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

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OPK
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

ASG WP wewn. 3909/85

Egz. Nr 7

Ppłk dypl. Ryszard BLOMKA

WYBRANE ZAGADNIENIA Z PODSTAW RADIOLOKACJI

SKRYPT

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/932
05-001207-007-0

WARSZAWA 1985

60370

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black
Inches Centimetres
Colour Chart #13

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OPK
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

ASG WP wewn. 3909/85

Egz. Nr 7

Ppłk dypl. Ryszard BLOMKA

WYBRANE ZAGADNIENIA Z PODSTAW RADIOLOKACJI

SKRYPT

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/932
05-001207-007-0

WARSZAWA 1985

60370

A K A D E M I A S Z T A B U G E N E R A L N E G O WP

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OPK
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

ASG WP wewn. 3909/85

ZATWIERDZAM
SZEF KATEDRY

.....

Egz.nr ....

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 60340
II
Akademii Obrony Narodowej

Ppłk dypl. Ryszard BLOMKA

WYBRANE ZAGADNIENIA Z PODSTAW RADIOLOKACJI

Skrypt

BIBLIOTEKA NAUKOWA ASG
Nr ewid. 1922
(II)
Dział Zbiorów Ogólnych

WARSZAWA 1985

SPIS TREŚCI

Strona

WSTĘP 5

1. WIADOMOŚCI OGÓLNE O RADIOLOKACJI 5
   1.1. Radiolokacja i jej rodzaje 5
   1.2. Klasyfikacja stacji radiolokacyjnych 9
   1.3. Zasady działania urządzeń radiolokacyjnych 10
   1.4. Zakresy fal stacji radiolokacyjnych 12

2. METODY RADIOLOKACJI 14
   2.1. Metoda impulsowa 14
   2.2. Metoda kompresji impulsów 17
   2.3. Metoda ciągłego promieniowania 20
      2.3.1. Metoda z falą ciągłą niemodulowaną 20
      2.3.2. Metoda z falą ciągłą modulowaną częstotliwością.. 22

3. CHARAKTERYSTYKA STACJI RADIOLOKACYJNYCH 24
   3.1. Dane taktyczne stacji radiolokacyjnych 24
      3.1.1. Maksymalny zasięg 24
      3.1.2. Minimalna odległość wykrycia 25
      3.1.3. Sektor obserwacji w azymucie 26
      3.1.4. Sektor obserwacji w kącie położenia 26
      3.1.5. Strefa wykrywania 26
      3.1.6. Pułap ciągłej obserwacji 27
      3.1.7. Okres obserwacji 27
      3.1.8. Zdolność rozdzielcza w odległości 28
      3.1.9. Zdolność rozdzielcza w azymucie 29
      3.1.10. Zdolność rozdzielcza w kącie położenia i w wysokości 29
      3.1.11. Dokładność określania współrzędnych 30
      3.1.12. Zdolność informacyjna 34
      3.1.13. Odporność na zakłócenia 34
      3.1.14. Wpływ warunków klimatycznych na pracę stacji 35
   3.2. Dane techniczne stacji radiolokacyjnych 35
      3.2.1. Długość fali 36
      3.2.2. Moc nadajnika 36
      3.2.3. Czułość odbiornika 37
      3.2.4. Zysk kierunkowy anteny 38
      3.2.5. Częstotliwość powtarzania impulsów sondujących .. 38

Strona

3.2.6. Prędkość obrotowa anteny 39

4. UKŁADY PRZECIWZAKŁÓCENIOWE STACJI RADIOLOKACYJNYCH ELIMINUJĄCE ZAKŁÓCENIA AKTYWNE 39

5. UKŁADY PRZECIWZAKŁÓCENIOWE STACJI RADIOLOKACYJNYCH ELIMINUJĄCE ZAKŁÓCENIA PASYWNE 45

ZAKOŃCZENIE 50

LITERATURA 50

WSTĘP

Skrypt niniejszym przeznaczony jest dla słuchaczy Wydziału Wojsk Lotniczych i OPK ASG WP.

Zaistniała potrzeba napisania tego skryptu, gdyż nie wszyscy słuchacze posiadają wystarczającą wiedzę z podstaw radiolokacji, a program nauczania słuchaczy nie przewiduje wykładów na wyżej wymienione tematy.

W skrypcie opisano zjawiska związane z działaniem urządzeń /stacji/ radiolokacyjnych oraz zagadnienia dotyczące podstawowych pojęć, klasyfikacji, zastosowania, wyboru zakresu fal, rodzajów i metod radiolokacji. Oprócz klasycznych metod wspomniano o metodach, które w ostatnich latach znajdują w nowych konstrukcjach stacji radiolokacyjnych coraz szersze zastosowanie praktyczne, jak na przykład metoda radiolokacji z wykorzystaniem kompresji impulsów.

Podane zostały również dane taktyczno-techniczne stacji radiolokacyjnych, których znajomość ma szczególne znaczenie przy rozwiązywaniu całego szeregu zadań taktycznych oraz układy przeciwzakłóceniowe eliminujące zakłócenia aktywne i pasywne.

Skrypt jest materiałem pomocniczym do studiowania problemów zabezpieczenia technicznego wojsk radiotechnicznych i uzupełniania wiedzy niezbędnej słuchaczom Wydziału Wojsk Lotniczych i OPK ASG WP.

1. WIADOMOŚCI OGÓLNE O RADIOLOKACJI

1.1. Radiolokacja i jej rodzaje

Pod pojęciem radiolokacji rozumiemy dziedzinę radiotechniki wykorzystującą fale radiowe do wykrywania, określania współrzędnych i innych charakterystyk obiektów.

Obiekty obserwacji radiolokacyjnej są niezwykle różnorodne należą do nich na przykład: statki powietrzne, okręty, opady atmosferyczne /deszcz, śnieg, grad/, duże grupy przelatujących ptaków, elementy powierzchni ziemi i wody, ciała niebieskie, a także latarnie radiowe lub inne urządzenia promieniujące energię elektromagnetyczną.

Wymienione obiekty nazywane są niekiedy celami radiolokacyjnymi.

Urządzenia radiotechniczne przeznaczone do realizacji podanych zadań nazywają się urządzeniami radiolokacyjnymi lub stacjami radiolokacyjnymi.

Umożliwiają one nie tylko określanie bieżących współrzędnych celów, lecz również mierzą pochodne tych współrzędnych, wyznaczają tory ruchu

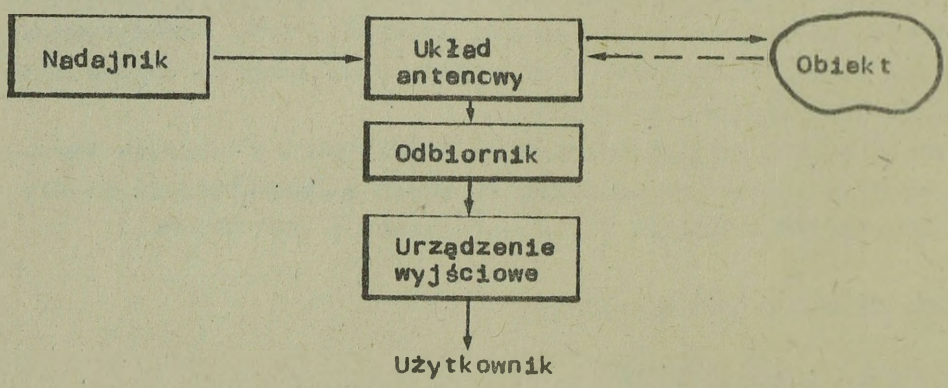
i przewidują kolejne pozycje celów na podstawie ich uprzednich położeń. Urządzenia radiolokacyjne stosowane są również do określania przynależności państwowej wykrytych obiektów /"swój-obcy"/.

Pracują na falach o długości od kilku milimetrów do kilku metrów. Średnia moc ich promieniowania waha się od kilku watów do setek i tysięcy kilowatów. Zakres zasięgu działania urządzeń radiolokacyjnych zawiera się od kilku metrów do milionów kilometrów.

Nośnikami informacji w radiolokacji są sygnały radiowe. Sygnały te mogą być otrzymywane kilkoma sposobami. W związku z tym wyróżnia się następujące rodzaje radiolokacji:

- radiolokację aktywną;
- radiolokację aktywną z odpowiedzią aktywną;
- radiolokację półaktywną;
- radiolokację pasywną.

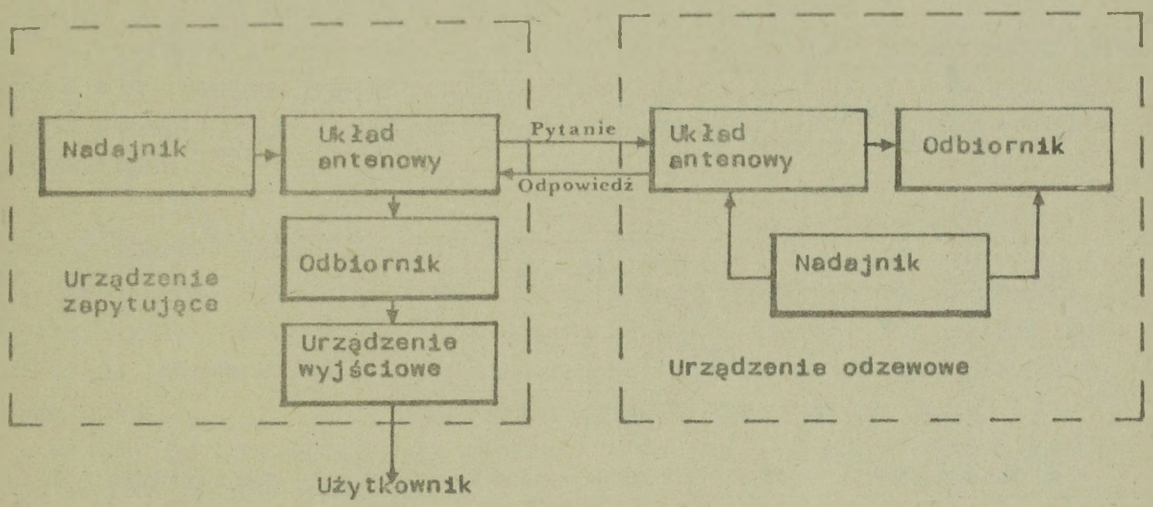
Radiolokacja aktywna polega na opromieniowaniu obiektu falami elektromagnetycznymi, wypromieniowanymi przez antenę stacji radiolokacyjnej i odbiorze odbitej od niego energii /rys. 1/.



Rys.1. Otrzymywanie odbitych sygnałów radiowych.

Ważną zaletą tego rodzaju radiolokacji jest to, że umożliwia ona wykrywanie obiektów, których właściwości elektryczne lub magnetyczne różnią się od właściwości otaczającego środowiska i dzięki temu odbijają fale radiowe. Ten rodzaj radiolokacji znalazł najszersze zastosowanie dla celów wojskowych, ponieważ otrzymanie informacji o położeniu i parametrach wykrywanego obiektu jest możliwe bez konieczności instalowania na nim jakiejkolwiek aparatury "własnej".

Radiolokacja aktywna z odpowiedzią aktywną różni się tym od pierwszej, że na obiekcie jest umieszczone urządzenie odzewowe /odpowiadające/, będące stacją odbiorczo-nadawczą odpowiadającą na sygnał stacji radiolokacyjnej. Otrzymywanie sygnałów odzewowych przedstawia rys.2.



Rys.2. Otrzymywanie sygnałów odzewowych

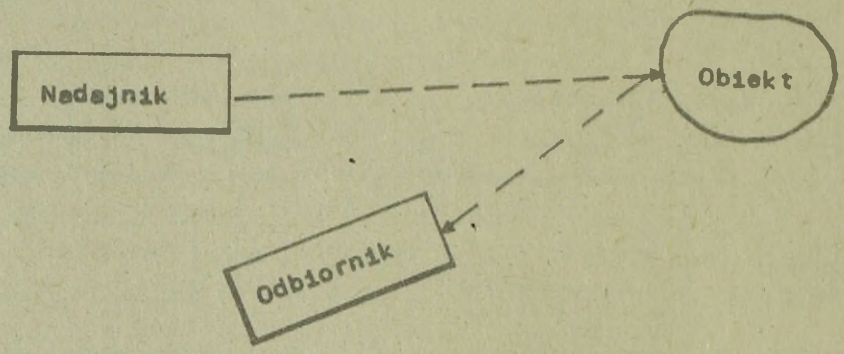
Ten rodzaj radiolokacji znalazł zastosowanie przy śledzeniu samolotów, rakiet, sztucznych satelitów ziemi, a także ma zastosowanie w nawigacji powietrznej i morskiej. Pozwala na znaczne zwiększenie zasięgu stacji radiolokacyjnej oraz na zwiększenie pewności otrzymania informacji, poza tym umożliwia rozpoznawanie przynależności państwowej /swój-obcy/ różnych obiektów. Polega to na tym, że specjalne urządzenia zapytujące zainstalowane przeważnie na stacjach radiolokacyjnych, wysyłają sygnały zapytujące, które są odbierane przez urządzenia odzewowe zainstalowane na samolotach własnych, okrętach i innych obiektach. Pod wpływem sygnałów zapytujących urządzenia odzewowe wysyłają odpowiedź w postaci sygnałów zakodowanych, które informują o przynależności obiektu.

Radiolokacja półaktywna różni się tym od aktywnej, że opromienianie celu odbywa się z jednej stacji /np.: znajdującej się na ziemi/, a wykrycie i odbiór odbitego od obiektu sygnału odbywa się przez inne urządzenia /np.: znajdujące się na rakiecie/ rys. 3.

Radiolokacja pasywna polega na odbiorze energii wypromieniowanej przez obiekt. Z punktu widzenia radiotechniki wykrycie obiektu polega na wykrywaniu sygnału nadawanego przez ten obiekt lub odbite od niego, na tle różnego rodzaju zakłóceń.

Może to być sygnał powstały na skutek:

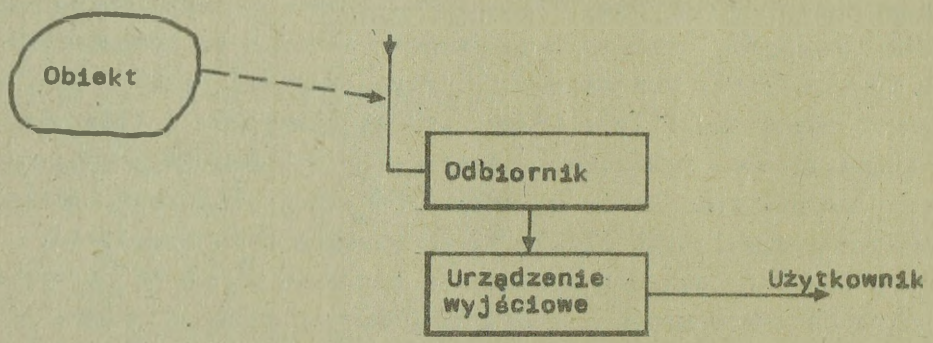
- promieniowania cieplnego obiektu w zakresie fal milimetrowych i centymetrowych;
- promieniowania fal długich na skutek pracy np. silników rakietowych, reakcji jądrowych i wyładowań atmosferycznych;



Rys.3. System radiolokacji półaktywnej

- promieniowania różnych urządzeń elektronicznych, zainstalowanych na obiekcie.

Rodzaj radiolokacji pasywnej /rys. 4/ znajduje zastosowanie w radioastronomii przy obserwacji powierzchni ziemi, w radionawigacji i meteorologii do obserwacji wyładowań atmosferycznych /burz/ i innych.



Rys.4. Wykorzystanie promieniowania własnego obiektu

Zastosowanie stacji radiolokacyjnych pozwala wykrywać i określać bieżące współrzędne obiektów na znacznych odległościach, niezależnie od warunków atmosferycznych, pory roku i doby.

Wprowadzenie do uzbrojenia urządzeń radiolokacyjnych wpłynęło w znacznym stopniu na zmianę taktyki lotnictwa myśliwskiego, znacznie zwiększyło efektywność ognia artylerii plot oraz spowodowało powstanie nowych rodzajów wojsk np. wojsk radiotechnicznych i wojsk rakietowych.

Na szczególną uwagę zasługuje zastosowanie stacji radiolokacyjnych w systemie sterowania pociskami rakietowymi różnego przeznaczenia oraz

wprowadzenie zautomatyzowanych środków dowodzenia z wykorzystaniem elektronicznych maszyn cyfrowych do opracowania danych.

Podana poniżej klasyfikacja stacji radiolokacyjnych przedstawia dziedziny zastosowania współczesnej techniki radiolokacyjnej oraz wskazuje, jakie zadania taktyczne mogą być rozwiązywane za pomocą środków radiolokacyjnych.

1.2. Klasyfikacja stacji radiolokacyjnych

Stacje radiolokacyjne można sklasyfikować w zależności od miejsca zamontowania /naziemne, samolotowe, okrętowe/, zakresu fal radiowych /metrowe, decymetrowe, centymetrowe, milimetrowe/ i taktycznego przeznaczenia.

Według taktycznego przeznaczenia stacje radiolokacyjne można podzielić na następujące typy:

- stacje wykrywania, których głównym zadaniem jest wykrywanie obiektów i określanie współrzędnych na możliwie dużych odległościach;
- stacje wykrywania i naprowadzania lotnictwa myśliwskiego na cele powietrzne;
- stacje radiolokacyjne pomiaru wysokości obiektów powietrznych - wysokościomierze radiolokacyjne;
- stacje naprowadzania reflektorów;
- stacje artyleryjskiego naprowadzania, zabezpieczające dokładne, automatyczne śledzenie celu w odległości i we współrzędnych kątowych;
- stacje naprowadzania rakiet;
- samolotowe celowniki radiolokacyjne wykrywania, automatycznego śledzenia i przycelowania do wykrytego celu powietrznego;
- dalmierze radiolokacyjne, pozwalające na określenie odległości i względnej prędkości zbliżania się myśliwca do celu;
- samolotowe stacje panoramiczne, pozwalające rozwiązywać wiele zadań nawigacyjnych oraz przy zastosowaniu urządzeń przelicznikowych wykonywać zadania bombardowania w warunkach niewidoczności celu naziemnego /nawodnego/;
- radiolokacyjne wysokościomierze samolotowe;
- zapalniki radiolokacyjne stosowane w różnych pociskach i bombach sterowanych;
- stacje radiolokacyjne kierowania lądowaniem samolotów;
- stacje radiolokacyjne meteorologiczne;
- stacje radiolokacyjne astronomiczne do śledzenia lotu meteorytów, badania księżyca, słońca itp.;

- stacje radiolokacyjne nawigacji morskiej;
- stacje radiolokacyjne nawigacji kosmicznej;
- stacje radiolokacyjne pracujące w systemie rozpoznawania przynależności obiektów do sił zbrojnych /"swój-obcy"/;
- stacje rozpoznania i walki radioelektronicznej.

1.3. Zasady działania urządzeń radiolokacyjnych

Za podstawę działania urządzeń radiolokacyjnych przyjęto następujące właściwości fal radiowych:

1/ zdolność fal radiowych do odbijania się od obiektów na drodze rozprzestrzeniania się energii elektromagnetycznej;

2/ możliwości kierunkowego promieniowania i odbioru fal radiowych;

3/ stałej w przybliżeniu prędkości rozchodzenia się fal radiowych wynoszącej 300 000 km/s;

4/ prostoliniowości rozchodzenia się fal radiowych, szczególnie zakresu ultrakrótkofalowego.

Pod działaniem fal radiowych, promieniowanych przez stację radiolokacyjną, na powierzchni opromieniowanego obiektu, na który pada fala, powstają zmienne prądy wysokiej częstotliwości, które tworzą fale elektromagnetyczne o częstotliwości fali padającej, a te z kolei odbierane są przez antenę stacji jako tzw. echo odbite.

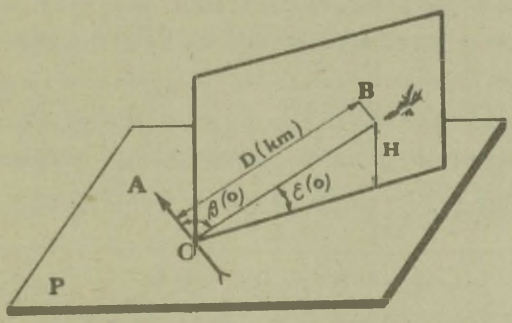
Zjawisko odbicia fal radiowych, względnie zjawisko wtórnego promieniowania jest zasadniczym fizycznym procesem wykorzystywanym w rodzaju radiolokacji aktywnej.

Wykrywanie obiektów oraz określanie ich współrzędnych przez urządzenie radiolokacyjne odbywa się w sposób następujący.

Urządzenie nadawcze stacji radiolokacyjnej za pomocą anteny wypromieniowuje w określonym sektorze fale elektromagnetyczne. Jeżeli na drodze rozprzestrzeniania się fali radiowej znajduje się obiekt, to następuje odbicie fali pierwotnej. Odbite od obiektu fale radiowe odbierane są przez antenę odbiorczą stacji radiolokacyjnej i za pomocą linii przesyłowych przekazywane są do urządzenia odbiorczego stacji. W odbiorniku fale radiowe zamieniane są na sygnał wizyjny echa odbitego, który kierowany jest do aparatury wskaźnikowej. Na aparaturze wskaźnikowej odczytywane są współrzędne wykrytego obiektu.

Współrzędne obiektu w zasadzie określane są w stosunku do miejsca usytuowania stacji radiolokacyjnej w sferycznym systemie współrzędnych /rys. 5/.

Punkt zerowy układu współrzędnych umiejscowiony jest zgodnie z punktem ustawienia anteny stacji radiolokacyjnej. Przez punkt ten przecho-



Rys.5. Sferyczny system współrzędnych

dzi tak zwana linia odczytu OA, leżąca w płaszczyźnie poziomej P. Linia odczytu zorientowana jest z południkiem, przechodzącym przez stację radiolokacyjną, względnie z osią samolotu, okrętu, na którym zamontowana jest stacja.

Położenie obiektu w przestrzeni, znajdującego się w punkcie B, określa się trzema współrzędnymi:

- odległością D, to jest najkrótszym odcinkiem między stacją, a obiektem;
- azymutem B to jest, kątem zawartym między linią odczytu OA i kierunkiem na obiekt;
- kątem wzniesienia ε, to jest kątem zawartym między kierunkiem na obiekt i rzutem tego kierunku na płaszczyznę poziomą.

Wysokość wykrytego obiektu /H w m/, można otrzymać za pomocą przeliczeń zgodnie ze wzorem:

$$H = D \cdot \sin \varepsilon + \frac{D^2}{2R} + h_o \qquad /1/$$

gdzie:

$\frac{D^2}{2R}$ - wielkość uwzględniająca krzywiznę kuli ziemskiej /km/;

R - promień kuli ziemskiej /km/;

h_o - wysokość anteny /m/.

Na podstawie powyższego wzoru wykreślane są odpowiednie nomogramy wysokości dla różnych kątów wzniesienia, z których operator odczytuje wysokość przy danym kącie wzniesienia i odległości.

Ilość określanych współrzędnych uwarunkowana jest taktycznym przeznaczeniem stacji radiolokacyjnej i może wynosić od jednej do trzech. Na przykład: wysokościomierz radiolokacyjny może określić jedną współrzędną - wysokość lotu obiektu powietrznego.

Odległościomierz radiolokacyjny - dwie współrzędne - azymut i odległość. Stacje radiolokacyjne naprowadzania własnych samolotów myśliwskich na cele powietrzne powinny określać trzy współrzędne - azymut, odległość i wysokość.

Odległość pochyłą do celu określa się na podstawie pomiaru czasu /t w s/ potrzebnego do przebycia fali radiowej od punktu umiejscowienia stacji, do obiektu i od obiektu do stacji według wzoru:

$$t = \frac{2D}{C} \qquad /2/$$

gdzie: C - prędkość rozchodzenia się fali radiowej.

Jeżeli na przykład czas t jest znany to odległość /D w km/ może być określana z zależności:

$$D = \frac{C \cdot t}{2} \qquad /3/$$

Widzimy stąd, że dla określenia odległości do celu należy znać prędkość rozchodzenia się fali radiowej i czas, w którym fala radiowa przebywa odległość do obiektu i z powrotem.

Dla określenia kierunku na cel /azymutu/, w stacjach radiolokacyjnych stosuje się anteny o dużej kierunkowości, dzięki czemu zabezpiecza się promieniowanie energii elektromagnetycznej i odbiór po odbiciu w wąskim sektorze. Wykrycie sygnałów odbitych przy kierunkowym promieniowaniu anteny możliwe jest tylko w tym wypadku, kiedy wykryty obiekt znajduje się w strefie promieniowania i odbioru stacji radiolokacyjnej.

Znając kierunek położenia anteny w momencie odbioru sygnału odbitego od celu, można określić współrzędne kątowe obiektu - azymut i kąt położenia.

1.4. Zakresy fal stacji radiolokacyjnych

Współczesne stacje radiolokacyjne pracują w ultrakrótkofalowym /UKF/ zakresie fal /tabela 1/.

Wykorzystanie tych zakresów fal dla stacji radiolokacyjnych uwarunkowane jest kilkoma przyczynami.

Jak już wspomniano powyżej za podstawę radiolokacji przyjęto takie zjawiska jak odbijanie się fal radiowych od obiektów, prostoliniowe rozchodzenie się oraz stałą prędkość rozprzestrzeniania się energii elektromagnetycznej.

Intensywność odbitych fal radiowych zależna jest od wielu czynników takich jak:

- rodzaj materiału obiektu i jego elektryczne charakterystyki;

TABELA 1

KLASYFIKACJA ZAKRESU UKF

Nazwa podzakresu	Fale metrowe	Fale decymetrowe	Fale centymetrowe	Fale milimetrowe
Długość fali /m/	10÷1	1÷0,1	0,1÷0,01	0,01÷0,0003
Częstotliwość /MHz/	30-300	300-3000	3000-30000	30000-1000000

- stosunek między liniowymi rozmiarami obiektu i długością fali padającej na obiekt;

- kształt obiektu i jego położenie w stosunku do stacji radiolokacyjnej.

Ciała będące dobrymi przewodnikami pod względem elektrycznym, odbijają fale radiowe lepiej aniżeli nieprzewodniki, względnie półprzewodniki. Ażeby odbicie energii elektromagnetycznej mogło nastąpić, długość fali padającej na obiekt powinna być mniejsza od rozmiarów geometrycznych obiektu, względnie porównywalna z rozmiarami obiektu. Z drugiej strony jeżeli długość fali radiowej jest znacznie większa od rozmiarów geometrycznych obiektu, to następuje uginanie się fal i odbicie w tym wypadku będzie nieznaczne.

Większość celów powietrznych posiada rozmiary rzędu kilkunastu metrów, dlatego też dobre odbicie fal radiowych od tych obiektów może być zabezpieczone tylko przy stosowaniu fal radiowych zakresu ultrakrótkofalowego.

Drugą przyczynę wyboru dla stacji radiolokacyjnych fal zakresu ultrakrótkofalowego jest to, że w tym zakresie istnieje najlepsza możliwość konstrukcji anten o stosunkowo małych rozmiarach przy dobrej kierunkowości promieniowania. Dobra kierunkowość promieniowania anteny konieczna jest dla dokładnego określania współrzędnych kątowych wykrywanych obiektów oraz zabezpieczenia dobrej rozróżnialności we współrzędnych kątowych stacji. W zakresie fal ultrakrótkich istnieje lepsza możliwość otrzymania impulsu sondującego o krótkim czasie trwania /rzędu 0,1 mikrosekund/, co staje się konieczne dla osiągnięcia dobrej rozróżnialności stacji w odległości.

Zakres ultrakrótkofalowy w mniejszym stopniu podatny jest na zakłócenia atmosferyczne i przemysłowe, co w dużej mierze poprawia warunki odbioru sygnałów odbitych od celów. Warunki rozchodzenia się fali ra-

diowej zakresu ultrakrótkofalowego niezależne są również od pory roku i doby, co także przemawia za wyborem tego zakresu fal.

Jednakże fale ultrakrótkie w odróżnieniu od innych zakresów w zasadzie nie odbijają się od zjonizowanych warstw atmosfery i bardzo słabo uginają się od powierzchni ziemi - rozprzestrzeniają się prostoliniowo. Zjawisko to, jest przyczyną ograniczenia zasięgu wykrywania obiektów znajdujących się poza linią horyzontu. Oznacza to, że zasięg wykrywania ograniczony jest odległością bezpośredniej widzialności optycznej.

Mogą zaistnieć warunki, przy których zasięg wykrywania zwiększa się poza bezpośrednią widzialnością obiektu. Zjawisko to, zwane radiorefrakcją, uwarunkowane jest niejednorodnością dolnych warstw atmosfery. Decydujący wpływ na występienie refrakcji posiadają zmiany w dolnych warstwach atmosfery, takich wielkości jak temperatura, wilgotność, gęstość powietrza itp. Możliwy jest szczególny stan atmosfery przy silnym parowaniu powierzchni ziemi, występujący nad powierzchniami wodnymi, przy którym następuje tak duże uginanie się fal ultrakrótkich, że zasięg wykrywania obiektów może zwiększyć się o 50÷70%. Zjawisko to nosi nazwę superrefrakcji. Tworzą się tzw. warstwy krytyczne na wysokościach od 10-100 m nad powierzchnią ziemi, dzięki którym fala elektromagnetyczna może rozchodzić się podobnie jak w falowodach[1/]. Jednakże takie zwiększenie zasięgu wykrywania stacji nie jest zjawiskiem stałym z powodu niestabilności stanu atmosfery.

2. METODY RADIOLOKACJI

2.1. Metoda impulsowa

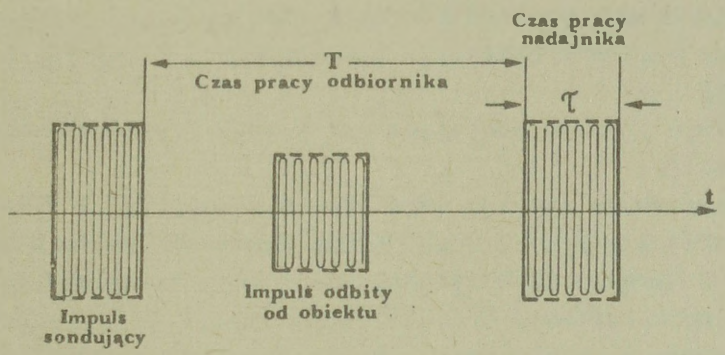
Metoda impulsowa charakteryzuje się tym, że stacja radiolokacyjna w okresie krótkiego odcinka czasu τ promieniuje energię elektromagnetyczną w postaci tzw. impulsu sondującego, a następnie w przerwach między impulsami sondującymi, prowadzi odbiór sygnałów odbitych.

Proces ten przebiega z okresem powtarzania T, przy czym $\tau < T$.

Szczególną właściwością metody impulsowej jest to, że rozdzielone są tu w czasie funkcje działania urządzenia nadawczego i odbiorczego stacji radiolokacyjnej. Czas pracy nadajnika i odbiornika pokazany jest na rys. 6.

Metoda impulsowa jest najprostszym sposobem rozdziału w czasie sygnału bezpośredniego /sondującego/ i sygnału odbitego od celu. Pomiaru odległości do obiektu dokonuje się na podstawie wzorów 2 i 3.

1/ Falowodem nazywamy rurę metalową o przekroju prostokątnym lub kołowym do przesyłania energii fal elektromagnetycznych.

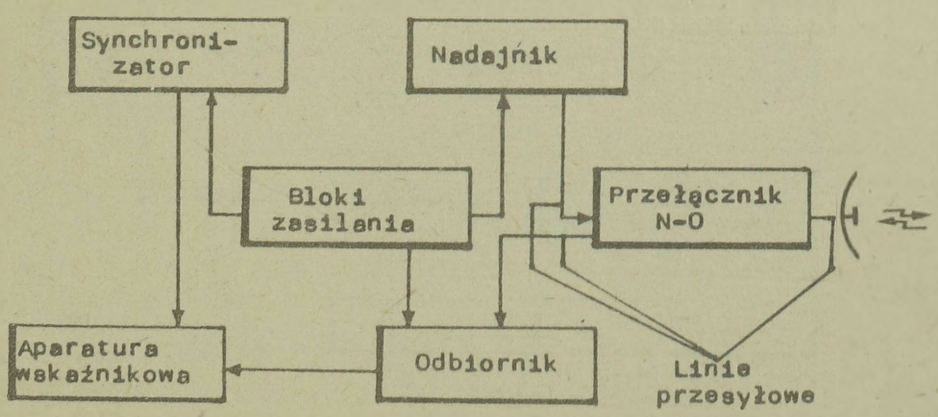


Rys.6. Czas pracy nadajnika i odbiornika stacji radiolokacyjnej

Stacje radiolokacyjne pracujące metodą impulsową znalazły bardzo szerokie zastosowanie. Do zalet tego typu stacji należy zaliczyć możliwość stosunkowo prostego i szybkiego jednoczesnego obserwowania kilkunastu obiektów jednocześnie, tak ruchomych jak i nieruchomych oraz dokonanie pomiaru współrzędnych: odległości, azymutu i kąta wzniesienia.

Zastosowanie metody impulsowej pozwoliło wykorzystać jedną antenę dla funkcji nadawania i odbioru fal radiowych, co znacznie uprościło konstrukcję aparatury technicznej.

Uproszczony schemat blokowy stacji radiolokacyjnej pracującej metodą impulsową przedstawia rys. 7.



Rys.7. Schemat blokowy impulsowej stacji radiolokacyjnej

Stacje radiolokacyjne posiadają w zasadzie jednakowe pod względem funkcjonalnym główne urządzenia, mogące się różnić niektórymi układami. Do najważniejszych układów stacji należę: synchronizator, nadajnik, antena, przełącznik antenowy /N-O/, linia przesyłowa, odbiornik, aparatura wskaźnikowa i źródła zasilania.

Synchronizator - uruchamia i zgrywa w czasie pracę podstawowych układów stacji radiolokacyjnej. Krótkotrwałe impulsy synchronizujące /rys. 8a/ wytwarzane w synchronizatorze sterują pracą nadajnika i aparatury wskaźnikowej.

Nadajnik - generuje impulsy sondujące dużej mocy /rys. 8b/, skąd przesyłane są do anteny.

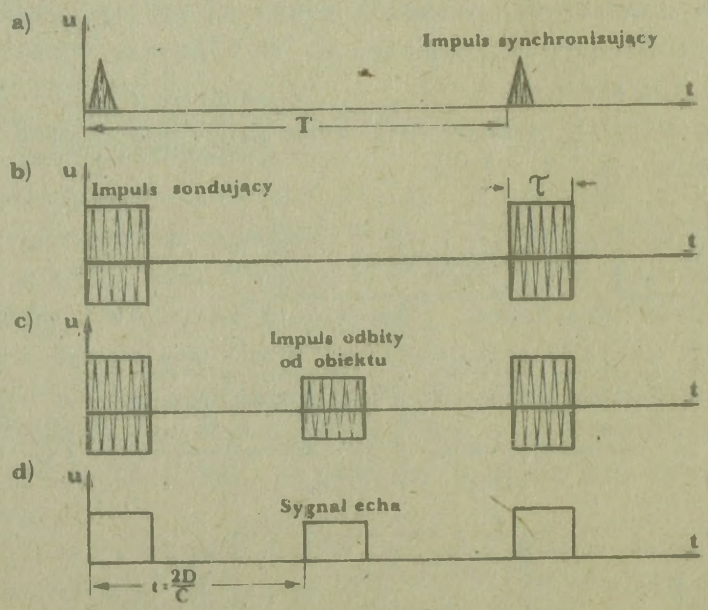
Antena - wypromieniowuje impulsy sondujące w przestrzeń i odbiera sygnały odbite od obiektów w przerwach między impulsami sondującymi. Oprócz tego według położenia elektrycznej osi anteny określane są współrzędne kątowe wykrytych celów.

Przełącznik antenowy - umożliwia wykorzystanie jednej anteny dla wypromieniowania i odbioru energii elektromagnetycznej.

Linia przesyłowa - służą do przesyłania energii elektromagnetycznej od nadajnika do anteny i od anteny do odbiornika.

Odbiornik - odbiera sygnały określonego kształtu o ustalonej częstotliwości nośnej, a następnie wzmacnia i przekształca je w sygnały innego rodzaju /sygnały echa/, niezbędnego do pracy aparatury wskaźnikowej /rys. 8d/.

Aparatura wskaźnikowa - pozwala obserwować sygnały odbite od celów oraz dokonywać odczytu współrzędnych.



Rys.8. Przebieg impulsów w czasie pracy stacji radiolokacyjnej

2.2. Metoda kompresii impulsów

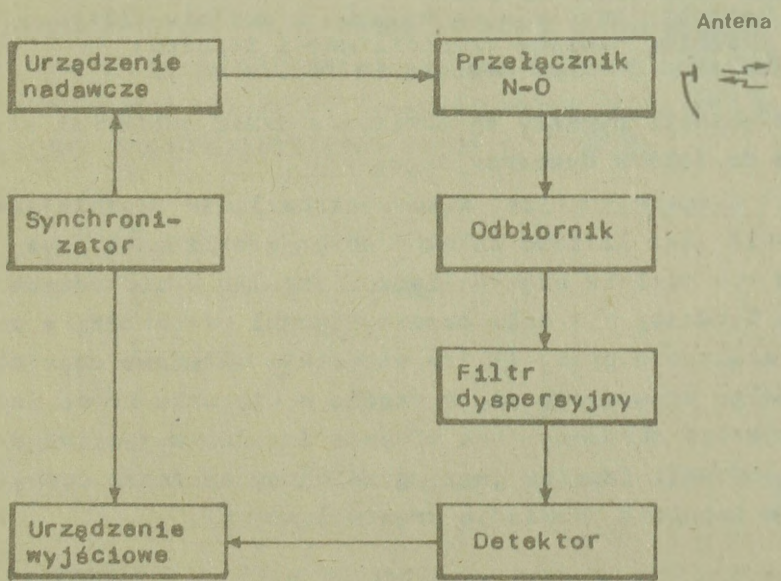
W celu zwiększenia zasięgu wykrywania obiektów przez stację radiolokacyjną konieczne staje się zwiększenie energii /E/ w impulsie sondującym, która równa się iloczynowi mocy impulsowej /P_i/ i czasu trwania impulsu sondującego /τ/:

$$E = P_i \cdot \tau \qquad /4/$$

Ze wzoru widzimy, że w celu zwiększenia energii w impulsie można zwiększyć czas trwania impulsu sondującego przy ograniczonej mocy impulsowej. Zwiększenie jednak czasu trwania impulsu prowadzi do pogorszenia się rozróżnialności stacji radiolokacyjnej w odległości oraz pogarsza dokładność pomiaru odległości. Można to usunąć stosując specjalną modulację impulsów i odpowiednią obróbkę sygnałów odbitych w odbiorniku, stosując kompresję impulsów /zwężenie/ do takiej szerokości, która zabezpieczy żądaną rozróżnialność w odległości.

Taką modulacją jest między innymi wewnątrzimpulsowa liniowa modulacja częstotliwości.

Uproszczony schemat blokowy stacji radiolokacyjnej z wewnątrzimpulsową liniową modulacją częstotliwości przedstawiony jest na rys. 9.



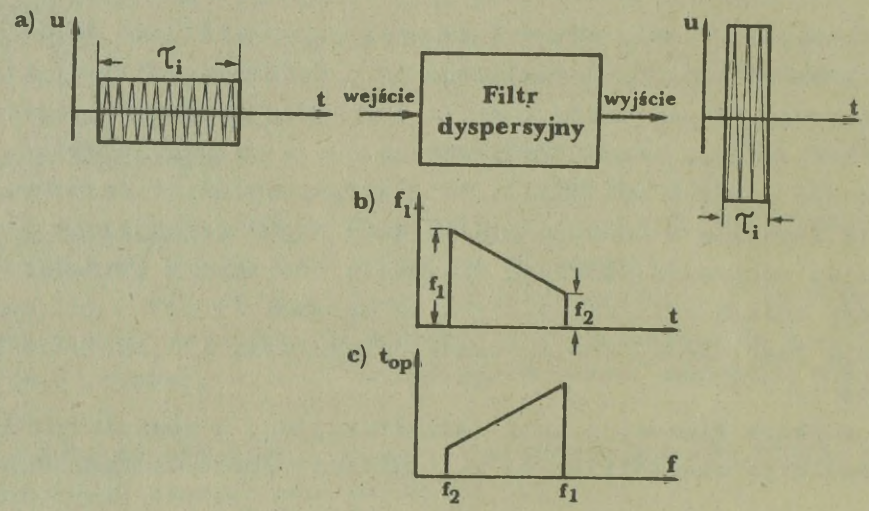
Rys.9. Schemat blokowy stacji z kompresją impulsu

Urządzenie nadawcze wytwarza impulsy o dużym czasie trwania /τ_i/. Częstotliwość /f/ wewnątrz impulsu zmienia się zgodnie z następującą zależnością:

$$f = f_o - at \qquad /5/$$

gdzie: a - prędkość zmiany częstotliwości;

Kształt impulsu radiowego i zależność zmiany częstotliwości przedstawiono na rys. 10.



Rys.10. Zasada kompresji impulsu:
a - kształty impulsów na wejściu i wyjściu filtru;
b - przebieg zmiany częstotliwości impulsu;
c - zależność czasu opóźnienia filtru od f.

Odbite od obiektu sygnały są odbierane przez odbiornik stacji i przekazywane do filtru dyspersyjnego.

Jako filtr dyspersyjny jest wykorzystana linia opóźniająca, której czas opóźnienia jest liniowo zależny od częstotliwości /rys. 10c/.

W filtrze tym wielkie częstotliwości impulsu przychodzące wcześniej są opóźniane bardziej niż małe częstotliwości przychodzące do filtru później. W rezultacie pracy filtru wszystkie składowe częstotliwości wewnątrz impulsu przesuwają się w czasie w kierunku końca impulsu, to znaczy, że zostaje skrócony czas trwania impulsu wyjściowego.

Stopień kompresji impulsu jest ograniczony zakresem odchylania częstotliwości w impulsie /dewiacją częstotliwości/.

$$\Delta f = a \cdot \tau_i \qquad /6/$$

Czas trwania impulsu po kompresji jest równy:

$$\tau_{ik} = \frac{1}{\Delta f} \qquad /7/$$

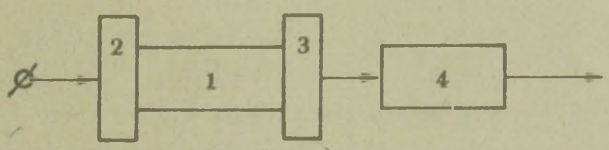
Współczynnik kompresji impulsu:

$$K = \frac{\tau_i}{\tau_{ik}} = \Delta f \cdot \tau_i \qquad /8/$$

Moc impulsu wychodzącego z filtru wzrasta k razy w stosunku do mocy impulsu wchodzącego, to znaczy:

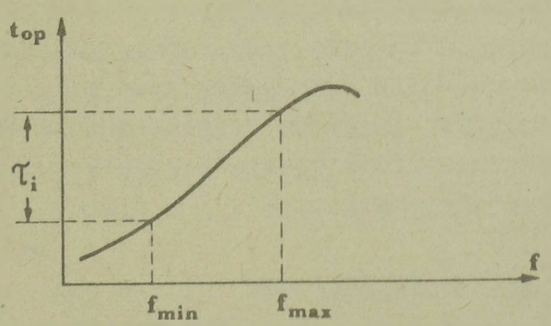
$$P_{ik} = k \cdot P_{iwe} \qquad /9/$$

Jako filtr dyspersyjny może być, na przykład, wykorzystany filtr optymalny składający się z ultradźwiękowej dyspersyjnej linii opóźniającej z pasmowym filtrem korekcyjnym na wyjściu /rys. 11/.



Rys.11. Schemat filtru dyspersyjnego:
1 - płytka aluminiowa;
2 - piezoceramiczny przetwornik nadawczy;
3 - piezoceramiczny przetwornik odbiorczy;
4 - wzmacniacz pasmowy

Ultradźwiękowa dyspersyjna linia opóźniająca składa się z dwóch przetworników piezoceramicznych, przetwarzających drgania elektryczne w drgania mechaniczne i płytki aluminiowej /rys. 11/. Czas opóźnienia takiej linii ultradźwiękowej zależy od częstotliwości /rys. 12/ i zmienia się on liniowo w granicach częstotliwości od f_{min} do f_{max}.

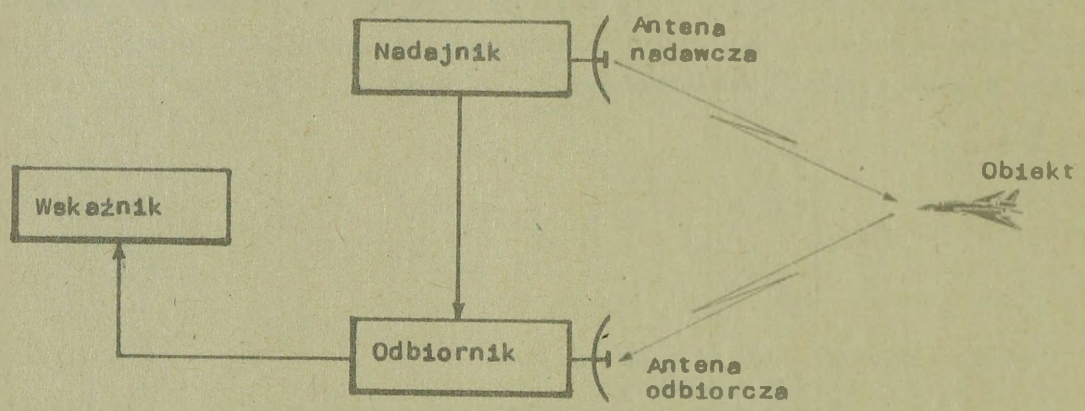


Rys.12. Zależność t_{op} /czas opóźnienia/ od f dla ultradźwiękowej dyspersyjnej linii opóźniającej

2.3. Metoda ciągłego promieniowania

W stacjach radiolokacyjnych ciągłego promieniowania nadajnik stacji, dzięki antenie nadawczej, wypromieniowuje fale radiowe w przestrzeń. Odbite od obiektu fale odbierane są przez antenę odbiorczą i podawane do odbiornika. Nadajnik i odbiornik pracują jednocześnie.

Schemat blokowy stacji radiolokacyjnej ciągłego promieniowania przedstawia rys. 13.



Rys.13. Schemat blokowy stacji radiolokacyjnej ciągłego promieniowania

Na wejście odbiornika jednocześnie z sygnałem odbitym, podawany jest bardzo słaby sygnał bezpośrednio z nadajnika.

Obiekt może być wykryty tylko w tym wypadku, kiedy częstotliwości sygnałów odbitych nie pokrywają się z częstotliwością drgań sygnałów promieniowanych przez nadajnik. W rezultacie jednoczesnego działania na wejście odbiornika dwóch sygnałów z różnymi częstotliwościami, na wyjściu otrzymujemy sygnały częstotliwości różnicowej, co świadczy o znajdowaniu się obiektu w strefie wykrywania stacji.

W stacjach radiolokacyjnych ciągłego promieniowania można wyróżnić między innymi stacje wykorzystujące zjawisko Dopplera i stacje z wykorzystaniem modulacji częstotliwości.

2.3.1. Metoda z falą ciągłą niemodulowaną

W metodzie tej wykorzystuje się zjawisko Dopplera. Zjawisko Dopplera w odniesieniu do fal radiowych polega na tym, że w przypadku ruchu źródła fal radiowych w stosunku do urządzenia odbiorczego, lub odwrotnie, przy ruchu urządzenia odbiorczego w stosunku do źródła fal radiowych,

częstotliwość odbieranych drgań nie pokrywa się z częstotliwością sygnału wypromieniowanego.

Jeżeli w jednym punkcie znajduje się źródło fal radiowych, a w innym odbiornik, to częstotliwość sygnału /f_{odb}/ odebranego przez antenę odbiorczą może być określona według przybliżonego wzoru:

$$f_{odb} = f\left[1 \pm \frac{W_r}{c}\right] \qquad /10/$$

gdzie:

f - częstotliwość promieniowanej fali radiowej;

W_r - prędkość radialna[2/] przemieszczania się odbiornika w stosunku do źródła fali radiowej;

c - prędkość rozchodzenia się fali radiowej.

We wzorze /10/ przy określaniu f_{odb} należy przyjmować znak plus, jeżeli odległość między źródłem fal radiowych i punktem odbiorczym zmniejsza się oraz znak minus, jeżeli odległość ta zwiększa się.

Częstotliwość sygnału odbitego różni się od częstotliwości drgań generatora wielkością tak zwanej poprawki dopplerowskiej, lub przesunięcia dopplerowskiego/F_D/, która wynosi:

$$F_D = \frac{2W_r}{c} f \qquad /11/$$

W celu otrzymania odpowiednich znaków - plus lub minus, przy określaniu f_{odb}, należy brać pod uwagę znaczenie odległości D. Przy $W_r < 0$ odległość do celu zmniejsza się, przy $W_r > 0$ odległość do celu zwiększa się.

Zjawisko Dopplera nie występuje przy prędkości radialnej $W_r = 0$, to jest w wypadku kiedy statek powietrzny leci po okręgu w stosunku do stacji radiolokacyjnej lub nie zmienia położenia. W tym wypadku nie zmienia się odległość i przesunięcie dopplerowskie nie występuje.

Częstotliwość różnicowa w zakresie akustycznym może być wydorębniona za pomocą słuchawek, względnie za pomocą częstotliwościomierza, według których sądzi się o istnieniu celu w strefie wykrywania stacji.

Zastosowanie stacji radiolokacyjnych wykorzystujących zjawisko Dopplera pozwala wykrywać i określać współrzędne oraz prędkość tylko obiektów ruchomych.

Za pomocą tego typu stacji radiolokacyjnych nie można określać ilości celów w grupie oraz nie ma możliwości obserwacji kilku obiektów znajdujących się jednocześnie w strefie wykrywania stacji. Określanie odle-

---

2/ Prędkość radialna, jest to składowa wektora prędkości obiektu w kierunku źródła promieniowania fal radiowych.

głości do celu związane jest z trudnościami, ponieważ za pomocą stacji której schemat blokowy przedstawiony jest na rys. 13, można określać odległość tylko w przybliżeniu po wielkości amplitudy sygnału odbitego od obiektu, względnie według amplitudy drgań częstotliwości różnicowej, brak jest bowiem informacji o czasie, w jakim fale radiowe pokonują odległość: nadajnik - obiekt - odbiornik.

Wady powyższe ograniczają wykorzystanie tego typu stacji radiolokacyjnych.

Urządzenia radiolokacyjne ciągłego promieniowania z zastosowaniem efektu Dopplera znajdują zastosowanie w zapalnikach bombowych i pociskach oraz w aparaturze naprowadzania pocisków rakietowych.

Zjawisko Dopplera ma zastosowanie również w stacjach radiolokacyjnych impulsowych w celu eliminacji zakłóceń pasywnych to jest odbić od przedmiotów stałych i ruchomych poruszających się z bardzo małymi prędkościami /np. pasków folii rozprzestrzenianych celowo w strefie obserwacji stacji, do wytworzenia na nich zakłóceń pasywnych/.

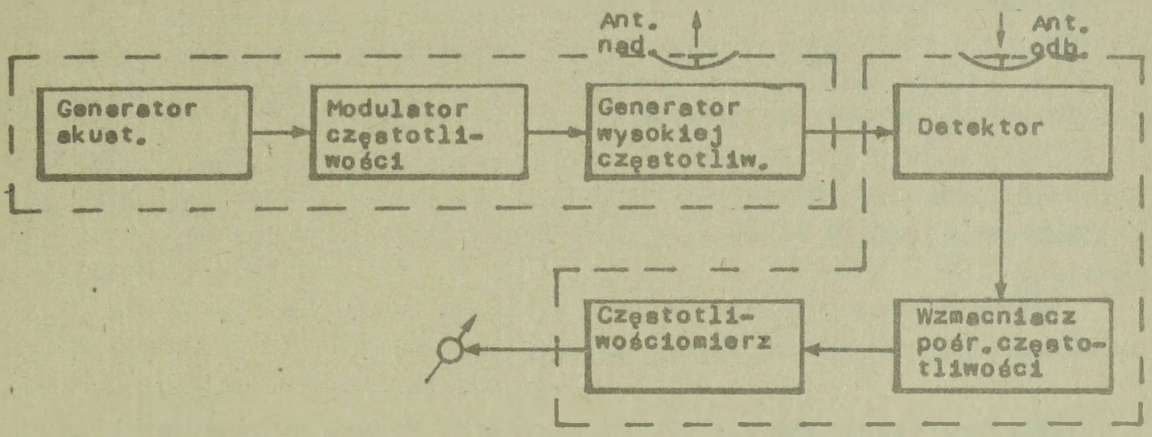
Niezależnie od tego efekt Dopplera szeroko wykorzystuje się w urządzeniach radionawigacyjnych w celu określania prędkości podróżnej obiektów i kąta ich znoszenia, a także prędkości lotu rakiet, pocisków balistycznych itp.

2.3.2. Metoda z falą ciągłą modulowaną częstotliwością

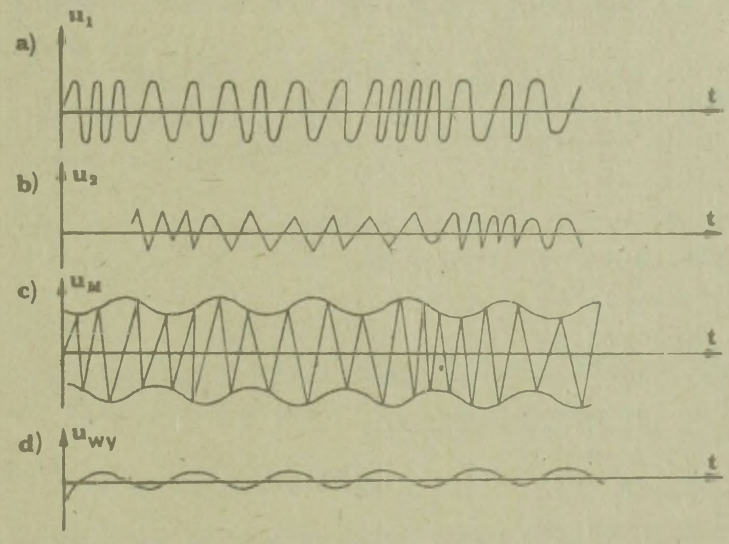
Zasada pracy stacji radiolokacyjnej pracującej na fali ciągłej z modulacją częstotliwościową, której uproszczony schemat przedstawia rys. 14, jest następująca: z generatora wielkiej częstotliwości do wejścia detektora jest doprowadzone napięcie modulowane częstotliwościowo U_1 /rys. 15a/. Jednocześnie do wejścia detektora jest doprowadzone z anteny odbiorczej napięcie sygnału odbitego U_2 /rys. 15b/. Jeżeli odległość do obiektu, od którego pochodzi sygnał odbity i jego skuteczna powierzchnia odbicia nie ulegają zmianie w czasie, to przy odbiciu nie następuje dodatkowa modulacja /amplitudowa i częstotliwościowa/.

W tych wypadkach sygnał odbity różni się od sygnału wysyłanego tylko amplitudą. Opóźnienie sygnału odbitego można obliczyć ze wzoru /2/.

W czasie nakładania na siebie sygnału wysyłanego i odbitego występuje dudnienie /rys. 15c/. W rezultacie tego procesu sygnał wyjściowy jest sygnałem modulowanym zarówno częstotliwościowo, jak i amplitudowo. Liczba maksimów obwiedni drgań wypadkowych w jednostce czasu jest zależna od czasu opóźnienia sygnału odbitego, to znaczy od odległości do obiektu odbijającego.



Rys.14. Schemat blokowy stacji radiolokacyjnej pracującej na fali ciągłej z modulacją częstotliwościową



Rys.15. Wykresy napięć wyjaśniające zasadę pracy stacji radiolokacyjnej pracującej na fali ciągłej z modulacją częstotliwościową

Wystarczy więc drogę demodulacji sygnału wypadkowego wydzielić obwiednię /rys. 15d/ i po odpowiednim wzmocnieniu doprowadzić ją do miernika częstotliwości. Wskazania miernika częstotliwości będą proporcjonalne do odległości stacji od odbijającego obiektu.

Mierniki częstotliwości używane do tego celu mogą być skalowane w jednostkach odległości.

Częstotliwość dudnień /f_d/ w wypadku liniowej modulacji częstotliwości jest równa:

$$f_d = a \cdot \frac{2D}{c} \qquad /12/$$

gdzie: a - prędkość zmiany częstotliwości.

Metoda radiolokacji z wykorzystaniem modulacji częstotliwości wykorzystywana jest w różnych urządzeniach radiolokacyjnych. Szczególną zaletą tej metody jest to, że istnieje możliwość pomiaru bardzo małych odległości do celu ze stosunkowo dużą dokładnością.

W lotniczych urządzeniach radiolokacyjnych z wykorzystaniem modulacji częstotliwości, najszersze zastosowanie znalazły radiowysokościomierze małych wysokości, stosowane do pomiaru rzeczywistej wysokości lotu samolotu.

3. CHARAKTERYSTYKA STACJI RADIOLOKACYJNYCH

3.1. Dane taktyczne stacji radiolokacyjnych

Danymi taktycznymi stacji radiolokacyjnych nazywamy wielkości /parametry/ charakteryzujące je przy wykonywaniu przez nie konkretnych zadań taktycznych.

Najważniejszymi danymi taktycznymi stacji radiolokacyjnych są:

- zakres obserwacji w odległości /w tym maksymalny zasięg/;
- sektor obserwacji we współrzędnych kątowych;
- okres przeszukiwania;
- zdolność rozdzielcza /rozróżnialność/;
- dokładność określania współrzędnych;
- możliwości informacyjne;
- odporność na zakłócenia;
- normy wykorzystania /czas rozwijania, włączenia, zwijania itp./;
- klimatyczne warunki eksploatacji.

3.1.1. Maksymalny zasięg

Przedział obserwacji stacji radiolokacyjnej w odległości jest określony przez maksymalny zasięg /D_{max}/ i minimalny zasięg /D_{min}/.

Maksymalny zasięg wykrywania jest ustalany wymaganiami taktycznymi. Może on być obliczony za pomocą zasadniczego równania radiolokacyjnego:

$$D_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_i G^2 \lambda^2 \sigma_o}{P_{odb.min} (4\pi)^3}} \qquad /13/$$

gdzie:

P_i - moc impulsowa nadajnika;

$P_{odb.min}$ - minimalna moc sygnału odebrana, niezbędna do wykrycia sygnału echa;

G - zysk antenowy;

λ - długość fali roboczej;

σ_o - skuteczna powierzchnia odbicia wykrywanego obiektu.

Ułamek zawarty w nawiasie pod pierwiastkiem jest nazywany potencjałem stacji radiolokacyjnej.

Maksymalny zasięg zależy więc od szeregu technicznych parametrów stacji radiolokacyjnej oraz od warunków rozchodzenia się fal radiowych i parametrów obiektu.

W rzeczywistych warunkach wykorzystania stacji podlegają one przypadkowym zmianom. Dlatego maksymalny zasięg jest podawany w odniesieniu do określonego prawdopodobieństwa.

Przy opracowywaniu nowych stacji radiolokacyjnych maksymalny zasięg oraz prawdopodobieństwo jego uzyskania są ustalone na podstawie wstępnych prób. Zwykle okazuje się, że maksymalny zasięg stanowi określoną wartość dla pewnego procentu /na przykład: 90%/ spośród wszystkich przeprowadzonych pomiarów.

Zasięg stacji radiolokacyjnych dalekiego wykrywania jest zwykle ograniczony odległością bezpośredniej widzialności radiolokacyjnej D_o, która może być obliczona ze wzoru:

$$D_o = 4{,}1\left(\sqrt{h_A} + \sqrt{H}\right) \qquad /14/$$

gdzie:

D_o - w kilometrach;

h_A - wysokość zawieszenia anteny stacji radiolokacyjnej w metrach;

H - wysokość obiektu w metrach.

3.1.2. Minimalna odległość wykrycia

Minimalna odległość wykrycia stacji radiolokacyjnej D_{min} zależy od przedziału obserwacji układu antenowego w kącie położenia ε. Jest ona różna na poszczególnych wysokościach i wyznacza wielkość martwego stożka. Może być obliczona ze wzoru:

$$D_{min} = \frac{H}{\sin \varepsilon_{max}} \qquad /15/$$

gdzie:

ε_{max} - graniczny kąt położenia charakterystyki kierunkowej.

Dla naziemnych stacji radiolokacyjnych przy małych kątach położenia rzeczywiste wartości minimalnej odległości wykrycia mogą być ograniczone przez rozjaśnienie ekranu wskaźnika odbiciami od przedmiotów terenowych.

Jeżeli układ antenowy nie powoduje ograniczeń, wówczas minimalny zasięg stacji radiolokacyjnej zależy od czasu trwania impulsu τ_i, czasu przełączania przełącznika nadawanie - odbiór t_d /czasu dejonizacji iskierników/ oraz zdolności rozdzielczej aparatury wskaźnikowej D_w.

$$D_{min} = \frac{c}{2}\left(\tau_i + t_d\right) + \delta D_w \qquad /16/$$

3.1.3. Sektor obserwacji w azymucie

Większość istniejących typów stacji radiolokacyjnych prowadzi obserwację okrężną, to znaczy określają one azymut β w przedziale od 0^o do 360^o.

Niektóre stacje radiolokacyjne prowadzą obserwację sektorową. Wielkość sektora obserwacji ustala się na podstawie potrzeb i założeń taktycznych.

3.1.4. Sektor obserwacji w kącie położenia

Strefa obserwacji stacji radiolokacyjnej w płaszczyźnie pionowej zależy od wielkości sektora w kącie położenia $\Delta\varepsilon$. Zwykle ustala się minimalny kąt położenia ε_{min} oraz maksymalny kąt położenia ε_{max}.

Minimalny kąt położenia zależy od warunków kształtowania charakterystyki kierunkowej z uwzględnieniem wpływu ziemi. Jest on również uwarunkowany względami konstrukcyjnymi i eksploatacyjnymi. Najczęściej minimalny kąt położenia ε_{min} jest równy kilku dziesiątym stopnia dla stacji zakresu centymetrowego i 1^o-3^o dla stacji zakresu decymetrowego i metrowego.

Maksymalny kąt położenia dla współczesnych stacji radiolokacyjnych wykrywania wynosi 30^o-45^o.

Zmniejszenie wielkości minimalnego kąta położenia ε_{min} umożliwia zwiększenie odległości wykrywania obiektów lecących na małych wysokościach. Uzyskuje się to przez podniesienie układu antenowego ponad powierzchnię ziemi.

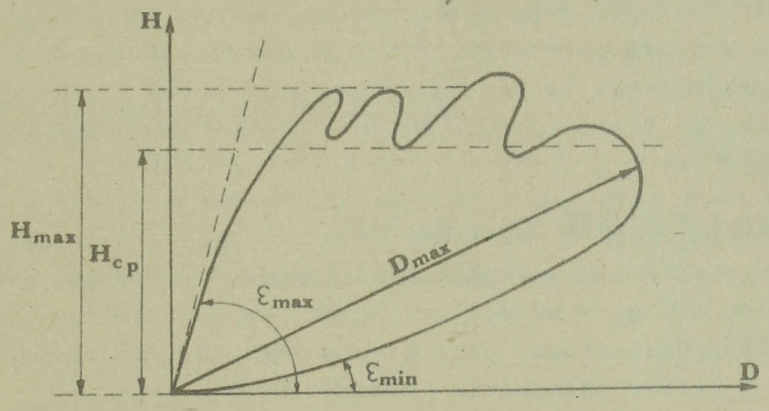
Zwiększenie maksymalnego kąta położenia ε_{max} powoduje zwiększenie możliwości wykrywania i obserwacji obiektów znajdujących się na dużych wysokościach.

3.1.5. Strefa wykrywania

Strefę wykrywania stacji radiolokacyjnej nazywa się przestrzeń, w granicach której stacja wykrywa i śledzi obiekty z założonym prawdopodobieństwem oraz określa współrzędne obiektów z wymaganą dokładnością.

Strefa wykrywania w płaszczyźnie pionowej /rys. 16/ jest przedsta-

wiona w postaci wykresu na współrzędnych wysokość H - odległość D. Odległość obserwacji jest różna dla różnych kątów położenia ε. Kształt strefy wykrywania zależy od przeznaczenia stacji radiolokacyjnej i zastosowanych w niej rozwiązań technicznych.



Rys.16. Strefa wykrywania stacji radiolokacyjnej

Odległość wykrycia zależy od wysokości lotu obiektu. W strefie obserwacji jest również możliwa obserwacja obiektów na wysokości $H > H_{cp}$, gdzie: H_{cp} - pułap ciągłego śledzenia.

3.1.6. Pułap ciągłej obserwacji

Pułapem ciągłej obserwacji /śledzenia/ obiektów przez stację radiolokacyjną nazywamy maksymalną wysokość, na której obiekty są wykrywane na wszystkich odległościach w granicach strefy obserwacji.

Na niektórych odległościach w granicach strefy wykrywania jest możliwe wykrywanie i śledzenie obiektów na wysokościach większych niż pułap ciągłego prowadzenia przez stację.

3.1.7. Okres obserwacji

Okresem obserwacji stacji radiolokacyjnej T_{obs} nazywamy odcinek czasu, konieczny dla opromieniowania wszystkich punktów przestrzeni w strefie obserwacji stacji.

Okres obserwacji określa odcinek czasu między dwoma kolejnymi pomiarami współrzędnych wykrytych obiektów. Przy współczesnych prędkościach obiektów, płynność przemieszczania zobrazowania odbić na ekranach wskaźników oraz dokładność odtworzenia trasy lotu obiektu są tym lepsze im mniejszy jest okres obserwacji.

W stacjach radiolokacyjnych z dookrężną obserwacją przestrzeni, okres obserwacji równy jest czasowi pełnego obrotu systemu antenowego:

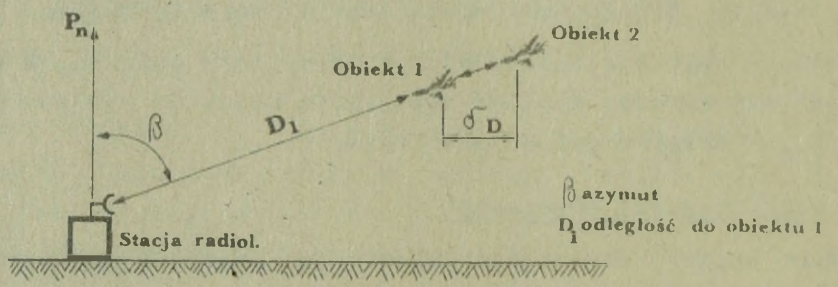
$$T_{obs} = \frac{60}{n_A} \qquad /17/$$

gdzie: n_A - ilość obrotów anteny w ciągu jednej minuty.

Stacje radiolokacyjne mogą prowadzić obserwację sektorową zarówno w azymucie, jak i w kącie położenia. Przeszukiwanie sektorowe w kącie położenia może odbywać się za pomocą pojedynczej wiązki lub kilku wiązek, każdą w jej strefie obserwacji. W drugim wypadku okres obserwacji zostaje skrócony.

3.1.8. Zdolność rozdzielcza w odległości

Zdolnością rozdzielczą stacji radiolokacyjnej w odległości δ_D nazywa się minimalny odstęp w odległości między dwoma obiektami, mającymi jednakowe współrzędne kątowe, przy którym jest jeszcze możliwa oddzielna obserwacja i pomiar odległości każdego obiektu /rys. 17/.



Rys.17. Zdolność rozdzielcza stacji radiolokacyjnej w odległości

Zdolność rozdzielcza stacji radiolokacyjnej w odległości może być wyliczona na podstawie zależności:

$$\delta_D = \frac{c \cdot \tau_i}{2} + \delta_{Dw} \qquad /18/$$

gdzie: τ_i - czas trwania impulsu sondującego;

δ_{Dw} - zdolność rozdzielcza aparatury wskaźnikowej w odległości.

Zdolność rozdzielcza powszechnie stosowanych stacji radiolokacyjnych pracujących metodą impulsową jest tym większa / δ_D tym mniejsza/ im mniejszy jest czas trwania impulsu i większa zdolność rozdzielcza aparatury wskaźnikowej.

Pierwszy składnik wzoru określa potencjalną zdolność rozdzielczą /δ_{Dp} / stacji:

$$\delta_{Dp} = \frac{c \cdot \tau_i}{2} \qquad /19/$$

drugi natomiast uwarunkowany jest parametrami aparatury wskaźnikowej.

Zdolność rozdzielcza stacji radiolokacyjnej z kompresją /sprężaniem/ impulsu podczas obróbki sygnału odbitego zależy od czasu trwania impulsu wyjściowego τ_{ik} po kompresji

$$\delta_{Dp} = \frac{c \cdot \tau_{ik}}{2} \qquad /20/$$

3.1.9. Zdolność rozdzielcza w azymucie

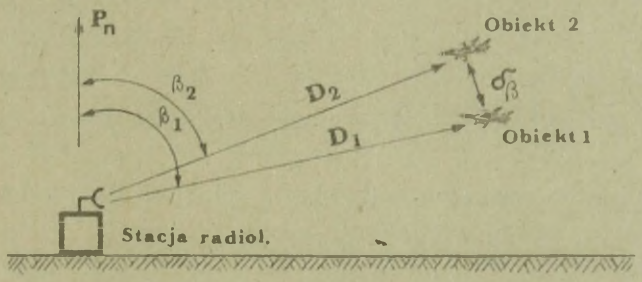
Zdolnością rozdzielczą stacji radiolokacyjnej w azymucie δ_β nazywamy różnicę azymutów obiektów będących blisko siebie oraz znajdujących się na jednakowych odległościach i jednakowych wysokościach, przy której jest jeszcze możliwy oddzielny pomiar azymutu każdego obiektu /rys. 18/:

$$\delta_\beta = \Theta_{\beta 0,5} + \delta_{\beta w} \qquad /21/$$

gdzie:

$\Theta_{\beta 0,5}$ - szerokość charakterystyki kierunkowej anteny w płaszczyźnie poziomej na poziomie mocy 0,5;

$\delta_{\beta w}$ - zdolność rozdzielcza aparatury wskaźnikowej w azymucie



Rys.18. Zdolność rozdzielcza stacji radiolokacyjnej w azymucie

Na przykład, dla wskaźnika obserwacji okrężnej:

$$\delta_\beta = \Theta_{\beta 0,5} + 57,3 \frac{d_p}{r_z} \qquad /22/$$

gdzie:

r_z - odległość zobrazowania od środka ekranu wskaźnika;

d_p - średnica plamki świetlnej na ekranie wskaźnika.

3.1.10. Zdolność rozdzielcza w kącie położenia i w wysokości

Zdolnością rozdzielczą stacji radiolokacyjnej w kącie położenia nazywa się różnicę kątów położenia obiektów będących bardzo blisko siebie oraz znajdujących się na jednakowych odległościach i na tym samym azy-

mucie, przy której jest jeszcze możliwy oddzielny pomiar kąta położenia każdego obiektu.

Zdolność rozdzielczą w kącie położenia określa się wzorem:

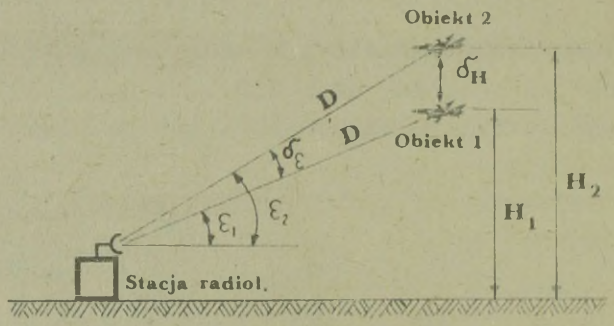
$$\delta_\varepsilon = \Theta_{\varepsilon 0,5} + \delta_{\varepsilon w} \qquad /23/$$

gdzie:

$\Theta_{\varepsilon,05}$ - szerokość charakterystyki kierunkowości anteny w płaszczyźnie pionowej;

$\delta_{\varepsilon w}$ - zdolność rozdzielcza aparatury wskaźnikowej w kącie położenia.

Zdolnością rozdzielczą stacji radiolokacyjnej w wysokości nazywa się minimalną różnicę wysokości dwu obiektów znajdujących się w jednakowej odległości na tym samym azymucie, przy której można określić wysokość dla każdego obiektu oddzielnie /rys. 19/.



Rys.19. Zdolność rozdzielcza stacji radiolokacyjnej w wysokości

Dla stacji radiolokacyjnych z wahaniem wiązki w płaszczyźnie pionowej zdolność rozdzielczą można określić ze wzoru:

$$\delta_H = \frac{\Theta_{\varepsilon 0,5}\, D}{\cos \varepsilon} + \delta_{Hw} \qquad /24/$$

gdzie:

D - odległość do celu;

ε - bieżący kąt położenia;

δ_{Hw} - zdolność rozdzielcza wskaźnika wysokości.

3.1.11. Dokładność określania współrzędnych

Dokładność określania współrzędnych obiektów za pomocą stacji radiolokacyjnej ocenia się na podstawie wartości błędów pomiaru współrzędnych.

Błędy, zależnie od przyczyn ich powstawania, dzielimy na zewnętrzne i błędy aparatury oraz, zależnie od prawidłowości ich powstawania, na duże, systematyczne i przypadkowe.

Duże błędy, powstające w wyniku błędnego liczenia, mogą być łatwo wyeliminowane. Przyjmuje się, że dobrze wyszkolona obsługa stacji radiolokacyjnej nie popełnia tych błędów.

Błędy systematyczne podczas pracy stacji radiolokacyjnej zachowują stałą wartość lub zmieniają się według znanej zależności.

Błędy te mogą być uprzednio określone i uwzględnione. Personel obsługujący stację radiolokacyjną powinien znać źródła możliwych błędów systematycznych i zawsze usuwać przyczyny ich powstawania oraz umieć oceniać dopuszczalne błędy i do wyników pomiarów wprowadzać niezbędne poprawki.

Błędy systematyczne z zasady są błędami aparatury. Są one uwarunkowane dokładnością strojenia i regulacji, stanem aparatury, błędami dowiązania i orientowania stacji radiolokacyjnej w terenie oraz stanem wyszkolenia operatorów itp.

Błędy systematyczne mogą być również błędami zewnętrznymi. Do nich zalicza się:

- błędy uwarunkowane wpływem ziemi i przedmiotów terenowych;
- błędy powstające w wyniku wpływu rzeczywistych warunków klimatycznych na rozchodzenie się energii elektromagnetycznej;
- błędy uwarunkowane charakterem obiektu i jego manewrowaniem.

Błędami przypadkowymi są błędy, których nie można uniknąć. Powstają one wskutek przypadkowego charakteru wszystkich przebiegów w blokach i zespołach stacji radiolokacyjnej, rozchodzenia się fal elektromagnetycznych, odbicia od obiektu, obserwacji ekranu itp.

Do oceny wartości błędów przypadkowych wykorzystuje się średnie błędy kwadratowe δ , błędy średnie /prawdopodobne/ i maksymalne. Średni błąd kwadratowy oblicza się ze wzoru:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i^2} \qquad /25/$$

gdzie:

x_i - $/a_i - x/$ - błąd przypadkowy i-tego pomiaru;

a_i - wynik i-tego pomiaru;

x - rzeczywista wartość mierzonej współrzędnej;

n - liczba pomiarów.

Błąd ten można obliczyć z wystarczającą dokładnością nawet przy stosunkowo niedużej liczbie pomiarów /$n > 10$/.

Jeżeli znane są średnie błędy kwadratowe $\delta_1, \delta_2 \ldots, \delta_n$, można obliczyć ogólny średni błąd kwadratowy ze wzoru:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \ldots \sigma_n^2} \qquad /26/$$

Błąd średni jest równy średniej arytmetycznej bezwzględnych wartości błędów przypadkowych szeregu pomiarów, to jest:

$$x_{śr} = \pm \frac{/x_1/ + /x_2/ + \ldots + /x_n/}{n} \qquad /27/$$

Błąd maksymalny jest to maksymalny błąd przypadkowy, który jest możliwy przy określonych warunkach pomiarów. Przyjmuje się, że jest on równy:

$$x_{max} = 4\, x_p \qquad /28/$$

zatem:

$$x_{max} \approx 3\sigma \qquad /29/$$

Prawdopodobieństwo maksymalnego błędu dla danego szeregu pomiarów wynosi $P_{/Xmax/} = 0{,}993$. Wynika z tego, że tylko 0,7% pomiarów ma błąd większy niż x_{max}.

<u>Dokładność pomiaru odległości</u> - zależna jest od dokładności pomiaru opóźnienia sygnału odbitego, od błędów spowodowanych nieoptymalną obróbką sygnału, od występowania nie dających się uwzględnić opóźnień sygnału w obwodach nadawczych, odbiorczych i wskaźnikowych, oraz od przypadkowych błędów pomiaru odległości powstających w urządzeniach wskaźnikowych.

Błędy powstające w urządzeniach wskaźnikowych są uwarunkowane niestabilnością znaczników skalujących oraz błędami odczytu. Te ostatnie składają się z błędu określenia środka znacznika i błędu interpolacji.

Potencjalną dokładność pomiaru odległości przez stację radiolokacyjną charakteryzuje średni błąd kwadratowy σ_p - który jest równy:

$$\sigma_p = \frac{C \cdot \tau_i}{2\sqrt{2\Pi V_r}} \qquad /30/$$

gdzie: V_r - wartość współczynnika zdolności rozdzielczej pojedynczego impulsu.

Średni błąd kwadratowy pomiaru odległości jest oczywiście większy od potencjalnego średniego błędu kwadratowego σ_p. Jest on równy:

$$\sigma_D = \gamma_D \sigma_p \qquad /31/$$

gdzie: γ_D - współczynnik pogorszenia dokładności pomiaru odległości rzeczywistej stacji radiolokacyjnej

Dla różnych stacji radiolokacyjnych $\gamma_D = 1{,}5 \div 15$.

Współczynnik γ_D można przedstawić w postaci wzoru:

$$\gamma_D = \sqrt{1 + \frac{\sigma_r^2}{\sigma_{p-}^2} + \frac{\Sigma \sigma_i^2}{\sigma_p^2}} \qquad /32/$$

gdzie:

σ_r - błąd spowodowany nieprostoliniowością rozchodzenia się fal radiowych;

σ_i - błąd i-tego urządzenia stacji.

Wystarczającą dokładność obliczenia wartości błędu σ_D można otrzymać również w wypadku, gdy przyjmiemy, że:

$$\gamma_D = \sqrt{1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_p^2}} \qquad /33/$$

gdzie: σ_w - średni błąd kwadratowy wskaźnika.

Dokładność pomiaru azymutu. Przy pomiarze azymutu błędy systematyczne mogą powstać wskutek niedokładnego orientowania układu antenowego stacji radiolokacyjnej oraz w wyniku wzajemnego przesunięcia między kierunkiem ustawienia anteny a elektryczną skalą znaczników azymutu.

Przypadkowe błędy pomiaru azymutu obiektu są uwarunkowane niestabilnością pracy układu obracania anteny, niestabilnością układu wytwarzającego znaczniki azymutu, jak również błędami odczytywania.

Średni błąd kwadratowy pomiaru azymutu można obliczyć ze wzoru:

$$\sigma_\beta = \frac{\sqrt{3}}{n} \frac{\Theta_{\beta 0.5}}{\sqrt{2 \nu_r}} \cdot \gamma_\beta \qquad /34/$$

gdzie:

$\Theta_{\beta 0.5}$ - szerokość charakterystyki kierunkowości anteny w płaszczyźnie poziomej;

γ_β - współczynnik pogorszenia dokładności pomiaru azymutu przez stację radiolokacyjną; oblicza się go ze wzoru podobnego do wzoru obliczania γ_D.

Dokładność pomiaru kąta położenia - zależy praktycznie od tych samych czynników, od których zależy dokładność pomiaru azymutu.

Średni błąd kwadratowy pomiaru kąta położenia można obliczyć ze wzoru podobnego do wzoru /34/:

$$\sigma_\varepsilon = \frac{\sqrt{3}}{n} \frac{\Theta_{\varepsilon 0.5}}{\sqrt{2 \nu_r}} \cdot \gamma_\varepsilon \qquad /35/$$

gdzie: γ_ε - współczynnik pogorszenia dokładności pomiaru kąta położenia stacji radiolokacyjnej.

Dokładność pomiaru wysokości

Błąd pomiaru wysokości składa się z błędu pomiaru odległości i błędu

pomiaru kąta położenia. Może on być obliczony za pomocą wzoru:

$$\sigma_H = \sigma_D \left(\sin\varepsilon + \frac{D}{R_{zz}}\right) + \sigma_\varepsilon D \cos\varepsilon \qquad /35/$$

gdzie: D - odległość obiektu w km;

R_{zz} - zastępczy promień ziemi w km;

σ_H i σ_D - w metrach;

σ_ε - w radianach.

3.1.12. Zdolność informacyjna

Stacje radiolokacyjne zapewniają informację o współrzędnych wszystkich obiektów znajdujących się w strefie obserwacji stacji oraz charakterystyce obiektów i ich przynależności. Informacja otrzymywana ze stacji radiolokacyjnej może być oceniona pod względem jakościowym i ilościowym.

Jakość informacji zależy od tego, czy otrzymujemy wszystkie dane o obiektach, czy są one dokładne i otrzymywane z określoną dyskretnością /ciągłością/.

W praktyce zdolność informacyjną stacji radiolokacyjnej ocenia się na podstawie liczby obiektów i liczby danych o każdym obiekcie rzeczywiście otrzymywanych w jednostce czasu, to jest na podstawie rzeczywistej prędkości otrzymywania informacji. Rzeczywista prędkość otrzymywania informacji jest często nazywana taktyczną zdolnością informacyjną. Może być obliczona z następującej zależności:

$$C = \frac{60\ mn}{\Delta t} \text{ lokacji na min.} \qquad /37/$$

gdzie: m - liczba obiektów, które są brane pod uwagę;

n - liczba danych o obiekcie;

Δt - dyskretność otrzymywania danych.

3.1.13. Odporność na zakłócenia

Pod pojęciem odporności stacji radiolokacyjnej na zakłócenia rozumiemy możliwość zachowania jej parametrów taktyczno-technicznych podczas oddziaływania różnorodnych zakłóceń radioelektronicznych.

Oddziaływanie zakłóceń objawia się w obniżeniu stosunku energii sygnału do energii szumów na wejściu odbiornika stacji radiolokacyjnej. W wyniku tego obiekt jest wykrywany przez stację z przyjętym prawdopodobieństwem na mniejszych odległościach lub w ogóle nie jest wykrywany.

Ilościowe kryteria oceny odporności stacji radiolokacyjnej mogą być

bardzo różne. Zwykle ocenia się odporność stacji na zakłócenia według jej zasięgu podczas oddziaływania zakłóceń.

Wskutek oddziaływania zakłóceń zasięg stacji radiolokacyjnej bez aparatury przeciwzakłóceniowej może zmniejszyć się o tyle, że w praktyce można uważać ją za całkowicie zakłóconą. Dlatego są stosowane różne sposoby zwiększania odporności stacji radiolokacyjnej na zakłócenia.

Uodpornienie stacji radiolokacyjnych na zakłócenia uzyskuje się przez:

- pracę stacji w szerokim zakresie częstotliwości;
- szybkie przestrajanie częstotliwości roboczej;
- użycie stacji wielokanałowej;
- zwiększenie potencjału energetycznego stacji;
- zmniejszenie poziomu listków bocznych charakterystyki kierunkowości anteny;
- zmianę częstotliwości powtarzania impulsów sondujących;
- zmianę polaryzacji promieniowanego sygnału;
- stosowanie specjalnych rodzajów modulacji sygnałów promieniowych;
- stosowanie specjalnych sposobów obróbki odbieranych sygnałów;
- stosowanie różnych urządzeń i układów przeciwzakłóceniowych w torze odbioru i obróbki sygnału.

3.1.14. Wpływ warunków klimatycznych na pracę stacji

Stacje radiolokacyjne mogą być przystosowane do pracy w różnych warunkach klimatycznych. Zwykle są podawane dopuszczalne granice temperatury, wilgotności, ciśnienia oraz prędkości wiatru, przy których jest zachowana możliwość pracy stacji.

Temperatura, wilgotność i ciśnienie atmosferyczne mają bezpośredni wpływ na możliwość pracy różnych bloków i układów stacji radiolokacyjnych.

Znajomość warunków klimatycznych, w jakich mogą pracować stacje radiolokacyjne, jest ważnym zagadnieniem, ponieważ pozwala to na właściwe wykorzystanie sprzętu w różnych strefach klimatycznych. Dane dotyczące warunków pracy stacji radiolokacyjnych, podawane są w formularzach technicznych stacji.

3.2. Dane techniczne stacji radiolokacyjnych

Danymi technicznymi stacji radiolokacyjnych nazywamy cały szereg wielkości charakteryzujących stacje z punktu widzenia technicznego i eksploatacyjnego. Niektóre dane techniczne wchodzą do podstawowego równania radiolokacji /wzór 13/.

Do najważniejszych danych technicznych należą:

- robocza długość fali lub zakres częstotliwości roboczych;
- moc promieniowana;
- czułość odbiornika;
- zysk anteny;
- szerokość charakterystyki kierunkowości anteny w płaszczyźnie poziomej i pionowej;
- częstotliwość powtarzania impulsów sondujących;
- prędkość obrotowa anteny;
- rodzaj zasilania i moc pobierana przez stację;
- czas trwania impulsu sondującego;
- szerokość pasma przepuszczania odbiornika.

Wyszczególnione powyżej dane techniczne stacji radiolokacyjnych nie wyczerpują wszystkich parametrów technicznych stacji radiolokacyjnych i nie będą one omawiane w niniejszym skrypcie. Zainteresowanych odsyłamy do ogólnodostępnej literatury.

3.2.1. Długość fali

Od wyboru roboczej długości fali stacji radiolokacyjnej zależą wymiary układu antenowego przy wymaganych wartościach szerokości charakterystyki kierunkowości oraz zysku kierunkowego anteny.

Przy wyborze długości fali uwzględnia się możliwość osiągnięcia niezbędnej mocy nadajnika i zapewnienia wymaganej czułości odbiornika. Również uwzględnia się działanie tłumiące i rozpraszające cząsteczek wody /chmury, deszcz, śnieg/ oraz składników atmosfery /dwutlenku węgla i pary wodnej/.

Długość fali ma poza tym wpływ na zasięg stacji radiolokacyjnej. Zasięg stacji rośnie ze zmniejszeniem roboczej długości fali. Wynika to z równania radiolokacji, które można zapisać w postaci:

$$D_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_i \, S_A \, \delta_o}{4\Pi \, \lambda^2 \, P_{odb.min}}} \qquad /38/$$

gdzie: S_A - skuteczna powierzchnia anteny.

Stosując w stacjach radiolokacyjnych krótsze fale zakresu radiolokacyjnego można uzyskać większe dokładności określania współrzędnych i lepsze zdolności rozdzielcze.

3.2.2. Moc nadajnika

Promieniowana moc stacji radiolokacyjnej $P_{prom.}$ w praktyce zawsze zależy od mocy impulsowej nadajnika P_i.

Moce te są ze sobą związane następującą zależnością:

$$P_{prom} = \eta_{pa} \cdot P_i \qquad /39/$$

gdzie: P_i - moc impulsowa nadajnika;

η_{pa} - sprawność układu przesyłowo-antenowego.

Jako moc impulsową nadajnika rozumiemy średnią moc w czasie trwania impulsu, przekazywaną z nadajnika do linii przesyłowej.

Moc impulsowa nadajnika jest związana z jego średnią mocą w okresie powtarzania impulsów $P_{śr}$ następującą zależnością:

$$P_i = \frac{P_{śr}}{\tau_i f_p} \qquad /40/$$

gdzie: τ_i - czas trwania impulsu w s;

f_p - częstotliwość powtarzania impulsów w Hz.

Z zależności /40/:

$$P_{śr} = \tau_i \cdot f_p \cdot P_i \qquad /41/$$

Energia impulsu nadajnika:

$$W_i = P_i \cdot \tau_i \qquad /42/$$

Zasięg stacji radiolokacyjnej:

$$D \simeq \sqrt[4]{W_i} \qquad /43/$$

zatem zależy on przede wszystkim od energii impulsu nadajnika.

Przy założonym czasie trwania impulsu zwiększenie zasięgu stacji można uzyskać przez zwiększenie mocy impulsowej nadajnika oraz odwrotnie: przy określonej mocy impulsowej nadajnika zasięg stacji zwiększa się ze zwiększeniem czasu trwania impulsu. Zwłaszcza ostatni wariant jest realizowany w stacjach radiolokacyjnych z kompresją impulsu.

3.2.3. Czułość odbiornika

Czułość odbiornika charakteryzuje zdolność odbierania przez niego słabych sygnałów radiowych. Liczbowo jest określana między innymi czułością rzeczywistą. Rzeczywistą czułością odbiornika $P_{odb.min}$ jest minimalna moc sygnału doprowadzanego do wejścia odbiornika, przy której jest jeszcze zapewniony odbiór i wykrycie sygnałów odbitych z założonym prawdopodobieństwem.

Wykrywanie sygnałów następuje na tle szumów własnych aparatury odbiorczej, dlatego:

$$P_{odb.min} = \nu_r \cdot P_{sz.o} \qquad /44/$$

gdzie: $P_{sz.o}$ - moc szumów w paśmie przepuszczania odbiornika;

ν_r - współczynnik rozróżnialności.

We wzorze /38/ czułość odbiornika jest wyrażona w watach. Im większa jest czułość odbiornika /$P_{odb.min}$ jest mniejsza/, tym większy jest zasięg stacji radiolokacyjnej, ponieważ:

$$D \sim \frac{1}{\sqrt[4]{P_{odb.min}}} \qquad /45/$$

Czułość odbiornika jest często podawana w decybelach:

$$P_{odb.min}/dB/ = 10 \lg \frac{P_{odn.}}{P_{odb.min}} \qquad /46/$$

Jako poziom mocy odniesienia przyjmuje się $P_{odn.} = 10^{-5}$W albo $P_{odn.} = 10^{-3}$ W = 1 m W. Na przykład: $P_{odb.min.} = 10^{-14}$W odpowiada 90 dB w stosunku do $P_{odn.} = 10^{-5}$W, albo 110 dB w stosunku do $P_{odn.} = 1$ mW.

3.2.4. Zysk kierunkowy anteny

Zysk kierunkowy anteny charakteryzuje właściwości kierunkowego promieniowania układu antenowego.

Zysk kierunkowy /G/ jest równy praktycznie zyskowi energetycznemu, ponieważ współczynnik sprawności anteny stacji radiolokacyjnej jest bardzo duży /$\eta \approx 1$/. Dlatego często zamiast zysku kierunkowego anteny jest używany termin, zysk energetyczny anteny, nazywany krótko zyskiem. Jest on związany ze skteczną powierzchnią anteny A_{sk} następującą zależnością:

$$G = \frac{4\Pi \cdot S_{sk}}{\lambda^2} \qquad /47/$$

Uwzględniając tę zależność, można wzór /38/ zapisać w postaci:

$$D_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_1 \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_o}{P_{odb.min.} \cdot 64\Pi^3}} \qquad /48/$$

Zasięg stacji radiolokacyjnej przy założonej długości fali roboczej, to jest przy λ = const, w dużym stopniu zależy od zysku energetycznego anteny G, ponieważ $D \simeq \sqrt{G}$. W celu zwiększenia zasięgu stacji radiolokacyjnej obecnie często zwiększa się wymiary ich anten.

3.2.5. Częstotliwość powtarzania impulsów sondujących

Aby jednoznacznie ustalić obecność obiektu na założonych odległościach, maksymalna częstotliwość powtarzania f_p impulsów sondujących powinna spełniać następującą zależność:

$$f_{pmax} \leq \frac{C}{2 D_{max} \cdot k_z} \qquad /49/$$

gdzie: C - prędkość rozchodzenia się fal radiowych;

k_z - współczynnik zapasu, równy 1,15÷1,25.

Jednocześnie częstotliwość powtarzania impulsów sondujących powinna być taka, aby przy założonej prędkości przeszukiwania przestrzeni, liczba impulsów, opromieniowujących obiekt, była wystarczająca do wykrycia obiektu z założonym prawdopodobieństwem.

Jeżeli w składzie stacji radiolokacyjnej znajdują się urządzenia zapewniające wyeliminowanie niejednoznaczności określenia położenia obiektu, wówczas spełnienie zależności /49/ nie jest konieczne. W takim wypadku częstotliwość powtarzania impulsów sondujących może być trzy do pięciu razy większa.

Częstotliwość powtarzania impulsów określa liczbę impulsów w "paczce" przy zadanej szerokości charakterystyki kierunkowości anteny.

Zatem wpływa ona na zdolność rozdzielczą toru odbiorczo-wskaźnikowego, a tym samym - na widzialność sygnału na ekranach wskaźników.

3.2.6. Prędkość obrotowa anteny

Przy założonych wartościach $\Theta_{\beta 0,5}$ oraz szerokości sektora obserwacji $\Delta\beta$, prędkość obracania anteny n_A nie powinna być większa niż pewna określona liczba, ponieważ w przeciwnym wypadku obserwacja sygnałów odbitych może być utrudniona z powodu zbyt małej liczby impulsów n_i w "paczce".

Dla stacji obserwacji okrężnej, gdy $\Delta\beta = 360^o$

$$n_A \leq \frac{f_p \Theta_{\beta 0,5}}{6 n_{i\ min}} \qquad /50/$$

4. UKŁADY PRZECIWZAKŁÓCENIOWE STACJI RADIOLOKACYJNYCH ELIMINUJĄCE ZAKŁÓCENIA AKTYWNE

Do eliminacji zakłóceń aktywnych w stacjach radiolokacyjnych oprócz przedsięwzięć wymienionych w podrozdziale 3.1.13 stosuje się urządzenia i układy przeciwzakłóceniowe montowane w torach odbioru i obróbki sygnału stacji.

Dzięki temu można wykrywać obiekty nawet w obecności bardzo silnych zakłóceń aktywnych, co poważnie rozszerza zakres zastosowań urządzeń radiolokacyjnych.

We współczesnych stacjach radiolokacyjnych wykorzystuje się do eli-

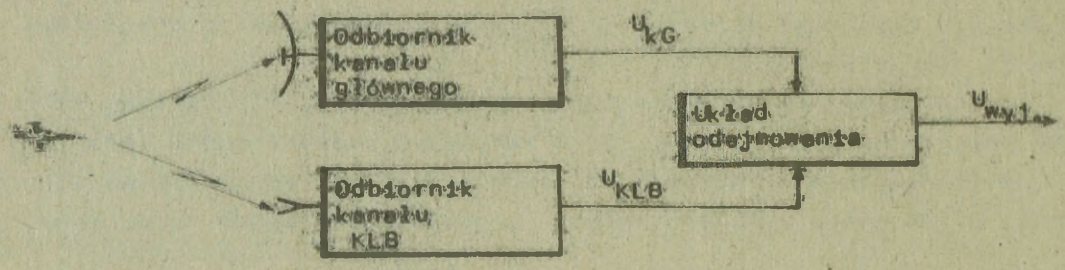
minacji zakłóceń aktywnych między innymi, układy: kompensacji listków bocznych /KLB/, autokompensatora zakłóceń szumowych, korelatora wizyjnego, integratora, szumowej automatycznej regulacji wzmocnienia /SzARW/ filtry zakłóceń niesynchronicznych itd.

Układ kompensacji listków bocznych - jest przeznaczony do zwalczania zakłóceń zarówno pasywnych, jak i aktywnych synchronicznych oraz aktywnych niesynchronicznych przyjmowanych listkami bocznymi anteny głównej, stacji radiolokacyjnej.

W skład aparatury KLB wchodzi:

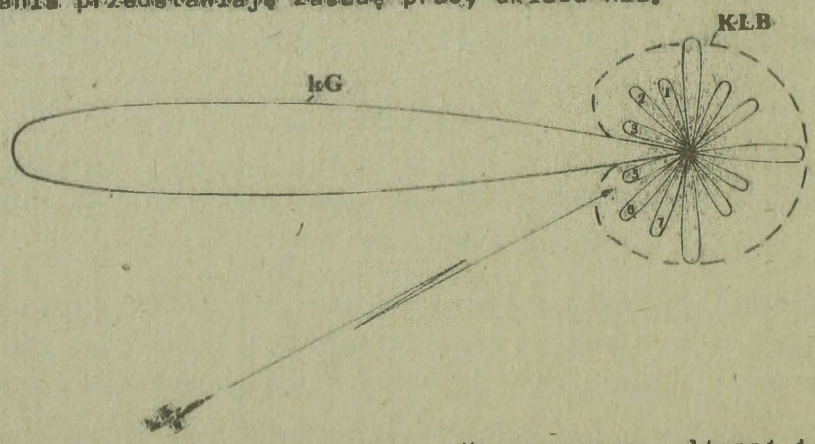
- tor odbiorczy kanału podstawowego;
- tor odbiorczy kanału pomocniczego KLB;
- układ odejmowania.

Na rys. 20 przedstawiono schemat blokowy układu kompensacji listków bocznych.

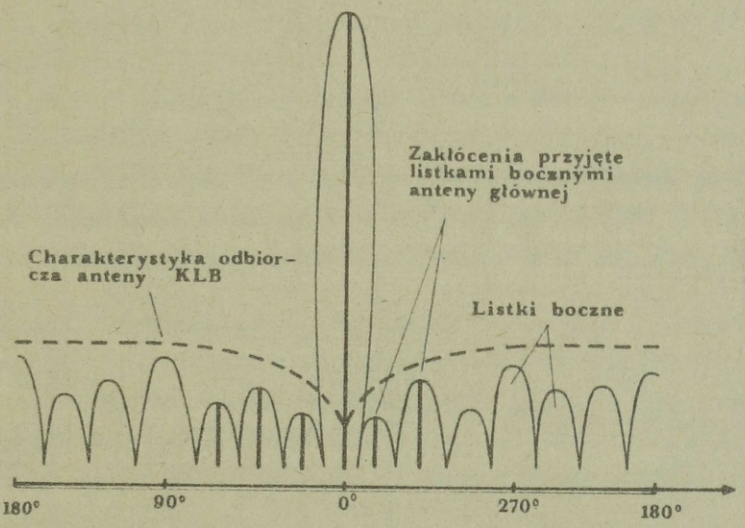


Rys. 20. Schemat blokowy układu kompensacji listków bocznych

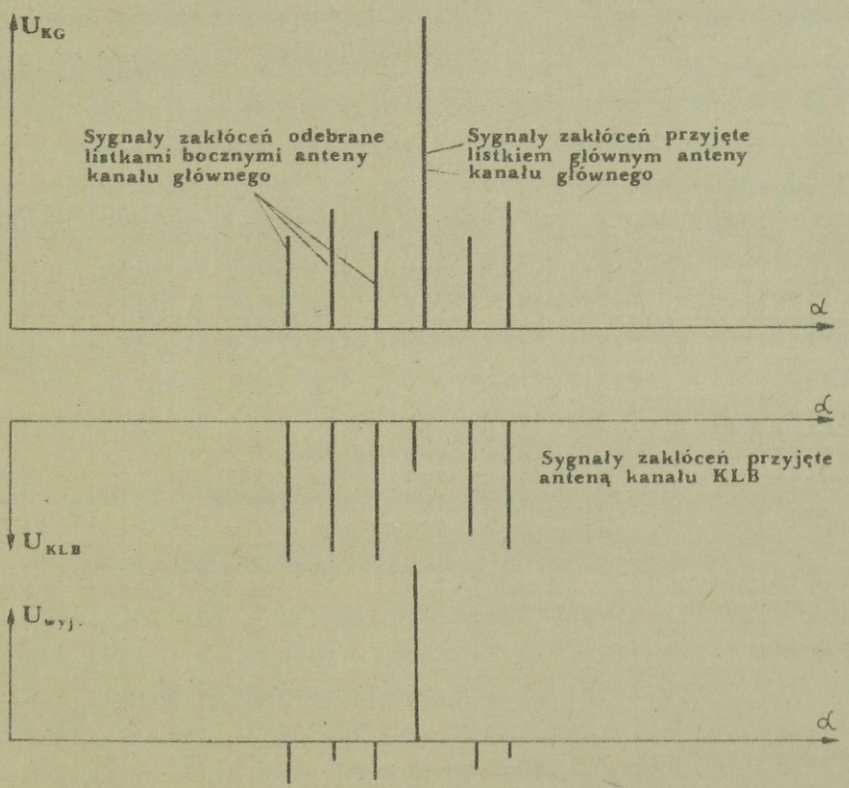
Przedstawione na rys. 21-23 charakterystyki odbiorcze kanału głównego i kanału KLB oraz przebiegu sygnałów na wejściu i wyjściu układu odejmowania przedstawiają zasadę pracy układu KLB.



Rys. 21. Charakterystyka pozioma odbioru anteny głównej i anteny KLB



Rys.22. Rozwinięta charakterystyka pozioma anteny głównej i anteny KLB

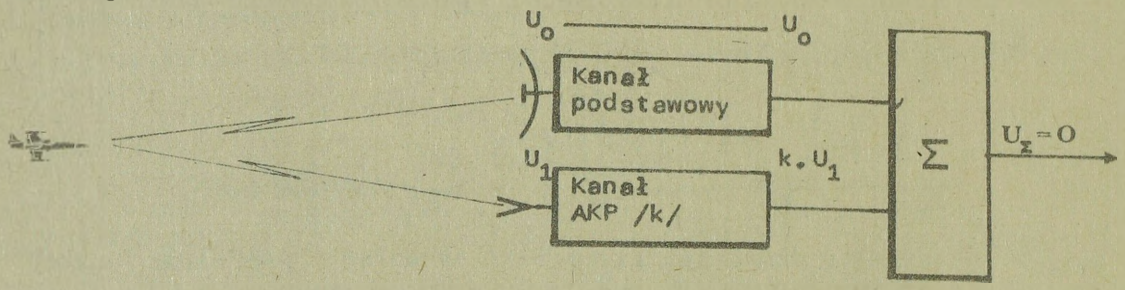


Rys.23. Przebiegi napięć sygnału zakłóceń odebranych anteną główną i anteną KLB na wejściu i wyjściu układu odejmowania

Układ autokompensatora - jest wykorzystywany do tłumienia szumowych zakłóceń przyjmowanych listkami bocznymi anteny głównej stacji radiolokacyjnej.

Autokompensator ma dwa kanały: kanał podstawowy i kanał pomocniczy zwany AKP.

Zasada pracy autokompensatora polega na sumowaniu sygnałów zakłóceń szumowych, które mają przeciwną fazę i tę samą amplitudę na wejściu sumatora. Na rys. 24 przedstawiono uproszczoną zasadę pracy autokompensatora.



Rys.24. Uproszczona zasada pracy autokompensatora

Sumowanie sygnałów o tej samej amplitudzie i przeciwnej fazie, odebranych dwoma kanałami odbiorczymi, jest możliwe dzięki istnieniu pętli sprzężenia zwrotnego. Ponieważ zakłócenia szumowe odbierane przez anteny zmieniają się w sposób przypadkowy, parametry sprzężenia w pętli sprzężenia zwrotnego muszą się również zmieniać, przy czym zmiana parametrów sprzężenia zwrotnego musi być ściśle skorelowana ze zmianą zakłóceń i uwzględniać możliwość odbioru zakłóceń z kilku źródeł.

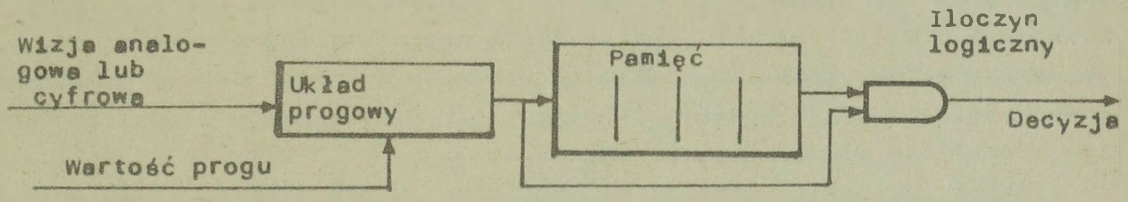
Aby w kompensatorze pętla sprzężenia zwrotnego spełniała funkcję korelacji kompensator musi realizować następujące zadania:

- wymnożenie sygnałów odebranych przez kanały, co pozwala na zmianę wartości współczynnika sprzężenia zwrotnego K;
- integrację przyjmowanych sygnałów, co pozwala eliminować zakłócenia pochodzące od kilku źródeł.

Układ korelatora

W niektórych urządzeniach radiolokacyjnych, w celu wyeliminowania niesynchronicznych zakłóceń impulsowych, stosuje się układ wykorzystujący sygnały wizyjne, zwany korelatorem wizyjnym /rys. 25/.

Sygnał wejściowy wizji analogowej lub cyfrowej jest doprowadzony do analogowego lub cyfrowego układu progowego. W układzie tym i w każdej bramce odległości następuje porównanie sygnału wejściowego z wartością progu. W przypadku przekroczenia progu przez sygnał wejściowy, układ progowy wpisuje "1" do komórki pamięci odpowiadającej analizowanej bram-

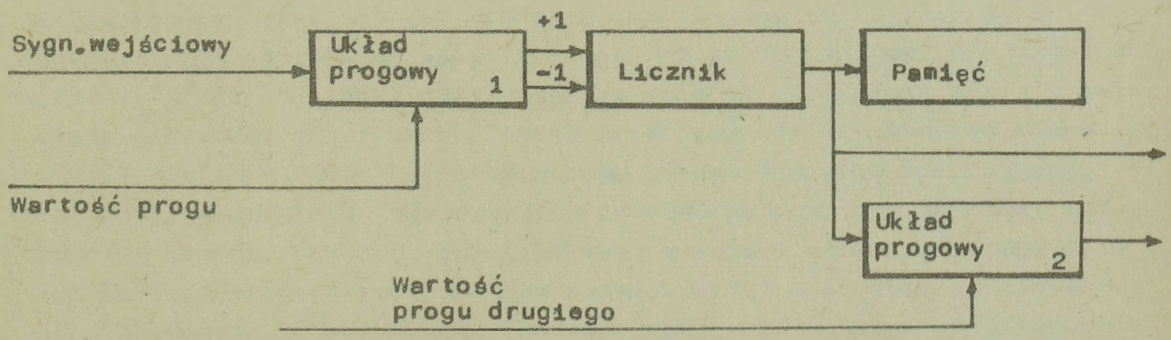


Rys.25. Schemat blokowy korelatora wizyjnego

co odległości. W przeciwnym przypadku do komórki pamięci jest wpisywana wartość "0". Sygnały niesynchroniczne nie spełniają warunku koincydencji i na wyjściu bramki realizującej iloczyn logiczny pojawi się zero, co może być wykorzystane w dalszych układach stacji, np. do zmniejszenia jaskrawości obrazu /w danej bramce odległości/ na wskaźniku.

Układ integratora - poprawia zobrazowanie na wskaźniku radiolokacyjnym dzięki tłumieniu zakłóceń nieskorelowanych w czasie oraz poprawia współczynnik integracji sygnału w stosunku do współczynnika uzyskiwanego na ekranie z długą poświatą.

Integrator pracuje według zasady przedstawionej na rys. 26.



Rys. 26. Schemat blokowy integratora

Sygnał wejściowy jest doprowadzany do układu progu pierwszego. W układzie tym jest wypracowany sygnał "+1" lub "-1" w zależności od tego, czy sygnał wejściowy przekroczył wartość progu pierwszego, czy też nie. Sygnał "+1" zwiększa stan licznika o jeden, "-1" zmniejsza ten stan o jeden. Zawartość licznika dla każdej bramki odległości zależy od liczby przekroczeń pierwszego progu przez sygnał wejściowy w poprzednich okresach sondowania. Przy ustawieniu pierwszego progu na wartość równą wartości przeciętnej szumu stan licznika dla każdej bramki będzie bliski

zera. Przy okresowym pojawieniu się sygnału przekraczającego poziom szumów stan licznika będzie narastał i jego maksymalna wartość, przy ustalonej długości paczki, będzie miarą amplitudy sygnału wejściowego. Jeżeli zawartość licznika będzie porównywana w każdej bramce odległości z wartością drugiego progu, otrzymamy na wyjściu układu progowego decyzję o wykryciu sygnału użytecznego.

Integrator, oprócz wzmacniania sygnałów powtarzających się w tej samej bramce odległości, tłumi przypadkowe sygnały zakłócające, pojawiające się niesynchronicznie w stosunku do częstotliwości powtarzania stacji, tj. zakłócenia impulsowe wywołane przez sąsiednie stacje radiolokacyjne.

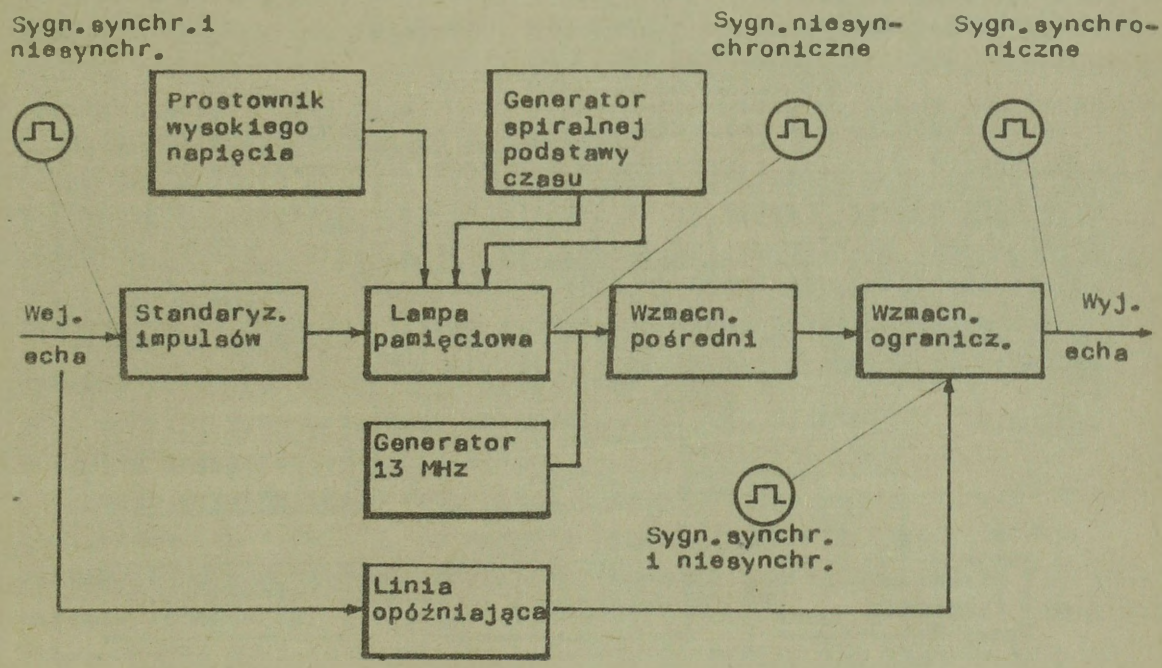
Układ szumowej automatycznej regulacji wzmocnienia

W przypadku wystąpienia zakłóceń szumowych ekran wskaźnika radiolokacyjnego ulega nadmiernemu rozjaśnieniu tak, że nawet wykrywanie sygnałów przewyższających szum staje się niemożliwe. Aby temu zapobiec, można w tych momentach zredukować odpowiednio wzmocnienie odbiornika. Funkcję tę można zrealizować za pomocą układu SzARW regulującego automatycznie wzmocnienie odbiornika w zależności od średniego poziomu szumów.

Filtr zakłóceń niesynchronicznych - służy do eliminowania z ekranu wskaźnika impulsowych zakłóceń niesynchronicznych. Podstawowym elementem filtru jest lampa pamięciowa. W lampie tej do płytki sygnałowej są doprowadzane impulsy odbite od celu i impulsy zakłócenia mające jednakową i stałą amplitudę. Impulsy synchroniczne /powtarzające się w kilku okresach sondowania/ nie zmieniają swego położenia na podstawie czasu.

Począwszy od drugiego okresu są one kompensowane. W ten sposób z serii impulsów odbitych od celu na wyjście lampy pamięciowej przechodzi tylko pierwszy impuls. Impulsy zakłócenia niesynchronicznego, których położenie na podstawie czasu zmienia się w każdym okresie sondowania przechodzą do wyjścia lampy pamięciowej. Impulsy te po wzmocnieniu i wyrównaniu amplitud służą do bramkowania toru wizji.

Schemat blokowy filtru zakłóceń niesynchronicznych jest przedstawiony na rysunku 27.



Rys.27. Schemat blokowy filtru zakłóceń niesynchronicznych

5. UKŁADY PRZECIWZAKŁÓCENIOWE STACJI RADIOLOKACYJNYCH ELIMINUJĄCE ZAKŁÓCENIA PASYWNE

Zakłócenia pasywne zobrazowane na wskaźnikach stacji radiolokacyjnych są echami stałymi. Echami stałymi nazywamy sygnały odbite od obiektów stałych lub powoli poruszających się, których wykrywanie w wielu wypadkach jest zbędne i szkodliwe. Echa te tworzą zakłócenia maskujące sygnały odbite od wykrywanych obiektów ruchomych, np. samolotów.

Źródłem ech stałych mogą być stacjonarne obiekty położone w pobliżu radiolokatora, powierzchnia ziemi lub morza oraz hydrometeory i chmury dipoli jako środki zakłóceń celowych.

Opracowano wiele metod tłumienia ech stałych /TES/ dostosowanych do różnego rodzaju zakłóceń i różnych typów stacji radiolokacyjnych. Wspólną cechą stosowanych metod w układach przeciwzakłóceniowych jest wykorzystanie pewnych różnic między parametrami sygnałów użytecznych i zakłócających.

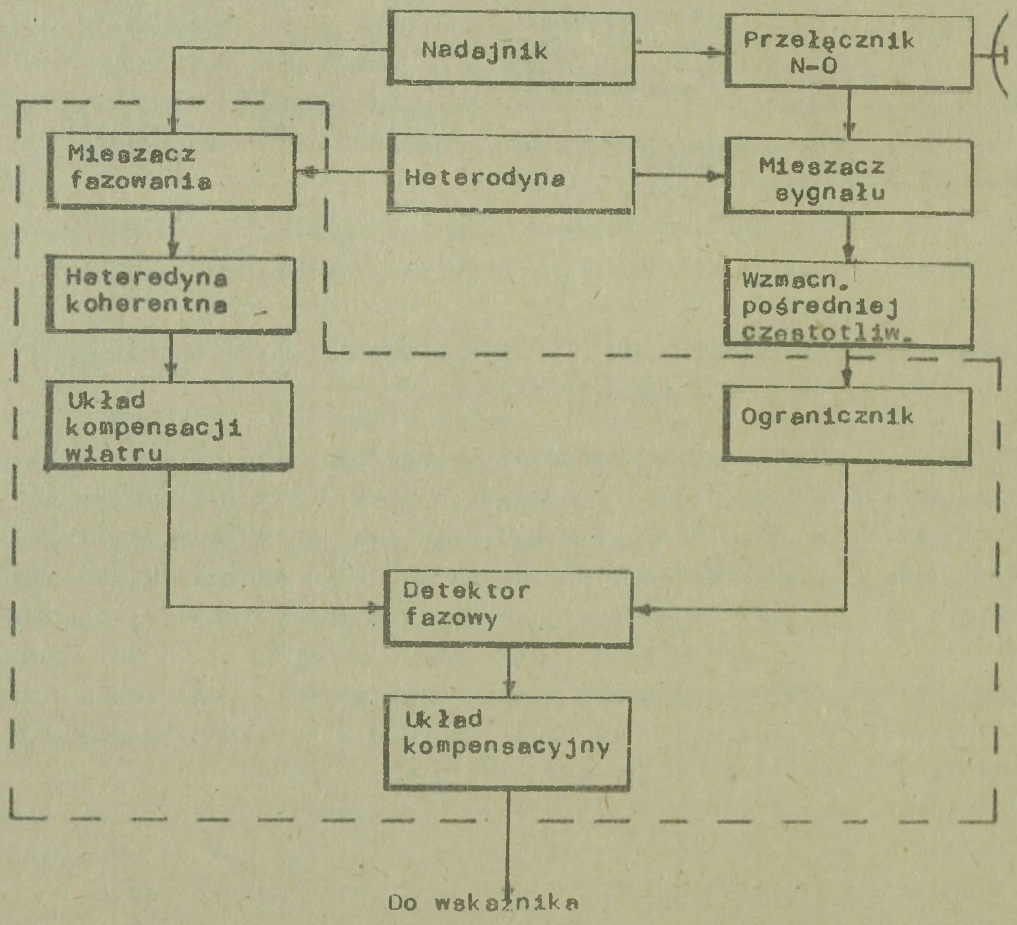
Najczęściej stosowanymi układami przeciwzakłóceniowymi do eliminacji

zakłóceń pasywnych, na stacjach radiolokacyjnych są między innymi układy: koherentne, cyfrowe TES, kompensacyjne, natychmiastowej automatycznej regulacji wzmocnienia /NARW/, zasięgowej automatycznej regulacji wzmocnienia /ZARW/.

Układy impulsowo-koherentne

W układach tych w charakterze drgań wzorcowych, z którymi są porównywane odbite sygnały, wykorzystuje się drgania generatora zwanego heterodyną koherentną. Drgania te są synchronizowane w fazie z drganiami nadajnika tak, by różnica faz między nimi była stała w każdym okresie wysłania impulsów. Tego typu drgania nazywają się koherentnymi.

Praca układu impulsowo-koherentnego będzie omówiona na przykładzie schematu blokowego przedstawionego na rys. 28.



Rys.28. Uproszczony schemat blokowy układu tłumienia ech stałych /selekcji celów ruchomych/

Impulsy energii wielkiej częstotliwości z nadajnika są wypromieniowywane przez antenę w przestrzeń.

Drgania nadajnika, przekształcone za pomocą napięcia miejscowej heterodyny w impulsy częstotliwości pośredniej /impulsy fazujące/, są doprowadzane do heterodyny koherentnej w celu jej fazowania. Przy fazowaniu, częstotliwość i faza drgań heterodyny koherentnej są równe częstotliwości i fazie drgań impulsu fazującego.

Po zakończeniu procesu fazowania drgań heterodyny koherentnej jest ściśle związana z fazą drgań nadajnika, lecz nie muszą być one sobie równe. W ten sposób zapewnia się koherentność drgań nadajnika i heterodyny koherentnej.

Sfazowane napięcie heterodyny koherentnej jest doprowadzone do detektora fazowego. Do detektora fazowego jest również doprowadzony sygnał odbity, przekształcony za pomocą napięcia heterodyny miejscowej w sygnał częstotliwości pośredniej.

Jeżeli częstotliwość nadajnika, heterodyny miejscowej i heterodyny koherentnej są stabilne, to wizyjne sygnały odbite od obiektów nieruchomych mają na wyjściu detektora fazowego stałą amplitudę w każdym okresie sondowania. W wypadku obecności w obserwowanym rejonie obiektu ruchomego na wyjściu detektora fazowego pojawiają się sygnały wizyjne, których amplituda zmienia się w kolejnych okresach sondowania.

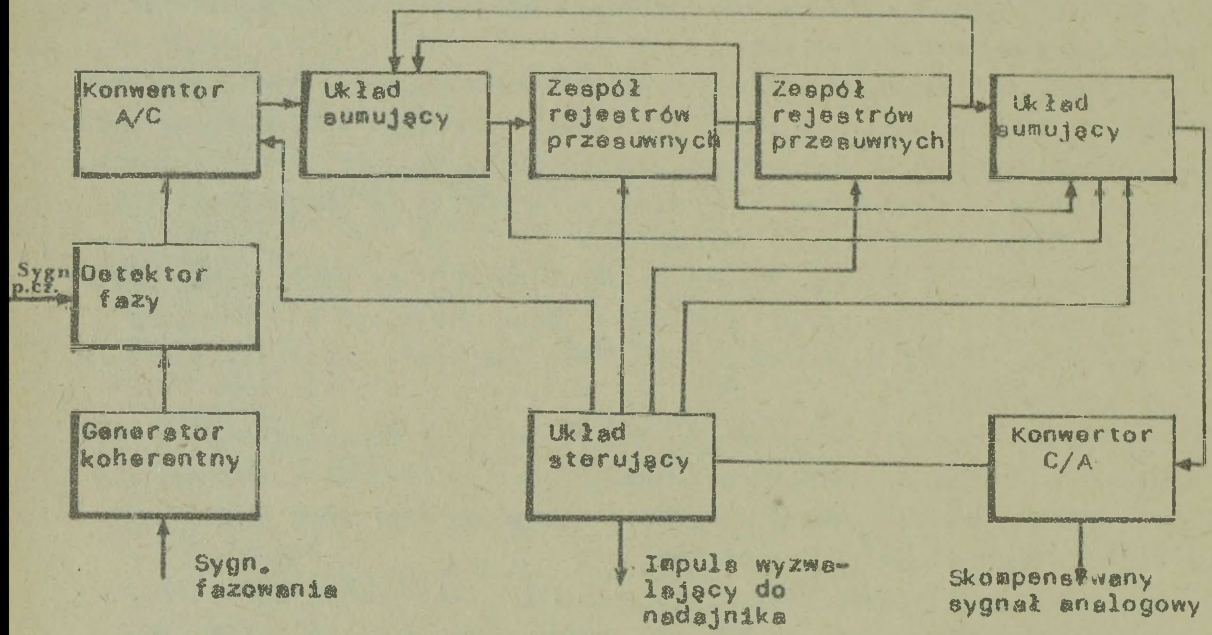
Układ cyfrowy TES

Sygnał echa, wychodzący z detektora fazy, ma postać analogową. W celu przetworzenia go na postać cyfrową stosuje się konwentor analogowo-cyfrowy, w którym zachodzi próbkowanie z okresem nie dłuższym niż czas trwania impulsu sondującego. Na wyjściu konwertora otrzymujemy kod "zero-jedynkowy", przy czym pierwszy bit tego kodu jest "bitem znaku". Opóźnienie sygnału o czas równy okresowi powtarzania stacji radiolokacyjnej jest realizowane poprzez zapamiętywanie na okres powtarzania wartości cyfrowych napływających z sumatora 1. Wartości te są "wyprowadzane" z pamięci do dalszych operacji.

Na rysunku 29 jest przedstawiona cyfrowa realizacja układu ech stałych z podwójnym odejmowaniem. Na tym rysunku zaznaczono również fragmenty układów analogowych oraz układu sterującego, współpracującego z układem cyfrowym TES.

Kolejność wykonywania operacji jest prowadzona w takt impulsów synchronizujących w następującej kolejności:

- pobranie przez konwentor A/C próbki napięcia;
- pomnożenie przez współczynniki wartości znajdujących się na wyjściach rejestrów przesuwnych;



Rys.29. Schemat blokowy układu cyfrowego TES

- dodanie uzyskanych wyników w sumatorze pierwszym i drugim;
- wprowadzenie wyników sumowania do zespołu rejestrów i konwertora C/A z jednoczesnym przesunięciem informacji w obu zespołach rejestrów.

Układy kompensacyjne TES

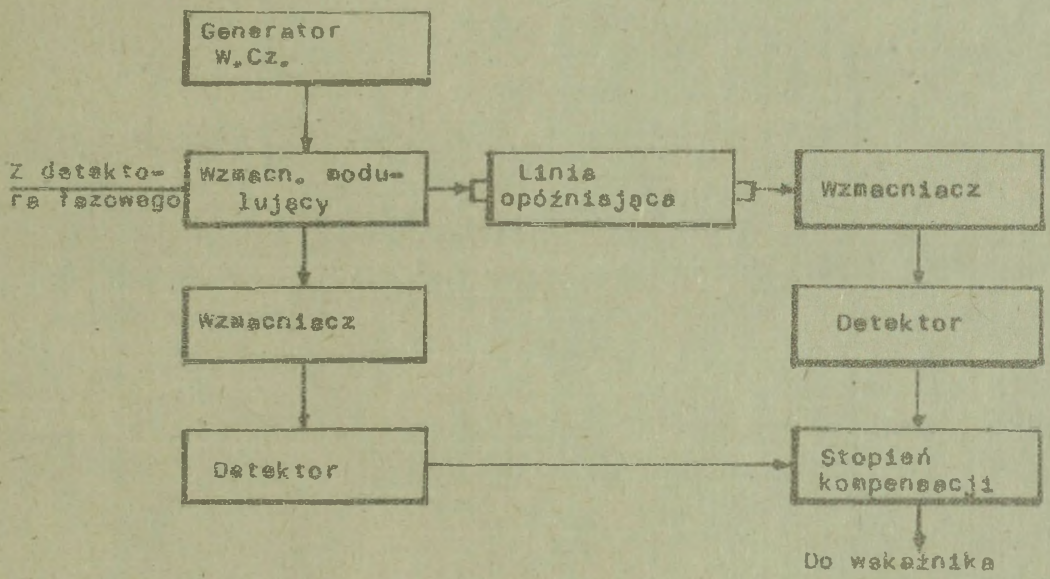
Sygnały z detektora fazowego są przekazywane do układu kompensacji. W układzie kompensacji odbywa się w każdym okresie sondowania odejmowanie sygnałów wizyjnych przychodzących z wyjścia detektora fazowego, przy czym sygnały o stałej amplitudzie są tłumione, a wydzielane są sygnały, których amplituda zmienia się w kolejnych okresach sondowania.

Układ kompensacji może być zbudowany na linii opóźniającej lub lampie pamięciowej.

Układ kompensacji zbudowany na linii opóźniającej przedstawiono na rys. 30.

W celu realizacji odejmowania, w kolejnych okresach sondowania sygnały przychodzą do układu kompensacji dwoma kanałami: przez kanał bezpośredni i przez kanał opóźniający o okres powtarzania T_i. Obydwa te sygnały są doprowadzone do układu odejmowania, w którym jest wydzielana różnica sygnałów.

Sygnał wyjściowy dla obiektów nieruchomych jest równy zeru, a dla obiektów ruchomych przybiera wartość różną od zera.



Rys.30. Schemat blokowy układu kompensacji zbudowanego na linii opóźniającej

W celu zapewnienia dobrej kompensacji sygnałów odbitych od obiektów nieruchomych należy zapewnić dokładną równość między czasem opóźnienia T_{op} a okresem powtarzania T_i. Komplikuje to poważnie układ kompensacji.

Bardziej doskonałe są układy budowane z lampami pamięciowymi, które spełniają jednocześnie rolę pamięci i kompensacji. W urządzeniach, w których zastosowano lampy pamięciowe, równość $T_{op} = T_i$ jest spełniona przez cały czas pracy automatycznie i dlatego nie jest konieczne utrzymywanie stałej wartości okresu powtarzania T_i.

Układ natychmiastowej automatycznej regulacji wzmocnienia

Zasada działania takiego układu polega na zmniejszeniu wzmocnienia wzmacniacza pośredniej częstotliwości urządzenia odbiorczego.

Jeżeli na wejściu jednego ze stopni wzmacniacza pośredniej częstotliwości oddziałuje zakłócenie o amplitudzie przekraczającej pewną dopuszczalną wartość, to na wyjściu detektora NARW pojawi się napięcie, które po wzmocnieniu jest doprowadzone do siatki sterującej tego lub innego stopnia wzmocnienia. W rezultacie zwiększa się przedpięcie w czasie oddziaływania zakłóceń, punkt pracy stopnia przesuwania się w kierunku mniejszego wzmocnienia. Dzięki temu napięcie zakłóceń na wyjściu tego stopnia wzmacniacza pośredniej częstotliwości gwałtownie zmniejsza się i sygnał może być obserwowany na ich tle.

Jeżeli, w celu usunięcia przesterowania, zmniejszenie wzmocnienia jednego stopnia okaże się za małe, to stosuje się NARW w dwóch lub więcej szeregowo połączonych stopniach wzmacniacza pośredniej częstotliwości. Układy NARW zwiększają odporność stacji radiolokacyjnej nie tylko na silne zakłócenia ciągłe niemodulowane, lecz także na zakłócenia w postaci impulsów o dużym czasie trwania.

Układ zasięgowej automatycznej regulacji wzmocnienia

Zasada działania układu ZARW polega na okresowym zmniejszaniu wzmocnienia odbiornika w momencie sondowania impulsu, a następnie zwiększania go w miarę upływu czasu w sposób wykładniczy, aż do osiągnięcia wartości znamionowej.

Układ ZARW zapobiega przesterowaniu odbiornika silnymi sygnałami odbitymi od fal morskich lub od pobliskich obiektów stałych na lądzie, tym samym umożliwiając wykrywanie celów blisko położonych, jak również usytuowanych daleko, których wykrycie wymaga większego wzmocnienia.

ZAKOŃCZENIE

Niniejszy materiał nie wyczerpuje całokształtu zagadnień związanych z podstawami radiolokacji, zawiera bowiem tylko celowo dobrany zasób wiadomości podstawowych, niezbędnych dla słuchaczy ASG WP do zrozumienia wykładów dotyczących charakterystyki urządzeń radiolokacyjnych będących w uzbrojeniu wojsk OPK i wojsk lotniczych. Zainteresowanych bardziej dogłębnym poznaniem techniki radiolokacji odsyła się do studiowania literatury z tej dziedziny wiedzy.

Ciągle postępujący rozwój radiolokacji wymaga takiego pogłębiania wiadomości nie tylko przez specjalistów radiolokacji.

Dla podejmowania optymalnych decyzji, wiedza z tej dziedziny szczególnie jest przydatna dowódcom i oficerom sztabu.

LITERATURA:

1. Informator sprzętu radiolokacji i automatyzacji. Sygn.OPK 945/84.
1. Podręcznik. Technika radiolokacji. Sygn. OPK/72.
3. Podręcznik. Radioelektronika. Cz.3. Wyd.Kom.i Łącz. - 1973.
4. Podręcznik. Radar-elektroniczny zwiadowca. Wyd. MON - 1978.
5. Informator takt.-techn. radioelektronika. Sygn. ASG WP 3559/80.
6. Skrypt. Naziemne stacje radiolokacyjne będące w uzbrojeniu wojsk OPK. Sygn. ASG WP wewn. 3476/79.
7. Podręcznik. Tłumienie ech stałych w radiolokacji. Wyd. [illegible]

ASG WP nr 1340/WW.

BIBLIOTEKA NAUKOWA ASG WP
Nr ewid. 1207 (II)
Dział Zbiorów Ogólnych
BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 60370 II
Akademii Obrony Narodowej