

**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
im. generała broni Karola Świerczewskiego

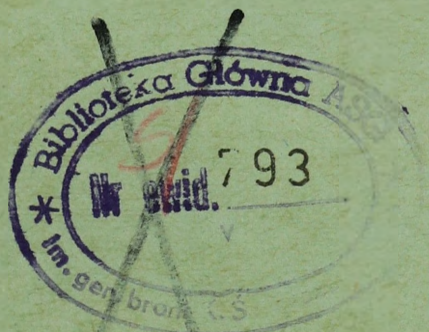
ODDZIAŁ 2 K-34

36

mjr mgr Jerzy SIWICKI

**METODY REALIZACJI I WYKORZYSTANIA**  
**PASYWNEJ RADIOLOKACJI**

Skrypt



4244

WARSZAWA

WRZESIEŃ

1974



**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
**im. generała broni Karola Świerczewskiego**

---

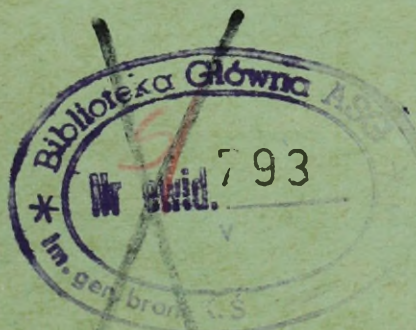
ODDZIAŁ 2 K-34

36

mjr mgr Jerzy SIWICKI

**METODY REALIZACJI I WYKORZYSTANIA**  
**PASYWNEJ RADIOLOKACJI**

Skrypt



---

WARSZAWA

WRZESIEŃ

1974

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

---

ODDZIAŁ 2 K-34

36

mjr mgr Jerzy SIWICKI

METODY REALIZACJI I WYKORZYSTANIA PASYWNEJ  
RADIOLOKACJI

Skrypt



---

WARSZAWA

wrzesień

1974 r.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

CHICAGO, ILL.

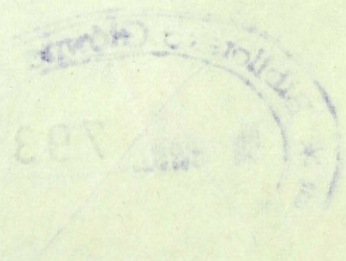
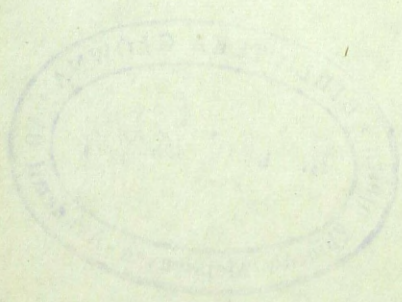
80

RECEIVED

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

CHICAGO, ILL.

1933



## SPIS TREŚCI

	<u>Str.</u>
Wstęp .....	5
1. Podstawowe określenia i pojęcia .....	6
2. Fizyczne podstawy pasywnej radiolokacji .....	7
3. Metody pasywnej radiolokacji .....	11
3.1. Triangulacyjna metoda pomiaru współrzędnych .....	11
3.2. Różnicowo - odległościowa metoda określania współrzędnych .....	14
3.3. Kątowo-różnicowo-odległościowa metoda pomiaru współrzędnych .....	15
4. Zasada działania pasywnej stacji radiolokacyjnej ...	16
5. Praktyczne zastosowanie pasywnych stacji radiolokacyjnych .....	18
5.1. Obserwacja powierzchni ziemi za pomocą środków pasywnej radiolokacji.....	18
5.2. Pasywne stacje radiolokacyjne ostrzegania samolotów o opromieniowaniu .....	25
6. Bibliografia .....	28

Содержание

1.	Введение	1
2.	1.1. Задачи и цели исследования	2
3.	1.2. Методология исследования	3
4.	1.3. Описание объекта исследования	4
5.	2. Анализ существующих исследований	5
6.	2.1. Анализ работ в области теории	6
7.	2.2. Анализ работ в области практики	7
8.	3. Разработка теоретических положений	8
9.	3.1. Формирование гипотезы	9
10.	3.2. Проверка гипотезы	10
11.	4. Экспериментальные исследования	11
12.	4.1. Организация эксперимента	12
13.	4.2. Результаты эксперимента	13
14.	5. Заключение	14
15.	5.1. Основные выводы	15
16.	5.2. Рекомендации	16

## W S T U P

Mimo niewątpliwych osiągnięć w dziedzinie techniki aktywnej radiolokacji całkowite i efektywne uodpornienie stacji radiolokacyjnych na zakłócenie radioelektroniczne, celowo stosowane przez przeciwnika, nie jest raczej możliwe, a zwiększenie stopnia odporności RLS na zakłócenia jest przedsięwzięciem bardzo skomplikowanym i kosztownym.

Stacje radiolokacyjne pracujące metodą aktywną same demaskują fakt swojej pracy, ponieważ emisja energii elektromagnetycznej odbierana jest przez urządzenia rozpoznawcze przeciwnika i poddawana automatycznej analizie i opracowaniu. Z danych analizy rozpoznania emisji radiowych, określa się pozycję pracującego sprzętu, parametry fali, charakterystyki impulsowe oraz dane możliwości i przeznaczenia sprzętu. Znajomość danych sprzętu umożliwia przeciwnikowi stworzenie efektywnego przeciwdziałania i całkowitego zakłócenia RLS.

Jedną z metod uodpornienia systemów radiolokacyjnych na zakłócenia radioelektroniczne jest budowa i wykorzystanie pasywnych stacji radiolokacyjnych. Stacje tego typu znajdują coraz szersze zastosowanie w siłach zbrojnych różnych rodzajów wojsk.

Pasywne stacje radiolokacyjne posiadają szereg zalet w porównaniu do klasycznych RLS, między innymi to, że wykrywają i określają dane obiektów radiolokacyjnych w sposób bierny, t.j. bez wypromieniowywania energii elektromagnetycznej w przestrzeń, są bardzo mobilne i lekkie oraz mogą być montowane na różnorodnych środkach bojowych. Są także bardziej niezawodne w pracy i ekonomiczniejsze w eksploatacji.

Dlatego też w opracowaniu niniejszym w sposób przystępny przedstawione zostały fizyczne podstawy pracy pasywnych stacji radiolokacyjnych z krótkim naświetleniem metod radionamierzenia oraz przytoczono przykłady praktycznego wykorzystania tych stacji w wojskach lotniczych.

Skrypt przeznaczony jest dla szerokiego kręgu oficerów różnych specjalności i może służyć jako pomoc naukowa do studiowania wojskowej techniki radiolokacyjnej.

## 1. Podstawowe określenia i pojęcia

Terminem pasywnej /biernej/ radiolokacji będziemy określali dziedzinę techniki radiolokacyjnej zajmującą się wykrywaniem i określaniem danych obiektów radiolokacyjnych /współ - rzędnych, prędkości, składu i rodzaju obiektu itp./ przy wykorzystaniu promieniowania radiowego /elektromagnetycznego/, wysyłanego przez same obiekty wykrywane.

Inaczej mówiąc radiolokacją pasywną nazywamy dziedzinę wiedzy zarówno teoretyczną, jak i praktyczną, traktującą o możliwościach wykrywania i określania danych radiolokacyjnych, bez promieniowania własnej energii elektromagnetycznej. Wykorzystywana jest jedynie energia elektromagnetyczna wysyłana przez same wykrywane obiekty.

Urządzenia techniczne /sprzęt/ realizujące zadania wykrywania i określania współrzędnych obiektów /celów/ radiolokacyjnych w sposób bierny, nazywać będziemy pasywnymi stacjami radiolokacyjnymi, w skrócie - PRLS.

Zagadnieniom rozwoju i wykorzystania pasywnej radiolokacji poświęca się coraz więcej uwagi w wielu krajach. Zainteresowanie to nurtuje w szczególności specjalistów wojskowych, co spowodowane jest szerokim zastosowaniem przeciwdziałania radioelektronicznego, a w szczególności przeciwdziałania środkom aktywnej radiolokacji. Zakłócanie pracy poszczególnych RLS, aktywnej radiolokacji, a także systemów radiolokacyjnych, nie przedstawia już skomplikowanego problemu, ponieważ środki te promieniują własną energię elektromagnetyczną i same demaskują fakt swojej pracy, co umożliwia ich lokalizację i zakłócenie.

Faktu pracy pasywnych systemów radiolokacyjnych nie można stwierdzić, ponieważ brak jest czynnika demaskującego /z wyjątkiem rozpoznania wzrokowego/, a tym samym odpada konieczność maskowania radiolokacyjnego. Zasięg wykrywania pasywnych środków radiolokacyjnych znacznie przewyższa zasięgi wykrywania aktywnych stacji radiolokacyjnych. Ma to szczególnie duże znaczenie przy wykrywaniu współczesnych środków napadu powietrznego. Nie bez znaczenia jest również fakt, że pasywne stacje radiolokacyjne są znacznie prostsze w budowie, tańsze i ekonomiczniejsze w eksploatacji, są także bardziej niezawodne w działaniu.

## 2. Fizyczne podstawy pasywnej radiolokacji

Za podstawę realizacji pasywnej radiolokacji przyjęto fakt promieniowania elektromagnetycznego każdego ciała fizycznego, a w szczególności ciał znajdujących się w ruchu, w stosunku do otaczającej ich przestrzeni.

Do podstawowych czynników promieniowania elektromagnetycznego ciał fizycznych, do których zaliczamy wszystkie obiekty radiolokacyjne, należą:

- temperatura bezwzględna ciał, to znaczy promieniowanie cieplne określonego widma częstotliwości;
- zaburzenia aerodynamiczne ciał będących w ruchu, wymuszające własne promieniowanie elektromagnetyczne o szerokim zakresie częstotliwości;
- promieniowanie różnorodnych nadajników, celowo montowanych i pracujących na obiektach.

Wszystkie ciała fizyczne, temperatura których różni się od temperatury zera bezwzględnego, promieniają energię elektromagnetyczną w otaczającą przestrzeń. Moc promieniowania zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury i zależna jest również od fizycznych właściwości i budowy ciał. Ciepłe promieniowanie elektromagnetyczne posiada bardzo szeroki zakres częstotliwości, sięgający od podczerwonego do centymetrowego zakresu fal radiowych. Moc promieniowania jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali radiowej.

Idealnym promieniowaniem charakteryzują się wyidealizowane ciała czarne, a zdolność promieniowania rzeczywistych ciał fizycznych porównuje się z promieniowaniem ciała idealnie czarnego. Zdolność promieniowania obiektów fizycznych, przy temperaturze  $T^0$  nazywamy stosunek mocy promieniowanej  $P$  przez dane ciało, w danym paśmie częstotliwości, do mocy promieniowania ciała idealnie czarnego  $P_0$ , przy tej samej temperaturze i w tym samym paśmie częstotliwości:

$$\xi = \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad \begin{array}{l} T^0 = \text{const.} \\ f = \text{const.} \end{array} \quad \dots \dots \dots /1/$$

Spektralna gęstość mocy promieniowania jednostki powierzchni ciała idealnie czarnego, w jednostkowym kącie sferycznym, określa się zależnością Ryleya /Rayleigh'a/:

$$p = \frac{2}{\lambda^2} kT^0 \left[ \frac{\text{wat.} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \right] \dots\dots\dots /2/$$

gdzie:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \left[ \frac{\text{wat.} \cdot \text{s}}{\text{stop.}} \right]$  stała Boltzmana

$T^0$  - temperatura bezwzględna w stopniach Kelwina  $^{\circ}\text{K}$  ;

$\lambda$  - długość fali w centymetrach.

Wszystkie ciała fizyczne charakteryzują się również współczynnikiem odbicia  $\chi$  , który określany jest następująco:

$$\chi = 1 - \xi \dots\dots\dots /3/$$

Określenie to wypływa z prawa zachowania energii.

Moc promieniowania obiektów można porównywać do mocy promieniowania ciała idealnie czarnego, posiadających mniejszą temperaturę  $T_{e\text{ ob}}$  , w porównaniu do temperatury rzeczywistej  $T^0$  i wynoszącej:

$$T_{e\text{ ob}}^0 = \xi \cdot T^0 \dots\dots\dots /4/$$

Temperatura  $T_{e\text{ ob}}^0$  , określona w ten sposób /4/, nazywa się ekwiwalentną temperaturą obiektu /ciała/.

Odbiornik pasywnej stacji radiolokacyjnej odbiera energię elektromagnetyczną, wypromieniowaną przez obiekt, łącznie z energią zewnętrznego środowiska, odbitą od obiektu w kierunku anteny PRLS. Sumaryczną energię także można porównywać do energii promieniowania ciała idealnie czarnego, posiadającego pozorną temperaturę  $T_{\text{poz}}^0$  , równą:

$$T_{\text{poz}}^0 = T_{e\text{ ob}}^0 + T_{e\text{ śr}}^0 \dots\dots\dots /5/$$

gdzie:  $T_{e\text{ ob}}^0$  i  $T_{e\text{ śr}}^0$  - temperatury określone z zależności /4/.

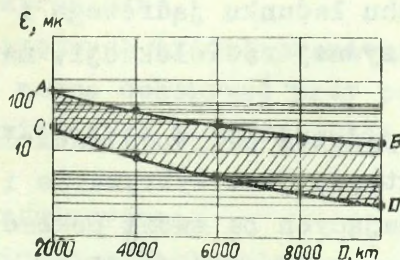
W wypadku, kiedy pozorna temperatura obiektu  $T_{e\text{ ob}}^0$  różni się od pozorowanej temperatury środowiska  $T_{e\text{ śr}}^0$  /szumów/, to obiekt może

być wykryty przez pasywną stację radiolokacyjną. Mówimy w danym wypadku o istnieniu kontrastowości temperatury.

Na powyższej zasadzie konstruowane są pasywne stacje radiolokacyjne obserwacji powierzchni ziemi oraz radioteleskopy.

Silne zaburzenia aerodynamiczne środowiska, spowodowane wylotem strugi gazów z dyszy rakiety oraz wysoka temperatura gazów, prowadzi do intensywnej jonizacji molekuł. Przy przyspieszonym ruchu rakiety w atmosferze powstają zaburzenia i wibracje zjonizowanych cząstek, wytwarzających promieniowanie elektromagnetyczne w szerokim zakresie częstotliwości. Największą intensywność promieniowania można zaobserwować w zakresie bardzo niskich częstotliwości /około 30 kHz/, ponieważ w danym zakresie tłumienie energii jest bardzo małe, rzędu 0,001 do 0,003 db/km, a zjonizowana struga gazów przedstawia sobą efektywną antenę małych częstotliwości /Małyszkin E.A. "Pasywna Radiolokacja", Wojeizdat. 1961/.

Na rys. 1 przedstawiony jest wykres zależności natężenia pola elektrycznego od odległości, wykreślonego dla rakiety przy locie na aktywnym odcinku toru lotu, w zakresie częstotliwości  $f = 10 \div 30$  kHz.



Rys. 1

W zależności od warunków propagacji fal radiowych i od odległości od źródła promieniowania, natężenie pola elektrycznego  $E$  może zmieniać się w granicach zakreskowanej strefy ABCD /rys. 1/. Z wykresu widzimy, że nawet na bardzo dużych odległościach /do 10000 km/, rakieta może być wykryta dzięki własnemu promieniowaniu w zakresie fal długich.

Ponieważ fale długie uginają się nad powierzchnią Ziemi, to odległość wykrycia nie jest ograniczona zasięgiem bezpośrednio widzialności horyzontalnej.

Opisane zjawisko, efektu promieniowania fali elektromagnetycznej, przez rakiety z pracującym silnikiem, pozwoliło na zastosowanie pasywnych RLS, zakresu długofalowego, do wykrywania i wstępnego opracowywania trajektorii lotu ракет balistycznych.

W systemie obrony przeciwrakietowej Stanów Zjednoczonych wykorzystywane są pasywne stacje radiolokacyjne, ugrupowane w odpowiednie "trójki" radionamiarowe na danych obszarach. Systemy tego typu pozwalają na wykrycie rakiety balistycznej podczas startu i dokonanie pomiaru współrzędnych oraz wyliczenie przewidywanej trajektorii lotu i miejsca upadku.

Efekt promieniowania fali elektromagnetycznej obserwujemy również przy wybuchach jądrowych w wyniku tworzenia się ogromnej ilości cząstek zjonizowanych, przemieszczających się z dużymi prędkościami. Tworząca się chmura cząstek zjonizowanych jest dobrym przewodnikiem prądów rozładowczych pionowego pola Ziemi, tworzących własne elektromagnetyczne pole promieniowania. Promieniowanie to posiada maksymalną moc na bardzo małych częstotliwościach, rzędu 30 kHz. Poziom energii promieniowania, o częstotliwości  $10 \div 30$  kHz, jest wystarczający do wykrycia faktu wybuchu ładunku jądrowego i określenia jego epicentrum, metodami pasywnej radiolokacji, na odległościach do 10000 km.

Szczególnym wypadkiem pasywnej radiolokacji, wykorzystywanym szeroko w praktyce, jest wykrywanie i pomiar współrzędnych obiektów posiadających na swoim pokładzie pracujące nadajniki energii elektromagnetycznej /radiostacje, stacje radiolokacyjne, nadajniki zakłóceń, aparatura radionawigacyjna itp./.. W danym wypadku zastosowanie pasywnej radiolokacji różni się od opisanej powyżej tym, że odbierane sygnały posiadają dużą energię i noszą regularny charakter, a zakres częstotliwości mieści się w pobliżu częstotliwości nośnej nadajników. Wysoki poziom energii odbieranego sygnału pozwala na konstruowanie bardzo prostych, lekkich i niezawodnych w działaniu pasywnych stacji radiolokacyjnych, wykrywających różnorodne środki przeciwnika. W szczególności RLS tego typu montowane mogą być na samolotach do wykonywania różnorodnych potrzeb praktycznych.

### 3. Metody pasywnej radiolokacji

W warunkach celowych zakłóceń radioelektronicznych, stosowanych przez przeciwnika, systemy radiolokacyjne wykorzystujące aktywne stacje radiolokacyjne nie są w stanie w pełni zapewnić potrzeb wykrywania i naprowadzania samolotów myśliwskich na wykryte cele powietrzne. Wszystkie dotychczasowe metody uodpornienia systemów radiolokacyjnych na zakłócenia radioelektroniczne nie zapewniają niezawodnej pracy wykrywania i naprowadzania, a przedsięwzięcia, zarówno taktyczne, jak i techniczne, zmierzające do uodpornienia RLS na zakłócenia, są zbyt skomplikowane i kosztowne przekraczające niekiedy możliwości ekonomiczne wielu krajów. Dlatego też najbardziej efektywną metodą realizacji tego problemu jest wykorzystanie systemów radiolokacyjnych z zastosowaniem pasywnych stacji radiolokacyjnych.

Wykorzystanie pasywnych stacji radiolokacyjnych uwarunkowane jest możliwością dokonywania radionamiarów na źródła zakłóceń i pomiar współrzędnych wykrytych obiektów radiolokacyjnych stosujących zakłócenia oraz obiektów znajdujących się pod osłoną radioelektroniczną.

Pomiaru współrzędnych źródeł promieniowania energii elektromagnetycznej można dokonywać przy pomocy PRLS różnymi metodami. Do najważniejszych i najczęściej stosowanych w praktyce zaliczamy:

- metoda triangulacyjna;
- metoda różnicowo-odległościowa;
- metoda mieszana, zwana metodą kątowno-różnicowo-odległościową.

Zasady realizacji wyżej wymienionych metod, za pomocą pasywnych stacji radiolokacyjnych, oraz pomiar współrzędnych rozpatrujemy poniżej.

#### 3.1. Triangulacyjna metoda pomiaru współrzędnych

W warunkach czynnych zakłóceń radioelektronicznych, na ekranie wskaźnika aktywnej stacji radiolokacyjnej, nie możemy obserwować zobrazowania echa radiolokacyjnego obiektów wykrywanych. Jedynym możliwym sposobem określania położenia wykry-

wanych obiektów jest radionamierzenie źródeł zakłóceń i pomiar współrzędnych metodą triangulacyjną.

Triangulacyjna metoda pomiaru współrzędnych obiektów radiolokacyjnych, stosujących zakłócenia radioelektroniczne, uwarunkowana jest faktem promieniowania energii elektromagnetycznej przez wykrywany obiekt, który sam siebie w ten sposób demaskuje.

W związku z tym za pomocą pasywnej stacji radiolokacyjnej można z wymaganą dokładnością dokonać pomiaru współrzędnych kątowych źródeł zakłóceń. W celu określenia odległości i wysokości konieczne jest posiadanie co najmniej dwóch PRLS rozwiniętych w terenie w określonej odległości od siebie, stanowiącej bazę systemu AB. Zasadę pomiaru współrzędnych metodą triangulacyjną wyjaśnia rys. 2. Obie pasywne stacje radiolokacyjne powinny pracować w sposób zsynchronizowany, a rozbieżności w czasie nie mogą przekraczać 2 do 5 sekund. W przeciwnym wypadku, przy dużych prędkościach wykrywanego obiektu, błędy pomiaru odległości mogą być niedopuszczalnie duże.

Obliczanie odległości, przy danych azymutach, do wykrytego obiektu można dokonać korzystając z następującego wzoru:

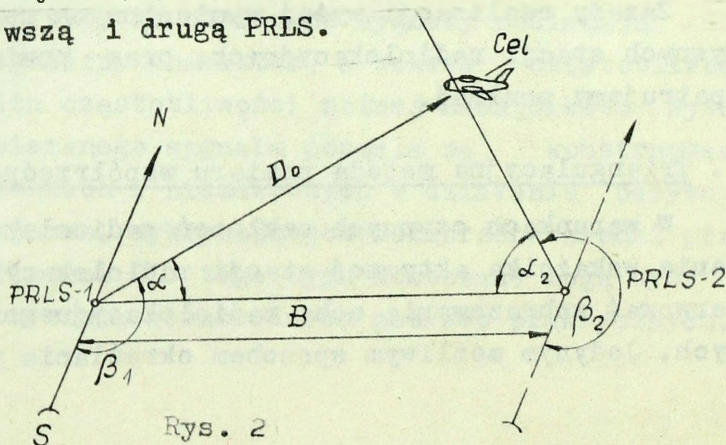
$$D_0 = \frac{B \sin \alpha_2}{\sin |\alpha_1 + \alpha_2|} \dots\dots\dots /6/$$

gdzie:  $\alpha_1 = \beta_1^{\circ} - 90^{\circ}$ ;

$\alpha_2 = 270^{\circ} - \beta_2^{\circ}$ ;

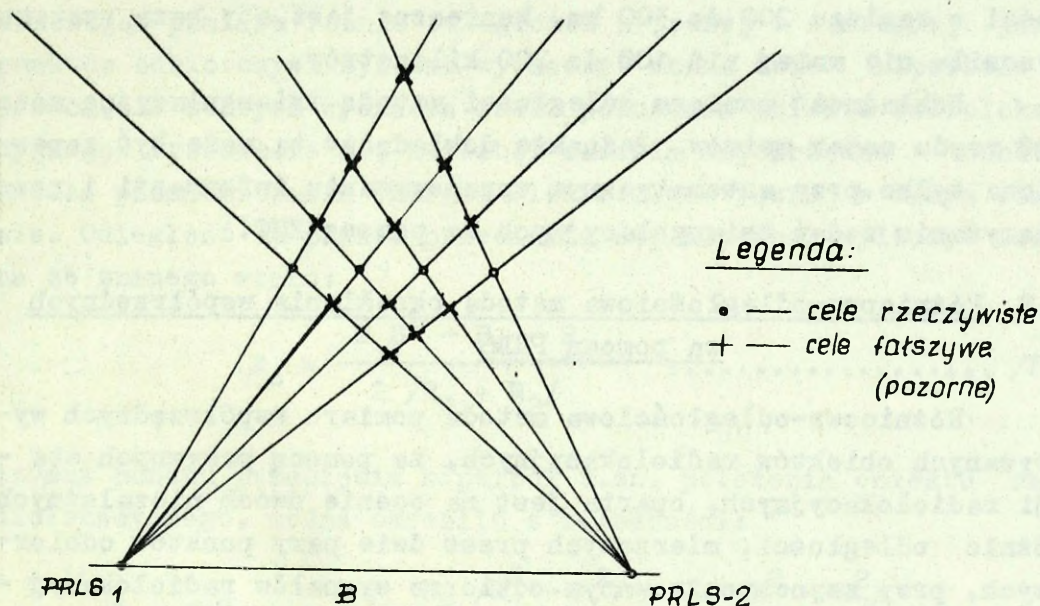
B - wymiar bazy systemu w kilometrach;

$\beta_1$  i  $\beta_2$  - azymut /radionamiar/ wykrytego celu przez pierwszą i drugą PRLS.



Rys. 2

Wadą rozpatrywanej metody pomiaru jest wieloznaczność odczytu danych, przy większej liczbie wykrywanych obiektów, znajdujących się w strefie wykrywania. Przy  $N$  źródłach zakłóceń system taki określi współrzędne o  $N^2$  znaczeniach, z których  $N/N-1$  pomiarów będą fałszywymi. Tworzenie się namiarów fałszywych /pozornych/ wyjaśnia rys. 3.



Rys. 3

Wyeliminowanie błędnych /pozornych/ pomiarów współrzędnych obiektów może być dokonane przy zastosowaniu bardziej skomplikowanych systemów, przy wykorzystaniu co najmniej trzech pasywnych stacji radiolokacyjnych oraz wprowadzenia techniki automatycznego opracowania danych namiarów.

Dokładność pomiaru odległości do wykrytych obiektów w systemie triangulacyjnym ocenić można na podstawie wzoru:

$$\sigma_D = \sigma_\beta \sqrt{\frac{D^4}{B} + \left( \frac{B}{\cos^2 \alpha_2} \right)^2} \dots \dots \dots /7/$$

- gdzie:  $\sigma_D$  - błąd pomiaru odległości w kilometrach;  
 $\sigma_\beta$  - błąd pomiaru azymutu w radianach;  
 $D$  - odległość do celu w kilometrach;

$B$  - wymiar bazy w kilometrach;

$\alpha$  - kąt namiaru w stopniach.

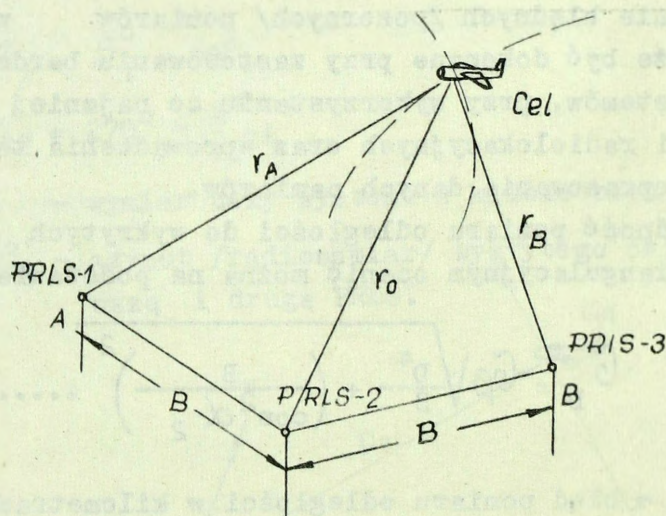
Ze wzoru /7/ widzimy, że dokładność pomiaru odległości zależy od dokładności pomiaru azymutu, odległości do celu, wymiaru bazy systemu i kąta namiaru.

W celu otrzymania dostatecznie dokładnego pomiaru odległości w zasięgu 200 do 300 km, konieczne jest, aby baza systemu wynosiła nie mniej niż 100 do 200 kilometrów.

Dokładność pomiaru odległości metodą triangulacyjną może być rzędu setek metrów. Jednakże dokładność ta może być zapewniona tylko przy automatycznym opracowywaniu informacji i rozwiązywaniu zadań triangulacyjnych za pomocą EMC.

### 3.2. Różnicowo-odległościowa metoda określania współrzędnych za pomocą PRLS

Różnicowo-odległościowa metoda pomiaru współrzędnych wykrywanych obiektów radiolokacyjnych, za pomocą pasywnych stacji radiolokacyjnych, oparta jest na ocenie dwóch niezależnych różnic odległości, mierzonych przez dwie pary punktów odbiorczych, przy zsynchronizowanym odbiorze sygnałów radiolokacyjnych. Zasadę tę wyjaśnia rys. 4.



Rys. 4

Każda para urządzeń odbiorczych posiada swoją bazę B, o wymiarze rzędu 50-100 km. Różnice odległości  $R_1 = r_0 - r_A$  i  $R_2 = r_0 - r_B$  określa się opóźnieniem sygnałów w sąsiednich kanałach. Dla każdej pary punktów odbiorczych dokonuje się pomiaru różnic odległości, które są w tym wypadku ściśle określone. Geometryczne miejsce punktów, różnica odległości, do których jest stała, wyraża się krzywą hiperboliczną. Dlatego też dokonując pomiaru różnic odległości z jednej i z drugiej pary punktów odbiorczych systemu wyznaczyć można dwie hiperbole, przecięcie których wyznacza punkt położenia obiektu radiolokacyjnego. Przecięcie się hiperbol określa współrzędne punktu źródła promieniowania energii elektromagnetycznej w danym czasie. Odległość do punktu przecięcia się hiperbol wyliczyć można ze znanego wzoru:

$$r_0 = \frac{2 B^2 - R_1 - R_2}{2 /R_1 + R_2/} \dots\dots\dots /8/$$

Azymut punktu przecięcia hiperbol t.zn. położenia obiektu radiolokacyjnego, można określić z zależności:

$$\beta = 90^\circ + \text{arc cos } \frac{R_2 /R_1^2 - B^2/ + R_1 /B^2 - R_2^2/}{B /2 B^2 - R_1^2 - R_2^2/} \dots\dots /9/$$

gdzie:  $\beta$  - azymut źródła promieniowania;

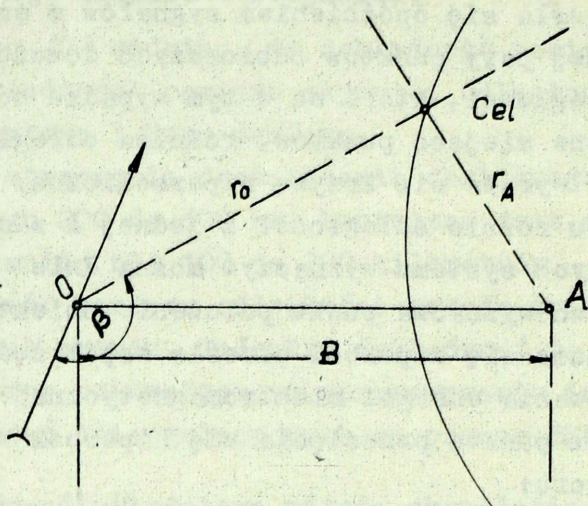
$$\left. \begin{aligned} R_1 &= r_0 - r_A \\ R_2 &= r_0 - r_B \end{aligned} \right\} \text{różnice odległości}$$

Pomiar różnicy odległości do źródła promieniowania w punktach odbioru obu par pasywnych stacji radiolokacyjnych, dokonuje się metodą korelacyjną, zapewniającą dokładność pomiaru porównywalną z metodami aktywnej radiolokacji.

### 3.3. Kątowo-różnicowo-odległościowa metoda pomiaru współrzędnych

Metoda kątowo-różnicowo-odległościowa w realizacji praktycznej jest najmniej skomplikowana i najczęściej wykorzystywana. Polega ona na pomiarze współrzędnych kątowych źródeł za-

kłóceń z jednoczesnym pomiarem różnic odległości między punktami odbiorczymi a źródłem promieniowania. Zasadę tę wyjaśnia rys. 5.



Rys. 5

Z rys. 5 widzimy, że przy pomiarze różnicy odległości określamy hiperbole, na której znajduje się wykryty obiekt radiolokacyjny, następnie dokonujemy pomiaru kierunku /azymutu/, przecięcie którego z hiperbolą określa pozycję obiektu. Możemy również dokonać pomiaru kąta wzniesienia celu i określić tym samym wysokość. Pomiaru odległości dokonuje się przy wykorzystaniu wzoru:

$$r_0 = \frac{B^2 - R_1^2}{2/B \sin \beta - R_1} \dots \dots \dots /10/$$

gdzie:  $R_1 = r_0 - r_A$  - różnica odległości mierzona metodą korelacyjną;

$\beta$  - azymut celu;

B - wymiar bazy systemu.

Dokładność pomiaru współrzędnych, przy wykorzystaniu danej metody, porównywalna jest z dokładnością metody różnicowo-odległościowej.

#### 4. Zasada działania pasywnej stacji radiolokacyjnej

W radiolokacji pasywnej znajdują zastosowanie urządzenia radiodbiornicze odbierające własne drgania elektromagnetyczne wykrywanych obiektów radiolokacyjnych. 90 % energii promienio-

wania elektromagnetycznego obiektów znajduje się w zakresie podczerwieni, a tylko około 10 % w zakresie niższych częstotliwości. Energia odbierana przez PRLS, wypromieniowana z obiektu, składa się z części energii generowanej przez sam obiekt i części energii odbitej od samego obiektu, padającej na niego z otaczającej przestrzeni.

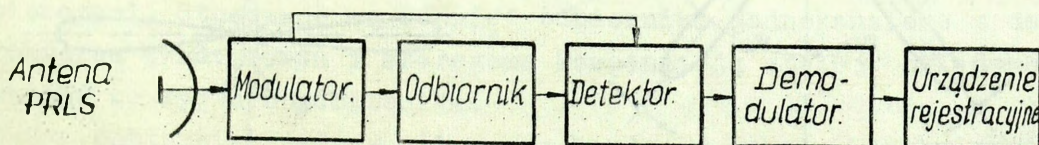
Suma tych energii składowych charakteryzuje się ekwiwalentną temperaturą, zwaną temperaturą pozorną obiektu. Odpowiednio do danej temperatury, na wyjściu odbiornika PRLS występują szумы, podobne do szumów własnych odbiornika. Rozróżnienie i wydzielenie sygnału użytecznego z szumów sygnałów odbieranych jest problemem bardzo skomplikowanym i dokonuje się za pomocą modulacji szumów wejściowych zadaną funkcją, na przykład sinusoidą. Proces modulacji zapewnia się poprzez włączenie między antenę i wejście odbiornika odpowiedniego modulatora.

Modulator moduluje sygnał wejściowy z częstotliwością modulacji  $100 \div 1000$  Hz, w wyniku czego na wyjściu odbiornika występuje suma dwóch szumów: zmodulowanych szumów wewnętrznych odbiornika i zmodulowanych szumów zewnętrznych sygnału.

Po detekcji i zsumowaniu szumy wewnętrzne, przedstawiające sobą składową stałą, lekko są odseparowywane, a pozostały sygnał zmodulowanych szumów zewnętrznych wydzielany jest jako sygnał użyteczny. Sygnał ten kierowany jest do demodulatora, skąd jest zdejmowany i przesyłany do urządzeń rejestrujących.

Jako urządzenie rejestrujące mogą być wykorzystywane układy samopiszzące, względnie wskaźniki radiolokacyjne z zobrażeniem amplitudowym lub jasnościowym.

Uproszczony schemat blokowy pasywnej stacji radiolokacyjnej, pracującej według przedstawionej powyżej metody, przedstawiony jest na rys. 6.



Rys. 6

## 5. Praktyczne zastosowanie pasywnych stacji radiolokacyjnych

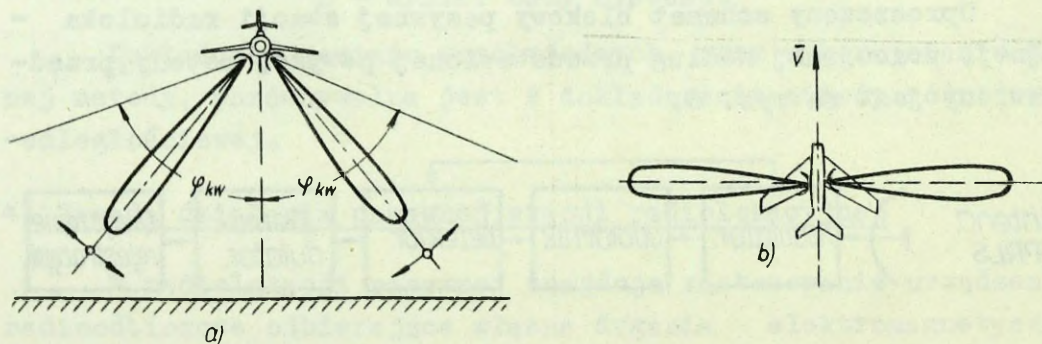
Jak już wspomniano w poprzednich paragrafach pasywne stacje radiolokacyjne wykorzystywane są do wykrywania rakiet balistycznych i wyznaczania ich trajektorii lotu, określania epicentrum wybuchów jądrowych, wykrywania i prowadzenia samolotów, rozpoznawania radiotechnicznych obiektów na powierzchni Ziemi itp. Pasywne stacje radiolokacyjne mogą być wykorzystywane w sposób autonomiczny, jak również w systemach pasywnej radiolokacji obrony powietrznej obszaru kraju.

Poniżej rozpatrzone zostaną niektóre pasywne stacje radiolokacyjne wykorzystywane w lotnictwie do obserwacji powierzchni Ziemi i tworzenia panoramicznego zobrazowania radiotechnicznego terenu. Stacje tego typu mogą być montowane na samolotach lotnictwa rozpoznawczego i innych typach samolotów. Mogą być wykorzystywane również jako radiotechniczne celowniki zrzutu bomb na wykryte obiekty bez widoczności Ziemi, itp.

### 5.1. Obserwacja powierzchni ziemi za pomocą środków pasywnej radiolokacji

Jeden z rozpowszechnionych sposobów otrzymywania panoramicznego zobrazowania terenu powierzchni ziemi, za pomocą środków radiotechnicznych na samolocie, przedstawiony jest na rys. 7.

Antena stacji samolotowej tworzy dwie wąskie wiązki kierunkowego odbioru energii elektromagnetycznej, wahające się w granicach kąta jak na rys. 7. Sygnały odbierane przez antenę z róż-



Rys. 7

nych kierunków, wzmacniane są w odbiorniku, a następnie przekazywane na wskaźnik typu "azymut - odległość". Pozioma podstawa czasu na ekranie wskaźnika zsynchronizowana jest z wahaniami anteny w płaszczyźnie poziomej i proporcjonalna do prędkości lotu samolotu. Jeżeli elementy rzeźby terenu i obiekty na obserwowanej przestrzeni posiadają wystarczająco dużą kontrastowość temperaturową, to będą one odzwierciedlone na ekranie wskaźnika w postaci mapy radiolokacyjnej. Odległość pochyła do poszczególnych obiektów, na obserwowanej płaszczyźnie terenu, może być określona według wysokości lotu i odpowiedniego znaczenia kąta wzniesienia wiązki kierunkowej charakterystyki anteny odbiorczej.

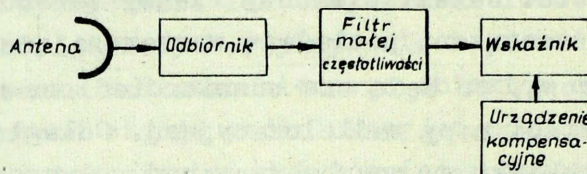
W niektórych panoramicznych stacjach radiolokacyjnych wykorzystywany jest promieniowo - okrężny ruch wiązki anteny, co umożliwia wygodne zgranie zobrazowania panoramy na wskaźniku obserwacji okrężnej typu "P".

Przy konstruowaniu PRLS występują duże trudności związane z pozorną temperaturą, która zmienia się w zależności od kąta, pod którym antena obserwuje obiekt oraz od rodzaju polaryzacji odbieranej fali elektromagnetycznej. Ponieważ różne obiekty i elementy rzeźby terenu posiadają różny charakter i różną temperaturę, zależną od kierunku, to ten sam obiekt /odcinek terenu/ na ekranie wskaźnika będzie posiadał różną jasność zobrazowania, zależną od tego czy samolot przelatuje bezpośrednio nad danym obiektem, czy też obserwuje go pod pewnym kątem. Usunięcie tej przeszkody prowadzi do konieczności stosowania bardziej skomplikowanych układów technicznych, a tym samym zwiększenia rozmiarów i ciężaru PRLS.

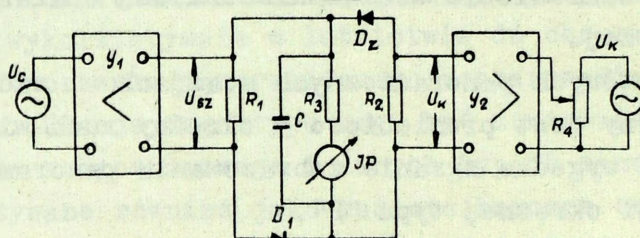
Teoria wykrywania sygnałów szumopodobnych, na tle szumów przypadkowych, wskazuje na konieczność stosowania układów odbiorczych z optymalnym opracowaniem danych. Takimi odbiornikami są odbiorniki korelacyjne z dwoma niezależnymi kanałami odbiorczymi. Stosowane są również odbiorniki jednokanałowe z detektorem kwadratowym i szeregową kompensacją stałej składowej szumów na wyjściu odbiornika.

Odbiorniki jednokanałowe są bardziej proste technicznie i częściej wykorzystywane w praktycznych układach pasywnych stacji radiolokacyjnych.

Na rys. 8 przedstawiony jest uproszczony schemat blokowy odbiornika jednokanałowego z układem kompensacyjnym, a na rys. 9 schemat urządzenia kompensacyjnego, przedstawiającego "most" z ramionami:  $R_1$ ,  $D_1$  i  $R_2$ ,  $D_2$ .



Rys. 8



Rys. 9

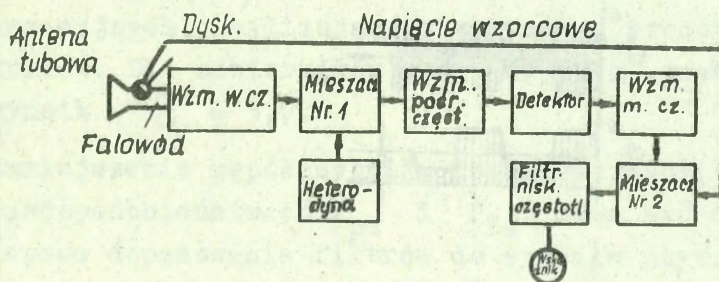
Rezystor  $R_1$  jest obciążeniem wzmacniacza wyjściowego odbiornika, a  $R_2$  obciążeniem źródła zmiennego napięcia kompensacji. Na przekątnej mostu włączony jest wskaźnik /mikroamperomierz/ JP oraz filtr  $R_3C$ . Przy braku sygnału na rezystorze  $R_1$  będzie wydzielano się napięcie szumów  $U_{sz}$ , które poddawane jest detekcji w detektorze  $D_1$ . Składowa stała prądu odfiltrowana jest filtrem  $R_3C$  i przechodzi przez mikroamperomierz wskaźnikujący jej wartość.

Napięcie kompensacji  $U_k$ , zdejmowane z rezystora  $R_2$  tworzy prąd, przepływający przez przyrząd - wskaźnik w odwrotnym kierunku. Dobierając wielkość napięcia kompensacyjnego, za pomocą potencjometru  $R_4$ , można uzyskać zerowe wskazania mikroamperomierza, co jest miarą skompensowania. Pod działaniem sygnału równowaga mostu zostaje zachwiana, a sygnał użyteczny z rezystora  $R$  przesyłany jest do wskaźnika zobrazowania danych.

Wadą tego typu odbiorników jest to, że nie pozwalają one na pełne skompensowanie składowej stałej szumów. Uwarunkowane jest to niestabilnością współczynnika wzmocnienia i fluktuacyjnej wartości napięcia szumów, występującej zawsze przy ograniczonym pasmie przepuszczania filtra integracyjnego. Dlatego

też stosowane są bardziej skomplikowane układy kompensacji, pozwalające zmniejszyć wpływ fluktuacji sygnału szumów na wartość sygnału użytecznego, występującego na wyjściu odbiornika.

W pasywnych stacjach radiolokacyjnych znajdują również zastosowanie odbiorniki nieoptymalne, posiadające gorszą czułość, nie wymagające jednak kompensacji. Uproszczony schemat blokowy tego typu odbiornika przedstawiony jest na rys. 10.

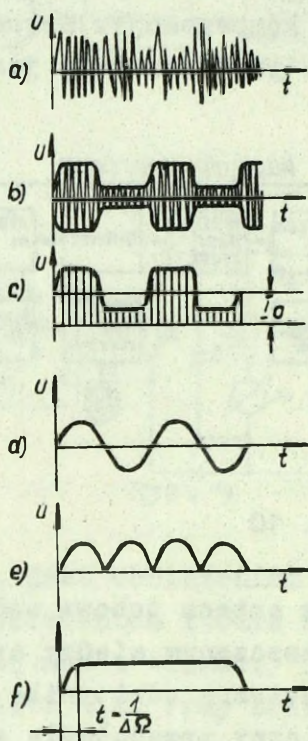


Rys. 10

Sygnal odbierany przez antenę tubową modulowany jest modulatorem mechanicznym, umieszczonym między anteną i odbiornikiem, podczas gdy szумы wewnętrzne odbiornika nie są poddawane modulacji. Modulator mechaniczny przedstawia sobą dysk, częściowo umieszczony w falowodzie. Jedna połowa dysku jest przewodząca, druga wykonana z materiału dielektrycznego. Przy obracaniu się dysku okresowo odłącza się antenę od wzmacniacza wielkiej częstotliwości odbiornika, a sygnał, w wyniku tej operacji, przybiera charakter jak na wykresie rys. 11.

Sygnal użyteczny i szумы własne odbiornika wzmacniane są we wzmacniaczu pośredniej częstotliwości, poddawane detekcji i wzmacniane przez wzmacniacz niskiej częstotliwości, zestrojony na częstotliwość modulacji. Z kolei sygnał ulega demodulacji w detektorze fazowym /rys. 11 c,d,e/. Napięcie wzorcowe z detektora fazowego posiada częstotliwość modulacji, a faza jego odpowiada położeniu dysku modulatora mechanicznego. Zmodulowany sygnał i szумы poddawane są całkowaniu w wąskopasmowym filtrze, wykonującym nieoptymalną operację uśrednienia zgodnie z zależnością:

$$\int_0^T Y/t/dt = \int_0^T X/t/dt + \int_0^T N/t/dt \dots\dots\dots /11/$$



Rys. 11

Przy występowaniu tylko szumów wewnętrznych na wyjściu układu powstaje proces fluktuacji w zakresie niskich częstotliwości. Przy odbiorze sygnałów użytecznych wystąpi składowa sygnału użytecznego o częstotliwości modulacji /rys. 11 e/. Wąskopasmowy filtr odfiltrowuje sygnał użyteczny od szumów /rys.11f/, który przesyłany zostaje do wskaźnika zobrazowania danych.

Sygnały użyteczne, odbierane przez anteny pasywnych stacji radiolokacyjnych, posiadają bardzo niski poziom mocy, rzędu  $10^{-11}$  wata, dlatego też czułość odbiorników powinna być bardzo wysoka /dobra/. W związku z tym współczynnik rozdzielczości odbiorników PRLS określa się z następującej zależności:

$$m_T = \xi \quad m_{r0} \dots\dots\dots /12/$$

gdzie:  $m_{ro}$  - teoretyczny współczynnik rozdzielczości, określany z dynamicznych charakterystyk odbiornika sygnałów szumopodobnych dla przyjętych prawdopodobieństw  $P_{pw}$  i  $P_{fa}$ ,

$P_{pw}$  - prawdopodobieństwo prawidłowego wykrycia;

$P_{fa}$  - prawdopodobieństwo fałszywego alarmu.

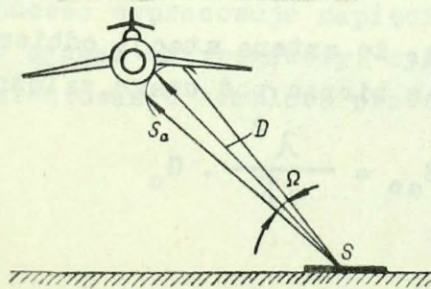
Współczynnik  $\xi = 1$  dotyczy odbiorników korelacyjnych i kompensacyjnych, realizujących optymalną procedurę opracowania sygnałów. Dla odbiorników modulacyjnych, omawianego typu, współczynnik  $\xi = 5,7$ .

Zmniejszenie współczynnika rozdzielczości, przy przyjętych prawdopodobieństwach  $P_{pw}$  i  $P_{fa}$  może być dokonane poprzez lepsze dopasowanie filtrów do sygnału użytecznego /od bieranego/, lub też poprzez zastosowanie odbiorników z optymalnym opracowaniem sygnałów.

Wymagane wartości prawdopodobieństwa  $P_{pw}$  i  $P_{fa}$ , przy danym i stałym stosunku sygnał /szum/ na wyjściu odbiornika, można otrzymać rozszerzając pasmo przepuszczania obwodów wejściowych odbiornika oraz poprzez zwiększenie czasu obserwacji obiektów.

Przy zwiększeniu pasma przepuszczania poprawia się dopasowanie odbiornika do odbioru szerokopasmowego sygnału użytecznego. Zwiększenie czasu trwania sygnału nie zawsze jest wskazane z powodu dużej bezwładności sygnału wynikającej z zawężenia pasma przepuszczania filtra małej częstotliwości.

Zasięg działania pasywnej stacji radiolokacyjnej możemy określić w sposób następujący. Załóżmy, że z każdego punktu promieniującej płaszczyzny  $S$ , antena PRLS odbiera sygnały w kącie sferycznym  $\Omega = S_a / D^2$ , gdzie:  $S_a$  - efektywna powierzchnia promieniowania anteny rys. 12.



Rys. 12

W danym wypadku, pod warunkiem równomiernego promieniowania każdego elementu płaszczyzny S, ogólna moc promieniowania, odebrana przez antenę w zakresie częstotliwości pasma przepuszczenia odbiornika, będzie wynosiła:

$$P_{\text{odb}} = p \Omega S \Delta f \dots\dots\dots /13/$$

gdzie:

$$p = \frac{2k}{\lambda^2} T_{\text{poz}}^0$$

$\Delta f$  - pasmo przepuszczania odbiornika;

$p$  - moc promieniowania, w jednostkowym kącie sferycznym, w paśmie częstotliwości  $\Delta f = 1$  MHz, z jednostki powierzchni, posiadającej temperaturę pozorną  $T_{\text{poz}}^0$ .

Minimalna moc na wejściu odbiornika, konieczna do wykrycia obiektu z przyjętym prawdopodobieństwem  $P_{\text{pw}}$  i  $P_{\text{fa}}$  wyniesie:

$$P_{\text{odbmin}} = m_r P_{\text{sz}} = m_r \cdot m_{\text{sz}} \cdot T_{\text{odb}}^0 \Delta f \dots\dots\dots /14/$$

Rozpisując wyrażenie wzoru /13/ i porównując z wyrażeniem wzoru /14/ otrzymamy:

$$\frac{2 \cdot T_{\text{poz}}^0 \cdot S_{\text{ao}} \cdot S}{\lambda^2 \cdot D_{\text{max}}^2} = m_r \cdot m_{\text{sz}} \cdot T_{\text{odb}}^0$$

stąd znajdujemy wartość maksymalnego zasięgu PRLS:

$$D_{\text{max}} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{2 T_{\text{poz}}^0 \cdot S_{\text{ao}} \cdot S}{m_r \cdot m_{\text{sz}} \cdot T_{\text{odb}}^0}} \dots\dots\dots /15/$$

Uwzględniając, że antena stacji odbiera fale tylko o danej polaryzacji, oraz biorąc pod uwagę zależność:

$$S_{\text{ao}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_0$$

otrzymujemy inną postać wzoru maksymalnego zasięgu pasywnej RLS, a mianowicie:

$$D_{\max} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{G_e \cdot S \cdot T_{\text{poz}}^0}{m_r \cdot m_{sz} \cdot T_{\text{odb}}^0}} \dots\dots\dots/16/$$

Równania /15/ i /16/ pozwalają na dokonanie analizy kierunków rozwoju i zwiększenia zasięgu wykrywania pasywnych stacji radiolokacyjnych.

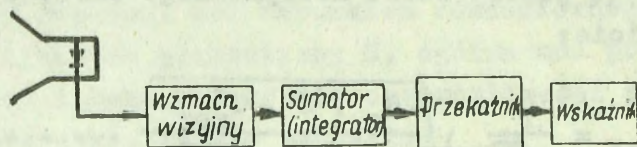
W celu zwiększenia zasięgu należy zmniejszać współczynnik rozdzielczości i temperaturę odbiorników oraz wykorzystać wać anteny z największym rozkrywem  $S_{ao}$ .

Rozróżnialność i dokładność pomiaru współrzędnych wykrywanych obiektów przez PRLS, określa się rozmiarami wiązki promieniowania anteny stacji.

## 5.2. Pasywne stacje radiolokacyjne ostrzegania samolotów o opromienianiu

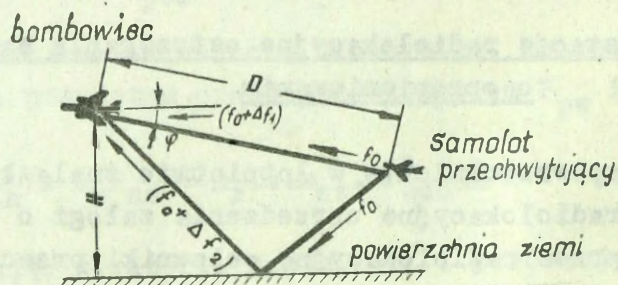
Duże rozpowszechnienie w lotnictwie znalazły proste pasywne stacje radiolokacyjne uprzedzenia załogi o opromienianiu samolotu przez radiolokacyjne celowniki przeciwnika.

Antena tego typu PRLS posiada szeroką kierunkową charakterystykę odbioru, rzędu  $90^\circ + 100^\circ$  w obu płaszczyznach i odbiera energię elektromagnetyczną w szerokim paśmie częstotliwości o dowolnej polaryzacji. Wysoki poziom odbieranego sygnału pozwala wykorzystać prosty odbiornik detektorowy, składający się z szerokopasmowego detektora i wzmacniacza wizyjnego. Uproszczony schemat blokowy odbiornika przedstawiony jest na rys. 13. Odebrany i wzmocniony sygnał, opromieniowujący samolot, jest sumowany w układzie sumującym i przesyłany do urządzenia końcowego. Przy dostatecznym poziomie sygnału wyjściowego urządzenie końcowe wypracowuje napięcie włączające akustyczny i świetlny sygnał ostrzegawczy, sygnalizujący tym samym załogę o opromienianiu samolotu przez obcą RLS.



Rys. 13

Przy bardziej złożonych układach, nowszych generacji pasywnych stacji radiolokacyjnych, istnieje możliwość jednoczesnego ostrzegania o opromieniowaniu i określania kierunku i odległości do RLS opromieniowującej samolot. W danym wypadku z najmniejszym błędem, za pomocą PRLS, można określić odległość do celownika radiolokacyjnego przeciwnika, dokonując pomiaru różnicy dróg sygnałów bezpośredniego i odbitego od powierzchni ziemi. Zasadę tę wyjaśnia rys. 14.



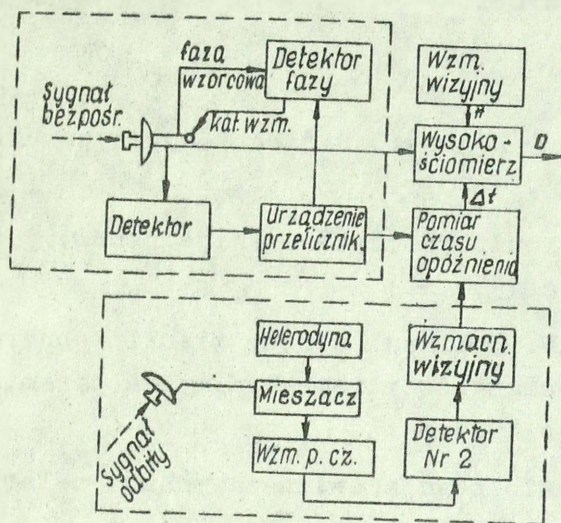
Rys. 14

Znając różnicę czasu  $\Delta t$ , między odbiorem sygnału bezpośredniego i odbitego od ziemi oraz kąt wzniesienia  $k_w$ , przy znanej wysokości H /patrz rys. 14/, odległość do opromieniowującej RLS można określić za pomocą urządzenia przelicznikowego PRLS zgodnie ze wzorem:

$$D = \frac{4 H^2 - /c \Delta t /^2}{2 \cdot c \cdot \Delta t - 4 H \sin \varphi_{kw}} \dots \dots \dots /17/$$

Schemat blokowy omawianego typu pasywnej stacji radiolokacyjnej przedstawiony jest na rys. 15.

Stacja składa się z dwóch kanałów odbiorczych: kanału odbioru sygnałów bezpośrednich i kanału odbioru sygnałów odbitych od ziemi.



Rys. 15

Kanał bezpośredniego odbioru składa się z szerokopasmowego odbiornika detektorowego i w sposób automatyczny dokonuje pomiaru kierunku na źródło promieniowania.

W kanale odbioru wiązki energii odbitej od ziemi wykorzystuje się odbiornik szerokopasmowy, wysokiej klasy, typu superheterodynowego oraz specjalną antenę skierowaną w kierunku ziemi.

Napięcie wyjściowe obu kanałów odbiorczych podawane jest na miernik czasu opóźnienia. Mierzony czas opóźnienia  $\Delta t$  oraz wartość kąta wzniesienia  $\varphi_{kw}$ , a także wysokość lotu  $H$  w postaci napięć proporcjonalnych, wprowadza się do urządzenia przelicznikowego, które wylicza odległość realizując zależność wzoru /17/.

Jeżeli odbierane są sygnały modulowane w częstotliwości, odległość może być określona na podstawie różnicy częstotliwości między sygnałem bezpośrednim i odbitym od ziemi, wynikającej z różnicy czasu opóźnienia, jak i częstotliwości Dopplera dla obu sygnałów. Przy tym oprócz odległości może być również określona prędkość zbliżania się źródła opromieniowania /samolotu przeciwnika/ do samolotu.

Zasięg działania ostrzegawczych pasywnych stacji radiolokacyjnych nie powinien być mniejszy od zasięgu współczesnych

samolotowych celowników radiolokacyjnych, montowanych na samolotach przechwytyjących.

BIBLIOGRAFIA:

1. W.W. Grigorjanow - Rjabowa. Radiolokacjonnyje ustrojstwa. Sowietskoje Radio, 1970 r.
2. W.E. Dulewicz i inni. Teoreticzeskije osnovy radiolokacji. Sowietskoje Radio 1964 r.
3. J.D. Szirman, W.N. Golikow. Osnovy teorii obnarużenija radiolokacjonnych signalow i izmierenia ich paramietrow. Sowietskoje Radio 1964 r.
4. P.A. Bakulew. Radiolokacja dwiżuszczysjsja celej. Sowietskoje Radio 1964 r.
5. E.A. Małyszkin. Passiwnaja radiolokacja. Wojenizdat 1961 r.

Wyk. w 50 egz.

Egz. nr 1-50-bibl.jawna  
Wyk. mjr SIWICKI  
Druk JD, dn. 8.10.74 r.  
nr 999/2415/WW.  
kor. E.M.

Druk ASG-OXV-6525 Zam. 2147 z dn. 15.10.74r.

