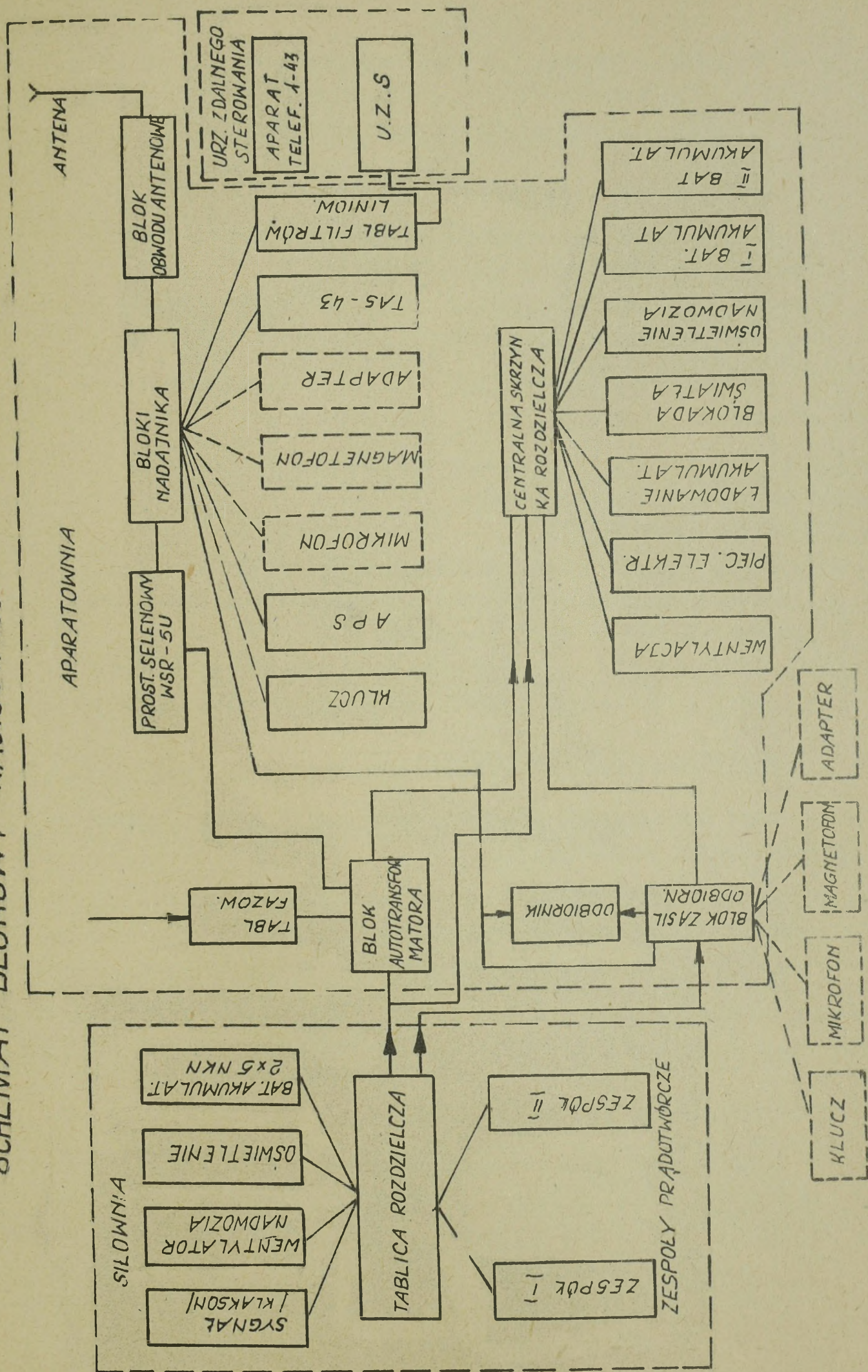
7.3. CZĘŚCI SKŁADOWE RADIOSTACJI I ICH PRZEZNACZENIE

W zależności od typu radiostacji prowadzących, wyróżnić można dwa podstawowe zestawy urządzeń, a mianowicie:

1. aparatunię, mieszczącą się w specjalnym nadwoziu samochodu;
2. siłownię, zamontowaną w przyczepie lub w specjalnym nadwoziu samochodu, przeznaczonego do tego celu.

Oprócz tego w skład zestawu wchodzi również /jak to ma miejsce w zestawie radiostacji typu PAR-7s/, wynośne urządzenie zdalnego sterowania. Podstawowe urządzenia wchodzące w skład aparatu ni, siłowni i wynośnego urządzenia zdalnego sterowania, przedstawiono na rys. 7-4.

SCHEMAT BLOKOWY RADIOSTACJI PROWADZACEJ



Rys 7-4

8. RADIOKOMPASY AUTOMATYCZNE

8.1. PRZEZNACZENIE I MOŻLIWOŚCI RADIOKOMPASÓW

Automatyczne radiokompasy przeznaczone są do:

- prowadzenia samolotów według: radiostacji prowadzących, radiofonicznych i według radiolatarni;
- obliczenia miejsca znajdowania się/położenia/ samolotu;
- wykonania zajścia do lądowania według przyrządów itp;

Radiokompasy umożliwiają m.in. rozwiązywanie następujących zadań nawigacyjnych:

- lot na radiostację według wskaźnika kursu;
- lot na radiostację na słuch;
- lot od radiostacji /jako środek pomocniczy/;
- określenie kątów znoszenia i wektorów wiatru;
- pelengowanie radiostacji automatycznie według wskaźnika radiokompasu oraz metodą słuchową;
- lot według radiolatarni pracującej sygnałami modulowanymi lub strefą oraz szereg innych zadań nawigacyjnych.

8.2. UKOMPLETOWANIE RADIOKOMPASÓW

Radiokompasy mogą być kompletowane w dwóch podstawowych odmianach, a mianowicie:

1. z jedną tablicą sterowania;
2. z dwoma tablicami sterowania.

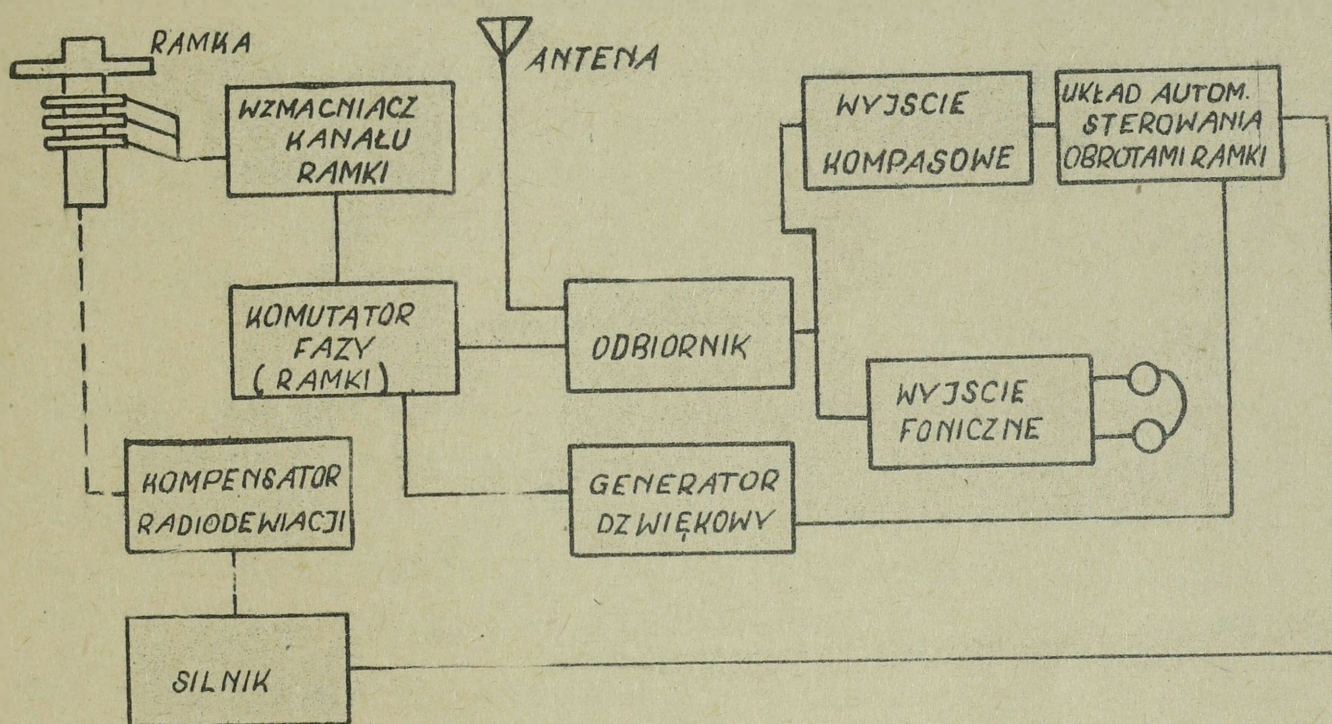
W pierwszej odmianie komplet składa się z odbiornika anteny ramowej /wewnątrzkadłubowej/, tablicy sterowania, wskaźników kursu pilota i nawigatora i innych urządzeń pomocniczych.

8.3. ZASADA DZIAŁANIA RADIOKOMPASU

Radiokompas może pracować w trzech układach:

- a/ kierunkowy odbiór kompasowy - według wskaźnika kursu;
- b/ bezkierunkowy odbiór na słuch sygnałów modulowanych i niemodulowanych /na antenie zwykłej/;
- c/ kierunkowy odbiór na słuch sygnałów modulowanych i niemodulowanych /na antenie ramowej/.

Na rys. 8.1 przedstawiony jest uproszczony schemat, na którym elementy części radiopółkompasowej pokazane są w formie schematu blokowego, a rozwinięta jest ta część, dzięki której radiokompas jest automatyczny.



Rys. 8-1. Uproszczony schemat blokowy radiokompasu

8.3.1. Omówienie zasady działania radiokompasu

1. Sygnał odbierany przez antenę ramową po wzmocnieniu przez wzmacniacz kanału ramki przekazywany jest za pomocą przeciwsobnego komutatora fazy w ten sposób, że SEM na wyjściu komutatora fazy w czasie jednego półokresu częstotliwości komutacji posiada fazę zgodną z fazą SEM anteny otwartej, a w czasie następnego półokresu - fazę przeciwną jej
2. Przy odchyleniu ramki w drugą stronę od położenia odbioru faza SEM ramki zmieni się o 180° , co spowoduje także i zmianę SEM po komutacji. Przy położeniu ramki odpowiadającej zerowemu odbiorowi SEM ramki będzie równa zero, a zatem i SEM na wyjściu komutatora fazy w czasie obydwu

półokresów częstotliwości komutacji będzie równa zeru. A więc w zależności od tego, w którą stronę od położenia odbioru zerowego odchyłona jest ramka, jej SEM będzie zgodna w fazie z SEM anteny otwartej albo w czasie jednego półokresu częstotliwości komutacji, albo w czasie drugiego półokresu. SEM ramki i anteny otwartej dodają się /lub też odejmują/ w odwodzie wejściowym odbiornika ARK.

3. Po wzmocnieniu i detekcji sumy algebraicznej SEM na wyjściu kompasowego odbiornika, otrzymuje się napięcie o częstotliwości komutacji, którego faza w zależności od charakteru odchylenia ramki od położenia zerowego jest zgodna albo przeciwna z fazą napięcia komutującego, wytwarzanego przez generator dźwiękowy.
4. Napięcia z wyjścia kompasowego i od generatora dźwiękowego podaje się do układu automatycznego sterowania obrotami ramki. Napięcia te kierują pracą układu i umożliwiają automatyczne ustawienie ramki w położenie odbioru zerowego, niezależnie od tego, jakie położenie zajmowała ona pierwotnie.
5. Kierowanie obrotami ramki przeprowadza się przez ręczne lub automatyczne podawanie zasilania na dwufazowy silnik elektryczny ramki. Napięcie doprowadza się do uzwojeń fazowych silnika od transformatora siłowego; warunkiem obracania się wirnika dwufazowego silnika jest przepływ przez uzwojenie fazowe tego silnika prądów przesuniętych w fazie o 90° .
6. Sterowanie obrotami anteny ramowej może się odbywać ręcznie lub automatycznie, dzięki specjalnemu urządzeniu.

8.4. ZASADY WYKORZYSTANIA RADIOKOMPASÓW AUTOMATYCZNYCH

Automatyczny radiokompas umożliwia określanie kursowego kąta radiostacji /KKR/, który może być wykorzystany do kontroli drogi i nawigowania samolotu w nakazanym kierunku.

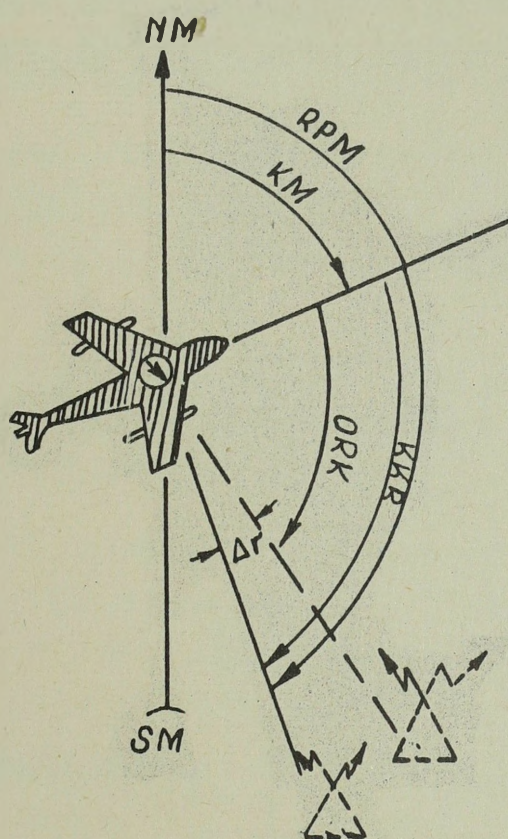
Lot na radiostację może być wykonywany:

- 1/ metodą bierną;

- 2/ metodą czynną;
- 3/ metodą kursową.

Metody te zostaną omówione w dalszej kolejności, a obecnie celowe jest podanie podstawowych oznaczeń, i zależności, z którymi będziemy się spotykać przy omawianiu metody biernej, czynnej i kursowej.

8.4.1. Podstawowe oznaczenia i zależności



Rys. 8-2. Zasada oznaczenia namiarów

Omówienie oznaczeń podanych na rys. 8-2

- ORK - odczyt ze skali wskaźnika kątów kursowych /radiokompasu/;
- KKR - kąt kursowy radiostacji;
- RNMR - radionamiar magnetyczny radiostacji;
- KM - kąt magnetyczny;
- Δr - radiodewiacja;
- RPG - radionamiar geograficzny radiostacji;
- RNGS - radionamiar geograficzny samolotu.

Odpowiednie wymiary otrzymujemy z wyrażeń:

$$KKR = ORK + \Delta r$$

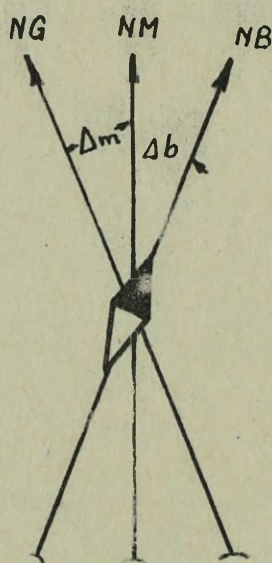
$$RNMR = KM + KKR = KB + \Delta b + ORK + \Delta r$$

$$RPG = KG + KKR = KB + \Delta b + \Delta m + ORK + \Delta r$$

$$RNGS = RNGS \pm 180^\circ$$

gdzie: Δb - dewiacja busoli magnetycznej, jest to kąt zawarty między kierunkiem południka magnetycznego a kierunkiem południka busoli /rys. 8-3/;

Δm - odchylenie magnetyczne /deklinacja - rys. 8-3/.



Rys. 8-3. Zasada oznaczania dewiacji busoli magnetycznej i deklinacji.

8.5. LOTY NA RADIOSTACJĘ PRZY WYKORZYSTANIU ARK

a/ Metoda bierna

Kierunek lotu utrzymywany jest na podstawie wskazań ARK z KKR równym zeru. Busole magnetyczną wykorzystuje się do ogólnej kontroli kierunku lotu.

b/ Metoda czynna

Kierunek lotu utrzymywany jest na podstawie wskazań busoli magnetycznej. ARK wykorzystywany jest do ustalania kursu magnetycznego i kontroli kierunku lotu / $KKR = 360^\circ + KZ$ /. W odległości 30-50 km od radiostacji przechodzi się na bierną metodę nawigacji.

c/ Metoda kursowa

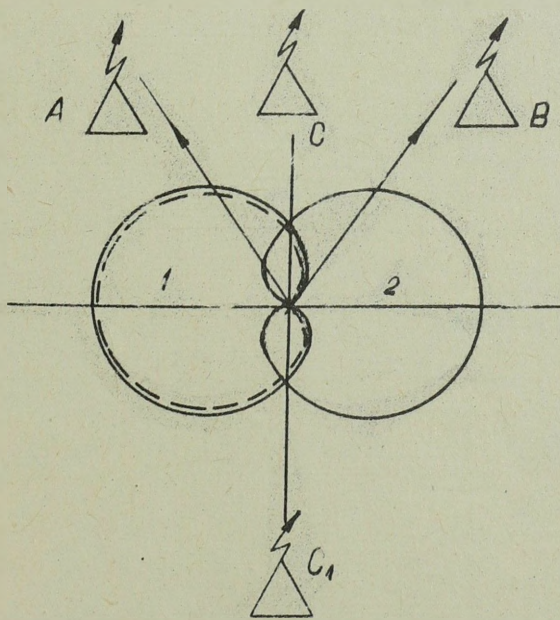
Na prostych odcinkach drogi kierunek lotu utrzymywany jest na podstawie wskazań busoli magnetycznej lub żyrokompasu. Na początku każdego odcinka prostego ustala się kurs samolotu na podstawie wskazań ARK przy KKR równym zeru. W odległości $30 \div 50$ km od radiostacji przechodzi się na bierną metodę nawigacji.

8.6. ZASADA OKREŚLANIA KIERUNKU NA RADIOSTACJĘ PROWADZĄCĄ METODĄ STREFY RÓWNOSYGNAŁOWEJ

Dla określenia kierunku na radiostację prowadzącą w radiokompasie wykorzystuje się najczęściej metodę porównywania amplitud, zwaną najczęściej metodą strefy równosygnałowej.

Metoda ta polega na zmianie położenia charakterystyki promieniowania anteny odbiorczej o kąt 180° z częstotliwością $25 \div 60$ razy w ciągu sekundy.

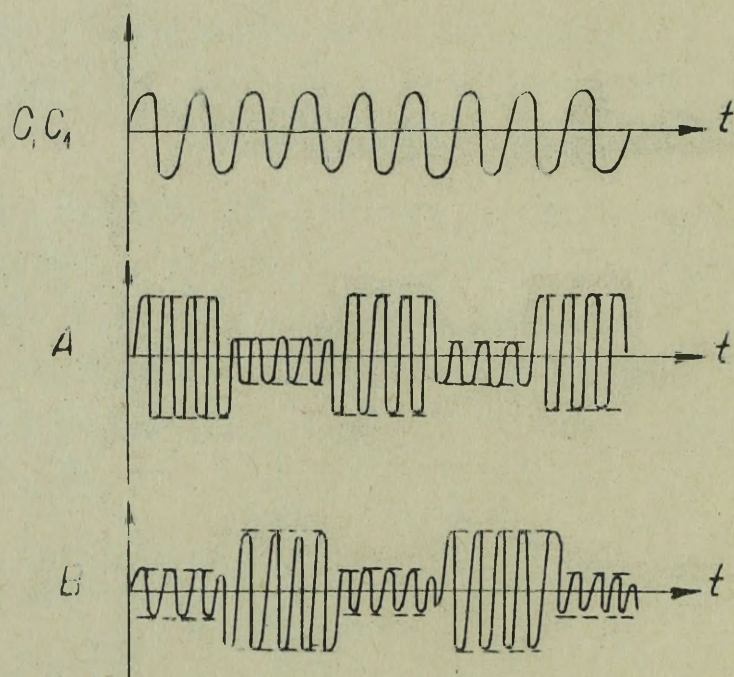
Charakterystyka ma kształt kardioidy. Dzięki temu amplituda sygnału na wejściu odbiornika zależy będzie od położenia wiązki antenowej. Wyjątek stanowi strefa równosygnałowa odpowiadająca kierunkowi C, C₁ /jak to przedstawiono na rys. 8-4/.



Rys. 8-4. Zasada zobrazowania strefy równosygnałowej

Jeśli kierunek strefy równosygnalowej jest zgodny z kierunkiem na radiostację prowadzącą, to amplituda sygnału na wejściu odbiornika radiokompasu jest stała /zobrazowana na rys. 8-5/.

W przypadku odchylenia strefy równosygnalowej od kierunku radiostacji, sygnał na wejściu odbiornika jest modulowany w amplitudzie z częstotliwością zmiany położenia charakterystyki antenowej /kardioidy/. Faza obwiedni napięcia wielkiej częstotliwości zależy od kierunku odchylenia, a jej amplituda od wielkości odchylenia strefy równosygnalowej. Na wejściu odbiornika pojawia się wtedy sygnał małej częstotliwości, sterujący pracą silnika, który obraca antenę, aż do pokrycia się strefy równosygnalowej z kierunkiem na radiostację prowadzącą.



Rys. 8-5. Przebiegi sygnału na wejściu ARK

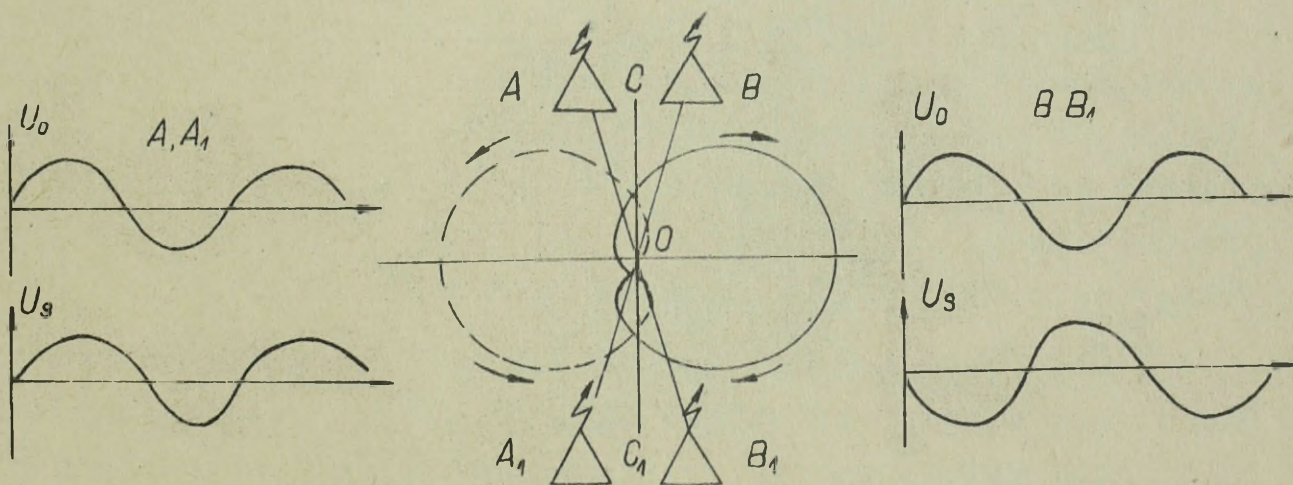
Istniejące dwie strefy równosygnalowe mogą być przyczyną niejednoznaczności pomiaru. Unika się tego przez zbudowanie odpowiedniego układu napędu anteny. W ten sposób skierowanie jednej ze stref równosygnalowych na radiostację prowadzącą, daje stabilne położenie układu, zaś skierowanie drugiej - niestabilne. Pozwala to na wykorzystanie w ukła -

dzie napięcia odniesienia o częstotliwości przełączania charakterystyki, którego faza nie zależy od kierunku przychodzenia fali. Z fazą tego sygnału porównuje się fazę sygnałem małej częstotliwości z wyjścia odbiornika.

Jeśli faza obu sygnałów jest zgodna, antena ramowa obraca się w jedną stronę, zaś przy fazie przeciwnej - w drugą stronę.

Aby lepiej wyjaśnić to co dotychczas powiedzieliśmy, posłużymy się rysunkiem 8-6.

Założmy, że dla położenia radiostacji prowadzącej w lewo od osi OC /rys. 8-6/ napięcie małej częstotliwości z wyjścia odbiornika i napięcie odniesienia są w fazie ze sobą i obracają antenę w lewo. Natomiast dla radiostacji położonej na prawo od osi OC napięcia te będą w przeciwfazie co spowoduje obrócenie anteny w prawo. Wynika z tego, że jedynie stabilne położenie anteny odpowiada skierowaniu strefy równosygnałowej OC_1 na radiostację.



Rys. 8-6. Przebiegi sygnałów w przypadku zgodności faz i przy fazie przeciwnej.

8.7. ZASADA POMIARU ODLEGŁOŚCI ZA POMOCĄ RADIOKOMPASU TYPU

ARK-10

Jednym z podstawowych zadań pilotażu jest m.in. określanie miejsca położenia /pozycji/ samolotu. Rozwiązywanie tego zadania może być przeprowadzone różnymi sposobami. Jednym ze sposobów określania miejsca położenia samolotu może być odczytanie kąta kursowego i odległości do radiostacji prowadzącej, za pomocą radiokompasu ARK-10 specjalnej wersji /Układ pomiaru odległości wchodzi tylko w skład ARK specjalnej wersji, który umieszczony jest na samolotach, posiadających w swym zestawie aparaturę zamontowaną na pokładzie, w skład której wchodzi nadajnik prędkości powietrznej.

8.7.1. Praca z zastosowaniem przelicznika

Dla określenia odległości samolotu do radiostacji prowadzącej, w radiokompasie może być zastosowany przelicznik odległości, który współpracuje z radiokompasami i nadajnikami prędkości powietrznej.

Nadajnik prędkości powietrznej odbiera ciśnienie aerodynamiczne, odpowiadające rzeczywistej prędkości lotu i ciśnienie statyczne otaczającego powietrza. Parametry wejściowe przetwarzają się w jego układzie na napięcie prądu stałego, proporcjonalne do wartości rzeczywistej prędkości powietrznej, którą doprowadza się na wyjście tego nadajnika.

Radiokompas swoją anteną kierunkową /ramką/ naprzemiennie wskazuje kąt kursowy radiostacji /KKR/, a połączony z osią ramki potencjometr cosinusoidalny ciągle wytwarza napięcie proporcjonalne do cosinusa kąta kursowego.

Praca przelicznika pomiaru odległości jest oparta na zliczaniu drogi samolotu. Przy zliczaniu drogi powinna być w każdej chwili znana:

- wartość rzeczywistej prędkości powietrznej;
- kąt kursowy radiostacji prowadzącej.

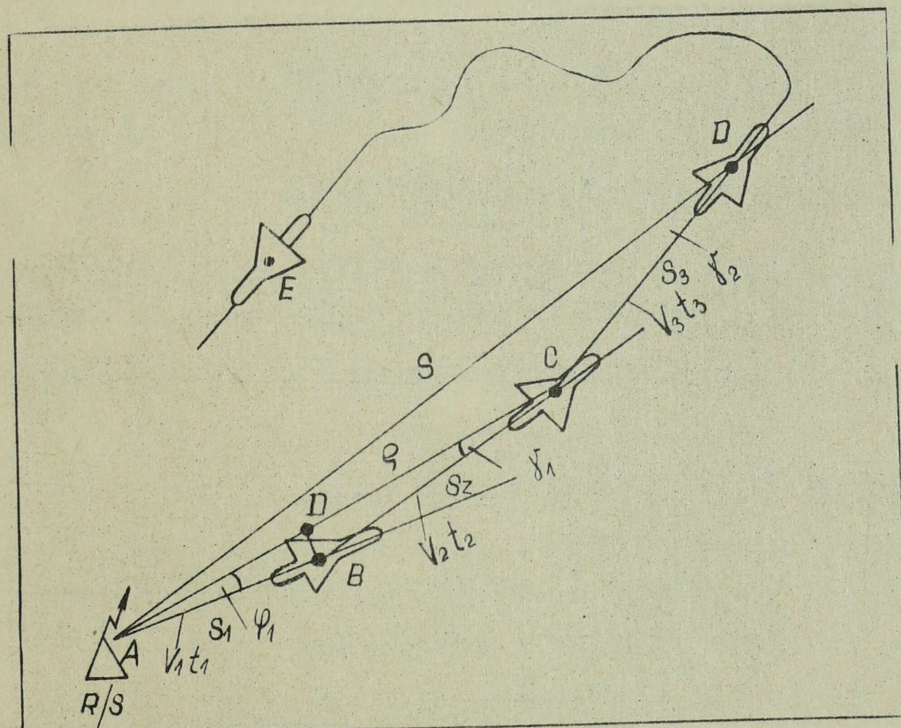
8.7.2. Przypadek lotu samolotu po linii prostej ze stałą prędkością i przy znajomości KKR

W przypadku lotu po linii prostej ze stałą prędkością V_1 i kątem kursowym radiostacji, równym 0° lub 180° , odległość samolotu od stacji w czasie t_1 , określa się ze wzoru:

$$S_1 = V_1 \cdot t_1$$

8.7.3. Przypadek lotu po linii krzywej

Obecnie zajmiemy się omówieniem lotu samolotu po linii krzywej, w przypadku przedstawionym na rys. 8-7.



Rys. 8-7. Lot po linii krzywej - trajektoria lotu

Przy locie po linii krzywej odległość od radiostacji w czasie t_1 równym $t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$ określa się w sposób następujący:

1. Trajektorie lotu według dowolnej trasy można przedstawić jako linię łamaną, składającą się z dowolnej ilości prostoliniowych odcinków, których długość można przyjąć dowolnie małą.

2. Kąt γ_1 , utworzony przez dwa promienie - wektory, określające kierunek na radiostację w dwóch sąsiednich, dowolnie blisko siebie leżących punktach drogi, będzie wtedy mały.

3. Odległość AC, można określić jako sumę AB i rzutu odcinka S_2 na kierunek promienia - wektora AC. Dodajmy przy tym, że przy małym γ_1 można przyjąć, że odcinek AD jest równy AB, jeżeli $DB \perp AC$, wówczas:

$$AC = S_1 + S_2 \cos \gamma_1 = V_1 t_1 + V_2 t_2 \cos \gamma_1$$

gdzie: γ - kąt kursowy w danym punkcie /drogi/.

Przedłużając sumowanie według takiej zasady wzdłuż całej długości drogi, otrzymujemy ostatecznie:

$$S = S_1 + S_2 \cos \gamma_1 + S_3 \cos \gamma_2 + \dots + S_n \cos \gamma_{n-1}$$

gdzie: n - ilość odcinków drogi łamanej.

Oczywiście, że przy nieskończenie dużej ilości odcinków i przy bardzo małej ich długości, wartości odległości AD określa się jako sumę nieskończenie dużej ilości składowych typu:

$$S_n \cos \gamma_{n-1} - \gamma_n - U_n \cos \gamma_{n-1}$$

gdzie: γ_{n-1} - kąt kursowy w dowolnym punkcie drogi;

γ_n - dowolna prędkość chwilowa.

W ten sposób przelicznik odległości dokonuje ciągłego całkowania odcinków drogi, określając tym samym odległość samolotu do radiostacji w każdym punkcie lotu.

9. RADIOWYSOKOŚCIOMIERZE

=====

Mówiąc o radiowysokościomierzach stosowanych do celów nawigacji lotniczej, wypada na wstępie wspomnieć, że do pomiaru wysokości lotu muszą być wykorzystywane specjalnego

typu urządzenia, działanie których opiera się na wykorzystaniu tzw. zjawiska Dopplera, w odniesieniu do radiowysokościomierzy małych wysokości, natomiast do pomiaru dużych wysokości mogą być stosowane radiowysokościomierze pracujące metodą impulsową.

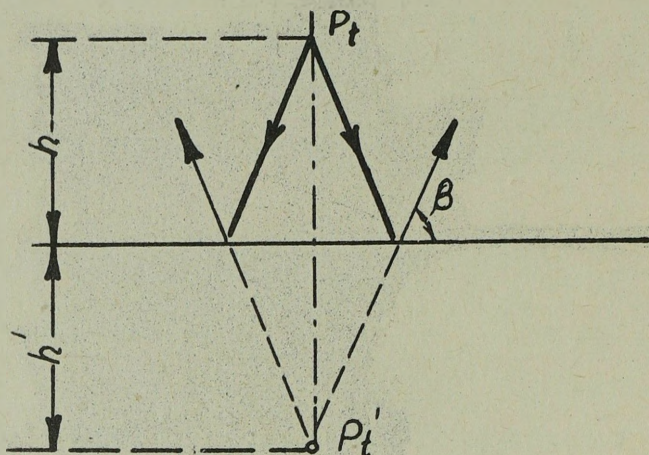
Pomiar wysokości lotu metodą impulsową na małych wysokościach, następczałby poważne trudności, na przykład przy podejściu do lądowania, gdzie pomiar taki ma szczególnie duże znaczenie. W rozwiązaniu takim konieczne byłoby stosowanie impulsów nadzwyczaj krótkich, bardzo trudnych do uformowania i wymagających bardzo szerokiego pasma w obwodzie odbiorczym.

Do pomiaru na małych wysokościach stosuje się radiowysokościomierze typu FM, gdyż modulacja częstotliwości całkowicie wspomniane trudności rozwiązuje, a przy tym do pomiaru obiektu pojedynczego /jakim w danym przypadku jest ziemia/ możliwe jest zastosowanie najprostszej modulacji sinusoidalnej i bardzo prostego wskaźnika wskazówkowego.

9.1. TEORETYCZNE PODSTAWY DZIAŁANIA RADIOWYSOKOŚCIOMIERZY

Przed omawianiem zasad działania radiowysokościomierzy należy uprzednio zwrócić uwagę na zagadnienia związane z zasięgiem /równaniem/ radiowysokościomierzy i odbiciem od ziemi, co pozwoli na lepsze zrozumienie dalszych problemów wchodzących w zakres działania i budowy radiowysokościomierzy.

Jeżeli przyjmiemy, że ziemia jako powierzchnia odbijająca, stanowi obiekt rozległy, o powierzchni większej od przekroju charakterystyki kierunkowej radiowysokościomierza, wówczas aby określić równanie zasięgu, należy uwzględnić powstawanie tzw. odbitki zwierciadlanej, jak to zostało zobrazowane na rys. 9-1.



Rys. 9-1. Zasada powstawania odbitki zwierciadlanej

Uwzględniając występowanie odbitki zwierciadlanej, równanie zasięgu można przedstawić w postaci wzoru:

$$d = \sqrt{\frac{P_t \cdot G_t \cdot A_r \cdot \beta}{16\pi P_{r_{min}}}}$$

19-1/

gdzie: P_t - moc promieniowana w watach;

G_t - zysk kierunkowy anteny;

A_r - powierzchnia skuteczna obiektu w metrach kwadratowych;

β - współczynnik odbicia fali od ziemi;

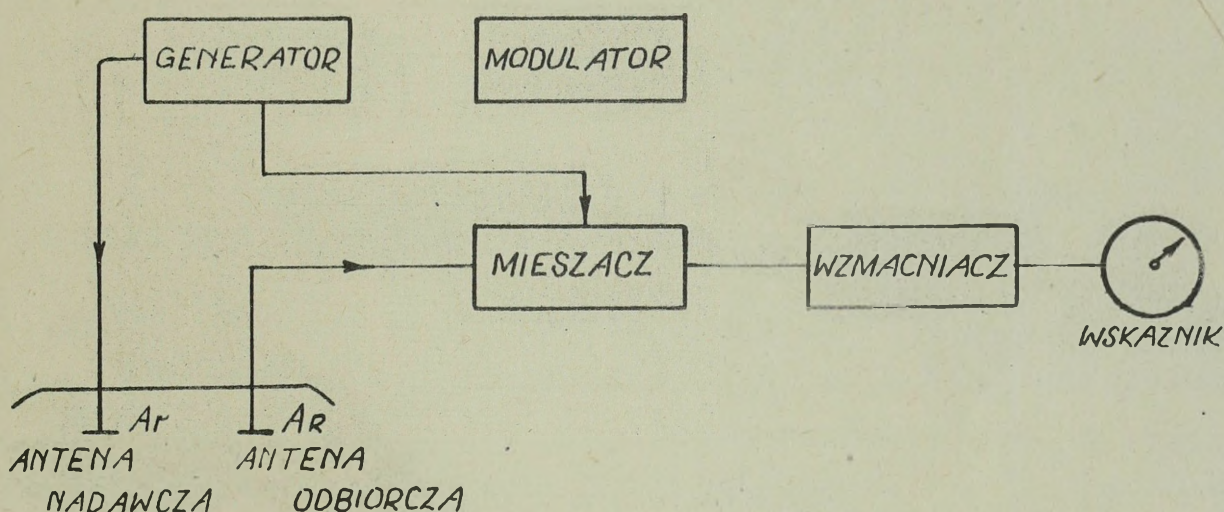
$P_{r_{min}}$ - minimalna moc odbioru w watach.

Równanie /9-1/ znacznie różni się od znanego równania radiolokacji, w którym wymiary obiektu są małe, w porównaniu z przekrojem wiązki, wskutek czego w równaniu radiolokacji występuje pierwiastek czwartego stopnia.

Charakterystyka kierunkowa anten radiowysokościomierzy nie może być wąska, gdyż kołysanie samolotu powodowałoby "gubienie" echa. Zresztą, wobec małej mocy, potrzebnej do uzyskania odbicia od ziemi, duża wartość iloczynu $G_t \cdot A_r$ nie jest potrzebna.

Z tego powodu, anteny radiowysokościomierzy wykonuje się w formie anten półfalowych, umieszczonych pod kadłubem samolotu. Anteny ustawione są współosiowo w ten sposób, by przesłuch między anteną nadawczą i odbiorczą był jak najmniejszy. Częstotliwość odniesienia doprowadzona jest z nadajnika do odbiornika drogą oddzielnego regulowanego sprzężenia. Schemat blokowy radiowysokościomierza przedstawia rys. 9-2.

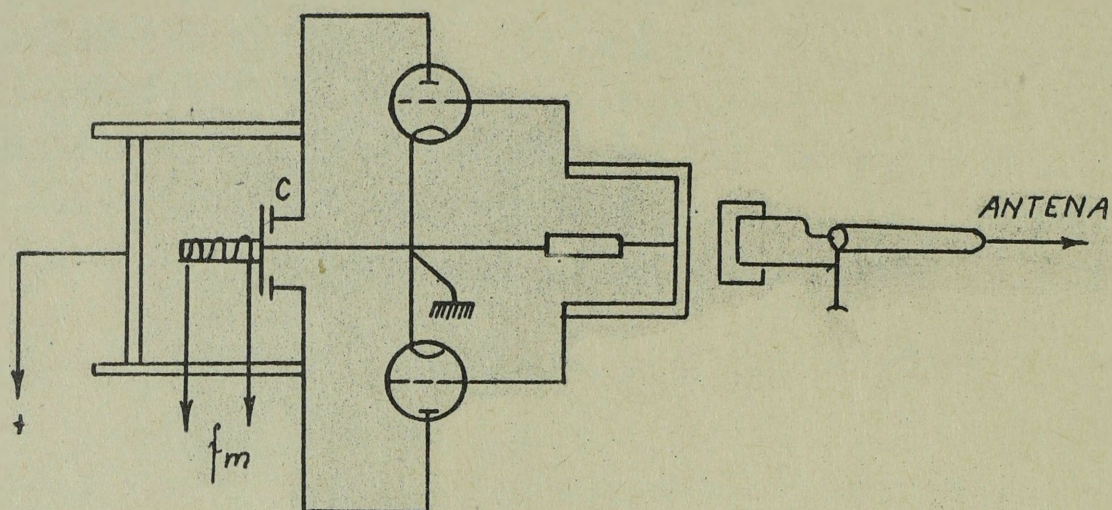
9.2. Budowa i zasada pracy radiowysokościomierzy



Rys. 9-2. Uproszczony schemat blokowy radiowysokościomierza.

Generator wytwarza częstotliwość nośną f_0 w przydzielonym paśmie. Generatorem jest zwykle samowzbudny, jednostopniowy oscylator, w którym jako obwód rezonansowy stosuje się linię strojową zwieraczem, a pojemność dodatkowa C wykorzystana jest dla modulacji częstotliwości /rys. 9-3/.

Modulacja metodami elektronowymi /lampa reaktancyjna itp/ nie jest stosowana, gdyż nie zapewnia wystarczającej dokładności, a ponadto układ elektryczny rozbudowuje się, podczas gdy prosta, a przy tym stabilną modulację można uzyskać przez mechaniczną zmianę wtrąconej w linię pojemności C za pomocą silnika obracającego mały kondensator. Jedna okładka kondensatora C osadzona jest na cewce drgającego układu dynamicznego. W ten sposób przy odpowiednim ukształtowaniu okładek



Rys. 9-3. Uproszczony schemat jednostopniowego oscylatora.

drżaniom mechanicznym odpowiada modulacja częstotliwości. Modulatorem jest wówczas generator częstotliwości akustycznej f_m , o mocy wystarczającej do uruchomienia układu drgającego z amplitudą odpowiadającą dewiacji częstotliwości $M/2$.

Obwód odbiorczy składa się z mieszacza i wzmacniacza małej częstotliwości. Częstotliwość porównawcza jest ze wzmacniacza doprowadzona do odbiornika za pomocą oddzielnej pętli sprzęgającej. Generator o bardzo małej mocy wraz z prostym modulatorem oraz prosty odbiornik tworzą w sumie urządzenie lekkie o małych wymiarach.

Radiowysokościomierz mierzy wysokość względną, to jest różnicę wysokości między samolotem a otaczającym terenem. Po podejściu do lądowania należy więc wziąć pod uwagę ukształtowanie terenu otaczającego lotnisko. Jest to zasadnicza różnica w porównaniu z wysokościomierzem barometrycznym, który wskazuje ciśnienie i który wskutek tego musi być kalibrowany, zależnie od wysokości względnej lotniska i istniejącej tam aktualnej sytuacji barycznej.

9.3. RADIOWYSOKOŚCIOMIERZE DUŻYCH WYSOKOŚCI

Do pomiaru rzeczywistej wysokości lotu /np. podczas wykonywania bombardowania/ stosuje się radiowysokościomierze impulsowe. Możliwość pomiaru małych wysokości, za pomocą tego rodzaju radiowysokościomierzy, ograniczona jest trudnością generowania bardzo krótkich impulsów, co można uzasadnić następującym przykładem:

- aby zmierzyć wysokość zaczynając od 1 metra należałoby pracować impulsami, posiadającymi szerokość nie większą od:

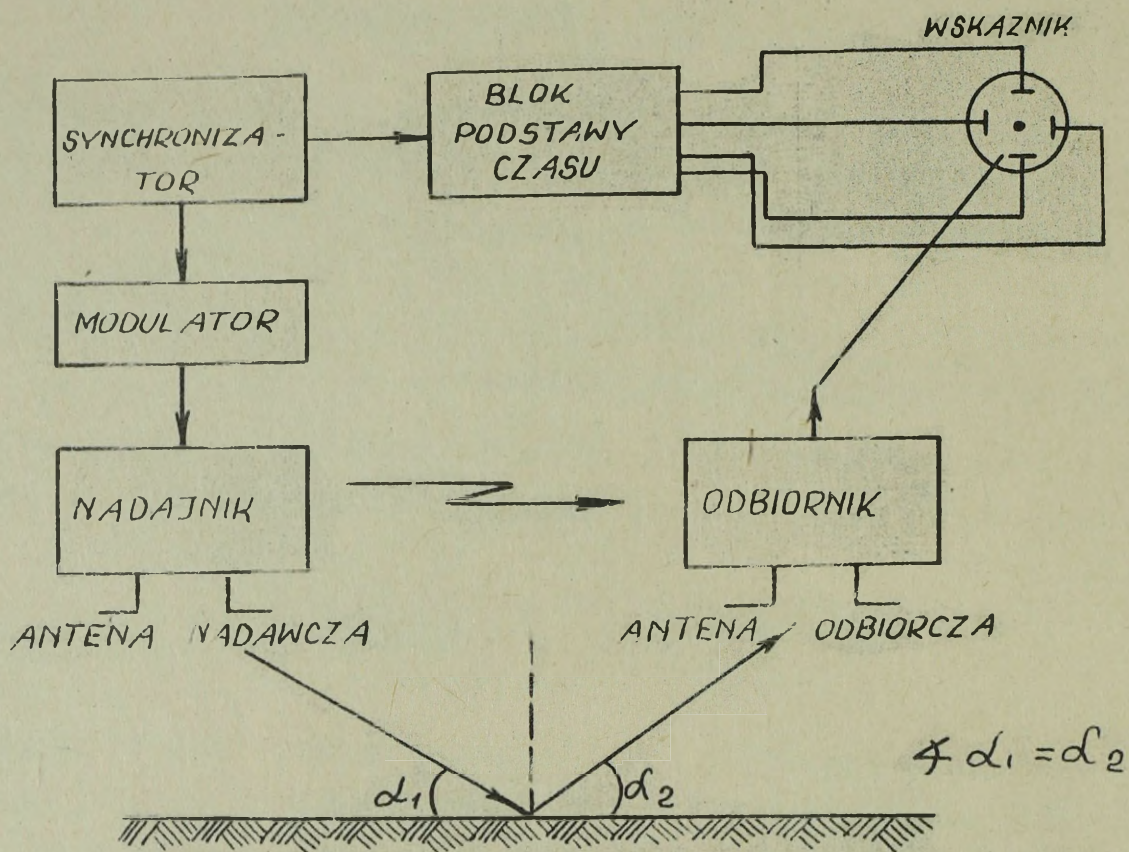
$$\tau \leq \frac{2h_{min}}{c} = \frac{2 \cdot 1}{3 \cdot 10^8} = 0,0067 \mu\text{sek}$$

/9-2/

- generowanie tak krótkich impulsów okazuje się trudnością nie do pokonania;
- dlatego też, dla pomiaru małych wysokości stosuje się radiowysokościomierze, budowa których oparta jest na zmianie częstotliwości.

9.3.1. Budowa i zasada działania radiowysokościomierza impulsowego

Rozpatrzmy pokrótce zasadę pracy radiowysokościomierza impulsowego dużych wysokości, którego układ blokowy podano na rys. 9-4.



Rys. 9-4. Uproszczony schemat blokowy wysokościomierza impulsowego.

- Synchronizator generuje sinusoidalne napięcie o częstotliwości F_1 i F_2 /z wykorzystaniem przełącznika zakresów/; napięcie to jest podawane do modulatora i bloku podstawy czasu;
- napięcie podstawy czasu uwidacznia się na ekranie lampy oscyloskopowej w postaci kołowej podstawy czasu;
- w modulatorze nadajnika z sinusoidalnego napięcia formowane są impulsy o pewnej szerokości i częstotliwości powtarzania F_1 i F_2 ;
- nadajnik wytwarza impulsy w cz., które są wysyłane przez antenę nadawczą o charakterystyce kierunkowej skierowanej w kierunku ziemi /antena odbiorcza jest analogiczna jak antena nadawcza/;
- na wejście odbiornika podawane są sygnały bezpośrednio z nadajnika /z anteny nadawczej do odbiorczej/ oraz te sygnały, które odbijają się od ziemi;

- z wyjścia odbiornika impulsy podawane są na centralną elektrodę lampy oscyloskopowej, którą jest wskaźnik typu J;
- czas między sygnałem bezpośrednim a odbitym mówi nam o odległości do ziemi, zgodnie ze wzorem:

$$D = \frac{1}{2} \cdot ct$$

/9-3/

9.3.2. Zasada pomiaru wysokości

- a/ Na pierwszym zakresie przy częstotliwości powtarzania F_1 jednoznacznie można pomierzyć wysokość ze wzoru:

$$\left[h_{max-1} = \frac{c}{2 \cdot F_1} \right]$$

/9-4/

- b/ Na drugim zakresie przy częstotliwości powtarzania F_2 otrzymamy:

$$\left[h_{max-2} = \frac{c}{2F_2} \right]$$

/9-5/

9.3.3. Dokładność pomiarów

Radiowysokościomierze impulsowe dużych wysokości posiadają dużą dokładność pomiaru rzeczywistej wysokości lotu samolotu.

Na przykład: dokładność określania wysokości przez niektóre radiowysokościomierze wynosi:

$$\Delta H = 15m \pm 0,25\% H$$

gdzie: H - wysokość lotu samolotu.

Te błędy są 5 - 10 razy mniejsze od dopuszczalnych błędów przy bombardowaniu za pomocą celowników optycznych.

9.4. RADIOWYSOKOŚCIOMIERZE MAŁYCH WYSOKOŚCI

Poniżej omówione zostaną przeznaczenie, zasady, działania i budowa radiowysokościomierzy małych wysokości, pracujących na zasadzie modulacji częstotliwości.

9.4.1. Przeznaczenie radiowysokościomierza

Radiowysokościomierz małych wysokości przeznaczony jest do pomiaru rzeczywistej wysokości lotu samolotu nad powierzchnią ziemi w zakresie do 600 m oraz zapewnia dźwiękową i świetlną sygnalizację nakazanej i wcześniej ustalonej wysokości lotu.

Wskazania radiowysokościomierza nie zależą od rodzaju terenu i warunków atmosferycznych /temperatury, wilgotności itp./. Duże, wolno stojące budowle lub wzniesienia, wąwozy, brzegi rzek i jezior uwidaczniają się na wskaźniku odpowiednimi zmianami wskazań wysokości.

Korzystanie z radiowysokościomierza może stać się uciążliwe podczas wykonywania lotów nad terenem górzystym, gdy szybko następujące zmiany odległości między lecącymi samolotami a powierzchnią terenu mogą przewyższać zakres mierzonych wysokości.

Przy znacznych pochyleniach i przechyleniach samolotu /powyżej 30° / wskazania radiowysokościomierza obarczone są błędem /szczególnie podczas lotów nad terenem pokrytym lasem, budowlami itp/ i w tych przypadkach nie zaleca się korzystania z jego wskazań.

9.4.2. Teoretyczne podstawy działania radiowysokościomierzy małych wysokości

Zasada działania radiowysokościomierza oparta jest na zjawisku odbijania się fal elektromagnetycznych od powierzchni ziemi.

Prędkość rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych w powietrzu jest stała i równa się w przybliżeniu

300 000 m/sek. A więc dla określenia wysokości lotu samolotu konieczny jest pomiar czasu potrzebnego na przebycie przez fale elektromagnetyczne odległości od samolotu do powierzchni ziemi i z powrotem.

Odległość S przebyta przez falę elektromagnetyczną w czasie " t " wyraża się następującą zależnością:

$$S = c \cdot t$$

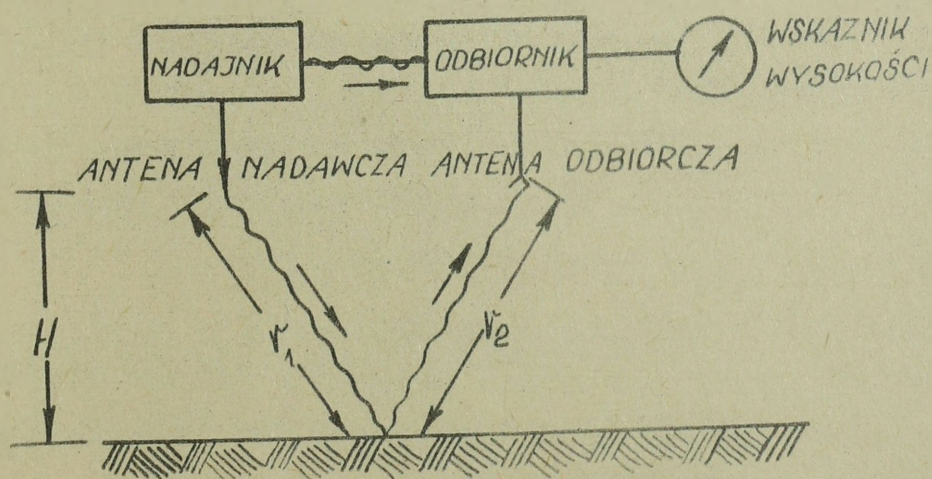
/9-6/

gdzie: c - prędkość rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych w m/sek;

t - czas przebycia przez falę elektromagnetyczną odległości od samolotu do powierzchni ziemi i z powrotem mierzony w sek.

Czas potrzebny na przebycie fali elektromagnetycznej od samolotu do powierzchni ziemi i z powrotem, dla wysokości od 0 do 600 m jest bardzo mały i praktycznie niemożliwy do określenia zwykłymi metodami pomiarowymi. W związku z tym w radiowysokościomierzu RW-UM zastosowano modulację częstotliwości, charakteryzującą się tym, że częstotliwość promieniowanego sygnału zmienia się w czasie według pewnej określonej zależności, natomiast amplituda sygnału pozostaje stała.

Rozpatrzmy dalsze właściwości radiowysokościomierza w oparciu o rys. 9-5 i 9-6.



Rys. 9-5. Schematyczna zasada działania radiowysokościomierza.

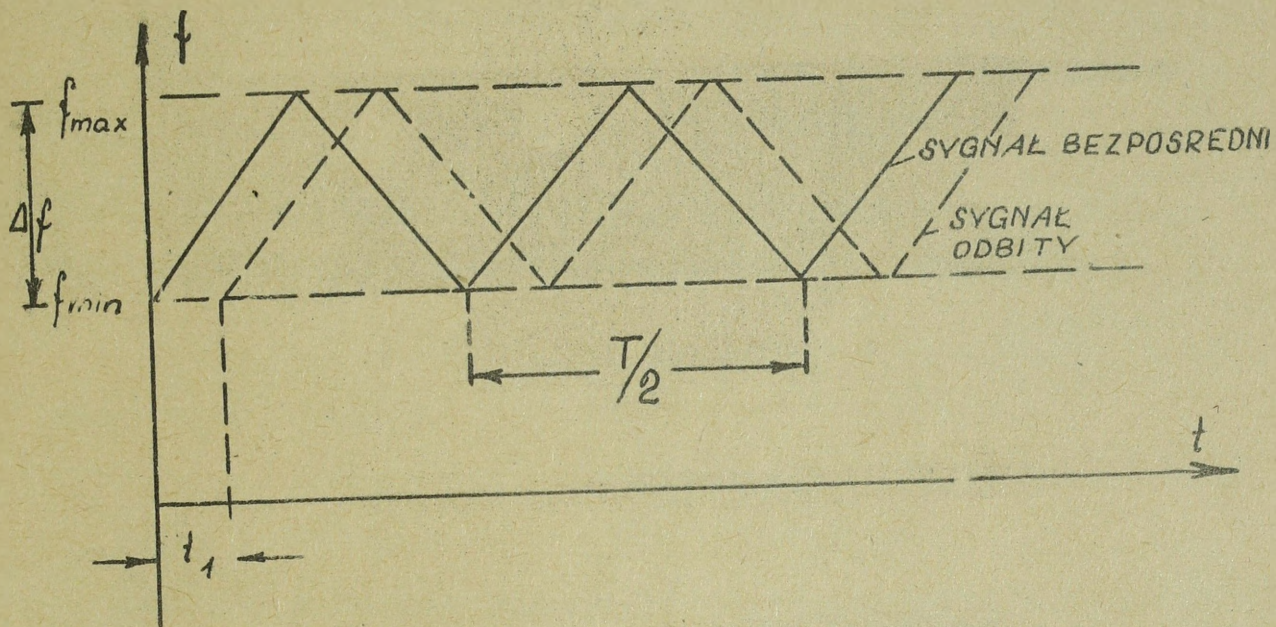
1. Nadajnik radiowysokościomierza poprzez antenę nadawczą wypromieniowuje zmodulowane częstotliwościowo drgania ultrawielkiej częstotliwości, które następnie w postaci fal elektromagnetycznych przebywają drogę od samolotu do powierzchni ziemi, odbijają się od niej, wracają z powrotem, zostają przyjęte przez antenę odbiorczą i jako drgania ultrawielkiej częstotliwości fali odbitej kierowane są do urządzenia zwanego detektorem równoważącym.
2. Równocześnie do tego detektora doprowadzane są drgania ultrawielkiej częstotliwości /sygnał bezpośredni/ przez linię przesyłkową /kabel koncentryczny/, znajdującą się wewnątrz bloku odbiorczo-nadawczego.
3. Droga sygnału odbitego zależy od wysokości lotu samolotu i znacznie przewyższa drogę sygnału bezpośredniego. Wynika z tego, że sygnał odbity, w odniesieniu do sygnału bezpośredniego będzie doprowadzony do detektora równoważącego z pewnym opóźnieniem. Czas tego opóźnienia równy jest czasowi przejścia fali elektromagnetycznej od samolotu do ziemi i z powrotem, to znaczy, że:

$$t = \frac{2H}{c}$$

/9-7/

gdzie: H – wysokość lotu samolotu w metrach.

4. Ponieważ częstotliwość generatora nie jest stała, lecz zmienia się w czasie, a droga sygnału odbitego wielokrotnie przewyższa drogę sygnału bezpośredniego, wobec tego do detektora równoważącego zostają doprowadzone dwa sygnały o różnych częstotliwościach. Aby to lepiej wyjaśnić, posłużymy się rysunkiem 9-6.
5. Modulacji częstotliwości dokonuje się przy pomocy specjalnego urządzenia, przez okresowe zmiany pojemności jednego z kondensatorów w obwodzie drgań generatora ultrawielkiej częstotliwości.



Rys. 9-6. Wykres zmian częstotliwości generatora

6. Jak widać z rys. 9-6. częstotliwość generatora zmienia się według tzw. krzywej zębów piły, osiągając w poszczególnych momentach wartość minimalną f_{\min} i maksymalną f_{\max} .
7. Napięcie u.w.cz. podaje się na wejście odbiornika i do anteny nadawczej, która wysyła fale radiowe w kierunku ziemi. Fale te odbite od ziemi, wracają do anteny odbiorczej wywołując na wejściu odbiornika odpowiednie napięcie.
8. Na wejście odbiornika przychodzą więc dwa napięcia a dzięki modulacji sygnały te mają różne częstotliwości. Różnica częstotliwości sygnału bezpośredniego i odbitego będzie tym większa, im dłuższy jest czas przebiegu sygnału odbitego, a zatem - im większa jest wysokość samolotu nad ziemią.

9.4.3. Analiza zależności różnicy częstotliwości od wysokości samolotu nad ziemią.

- a/ Założmy, że w czasie jednego okresu zmiany częstotliwości generatora równego "T", maksymalna zmiana częstotliwości wyniesie:

$$\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$$

b/ wówczas w jednostce czasu zmianę częstotliwości można wyrazić wzorem:

$$\Delta f / \frac{1}{2} T$$

c/ w czasie t_1 przebiegu fali radiowej od samolotu do ziemi i z powrotem, częstotliwość generatora zdąży zmienić się o wielkość:

$$F = \frac{\Delta f}{\frac{1}{2} T} \cdot t_1 = \frac{2\Delta f}{T} \cdot t_1$$

d/ czas t_1 określamy z zależności:

$$r = r_1 + r_2, \quad t_1 = \frac{r}{c}$$

praktycznie drogi r_1, r_2 mało różnią się od wysokości lotu samolotu "H",

wobec tego można przyjąć, że:

$$r_1 = r_2 \approx H$$

$$r = r_1 + r_2 = 2H$$

$$t_1 = \frac{2H}{c} \text{ gdyż } t_1 = \frac{r}{c}$$

e/ podstawiając wyrażenie $r = 2H$ do wzoru na różnicę częstotliwości otrzymamy:

$$F = \frac{2\Delta f}{T} t_1 = \frac{2\Delta f}{T} \cdot \frac{r}{c} = \frac{2\Delta f}{T} \cdot \frac{2H}{c} = \frac{4\Delta f}{c \cdot T} \cdot H$$

d/ z powyższego wzoru wynika, że dla danego radiowysokościomierza z określonymi wielkościami Δf i T , różnica częstotliwości F jest proporcjonalna do wysokości lotu, a określwszy różnicę częstotliwości F , można określić wysokość samolotu nad ziemią. Dodajmy, że wielkość F , zwana jest również częstotliwością dudnień.

Wnioski końcowe:

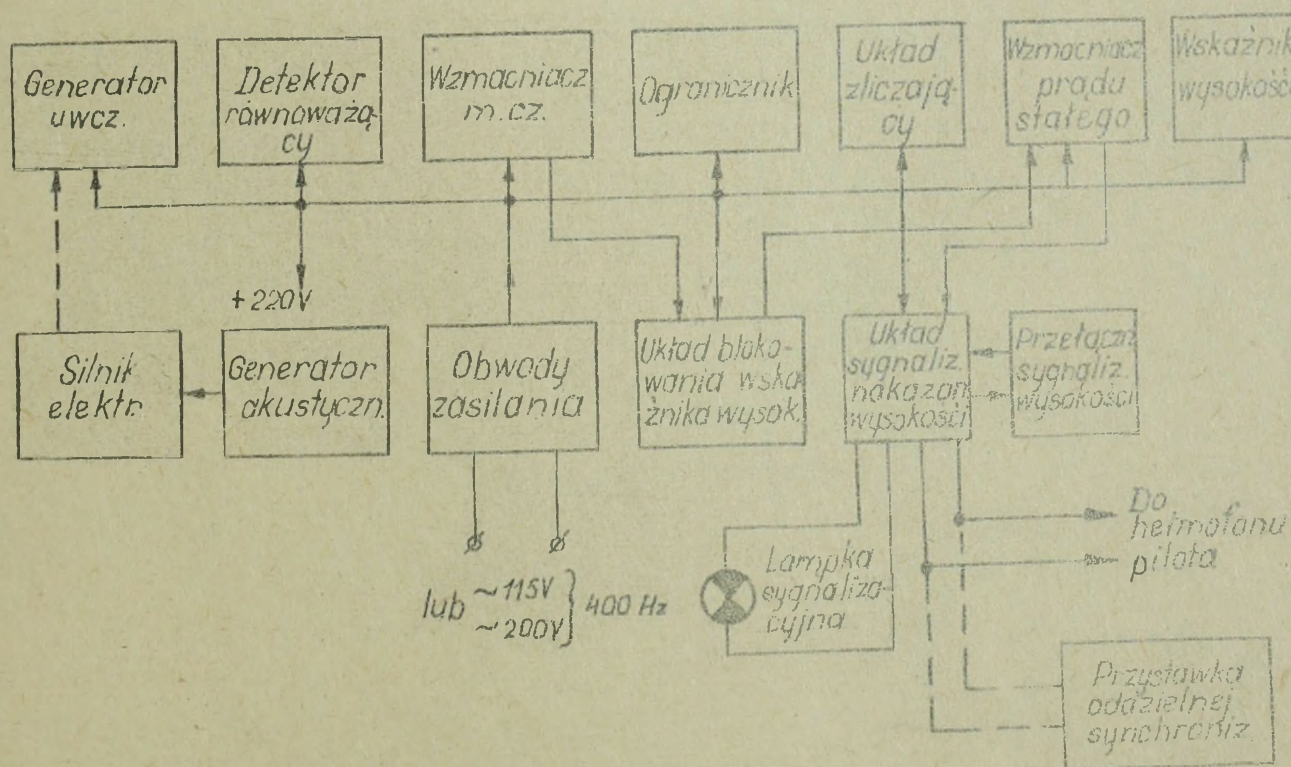
Po detekcji, napięcie o częstotliwości dudnień zostaje wzmocnione i doprowadzone do obwodu przeliczającego, w którym sygnał ulega przetworzeniu na prąd stały, proporcjonalny do częstotliwości dudnień.

Otrzymany prąd stały przepływa przez wskaźnik wysokości powodując wychylenie wskazówki przyrządu. Ponieważ natężenie prądu stałego jest proporcjonalne do częstotliwości dudnień sygnału bezpośredniego i odbitego, a częstotliwość dudnień jest proporcjonalna do wysokości lotu samolotu, to podziałkę wskaźnika można było wyskalować bezpośrednio w metrach.

9.4.4. Schemat blokowy radiowysokościomierza i jego opis

Działanie radiowysokościomierza sprowadza się do trzech podstawowych funkcji, a mianowicie:

1. Wypromieniowania wytworzonych przez generator ciągłych drgań zmodulowanych częstotliwościowo.
2. Odbioru sygnałów odbitych od powierzchni ziemi.
3. Pomiaru czasu od momentu wypromieniowania sygnału do momentu jego powrotu, przez pomiar częstotliwości dudnień sygnału bezpośredniego i odbitego, zależnej od wysokości lotu samolotu.



Rys. 9-7. Schemat blokowy radiowysokościomierza małych wysokości.

Rozpatrzmy współdziałanie poszczególnych bloków układu.

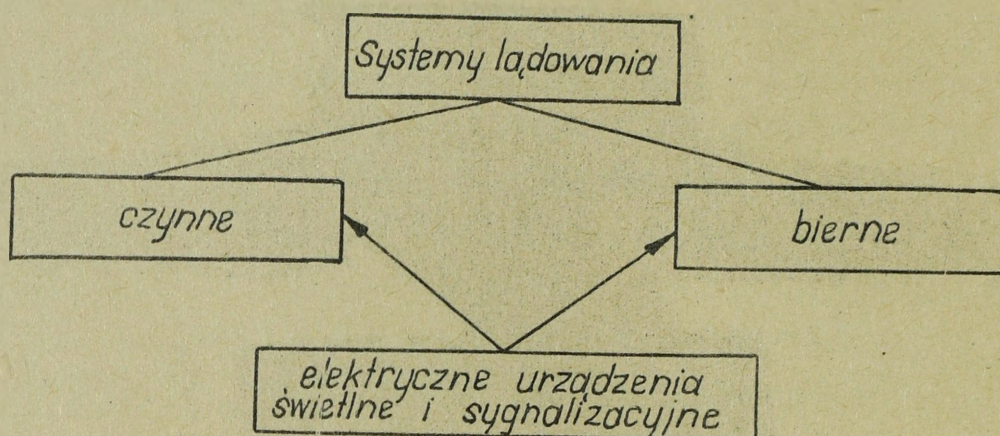
- Generator u.w.cz. promieniuje w przestrzeń przez antenę nadawczą drgania elektromagnetyczne. Równocześnie drgania te przez zwój sprzężenia wewnętrznej linii przesyłowej doprowadzone są do detektora równoważącego.
- Generator akustyczny wytwarza zmienne napięcie sinusoidalne o częstotliwości 105 Hz, wywołujące ruch obrotowy silnika synchronicznego, który z kolei wprawia w ruch "wirnik" kondensatora zmiennego wchodzącego w skład obwodu drgającego generatora /oś silnika jest jednocześnie osią kondensatora/. Pojemność tego kondensatora zmienia się z częstotliwością 70 Hz. Odpowiednio do częstotliwości zmian pojemności kondensatora, częstotliwość drgań generatora u.w.cz. będzie się zmieniać 70 razy w ciągu 1 sekundy. Zakres zmian pojemności kondensatora został tak dobrany, aby szerokość pasma modulacji wynosiła 17 MHz.
- Sygnał odbity od powierzchni ziemi i przyjęty przez antenę odbiorczą zostaje skierowany do detektora równoważącego z pewnym opóźnieniem zależnym od wysokości lotu. Ponieważ częstotliwość generatora zmienia się okresowo /w każdej chwili na inną wartość/, to w rezultacie do detektora równoważącego doprowadzane są dwa sygnały o różnych częstotliwościach.
- Wytworzone napięcie o częstotliwości dudnień sygnału bezpośredniego i odbitego kierowane jest do wzmacniacza małej częstotliwości, skąd po wzmocnieniu i ograniczeniu przez układ ogranicznika amplitudy doprowadzane jest do układu przeliczającego radiowysokościomierza, w którym prostokątne impulsy częstotliwości dudnień zostają przekształcone w napięcia stałe o częstotliwości proporcjonalnej do częstotliwości dudnień. Napięcie to steruje pracą wzmacniacza prądu stałego. W obwód katody tego wzmacniacza włączony jest wskaźnik wysokości.

- Z uwagi na wprost proporcjonalną zależność częstotliwości dudnień od wysokości lotu wskaźnik wyskalowany jest bezpośrednio w metrach i wskazuje rzeczywistą wysokość lotu samolotu.
- Układ blokowania wskaźnika eliminuje błąd jego wskazań oraz błąd sygnalizacji nakazanej wysokości lotu w przypadku, gdy wysokość lotu przewyższa 600 m, to jest wtedy, gdy amplituda sygnału odbitego ma niewielką wartość.
- Na wejście układu blokowania doprowadzone jest napięcie ze wzmacniacza małej częstotliwości. Jeżeli amplituda napięcia na wejście układu blokowania jest dostatecznie duża /co odpowiada wysokościom lotu mniejszym niż 600 m/, wówczas układ blokowania nie wpływa na wskazania wskaźnika wysokości. Natomiast dla niewielkich amplitud napięcia na wejściu układu blokowania /co odpowiada wysokości lotu większej niż 600 m/, nastąpi zadziałanie układu blokowania, a przez to sprowadzenie wskazówki wskaźnika wysokości do prawego skrajnego położenia.
- Układ sygnalizacji nakazanej wysokości zapewnia świetlną i dźwiękową sygnalizację w momencie, gdy wysokość lotu samolotu będzie niższa od następujących wartości:
50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m i 400 m.
Układ sygnalizacji jest sterowany dwoma napięciami, a mianowicie:
 - napięciem z przełącznika sygnalizowanej wysokości;
 - napięciem ze wzmacniacza prądu stałego.
 Gdy wartości tych napięć będą sobie równe, nastąpi zadziałanie przekaźnika układu sygnalizacji nakazanej wysokości i doprowadzenie do słuchawek hełmofonu pilota w ciągu 3-10 sek, przerywanego sygnału dźwiękowego o częstotliwości 400 Hz; równocześnie zaświeci się lampa sygnalizacyjna. Będzie ona świecić się dotąd, dopóki samolot będzie znajdował się w strefie wysokości mniejszych od nakazanej.

10. SYSTEMY ŁADOWANIA

Wykonanie postawionych zadań służbie ubezpieczenia lotów osiąga się przez zastosowanie urządzeń i systemów radionawigacyjnych oraz systemów lądowania, które powinny odpowiadać określonym wymogom. Omówieniem systemów lądowania stosowanych w lotnictwie /wojskowym/ zajmiemy się poniżej.

10.1. KLASYFIKACJA SYSTEMÓW ŁADOWANIA



Rys. 10-1. Ogólna klasyfikacja systemów lądowania

Systemem czynnym - nazywamy taki system, w którym załoga samolotu otrzymuje informacje o przestrzennym położeniu samolotu w stosunku do znanego punktu. Na podstawie otrzymanych informacji dokonuje ona korekty lotu.
/aktywnym/

Systemem biernym - nazywamy taki system, w którym załoga samolotu nie otrzymuje informacji o przestrzennym położeniu samolotu, lecz odpowiednie komendy, według których powinna ona wykonać swoje czynności.
/pasywnym/

10.1.1. Klasyfikacja urządzeń świetlnych i sygnalizacyjnych

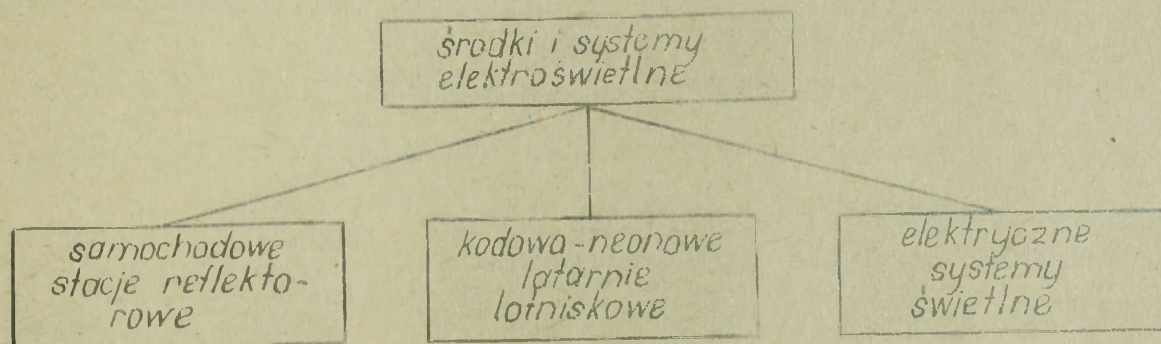
Elektryczne urządzenia świetlne i sygnalizacyjne są stosowane do oznaczenia punktów orientacyjnych przy starcie

i lądowaniu samolotów.

Rola urządzeń świetlnych i sygnalizacyjnych w procesie zabezpieczenia działań lotnictwa jest stosunkowo niewielka.

Urządzenia te ze względu na swe przeznaczenie można ogólnie podzielić na:

- elektryczne urządzenia świetlne;
- elektryczne urządzenia sygnalizacyjne, na które składają się różnego rodzaju środki i systemy elektroświetlne /rys. 10-2/.



Rys. 10-2. Ogólna klasyfikacja środków i systemów elektroświetlnych.

10.2. WYMAGANIA STAWIANE SYSTEMOM ŁADOWANIA

System lądowania /zarówno bierny jak i czynny/ powinien nieprzerwanie dostarczać załodze samolotu informacji o kierunku i stopniu odchylenia od prawidłowej linii zniżania w czasie dokonywania lądowania.

Na podstawie informacji lub komendy załoga samolotu dokonuje poprawek w locie co umożliwia bezbłędne lądowanie. Niewłaściwe /błędne/ przekazanie informacji lub komend może uniemożliwić lądowanie i doprowadzić do wypadku.

Systemy lądowania, aby mogły spełnić swe podstawowe zadanie i zabezpieczyć lądowanie samolotów w trudnych warunkach atmosferycznych muszą zapewnić:

- dokładność określania kierunku lądowania w granicach: 15-30°;
- dokładność określania linii zniżania w granicach: 10-15;
- dokładność określania odległości od punktu przyziemienia w granicach: 400 m;
- dużą przepustowość zwłaszcza na lotniskach o dużym natężeniu lotów;
- łatwość odczytu informacji na pokładzie samolotu;
- ciągłość pracy.

10.2.1. Przeznaczenie środków i systemów elektroświeatlnych

1. Samochodowe stacje reflektorowe - są przeznaczone do:
 - optycznego oznaczenia punktów kontrolnych lotniska;
 - oświetlenia punktów wyrównania;
 - oświetlenia punktu przyziemienia;
 - oświetlenia dobiegu samolotu na lotnisku.
2. Kodowo-neonowe latarnie lotniskowe - są przeznaczone do:
 - oznaczania lotniska lub punktów w terenie.
3. Systemy świetlne - są przeznaczone do:
 - oznaczania kierunku podejścia do lądowania;
 - oznaczenia drogi startowej i granic lotniska;
 - uniemożliwienia wykonania lądowania w nocy i w złych warunkach atmosferycznych;
 - informowania pilota o możliwości wykonania lądowania lub konieczności powtórzenia manewru do lądowania.

10.3. SKŁAD SYSTEMÓW LĄDOWANIA

W skład systemów lądowania wchodzi zarówno urządzenia radionawigacyjne i radiolokacyjne, jak i środki elektroświeatlnie. Zestaw urządzeń wchodzących w skład danego systemu lądowania może być różny, a to w zależności od prze-

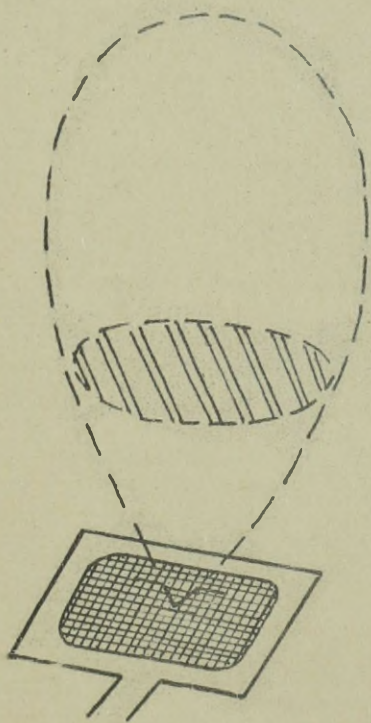
znaczenia i wymaganych możliwości taktycznych danego systemu.

10.3.1. Uproszczony system lądowania

Punktem radiosygnalowym /PR/ - nazywamy miejsce, w którym rozwinięta została radiostacja prowadząca i nadajnik radiosygnalowy.

Nadajnik radiosygnalowy - jest przeznaczony do oznaczenia punktu w terenie, na którym został umieszczony. Przy radiostacjach prowadzących nadajnik radiosygnalowy używany jest do oznaczenia momentu przelotu nad radiostacją prowadzącą. Nadajnik współpracuje z samolotowym urządzeniem odbiorczym.

W nadajniku radiosygnalowym znajduje się system antenowo-kierunkowy, a energia jest promieniowana pod kątem 90° w stosunku do powierzchni ziemi, w sposób przedstawiony na rys. 10-3.



Rys. 10-3. Zasada promieniowania energii przez nadajnik radiosygnalowy.

Sygnalizowanie momentu przelotu nad nadajnikiem radiosygnalowym może być świetlne i akustyczne. Nadajnik radio-

sygnałowy wytwarza specjalnego rodzaju sygnały w postaci kresek, kropek i w postaci ciągłej. Zwykle sygnały w postaci kresek nadawane w określonym czasie /na sekundę/ są używane do oznaczania momentu przelotu nad punktem radiosygnałowym.

UWAGA:

Bardziej szczegółowe omówienie systemów lądowania wymagałoby podania szeregu danych taktyczno-technicznych, co ze względu na tajność nie może być poruszone w niniejszym skrypcie.

Wykonano w 33 egz.

Egz.nr 1-33 - bibl.tajna

Wyk. kmdr por. Nowak

Druk. OH, dn. 11.10.68r.

Nr ks. 2193/2330/WW

Kor. H.M.

Druk ASG-O-XV-3948

WYKAZ LITERATURY

wykorzystanej do opracowania skryptu pt:

"Wybrane zagadnienia z radionawigacji"

1. Jagodziński Z. Systemy radionawigacyjne Wyd. MON 1961.
2. Współczesne zachodnio-europejskie i amerykańskie systemy radionawigacyjne. Sztab Gen. 1958.
3. Instrukcja Lotnictwa. Opis i eksploatacja radionamiernika automatycznego. Lot. 244/58 MON 1959 /R/310/.
4. Opis i eksploatacja radionamiernika MON Dowództwo Wojsk Lotniczych i OPL OK. Lot. 431/61. 1961 /R 11/57/.
5. Radiostacja Par. 7. MON Inspektorat Lotnictwa. Lot. 729/63. 1963. /R 728/.
6. Radiolokacyjny system lądowania. MON Inspektorat Lotnictwa. Lot 884/65. 1966 /R 952/.
7. Radiowysokościomierz małych wysokości. MON Inspektorat Lotnictwa. Lot. 772/63. 1964 /R 768/.
8. Radionawigacja lotnicza. MON Dowództwo Wojsk Lotniczych. Lot. 44/49. 1949 /R 4/.
9. Nowak J. "Opracowania metodyczne z radionawigacji/. ASG 1965-68.

SPIS TREŚCI

	Str.
1. <u>NIEKTÓRE POJĘCIA I DEFINICJE STOSOWANE W RADIONAWIGACJI</u>	2
1.1. Radionawigacja i jej zadania	2
1.2. Służba ubezpieczania lotów i jej zadania	2
1.3. Pojęcia dotyczące urządzeń i systemów radionawigacyjnych	4
1.3.1. Urządzenia radionawigacyjne	4
1.3.2. Systemy radionawigacyjne	4
1.3.3. Systemy czynne	4
1.3.4. Systemy bierne	4
1.4. Elementy radionamierzenia	4
1.4.1. Definicja radionamierzenia	4
1.4.2. Środki radionamierzenia	5
1.4.3. Radionamiar i jego składowe	5
1.4.4. Elementy namiaru punktu radionamierzenia	7
1.4.5. Pojęcie radiodewiacji	8
1.4.6. Zasady określania NGPR, NGS	9
2. <u>TEORETYCZNE PODSTAWY RADIONAWIGACJI</u>	10
2.1. Założenia ogólne	10
2.1.1. Zasady prowadzenia obserwacji wzrokowej	10
2.2. Podstawowe elementy pomiarów stosowanych w nawigacji	12
2.3. Geometryczne zasady pomiarów nawigacyjnych elementów lotu	12
2.3.1. Amplituda	13
2.3.2. Czas przelotu fali	16
2.3.3. Częstotliwość	19
2.3.4. Faza	20
3. <u>KLASYFIKACJA URZĄDZEŃ I SYSTEMÓW RADIONAWIGACYJNYCH</u>	23
3.1. Zasady klasyfikacji środków UL	23
3.2. Klasyfikacja amplitudowych urządzeń radionawigacyjnych	27

	str.
3.3. Klasyfikacja impulsowych urządzeń radionawigacyjnych	28.
3.4. Klasyfikacja fazowych i częstotliwościowych urządzeń radionawigacyjnych	29
3.5. Zasady zaszeregowania urządzeń radionawigacyjnych ..	29
4. <u>PODSTAWOWE WYMAGANIA TAKTYCZNO-TECHNICZNE STAWIANE URZADZENIOM RADIONAWIGACYJNYM</u>	30
4.1. Manewrowość	30
4.2. Trwałość	30
4.3. Łatwość maskowania	31
4.4. Zasięg działania	31
4.4.1. Analiza równania zasięgu	32
4.4.2. Zasada zwiększania zasięgu	34
4.5. Dokładność pomiarów.....	35
4.6. Przepustowość	35
4.7. Szybkość pomiaru	36
4.8. Zakres częstotliwości roboczych	36
4.9. Ciągłość pracy	36
4.10. Odporność na zakłócenia	36
4.11. Rozmiary i ciężar	37
5. <u>URZADZENIE RADIONAWIGACYJNE DO POMIARU KĄTA /AZYMUTU/</u>	37
5.1. Zasady pomiaru	38
5.1.1. Klasyfikacja radiolatarni	40
5.2. Zasady kierunkowego promieniowania - charakterystyki kierunkowe urządzeń radionawigacyjnych	41
6. <u>RADIONAMIERNIKI</u>	46
6.1. Budowa i zasada pracy radionamierników UKF	46
6.2. Automatyzacja namiarów - radionamierniki automatyczne	47
6.3. Radionamierniki naziemne	50
6.3.1. Zasada określania położenia samolotu	51
6.3.2. Zasięg radionamierników naziemnych	52
6.3.3. Zalety i wady radionamierników naziemnych	52
7. <u>RADIOSTACJE PROWADZĄCE</u>	53

	Str.
7.1. Określenie i przeznaczenie radiostacji	53
7.2. Ogólna zasada pracy radiostacji	53
7.3. Części składowe radiostacji i ich przeznaczenie	56
8. <u>RADIOKOMPASY AUTOMATYCZNE</u>	58
8.1. Przeznaczenie i możliwości radiokompasów	58
8.2. Ukompletowanie radiokompasów	58
8.3. Zasada działania radiokompasu	58
8.3.1. Omówienie zasady działania radiokompasu	59
8.4. Zasady wykorzystania radiokompasów automatycznych	50
8.4.1. Podstawowe oznaczenia i zależności	61
8.5. Loty na radiostację przy wykorzystaniu ARK	62
8.6. Zasada określania kierunku na radiostację pro- wadzącą metodą strefy równosygnałowej	63
8.7. Zasada pomiaru odległości za pomocą radiokompa- su ARK-10	66
8.7.1. Praca z zastosowaniem przelicznika	66
8.7.2. Przypadek lotu samolotu po linii prostej ze stałą prędkością i przy znajomości KKR	67
8.7.3. Przypadek lotu po linii krzywej	67
9. <u>RADIOWYSOKOŚCIOMIERZE</u>	68
9.1. Teoretyczne podstawy działania radiowysokościo- mierzy	69
9.2. Budowa i zasada pracy radiowysokościomierzy	71
9.3. Radiowysokościomierze dużych wysokości	73
9.3.1. Budowa i zasada radiowysokościomierza impulso- wego	73
9.3.2. Zasada pomiaru wysokości	75
9.3.3. Dokładność pomiarów	75
9.4. Radiowysokościomierze małych wysokości	76
9.4.1. Przeznaczenie radiowysokościomierza	76
9.4.2. Teoretyczne podstawy działania radiowysokościo- mierzy małych wysokości	76
9.4.3. Analiza zależności różnicy częstotliwości od wysokości samolotu nad ziemią	79
9.4.4. Schemat blokowy radiowysokościomierza i jego opis	81

	Str.
10. <u>SYSTEMY ŁADOWANIA</u>	84
10.1. Klasyfikacja systemów ładowania	84
10.1.1. Klasyfikacja urządzeń świetlnych i sygnalizacyjnych	84
10.2. Wymagania stawiane systemom ładowania	85
10.2.1. Przeznaczenie środków i systemów elektroświeatlnych	86
10.3. Skład systemów ładowania	86
10.3.1. Uproszczony system ładowania	87

