

R

G

B

WH

GR

BL

Grey Scale #13

C

M

Y

K

DANES-PICTA.COM

A

1

2

3

4

5

6

M

8

9

10

11

12

13

14

15

B

17

18

19

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Swierczewskiego

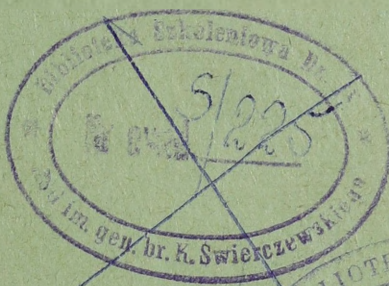
ODDZIAŁ Nr 2

Egz. Nr 1

ppłk mgr inż. Antoni ZON

Temat: SYSTEMY KIEROWANIA POCISKAMI
RAKIETOWYMI

(Skrypt)



4172

REMBERTÓW

GRUDZIEŃ

1964



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

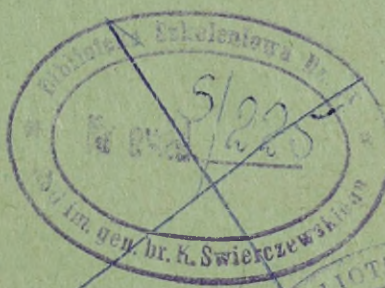
ODDZIAŁ Nr 2

Egz. Nr 1

pplk mgr inż. Antoni ZOŃ

**Temat: SYSTEMY KIEROWANIA POCISKAMI
RAKIETOWYMI**

(Skrypt)



4172

REMBERTÓW

GRUDZIEŃ

1964

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
im. generała broni Karola Swierczewskiego

ODDZIAŁ Nr 2

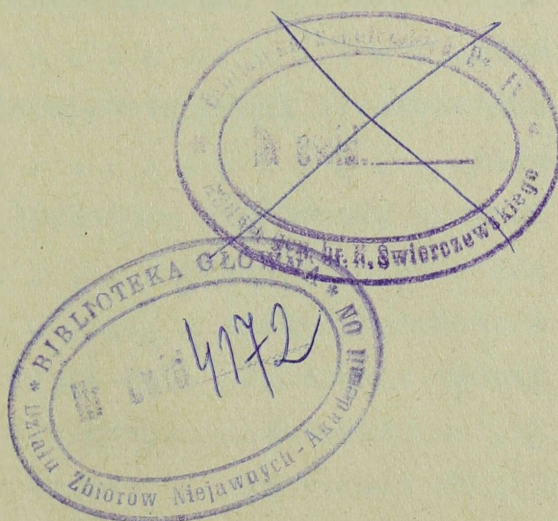
"ZATWIERDZAM"
KOMENDANT ODDZIAŁU Nr 2

płk prof. R. WOJTOWICZ

Ppłk mgr inż. Antoni ZON

SYSTEMY KIEROWANIA POCISKAMI RAKIETOWYMI

/skrypt/



WARSZAWA-REMBERTOW

październik

1964 r.

SPIS TRESCI

	Str.
1. Wiadomości ogólne o systemach kierowanych pociskami raketowymi	4
1.1. Wstęp	4
1.2. Pocisk kierowany.	5
1.3. System kierowania	5
1.4. Klasyfikacja raketowych pocisków kierowanych .	6
1.4.1. Rakietowy pocisk kierowany klasy ziemia-ziemia.	7
1.4.2. Rakietowy pocisk kierowany klasy ziemia-powietrze.	8
1.4.3. Rakietowy pocisk kierowany klasy powietrze-ziemia.	9
1.4.4. Rakietowy pocisk kierowany klasy powietrze-powietrze	10
2. Sposoby kierowania pociskami raketowymi. . . .	10
2.1. Podział sposobów kierowania pociskami raketowymi.	10
2.2. Sposoby samonaprowadzania pocisków raketowych.	12
2.2.1. System samonaprowadzania aktywnego.	13
2.2.2. System samonaprowadzania półaktywnego.	15
2.2.3. System samonaprowadzania pasywnego /biernego/ .	19
2.2.4. Samonaprowadzanie pocisków raketowych na podczerwień.	21
2.2.4a. Budowa głowicy samonaprowadzania na podczerwień.	22
2.2.4b. Zastosowanie samonaprowadzania na podczerwień.	28
2.3. Sposoby kierowania pociskami raketowymi według założonego programu	29
2.3.1. Wiadomości ogólne	29
2.3.2. System kierowania automatycznego.	31
2.3.3. System kierowania astronawigacyjnego.	32
2.3.4. System kierowania radioastronawigacyjny	32
2.3.5. System kierowania radionawigacyjnego.	33
2.3.6. System kierowania bezwładnościowego /inercyjnego/	36

	str.
2.3.7. System kierowania grawitacyjnego.	36
2.3.8. System kierowania topograficznego	37
2.4. Sposoby kierowania zdalnego /telekierowanie/.	38
2.4.1. Podział sposobów telekierowania	39
2.4.2. System kierowania za pomocą sygnałów kierujących /telekierowanie dowódcze/.	40
2.4.3. System kierowania w wiązce prowadzącej.	43
2.4.3.1. Kierowanie w strumieniu świetlnym reflektora.	44
2.4.3.2. System kierowania w wiązce wirującej.	46

1. WIADOMOSCI OGOLNE O SYSTEMACH KIEROWANIA POCISKAMI RAKIETOWYMI

1.1. W s t ę p

Rozwój pocisków zdalnie kierowanych powodowany był głównie rozwojem środków napadu powietrznego, a więc ciągłym postępem lotnictwa, idącym w kierunku zwiększenia prędkości, ciężaru użytecznego, wysokości lotu i zasięgu samolotów.

Doświadczenia II-giej wojny światowej wykazały jak groźnym i skutecznym środkiem walki są samoloty. Rozpoczęto usilne prace nad rozwojem obrony przeciwlotniczej. Unowocześniono działa artylerii przeciwlotniczej przez zwiększenie ich donośności i szybkostrzelności oraz prędkości początkowej pocisku. Ze wzrostem prędkości samolotów zaszła konieczność podniesienia skuteczności ognia artylerii przeciwlotniczej. W tym celu zastosowano specjalne stacje radiolokacyjne, zadaniem których było określanie w sposób ciągły współrzędnych położenia celu, na podstawie których skieruje się w odpowiednim kierunku lufę działa oraz ustawia się na odpowiednią odległość zapalnik czasowy pocisku. Te środki również są nie wystarczające w obronie przeciwlotniczej. Przy prędkościach samolotów bliskich prędkości dźwięku, działko zdąży wystrzelić w obszarze swego zasięgu za ledwie jeden czy dwa pociski. Jeżeli uwzględnić fakt, że prędkość pocisku artylerii przeciwlotniczej jest tego samego rzędu co prędkość obiektu ruchomego /celu/, to łatwo się przekonać, że prawdopodobieństwo trafienia jest bardzo małe.

Po określeniu współrzędnych położenia celu pocisk powinien być wystrzelony w kierunku wyprzedzającym położenie celu z takim wyliczeniem, aby nastąpiło ich spotkanie. Zadanie to jest bardzo trudne do wykonania, ponieważ nie możemy wpływać na zmianę kierunku ruchu pocisku po wystrzeleniu go z działa. Rozpoczęto szukać możliwości kierowania ruchem pocisku po jego wystrzeleniu.

W tym celu opracowano szereg systemów zdalnego kierowania w celu naprowadzenia pocisku na cel.

Urzeczywistnienie kierowania zdalnego stało się możliwe dzięki rozwiązaniu szeregu problemów z zakresu elektryki, automatycznej regulacji, radiotechniki itp.

Technika kierowania zdalnego wywiera silny wpływ na rozwój radiolokacji, radiotelemetrii, łączności i automatyki. Kierowanie rakieta odbywa się z pewnej odległości /z ziemi lub samolotu/. Należy utrzymać ciągłą łączność z rakieta. Ważne jest, aby przesyłane sygnały nie ulegały zniekształceniom.

System kierowania ujmuje wiele z innych gałęzi nauk, jak z zagadnień przesyłania informacji, wzmacniania sygnałów elektrycznych, techniki fal bardzo wielkiej częstotliwości oraz maszyn przeliczających.

1.2. Pocisk kierowany

Pocisk kierowany - stanowi obiekt poruszający się w przestrzeni i zaopatrzony w automatyczne urządzenia wpływające na jego tor lotu. Urządzenia te mogą być w całości na pokładzie pocisku, bądź częściowo wchodzić w skład ogólnego systemu kierowania zdalnego.

Pociskami kierowanymi mogą być obiekty latające rodzaju samolot-pocisk startujący z wyrzutni lub ze zwykłego lotniska.

Pociskami kierowanymi mogą być obiekty poruszające się w przestrzeni po nadaniu im prędkości początkowej, na przykład po wystrzeleniu z działa.

Do kategorii pocisków kierowanych zaliczają się również bomby kierowane.

Wyżej wymienione rodzaje pocisków poruszają się w przestrzeni trójwymiarowej. Mogą być kierowane obiekty poruszające się na płaszczyźnie na przykład okręty, czołgi, samochody itp.

1.3. System kierowania

Urządzenia przeznaczone wyłącznie do zdalnego lub automatycznego kierowania lotem pocisku nazywają się systemami kierowania.

W systemie może istnieć szereg układów, a więc system tworzy zespół urządzeń, za pomocą których można zmieniać kierunek lotu pocisku.

Istnieje wiele systemów kierowania różniących się między sobą rodzajem urządzeń wykonujących poszczególne czynności w procesie kierowania. W niektórych systemach

kierowania wszystkie urządzenia znajdują się wewnątrz pocisku, na przykład w systemach samonaprowadzania oraz kierowania programowego.

Systemy, w których urządzenia służące do obserwacji i pomiaru położenia celu oraz urządzenia przeliczające znajdują się poza pociskami nazywamy systemami kierowania zdalnego. W skład systemu kierowania zdalnego wchodzi zwykle urządzenia pomiarowe położenia celu względem pocisku, urządzenia informujące o konieczności odchylenia elementu kierującego /steru/ lotem pocisku o przewidzianą wartość, urządzenia wpływające na stateczność pocisku oraz elementy wykonawcze.

1.4. Klasyfikacja raketowych pocisków kierowanych

Pociski kierowane można dzielić na grupy, według ~~roznych~~ zasad.

Pociski kierowane przeznaczone dla celów naukowych można podzielić na 3 grupy:

- pociski do badań warstw atmosfery;
- pociski do przenoszenia z ziemi sztucznego satelity na odpowiednią orbitę;
- pociski międzyplanetarne.

Raketowe pociski kierowane stosowane dla celów wojskowych dzielą się na:

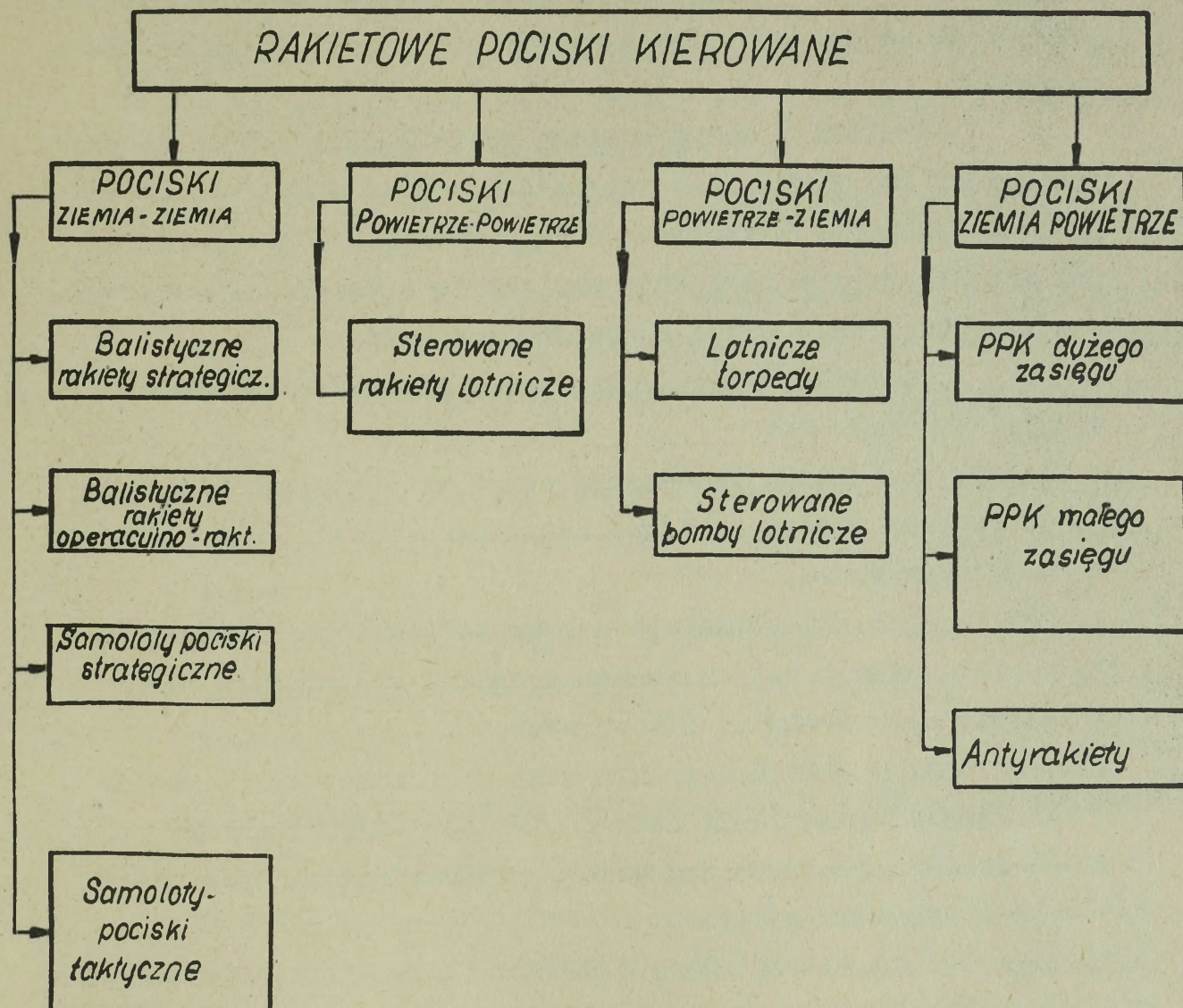
- pociski strategiczne,
- pociski taktyczne,
- pociski obrony przeciwlotniczej.

Są również podziały raketowych pocisków kierowanych ze względu na miejsce ich startu oraz na miejsce położenia obiektu, będącego ich celem. Ten podział jest na pociski:

- klasy "ziemia-ziemia",
- klasy "ziemia-powietrze",
- klasy "powietrze-ziemia",
- klasy "powietrze-powietrze".

Rozwiązanie w poszczególnych klasyfikacjach, raketowych pocisków kierowanych stosowanych dla celów wojskowych przedstawiono na rys.1.1.

Właściwości poszczególnych klas, w zależności od przeznaczenia, są inne i będą omówione poniżej.



Rys.1.1. Klasyfikacja rakietowych pocisków kierowanych.

1.4.1. Rakietowy pocisk kierowany klasy "ziemia-ziemia"

Pociski tej klasy startują z urządzeń znajdujących się na powierzchni ziemi lub wody i przeznaczone są do niszczenia obiektów na powierzchni ziemi lub wody. Cele mogą być różne, na przykład zgrupowanie wojsk, lotnisko, ośrodek przemysłowy itp.

Przy dowolnym systemie kierowania konieczne jest dokładne określenie położenia celu. Często położenie celu określa się na podstawie siatki współrzędnych geograficznych.

Pomiar położenia pocisku w małym zasięgu względem celu przeprowadza się przy pomocy urządzeń pracujących na zasadzie bezpośredniej widoczności /na przykład optycznej lub radiolokacyjnej/.

Pociski o dużym zasięgu /strategiczne/ i dokładnej informacji położenia celu naprowadza się na podstawie metody radionawigacyjnej stosowanej w lotnictwie. Dla zwiększenia dokładności trafienia w końcowym etapie lotu pocisku kierowanie zazwyczaj daje się z samonaprowadzaniem.

Przy kierowaniu pociskiem klasy "ziemia-ziemia" należy pamiętać, że:

1. Zasięg pocisku ma decydujący wpływ na system kierowania.
2. Im większy zasięg pocisku, tym większa musi być dokładność kierowania.
3. Przy małych odległościach pomiar położenia celu względem pocisku odbywa się za pomocą urządzeń pracujących na zasadzie bezpośredniej widoczności.
4. Przy dużych odległościach pomiar położenia celu względem pocisku odbywa się za pomocą układów geograficznych.
5. Pociski są kierowane za pomocą radionawigacji oraz nawigacji astronomicznej.
6. Często stosuje się różne sposoby kierowania w różnych fazach lotu pocisku.

1.4.2. Rakiety pocisk kierowany klasy "ziemia-powietrze"

Pociski kierowane klasy "ziemia-powietrze" startują z urządzeń umieszczonych na ziemi lub wodzie. Przeznaczone są głównie do niszczenia celów znajdujących się w powietrzu.

Cele powietrzne mogą mieć bardzo dużą prędkość i manewrowość oraz małą powierzchnię, co stwarza szczególnie ostre wymagania do urządzeń kierujących pociskami rakietyowymi.

W systemie obrony przeciwlotniczej działającej na duże odległości ważnym zagadnieniem jest dokładna obserwacja, identyfikacja i automatyczne śledzenie celów.

Odnosnie tej klasy pocisków należy pamiętać:

1. System kierowania pociskami do celów ruchomych powinien mieć układy przystosowane do wykrywania i pomiaru położenia celów mających dużą prędkość.

2. Dokładność układu kierowania powinna być duża ze względu na małe wymiary celów ruchomych.
3. Ponieważ obszar prawdopodobnego pojawienia się celu jest duży, układy kierowania muszą być przystosowane do wykrywania celów na całym obszarze.
4. Zasięg zespołu kierowania określany jest rodzajem stosowanych środków napadu.
5. Ze względu na duże prędkości celu, czas od momentu wykrycia do startu pocisku niszczącego cel, powinien być sprowadzony do minimum przez zastosowanie urządzeń automatycznych.
6. Cele mogą występować grupowo, dlatego też system kierowania powinien mieć zdolność wyodrębnienia celu pojedynczego.
7. W wypadku użycia pocisku kierowanego do obrony przed celem konieczne jest rozpoznanie nadlatującego celu /własny czy obcy/.

1.4.3. Rakietowy pocisk kierowany klasy "powietrze-ziemia"

Pociski tej klasy startują z obiektów znajdujących się w powietrzu. Przeznaczone są do niszczenia obiektów na powierzchni ziemi lub wody. Pociski te są kierowane z obiektów powietrznych, lecz nie koniecznie przez obiekty, które je wyrzuciły. Cele mogą być stałe lub ruchome o różnych wymiarach. Pociski tego typu to przeważnie bomby kierowane wyrzucone z odległości przekraczającej zasięg środków obrony przeciwlotniczej.

Przy tej klasie rakietowych pocisków kierowanych należy pamiętać, że:

1. Dokładność systemu kierowania zależy od jego przeznaczenia i rodzaju celu.
2. Zasięg kierowania ograniczony jest możliwościami urządzeń obserwacyjnych.
3. Układy obserwacyjne pracują w niedogodnych warunkach ze względu na trudności wyodrębnienia obiektu z otaczającego go tła.

1.4.4. Rakiety pocisk kierowany klasy "powietrze-powietrze"

Pociski tej klasy przeznaczone są do walki ze środkami napadu powietrznego. Właściwości tej klasy pocisków można ująć w punktach:

1. Cel powinien być wykryty na dużej odległości samolotu nosiciela pocisków raketowych klasy "powietrze-powietrze".
2. System kierowania powinien mieć układ do wykrywania i pomiaru celu względem pocisku.
3. Prędkość celu względem samolotu wyposażonego w wyrzutnie pocisków jest geometryczną sumą prędkości samolotu i celu. Prędkość ta może być bardzo duża, stąd czas potrzebny na uruchomienie wyrzutni /tzn. od momentu zaobserwowania celu do momentu wyrzucenia pocisku/ powinien być zmniejszony do minimum.
4. Cel może być grupowy - układ kierowania powinien nakierować pocisk na jeden wybrany cel.
5. System kierowania musi być odporny na przejęcie kierowania pociskiem przez samolot nieprzyjacielski.

2. SPOSOBY KIEROWANIA POCISKAMI RAKIETOWYMI

2.1. Podział sposobów kierowania pociskami raketowymi

Według konstrukcji i zasady wypracowania komend rozróżnia się następujące sposoby kierowania:

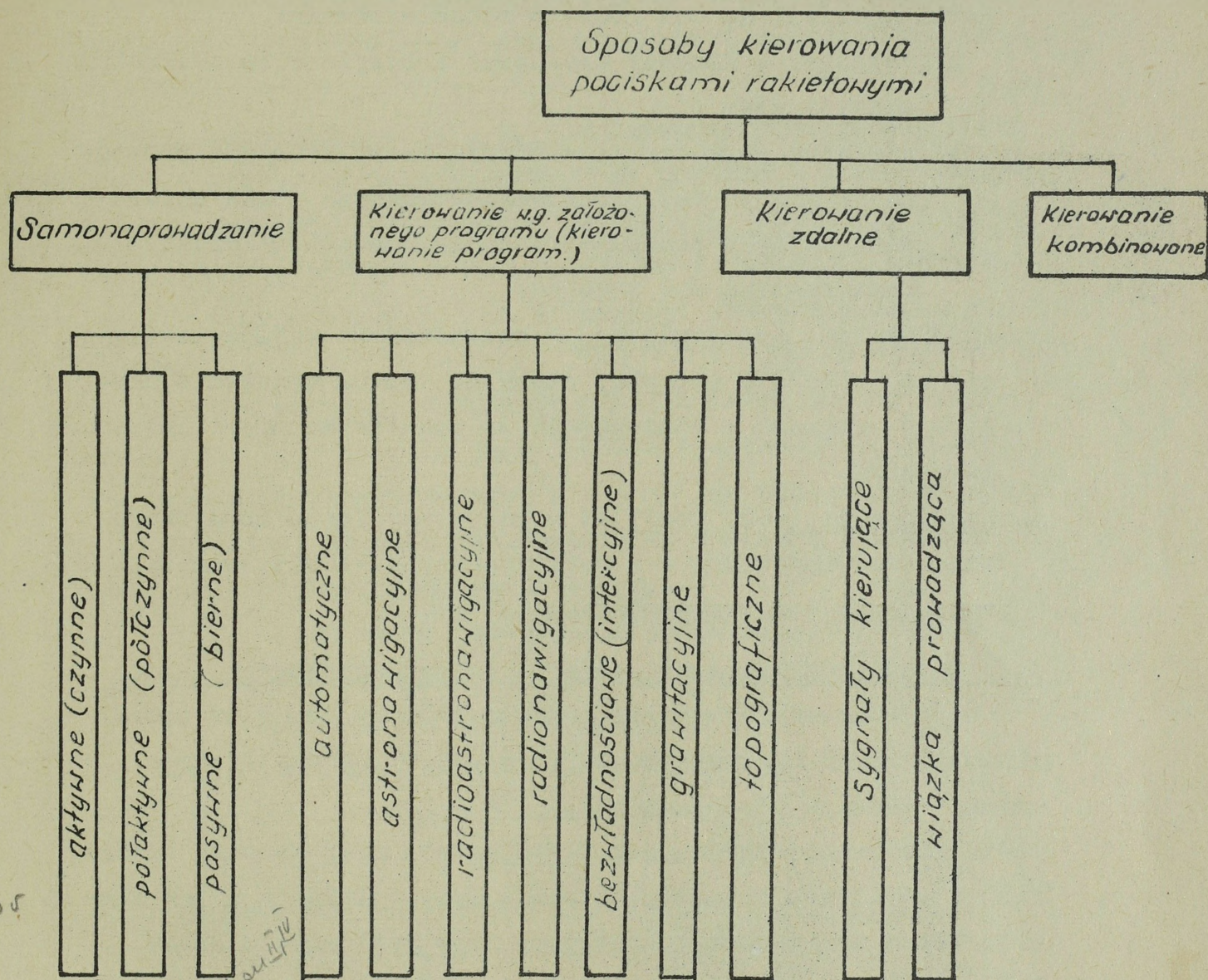
- samonaprowadzanie,
- telekierowanie,
- kombinowane,
- autonomiczne /programowe/.

W zależności od rozwiązań konstrukcyjnych niektóre z tych sposobów dzieli się na systemy /rys.2.1/. W zależności od rozmieszczenia urządzeń wchodzących w skład systemu /samonaprowadzanie/, bądź od sposobu pomiaru położenia pocisku w przestrzeni /kierowanie programowe/, wreszcie od sposobu wytwarzania i przekazywania sygnałów kierujących /kierowanie zdalne/.

Każdy system powinien zabezpieczyć następujące wykonanie zadań:

- 1/ przejście normalnego startu pocisku;

- 2/ pewne kierowanie pociskiem na głównym odcinku i szybkie wprowadzenie na potrzebny tor;
- 3/ nieprzerwane kierowanie pociskiem do spotkania z celem;
- 4/ wysoką dokładność naprowadzenia, szczególnie w punkcie spotkania;
- 5/ wybuch głowicy bojowej w odpowiednim momencie czasu.



Rys.2.1. Podział sposobów kierowania pociskami raketowymi.

Wyżej wymienione sposoby można scharakteryzować następująco:

1. Samonaprowadzanie - sygnały sterujące wytworzone są na pocisku na podstawie sygnałów otrzymanych od celu. Są trzy rodzaje samonaprowadzania:

- a/ aktywne - pocisk promieniuje energię w kierunku celu i wykorzystuje energię odbitą od celu /na pokładzie pocisku jest stacja radiolokacyjna/;

- b/ półaktywne - stacja będąca poza pociskiem /na ziemi lub na samolocie/ opromieniowuje cel, a pocisk korzysta z energii odbitej /na pokładzie pocisku jest tylko aparatura odbiorcza/.
 - c/ pasywne - pocisk wykorzystuje energię promieniowaną przez cel /podczerwień/.
2. Telekierowanie - sygnały sterujące otrzymywane są z zewnątrz pocisku. Są dwa rodzaje telekierowania:
- a/ dowódcze - komendy sterujące przesyłane są z ośrodka sterującego;
 - b/ w wiązce prowadzącej - stacja radiolokacyjna promieniuje wiązkę fal elektromagnetycznych stale skierowaną na cel; pocisk poruszając się po osi wiązki musi spotkać się z celem.
3. Autonomiczne /programowe/ - aparatura sterująca znajduje się na pokładzie pocisku, sterując według uprzednio ułożonego programu w odniesieniu do punktów na ziemi lub w kosmosie.
4. Kombinowane - na przykład w pierwszej fazie lotu sterowanie autonomiczne, a w dalszym etapie telekierowanie, w końcowym - samonaprowadzanie.

2.2. Sposoby samonaprowadzania pocisków raketowych

Samonaprowadzanie jest to taki system kierowania, w którym układ kierowania znajduje się w pocisku i samoczynnie kieruje pocisk na cel.

Układ kierowania znajdujący się w pocisku wykrywa cel, odróżnia go od innych obiektów, określa jego położenie i tak steruje lotem pocisku, aby nastąpiło jego spotkanie z celem.

Wykrycie celu oraz określenie jego położenia przez urządzenia znajdujące się w pocisku jest możliwe tylko wtedy, gdy cel ten ma pewne właściwości wyróżniające go od otaczającego tła, tzw. kontrastowość.

Znajdujące się w pocisku urządzenie odbiorcze układu kierowania, oprócz sygnałów odbitych od celu, odbiera również sygnały odbite od innych obiektów. Sygnały te mogą zakłócać normalną pracę układu kierowania, w wyniku czego pocisk może się skierować na niewłaściwy cel. Z tego powodu układy kierowania systemu samonaprowadzania powinny dokonać dokładnej

selekcji sygnałów odbieranych przez urządzenie odbiorcze pocisku, a na tej podstawie dokonywać selekcji celów.

W zależności od umiejscowienia urządzenia nadawczego w sposobie samonaprowadzania wyróżniamy systemy samonaprowadzania:

aktywny, półaktywny i pasywny.

2.2.1. System samonaprowadzania aktywnego

W systemie samonaprowadzania aktywnego urządzenia nadawcze i odbiorcze oraz inne urządzenia układu kierowania są umieszczone w pocisku.

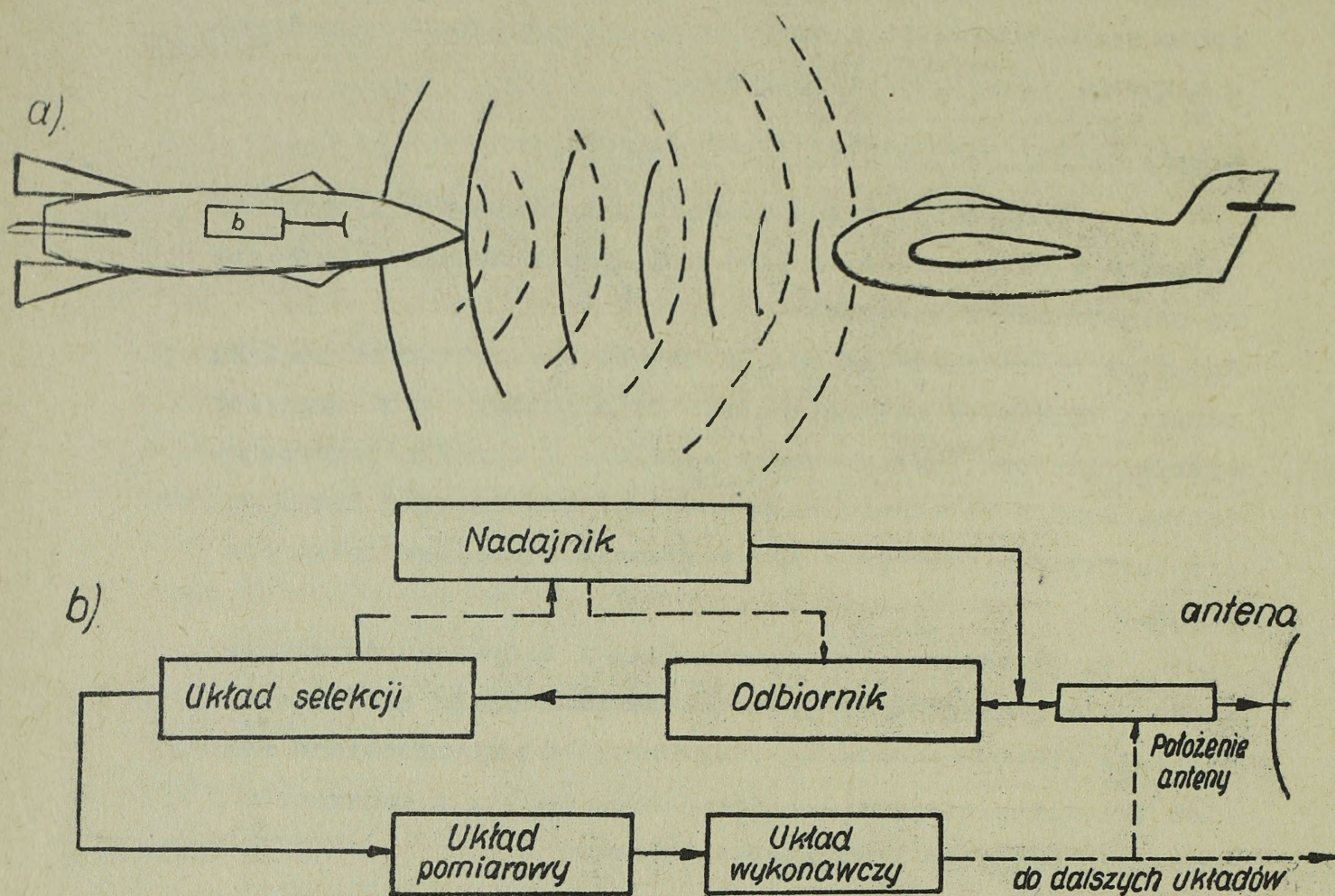
Nadajnik opromieniowuje cel, a urządzenie odbiorcze pocisku odbiera odbite od celu sygnały. Na podstawie tych sygnałów wykrywa się cel, przeprowadza selekcję i określa jego położenie. Dane o położeniu celu powodują powstawanie sygnałów przekazywanych następnie na urządzenia sterujące lotem pocisku.

W układach samonaprowadzania aktywnego do wykrywania celu i określania jego położenia stosuje się przeważnie fale elektromagnetyczne, ale mogą być wykorzystane również świetlne, cieplne lub dźwiękowe. Pocisk z samonaprowadzaniem aktywnym jest autonomiczny.

Układ samonaprowadzania aktywnego przedstawia rys.2.2.

Głównymi zespołami omawianego układu kierowania są: zespół nadawczy, antenowy, odbiorczy, selekcji sygnałów, pomiarowy oraz sterujący lotem pocisku.

Zasada pracy układu jest następująca. Zespół nadajnika wytwarza odpowiednio zmodulowaną energię wysokiej częstotliwości, która jest wypromieniowana przez zespół antenowy. Przy impulsowej pracy nadajnika antena ta odgrywa jednocześnie rolę anteny nadawczej i odbiorczej. Układ antenowy przełącza się za pomocą przełącznika "N-O" /nadawanie-odbiór/. Zespół odbiorczy wzmacnia przychodzące sygnały, przekształca je i podaje na zespół selekcji, który podaje wybrany sygnał na zespół pomiarowy. Sygnał wytwarzany w zespole pomiarowym podaje się na zespół sterujący lotem pocisku. Zespół sterujący lotem pocisku zgodnie z sygnałami kieruje bez przerwy pocisk na cel.



Rys.2.2. Układ samonaprowadzania aktywnego.

Moc nadajnika jest nieduża ze względu na ograniczony ciężar i wymiary.

Zasięg wykrycia celu można określić równaniem na zasięg radiolokacyjny

$$R_{mx} = \sqrt[4]{\frac{P_n \cdot G \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{64 \pi^3 \text{Pod}_{b \min}}} \quad /2.1/$$

gdzie: R_{mx} - maksymalny zasięg wykrycia

P_n - moc wypromieniowana przez nadajnik

Pod_{\min} - minimalna moc na wejście odbiornika niezbędna do wykrycia celu

G - zysk kierunkowy anteny

σ - powierzchnia skuteczna celu

λ - długość fali.

Zysk kierunkowy anteny można określić ze wzoru:

$$G = K \frac{A}{\lambda^2} \quad /2.2/$$

gdzie: A - powierzchnia anteny

K - współczynnik zależny od kształtu i rodzaju anteny.

Dając /2.2/ do /2.1/ otrzymamy:

$$R_{mx} = \sqrt[4]{\frac{P_n G \cdot K^2 A^2}{\text{Podb.} \cdot 64 \pi^3 \lambda^2}} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt[4]{\frac{P_n \cdot G K^2 A^2}{\text{Podb.} \cdot 64 \pi^3}} \quad /2.3/$$

Z równania /2.3/ wynika, że przy stałych wymiarach anteny i stałych mocach, zasięg wykrycia rośnie wraz ze zmniejszeniem długości fali. Zwiększenie zasięgu przez zwiększenie mocy /P_n/ jest ograniczone wymiarami i ciężarem nadajnika. Zwiększenie zasięgu mocą nadajnika jest bardzo nieznaczne, na przykład dwukrotne zwiększenie zasięgu można osiągnąć zwiększeniem mocy aż 16 razy.

Moc odbierana /P_{odb}/, którą należy dostarczyć na wejście układu dla wykrycia celu, ograniczona jest szumami własnymi. Czym moc odbieranego sygnału jest mniejsza, tym zasięg jest większy, lecz moc odbierana jest ograniczona odpornością na zakłócenia. W równaniu /2.3/ nie uwzględniono tłumienia fal w atmosferze, które są dość znaczne.

Wady systemu:

1. Mały zasięg działania, chociaż większy niż przy pasywnym. Dla spotykanych układów wynosi 1-5 km.
2. Słaba odporność na zakłócenia.

Zalety systemu:

1. Mała zależność od warunków meteorologicznych.
2. Całkowita autonomiczność systemu.

Zastosowanie:

System samonaprowadzania aktywnego jest zastosowany w pociskach lotniczych typu Sparrow i Eagle.

2.2.2. System samonaprowadzania półaktywnego

W systemie samonaprowadzania półaktywnego urządzenie nadawcze znajduje się poza pociskiem, przeważnie tam, gdzie jest umieszczona wyrzutnia pocisków. Wewnątrz pocisku

znajdują się tylko urządzenia: odbiorcze, selekcji sygnałów, pomiarowe oraz sterujące lotem pocisku. Urządzenie nadawcze promieniuje energię wysokiej częstotliwości, która opromieniowuje cel. Część odbitej od celu energii jest odbierana przez urządzenie odbiorcze pocisku i na tej podstawie wykrywa się cel, przeprowadza selekcję i określa jego położenie. Następnie dane o położeniu celu są podawane do urządzeń sterujących lotem pocisku. Sygnał odbierany może być falami różnego rodzaju, jak w przypadku systemu aktywnego.

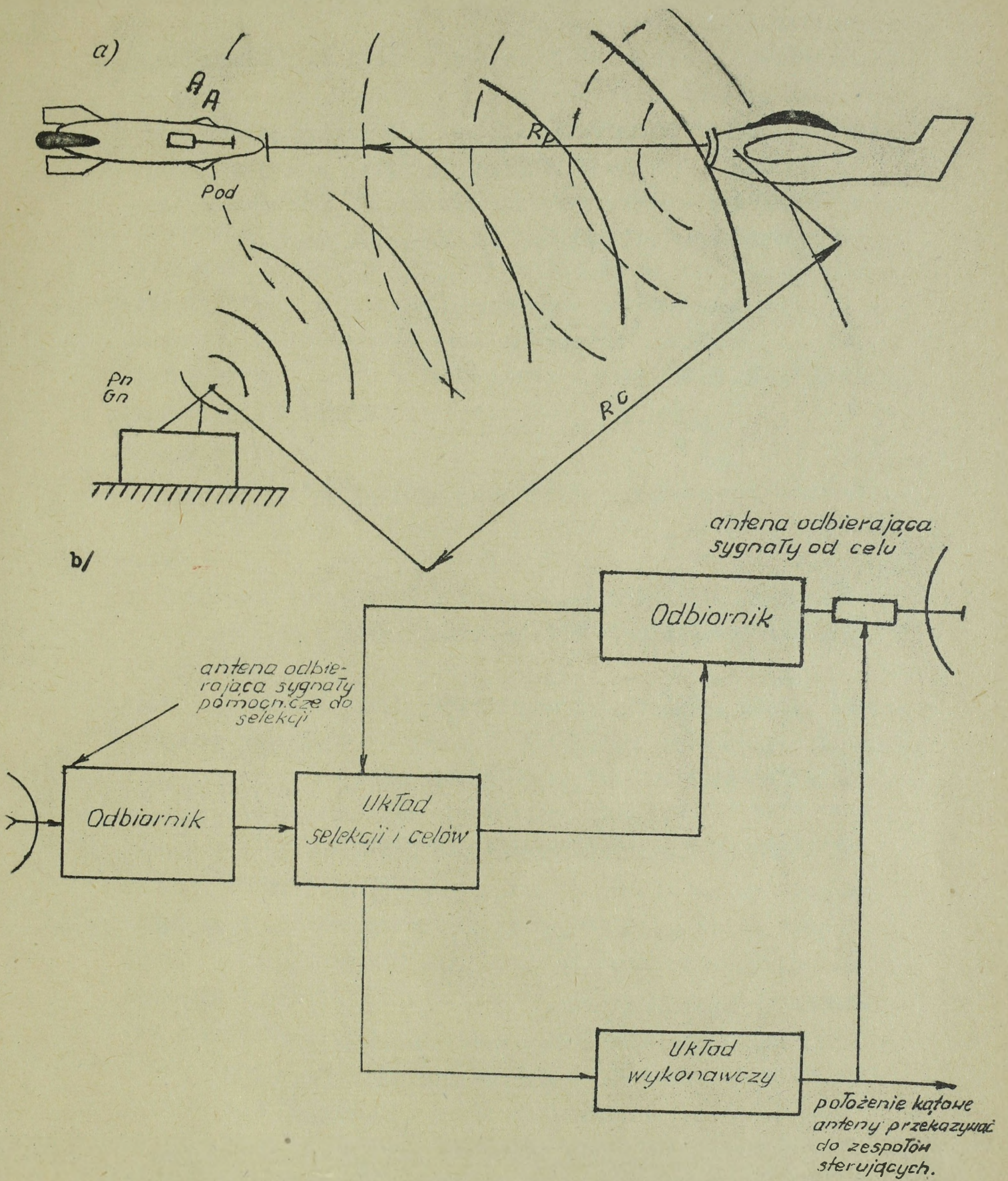
Odmianą półaktywnego samonaprowadzania może być układ, gdzie nadajnik opromieniowujący znajduje się na pocisku, a odbiornik energii odbitej i przelicznik poza pociskiem, wtedy komendy na pocisk podaje się oddzielną linią radiową.

Taki układ kierowania nazywa się kwaziaktywnym samonaprowadzaniem, które jest rzadko wykorzystywane i nie będzie tu omawiane.

Układ samonaprowadzania półaktywnego przedstawiono na rys.2.3.

Zasada pracy omawianego układu jest następująca. Zespół anten odbiorczych odbiera sygnały odbite od celu, które wzmacnione i przekształcone podaje na zespół selekcji sygnałów celu. Po przejściu sygnałów przez zespół selekcji są one przekazywane na zespół sterujący lotem pocisku. Zespół sterujący lotem pocisku kieruje bez przerwy pocisk na cel.

Antena /5/ skierowana jest do tyłu w kierunku urządzenia nadawczego. Odbiera sygnały potrzebne do układu selekcji celów rozmieszczonych w odległościach. Do przesyłania tych sygnałów można wykorzystywać nadajniki opromieniowujące cel.



Rys.2.3. Układ samonaprowadzania półaktywnego

Dla wyprowadzenia równania na zasięg dla tego układu przyjmiemy uproszczenia:

- 1/ energia z nadajnika do celu i od celu do pocisku przechodzi po liniach prostych;
- 2/ na drodze rozchodzenia się fal nie występują obiekty;
- 3/ ośrodek, w którym rozchodzą się fale, jest jednorodny;
- 4/ tłumienie w atmosferze nie występuje. W otoczeniu celu gęstość mocy pochodzącej od nadajnika wynosi:

$$\frac{P_n}{4 \pi R_c^2} \cdot G_n \quad /2.4/$$

Moc odbita w kierunku pocisku wynosi

$$\frac{P_n}{4 \pi R_c^2} \cdot G_n \cdot \sigma \quad /2.5/$$

W otoczeniu pocisku gęstość mocy odbitej od celu wynosi:

$$\frac{P_n}{4 \pi R_c^2} \cdot G_n \cdot \sigma \cdot \frac{1}{4 \pi R_p^2} \quad /2.6/$$

Moc odebrana przez antenę odbiorczą wynosi:

$$P_{od} = \frac{P_n \cdot G_n \cdot A_p}{4 \pi R_c^2 \cdot 4 \pi R_p^2} \quad /2.7/$$

Podstawiając zamiast P_{odb} minimalną moc - $P_{odb.min}$, przy której układ jeszcze jest w stanie wykryć cel, otrzymamy równanie zasięgu samonaprowadzania półaktywnego:

$$R_{p,max} = \frac{1}{4 \pi R_c} \sqrt{\frac{P_n}{P_{odb.min}} \cdot G_n \cdot A_p \cdot \sigma} \quad /2.8/$$

gdzie: P_n - moc nadajnika

G_n - zysk kierunkowy anteny nadawczej

R_c - odległość między nadajnikiem i celem

R_p - odległość między celem i pociskiem

σ - powierzchnia skuteczna celu charakteryzująca wartość mocy odbitej w kierunku pocisku

A_p - powierzchnia skuteczna anteny odbiorczej

P_{odb} - moc odebrana przez anteny odbiorcze.

Ponieważ $G_p = K \frac{A_p}{\lambda^2}$, to $A_p = \frac{G_p \cdot \lambda^2}{K}$ /2.9/

po wstawieniu do wzoru /2.8/ wartości /2.9/ to otrzymamy:

$$R_{p \max} = \frac{\lambda}{4\pi R_c} \sqrt{\frac{P_n}{P_{\text{odb. min}}} \cdot \frac{G_n \cdot G_p}{K}} \cdot 5 \quad /2.10/$$

W systemie samonaprowadzania aktywnego, głównym ograniczeniem zasięgu były wymiary anteny a z tym związany jest zysk kierunkowy oraz moc nadajnika ze względu na ograniczony ciężar i wymiary. W systemie samonaprowadzania półaktywnego moc nadajnika może być znacznie większa, jak również i wymiary anteny. Zasięg przy tym systemie jest znacznie większy niż w poprzednim systemie.

Zalety systemu:

1. Możliwość kontroli naprowadzania pocisku na wybrany cel.
2. Większy zasięg działania w porównaniu do systemu aktywnego.
3. Możliwość zastosowania kombinowanego sposobu kierowania szczególnie przy pociskach klasy "ziemia-powietrze".

Zastosowanie:

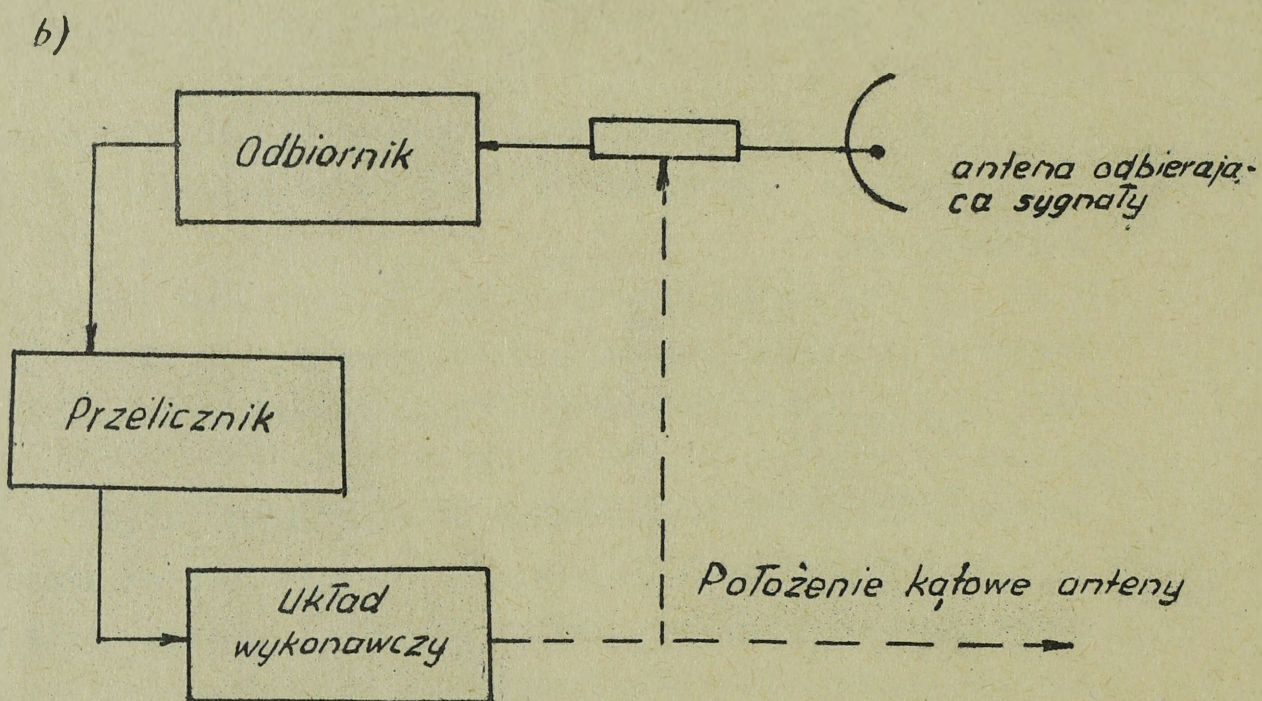
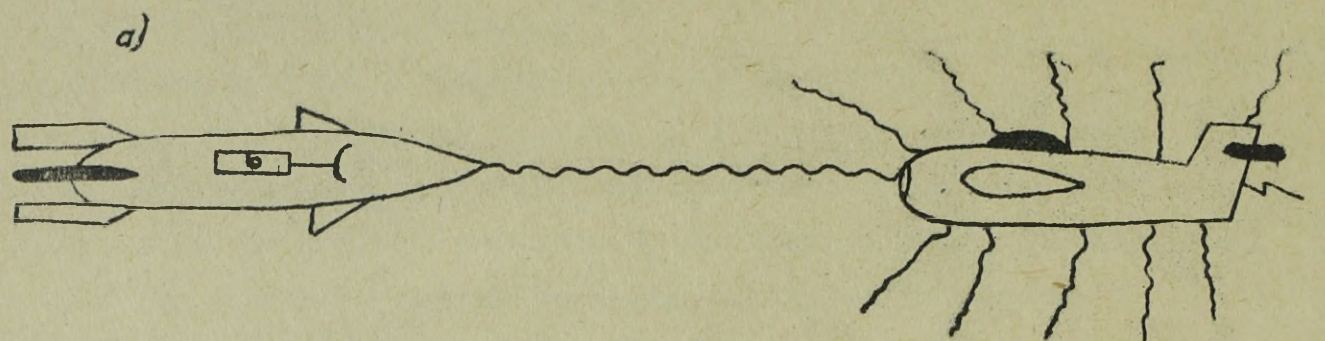
System samonaprowadzania półaktywnego został zastosowany w pociskach kierowanych lotniczych typu Falcon I, III, IX i X /USA/; Sparrow II /USA/; Velvet Glove /Kanada/.

2.2.3. System samonaprowadzania pasywnego /biernego/

System samonaprowadzania biernego nie ma urządzeń nadawczych ani wewnątrz, ani na zewnątrz pocisku. Rolę nadajnika odgrywa tu sam cel, który za pomocą promieniowania własnego wyróżnia się z otoczenia. Przeważnie wykorzystuje się promieniowanie przez cel fal radiowych podczerwonych i świetlnych. Urządzenie odbiorcze znajdujące się w pocisku odbiera promieniowanie własne celu. Na tej podstawie cel zostaje wykryty i określone jego położenie. Z urządzeń pomiarowych sygnał jest podawany na urządzenia sterujące lotem pocisku.

Układ systemu naprowadzania pasywnego przedstawiono na rys.2.4. Układ ten składa się z anteny odbierającej energię wypromieniowaną przez cel, odbiornika, przelicznika i selektora celów według ich szczególnych właściwości na

podstawie przychodzących sygnałów i ich zmian w czasie oraz z napędów anteny. Istnieje wiele odmian w układach samonaprowadzania pasywnego ze względu na zakres częstotliwości odbieranego sygnału.



Rys.2.4. Układ samonaprowadzania pasywnego.

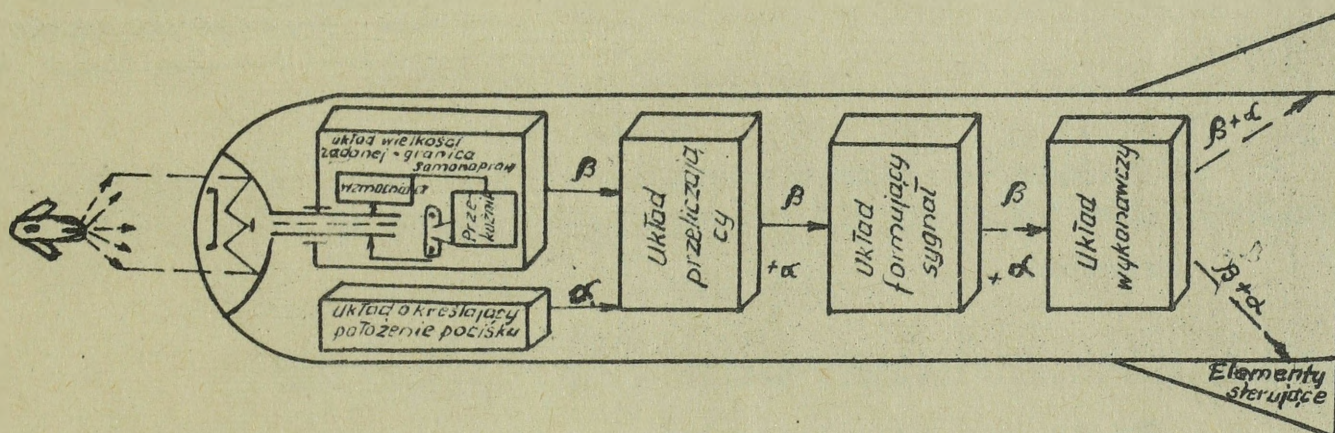
Za pomocą tego systemu /na podczerwień/ kierowane są pociski lotnicze typu Sidevinder /USA/, Falcon II i IV /USA/ i Firestreak /Anglia/ oraz pociski przeciwlotnicze typu Red-Eye /USA/.

Za pomocą samonaprowadzania pasywnego z wykorzystaniem fal akustycznych kierowana jest torpeda raketowa RAT /USA/.
 Za pomocą samonaprowadzania pasywnego optycznego - kilka wzorów francuskich pocisków lotniczych typu Matra.

2.2.4. Samonaprowadzanie pocisków raketowych na podczerwień

Samonaprowadzaniem na podczerwień nazywamy systemy samonaprowadzania pasywnego, w których wykorzystuje się promieniowanie podczerwone celów.

Warunkiem samonaprowadzania jest wykrycie i określenie kierunku, w jakim znajduje się cel. Urządzenie określające położenie celu nazwiemy głowicą samonaprowadzania. Głowica samonaprowadzania ma za zadanie określić kierunek położenia celu oraz ustawić pocisk w kierunku na cel. Aby to zadanie mogło być spełnione obok głowicy, która podaje wielkość konieczną do naprowadzenia pocisku na cel, muszą istnieć jeszcze inne układy /rys.2.5/.



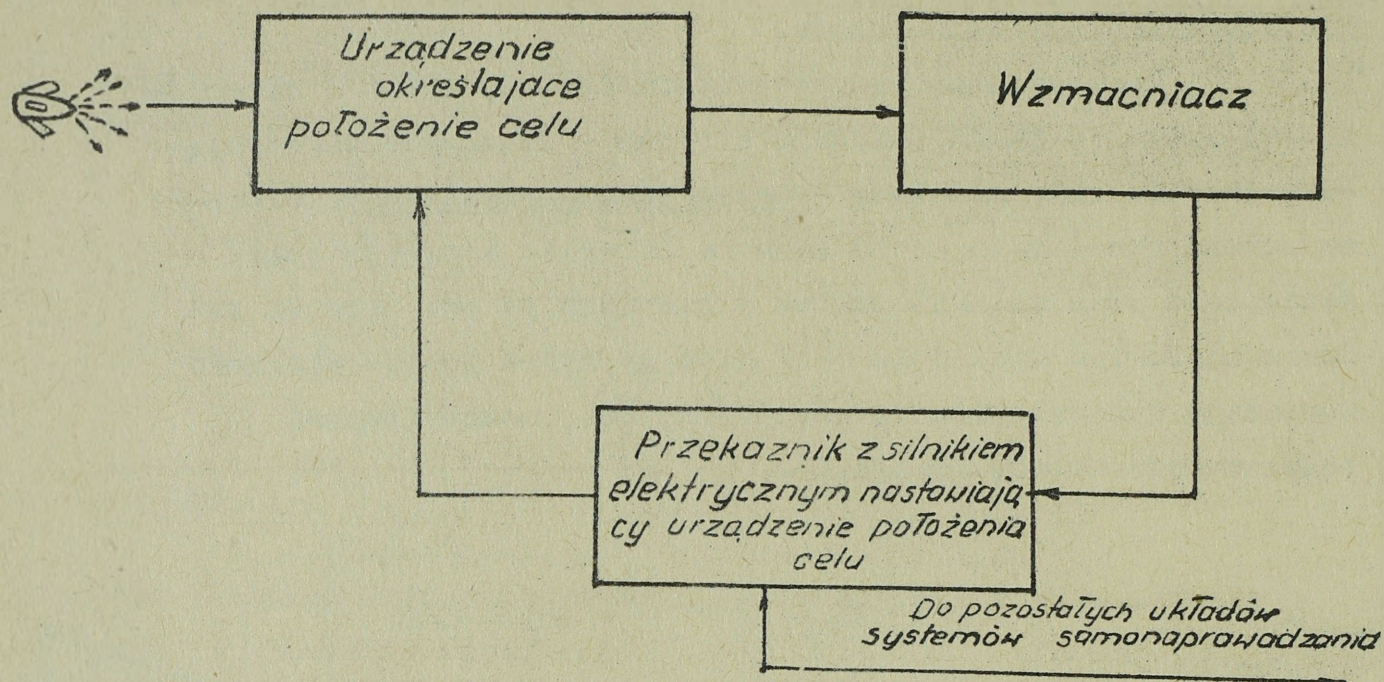
Rys.2.5. Układ blokowy systemu samonaprowadzania na podczerwień.

Pierwszym z nich będzie układ określający własne położenie pocisku. Te dwie wielkości - położenie własne pocisku i położenie celu, przychodzą do układu przeliczającego, który na tej podstawie określa zmianę kierunku lotu pocisku.

Z przelicznika sygnał przychodzi do układów formujących go, które przekazują odpowiednie rozkazy do układu wykonawczego, zaopatrzonego w serwomotory, przekładnie pneumatyczne lub hydrauliczne itp.

Układ wykonawczy porusza elementami sterującymi pociskiem.

Na rys. 2.6. pokazano schemat blokowy typowej głowicy samonaprowadzania. Składa się ona z urządzenia określającego położenie celu, wzmacniacza impulsu i przekaźnika mechanicznego, który nieprzerwanie, zgodnie z tymi impulsami, nastawia urządzenie wykrywające na oś cel-pocisk.



Rys.2.6. Schemat blokowy głowicy samonaprowadzania na podczerwień.

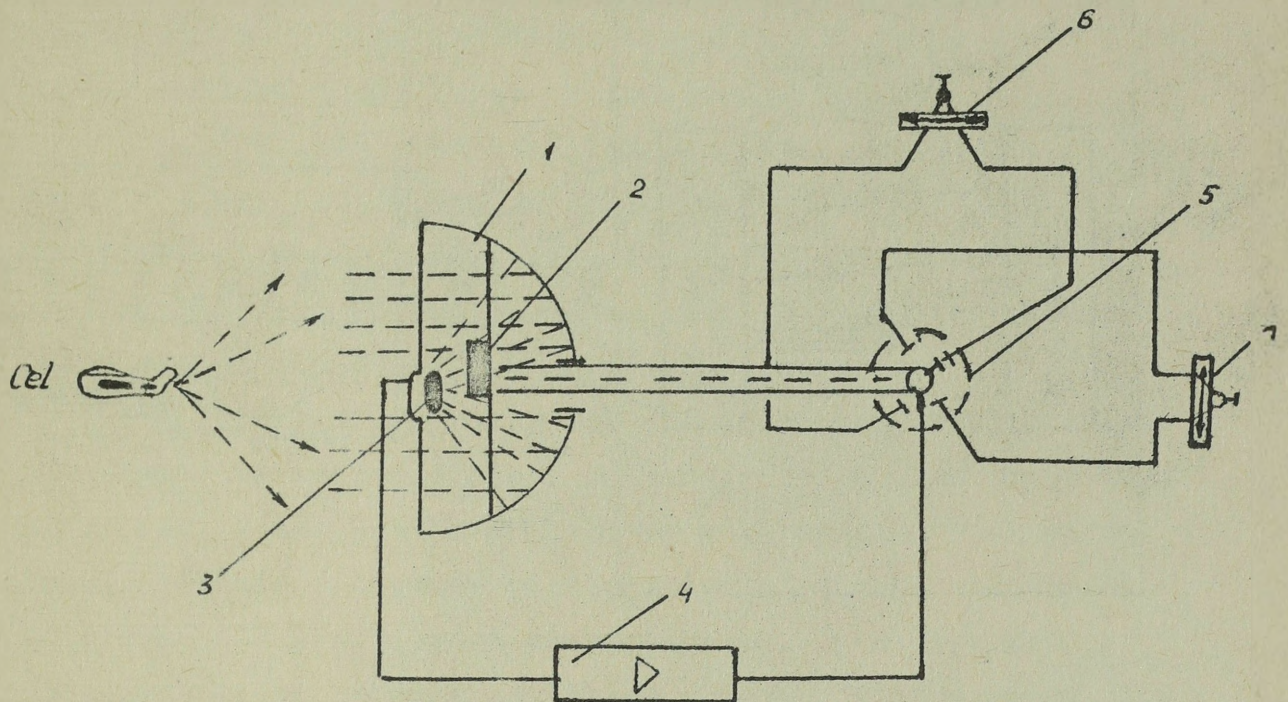
2.2.4.a. Budowa głowicy samonaprowadzania na podczerwień

Podstawowym warunkiem właściwej pracy systemu samonaprowadzania jest prawidłowe określenie kąta zawartego między kierunkiem lotu pocisku a kierunkiem na cel /linią wizowania/.

Kierunek lotu pocisku jest sam przez się określony. Natomiast kierunek na cel, czyli linię wizowania określa się za pomocą głowicy samonaprowadzania.

Klasycznym przykładem głowicy samonaprowadzania jest głowica typu Hamburg, której szkic podano na rys.2.7. Działanie jej przedstawia się następująco: W ognisku zwierciadła parabolicznego znajduje się detektor fotoelektryczny podczerwieni. Między detektorem a zwierciadłem znajduje się tarcza koordynująca, która zamocowana jest na wale obrotowym, zakończonym z drugiej strony rotorem konutatora.

Rotor ten za jednym obrotem powoduje czterokrotne połączenie przekaźników, które poprzez układ kierowania określają położenie sterów poziomych i pionowych.

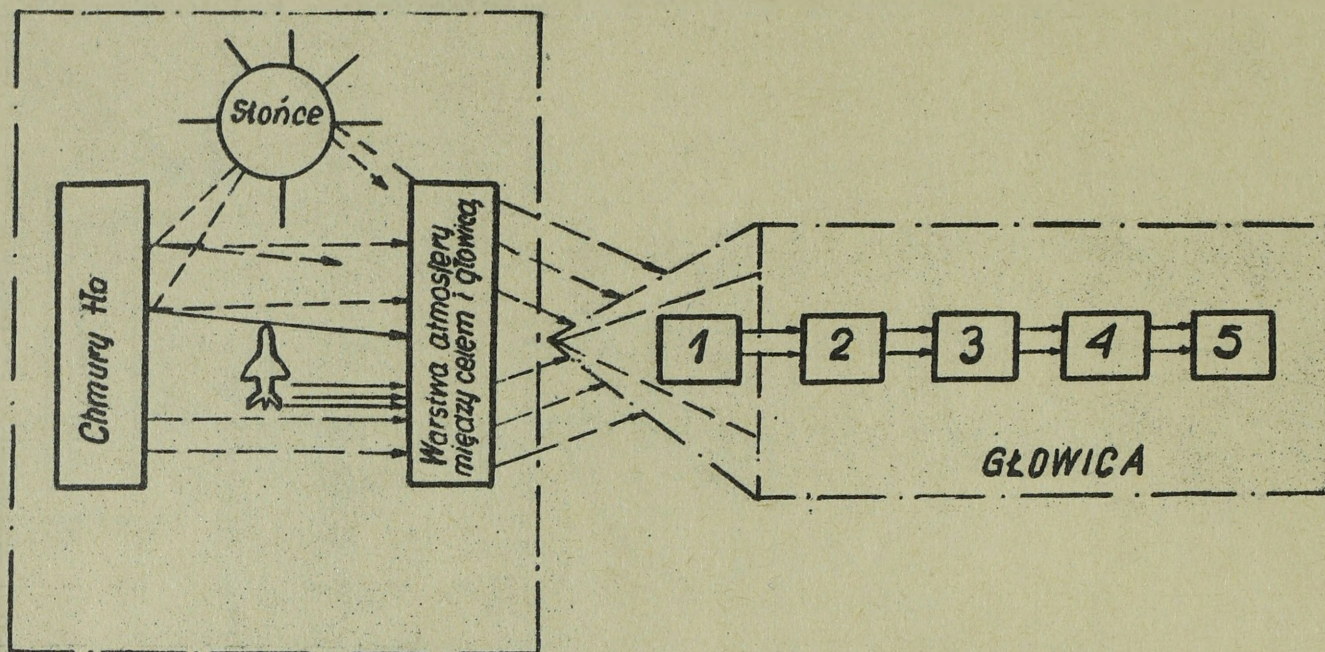


Rys.2.7. Szkic głowicy samonaprowadzania na podczerwień typu Hamburg, gdzie:

- 1- zwierciadło paraboliczne
- 2 - tarcza koordynująca
- 3 - detektor
- 4 - wzmacniacz prądu fali elektr.
- 5 - komutator
- 6 - przekaźnik sterów poziomych
- 7 - przekaźnik sterów pionowych.

Zagadnienie związane z budową głowic samonaprowadzania z punktu widzenia techniki podczerwieni, można podzielić na dwie grupy: zagadnienia zewnętrzne i zagadnienia wewnętrzne. Do zagadnień zewnętrznych należy określenie rodzaju promieniowania do celu i innych źródeł zakłócających. Natomiast do zagadnień wewnętrznych - wydzielenie przez układy samonaprowadzania promieniowania od celu i określenie kierunku, w jakim znajduje się ten cel, czyli określenie linii wizowania.

Zagadnienie powyższe rozpatrzmy na podstawie schematu głowicy samonaprowadzania na podczerwień pokazanym na rys.2.8.



Rys.2.8. Schemat blokowy głowicy samonaprowadzania na podczerwień, gdzie:

- 1 - osłona aerodynamiczna
- 2 - filtr
- 3 - zwierciadko paraboliczne z układem soczewek
- 4 - siatka modulująca z układem detektorów i komutatorów
- 5 - układ serwo mechanizmu nakierowujący głowicę na cel.

Na głowicę samonaprowadzania pada promieniowanie podczerwone wysyłane z różnych źródeł: promieniowanie emitowane przez cel, promieniowanie emitowane przez głowicę /w dzień/, promieniowanie odbite od księżyca, promieniowanie rozproszone, czyli tzw. promieniowanie tła oraz promieniowanie emitowane przez chmury lub od nich odbite.

Dla systemu samonaprowadzania na podczerwień ważne jest oczywiście tylko promieniowanie emitowane przez cel. Pozostałe rodzaje promieniowania układ powinien wyeliminować. Jest to podstawowym, a jednocześnie bardzo trudnym zadaniem. Sprawę komplikuje jeszcze to, że promienie idące

od celu oraz od innych źródeł są różnie rozproszone w atmosferze. Obraz rozkładu promieniowania w przestrzeni zależy ponadto od pory doby i roku, wysokości oraz kierunku obserwacji. W godzinach nocnych promieniowanie nieba zależy tylko od promieniowania atmosfery, podczas gdy w dzień zawsze zawiera rozproszone promieniowanie słońca.

Jednakże mimo wielkich trudności udało się zrealizować systemy urządzeń pozwalające na zmniejszenie do minimum promieniowania podczerwonego odbieranego od źródeł ubocznych, czyli inaczej mówiąc, poziomu szumów promieniowania w stosunku do sygnału właściwego od celu.

Promieniowanie od celu i chmur oraz promieniowanie słoneczne bezpośrednio i pośrednio przechodzą przez atmosferę, która jest ośrodkiem pochłaniającym selektywnie. Promieniowanie emitowane przez rozgrzane części silnika samolotu po przejściu przez grubą warstwę atmosfery, znajdującą się między celem a pociskiem, dojdzie do detektora znacznie osłabione i tylko w pewnych zakresach długości fal. Ogranicza to zakres widmowy pracy głowicy samonaprowadzania. Aby zmniejszyć do minimum skutki ograniczenia widmowego stosuje się detektory podczerwieni o odpowiedniej charakterystyce widmowej. Detektory te powinny być najbardziej czułe w zakresie, gdzie promieniowanie emitowane przez cel jest w małym stopniu pochłaniane przez atmosferę.

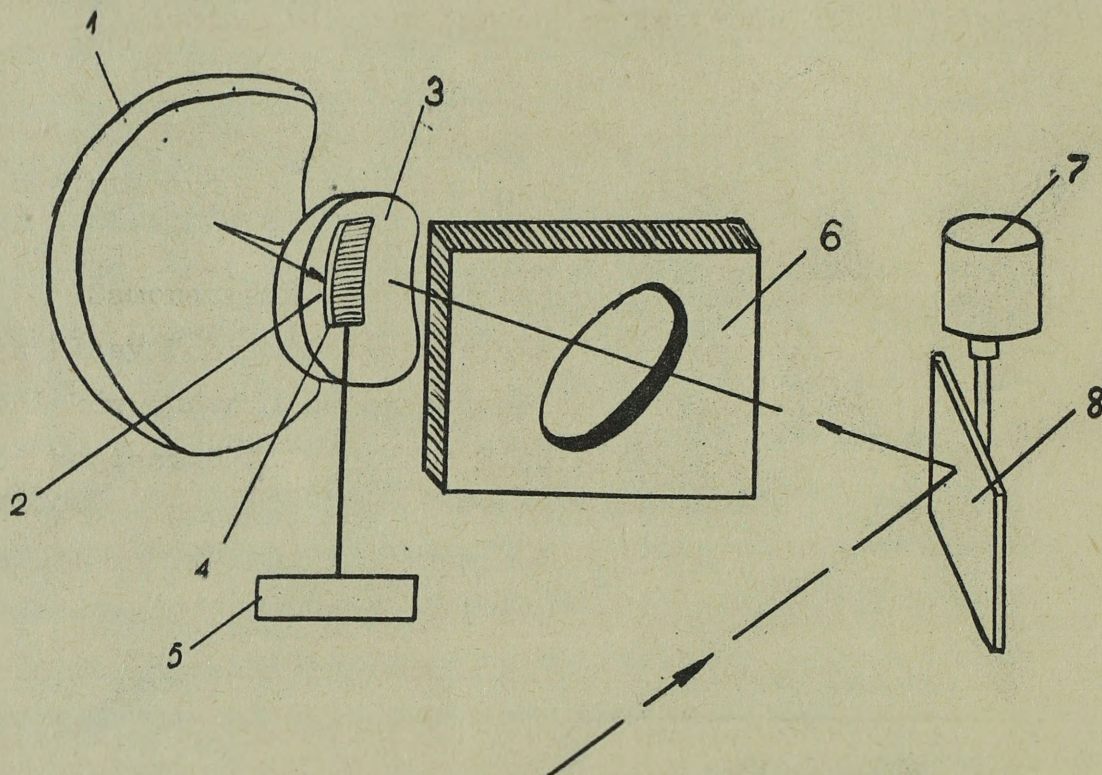
Tak po krótkce wygląda odbiór fal podczerwonych odbitych od celu.

W skrócie zostanie omówiona budowa samej głowicy. Głowica samonaprowadzania na podczerwień znajduje się w przedniej części pocisku i jest osłonięta. Osłony są najczęściej w kształcie półkuli, stożka lub ostroskupa. Musi ona przepuszczać promieniowanie z jak najmniejszym tłumieniem oraz nie może dowolnie zmieniać kierunku biegu promieni.

Po przejściu przez osłonę aerodynamiczną promieniowanie przechodzi przez filtr odcinający część krótkofalową widma i następnie pada na zwierciadło parabolistyczne, które skupia je na siatce modulującej /rys.2.9/. Jednak wcześniej promieniowanie przechodzi przez układ optyczny eliminujący aberację chromatyczną zwierciadła parabolicznego.

W ognisku zwierciadła, poza siatką znajduje się detektor podczerwieni względnie cały ich zespół. Może to być oddzielny detektor, szereg detektorów z oddzielnymi wzmacniaczami, szereg detektorów z jednym wzmacniaczem, mozaika detektorów lub też widikon.

Impuls z detektora przechodzi do układu kumulacyjnego a stamtąd do wzmacniaczy i serwomechanizmu, który ustawia oś głowicy w kierunku na cel zgodnie z sygnałami otrzymanymi z układu siatka-detektor. Nie we wszystkich układach samonaprowadzania na podczerwień cała głowica ustawia się w kierunku na cel. W niektórych głowicach, np. w nowoczesnej głowicy Codes, ustawia się na cel tylko płaskie zwierciadło napędzane silnikiem.



Rys. 2.9. Schemat głowicy samonaprowadzania typu Codes.

- 1 - zwierciadło paraboliczne
- 2 - siatka modulująca
- 3 - soczewka korygująca aberrację zwierciadła
- 4 - układ detektorów
- 5 - komutator
- 6 - filtr
- 7 - silnik
- 8 - zwierciadło ustawiające działanie głowicy na cel.

Działanie samej siatki modulującej jest następujące. Promieniowanie biegnące od celu zostaje przez zwierciadło skupione na siatce modulującej, która znajduje się w płaszczyźnie ogniskowej. Za siatką tą znajduje się układ detektorów. Jeżeli siatka będzie wykonywała pewne ruchy, to jednocześnie będzie ona modulowała promieniowanie, ale tylko takich obiektów, których obraz jest mniejszy od elementarnego otworu /oczka/ siatki. Taki mały obraz na siatce mogą dać tylko nieduże obiekty. Duże obiekty, takie jak np. chmury, dają na siatce obraz większy, zajmujący dużą ilość oczek w siatce, a więc promieniowanie padające na detektor będzie miało wartość stałą, gdyż siatka nie zmoduluje tego promieniowania, ponieważ liczba oczek w siatce zajętych przez obraz obiektu zakłócającego przy poruszaniu siatki będzie jednakowa.

Z powyższych rozważań wynika, że na układ detektorów pada stały strumień promieniowania od źródeł zakłócających i strumień zmodulowany od celu. Dzięki temu, że zakłócenia od źródeł ubocznych /zakłócających/ mają stały poziom, możemy je wyeliminować na drodze elektrycznej, stosując przełożenie transformatora na wyjściu z detektora.

Kierunek znajdowania się celu głowica określa z położenia tego miejsca na siatce, na które pada promieniowanie od celu, a tym samym z ściśle odpowiadającego mu miejsca w układzie detektorów.

Współczesne głowice samonaprowadzania na podczerwień powinny być zdolne do wykrywania takich obiektów jak samolot czy rakieta. Odległość wykrycia celu przez głowice samonaprowadzające waha się w granicach od 10 do 20 km. Odległość ta zależy nie od bezwzględnej czułości głowicy, ale od stosunku wielkości sygnału i szumu. Przez sygnał należy rozumieć promieniowanie przychodzące od celu, przez szum - promieniowanie padające na detektor od ubocznych źródeł zakłócających, jak również szumy elementów elektronicznych głowicy samonaprowadzania.

2.2.4.b. Zastosowanie samonaprowadzania na podczerwień

Samonaprowadzanie na podczerwień zaczęto stosować w pociskach w czasie II wojny światowej. Pierwsi byli Niemcy, którzy zastosowali głowicę samonaprowadzającą na podczerwień w pocisku przeciwlotniczym Schmetterling, który nie został wykorzystany w boju.

Po wojnie prace na ten temat prowadziły takie państwa, jak Związek Radziecki, Stany Zjednoczone, Wielka Brytania, Francja, Włochy i Szwajcaria.

Pociski samonaprowadzane na podczerwień są obecnie bardzo rozpowszechnione i są na uzbrojeniu w szeregu państwach.

Pociski z takim naprowadzaniem służą do zwalczania załogowych i bezzałogowych aparatów latających oraz rakiet balistycznych, w wypadku zwalczania tych ostatnich, pociski zwalczające je nazwano przeciwrakietami lub antyrakietami.

Samonaprowadzanie najczęściej stosuje się w pociskach klasy "powietrze-powietrze". Zastosowanie w tej klasie pocisków systemu samonaprowadzania zwalnia załogę samolotu od konieczności zdalnego kierowania pociskami. Ważną rolę w tych systemach spełnia samonaprowadzanie pocisków lotniczych na podczerwień.

Głowice pocisków samonaprowadzania na podczerwień pracują przez cały czas lotu samolotu, przeszukując określony obszar przestrzeni. W razie wykrycia źródła promieniowania podczerwonego pilot jest automatycznie o tym powiadomiony sygnałem świetlnym lub dźwiękowym. Wówczas pilot naciska na przycisk i odpala pocisk, który samoczynnie naprowadza się na cel.

Pociski rakietowe klasy "powietrze-powietrze" samonaprowadzone na podczerwień zostały skonstruowane po II wojnie światowej. Obecnie znajdują się na uzbrojeniu takich państw jak: Związek Radziecki, Stany Zjednoczone - pocisk Sidewinder i Falcon /pewne wersje/, Wielka Brytania - pocisk Firestreak, Francja - pocisk Matra M-510 i Włochy - pocisk C-7.

Samonaprowadzanie na podczerwień stosuje się również w pociskach klasy "ziemia-ziemia", lecz tylko na końcowym

odcinku toru lotu, szczególnie w pociskach małego zasięgu /przeciwpancerne/.

W przyszłości samonaprowadzanie na podczerwień może być zastosowane w dużych pociskach klasy "powietrze-zie-mia" do zwalczania dużych ośrodków przemysłowych i miejskich, będących olbrzymimi źródłami promieniowania podczerwonego.

Prawdopodobieństwo rażenia celu za pomocą pocisku samonaprowadzonego na podczerwień wynosi około 70 %, a w niektórych konstrukcjach przy dogodnych warunkach atmosferycznych nawet do 90 %.

2.3. Sposoby kierowania pociskami raketowymi według założonego programu

2.3.1. Wiadomości ogólne

Kierowanie pociskiem w czasie lotu według programu ułożonego przed startem nazwano układem programowym.

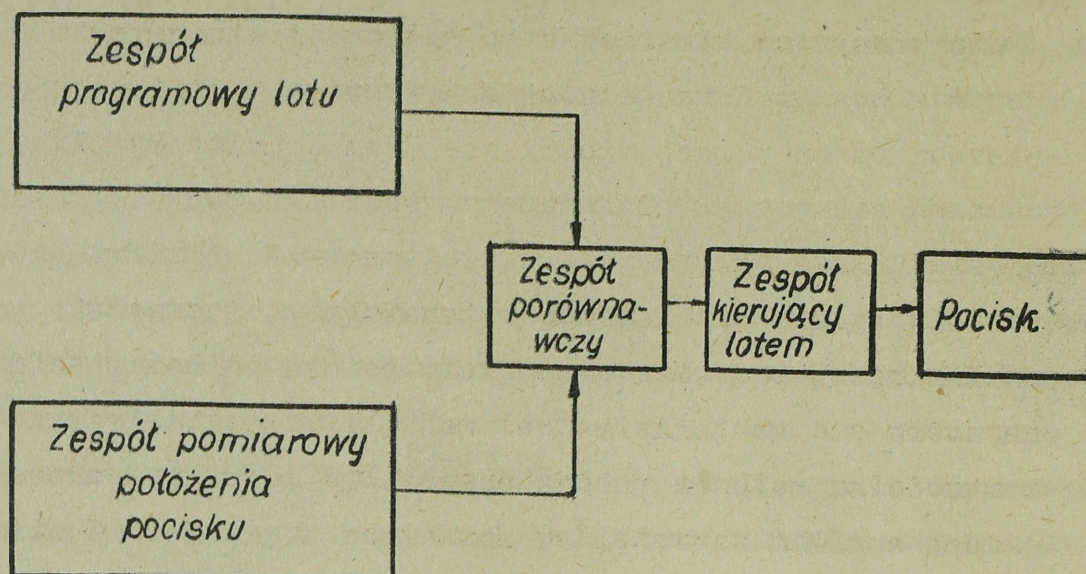
Program lotu pocisku obejmuje: dokładne określenie współrzędnych punktów, w których powinien się znajdować pocisk w czasie lotu. Program układa się i wprowadza do urządzeń pocisku różnymi sposobami, w zależności od przeznaczenia pocisku.

Układ kierowania pociskiem pracujący w systemie programowym składa się z podstawowych elementów:

- zespołu programowego lotu pocisku;
 - zespołu pomiarowego położenia pocisku;
 - zespołu porównawczego i sterującego lotem pocisku
- /rys.2.10/.

Zasada pracy układu kierowania programowego jest następująca.

Zespół pomiarowy położenia pocisku określa w każdej chwili współrzędne położenia pocisku, które są porównywane z wartościami założonymi w programie w zespole porównawczym. Różnice wykryte w wyniku porównania tych danych wywołują odpowiedni sygnał, który jest podawany na zespół sterujący lotem pocisku. Zespół ten powoduje zmianę kierunku lotu pocisku zgodnie z założonym programem.



Rys.2.10. Schemat blokowy układu kierowania programowego.

W układzie programowym niektórych pocisków, możliwa jest chwilowa zmiana programu lotu, pożądana w razie zbliżenia się jakiegoś obcego ciała /np. przeciw pociskowi/, jak również korygowanie programu w związku z odmiennymi od przewidzianych warunków lotu /np. zmiana prędkości wiatru/.

Kierowanie pocisków według założonego programu lotu ma bardzo ważną zaletę - nie podlega zakłóceniom zewnętrznym, tak charakterystycznym przy samonaprowadzaniu.

Program lotu pocisku może być ułożony w stosunku do różnych punktów odniesienia.

Najważniejszymi z nich mogą być:

- 1/ ciała niebieskie - program lotu pocisku układa się według położenia pocisku względem słońca, księżyca, jaśniejszych gwiazd, lub nawet sztucznych satelitów;
- 2/ źródła promieniowania radiowego - program lotu pocisku układa się według odpowiednio usytuowanych w stosunku do celu i pocisku źródeł promieniowania fal elektromagnetycznych, naziemnych, nawodnych lub powietrznych;
- 3/ parametry wewnętrzne - program lotu pocisku układa się według takich parametrów, jak zmiana prędkości pocisku, przyspieszenia itp.;

4/ otoczenie - program lotu pocisku układa się według zmian otoczenia pocisku, a więc zmian ciśnienia atmosferycznego, ziemskiego pola magnetycznego, topografii terenu, nad którym pocisk przelatuje itp.

5/ czas - program lotu pocisku układa się w tym przypadku według zmian lotu pocisku.

Czas ten jest jednym z parametrów, które się zawsze określa i mierzy przy innych sposobach kierowania programowego.

Od sposobu w jaki określa się położenie pocisku podczas lotu, rozróżnia się następujące najważniejsze systemy kierowania programowego:

- 1/ automatyczny;
- 2/ astronawigacyjny;
- 3/ radioastronawigacyjny;
- 4/ radionawigacyjny;
- 5/ bezwładnościowy;
- 6/ grawitacyjny;
- 7/ topograficzny.

2.3.2. System kierowania automatycznego

System ten polega na pomiarze odchylenia w odległości i kierunku od zaplanowanego toru lotu pocisku i na samoczynnym reagowaniu urządzeń sterujących na wszelkie odchylenia od kursu. Określenie kierunku najczęściej jest stosowane z wykorzystaniem ziemskiego pola magnetycznego, za pomocą żyłokompasu, który przed startem pocisku zostaje odpowiednio zorientowany, a następnie służy jako układ odniesienia, względem którego określa się odchylenia kierunku lotu pocisku.

Określenie odległości, czyli długości przebytego toru lotu można dokonać za pomocą prędkościomierza i zegara. Niekiedy w sposób ciągły mierzy się wysokość lotu pocisku. Pocisk na założonym torze utrzymuje automat kursu i automat wysokości.

System ten był stosowany w niemieckich samolotach-pociskach V-1 i pociskach kierowanych V-2. Obecnie jest zastosowany w pociskach typu Green Quail.

2.3.3. System kierowania astronawigacyjnego

Kierowanie to polega na określaniu położenia pocisku podczas lotu w stosunku do jaśniejszych gwiazd stałych.

W tym celu pocisk zaopatrzony jest w swego rodzaju układ samonaprowadzania, który nieustannie naprowadza sekstant na wybraną gwiazdę. Równocześnie w stosunku do stałej płaszczyzny odniesienia, uzyskanej w postaci tak zwanej platformy stabilnej, według której mierzy się kąt, pod jakim sekstant "widzi" gwiazdę /rys.2.11/. Kąt ten zmieniający się nieustannie w czasie lotu musi być zawsze zgodny z kątem założonym w programie. W niektórych pociskach raketowych możliwe jest przy pewnej wartości kąta wykonywanie jakichś założonych w programie czynności, na przykład wyłączenie silnika napędowego /pocisk balistyczny/ lub nurkowanie na cel /samolot-pocisk/.

Kierowanie może być w stosunku do jednej gwiazdy albo do dwóch, wtedy pociski są zaopatrzone w urządzenia umożliwiające przechodzenie od śledzenia jednej gwiazdy do śledzenia drugiej bez przerwania kierowania.

Zaletą kierowania astronawigacyjnego jest duża dokładność naprowadzenia.

Wadą: ograniczenia na skutek warunków meteorologicznych.

System ten zastosowany jest w samolotach-pociskach typu Snark i Navaho.

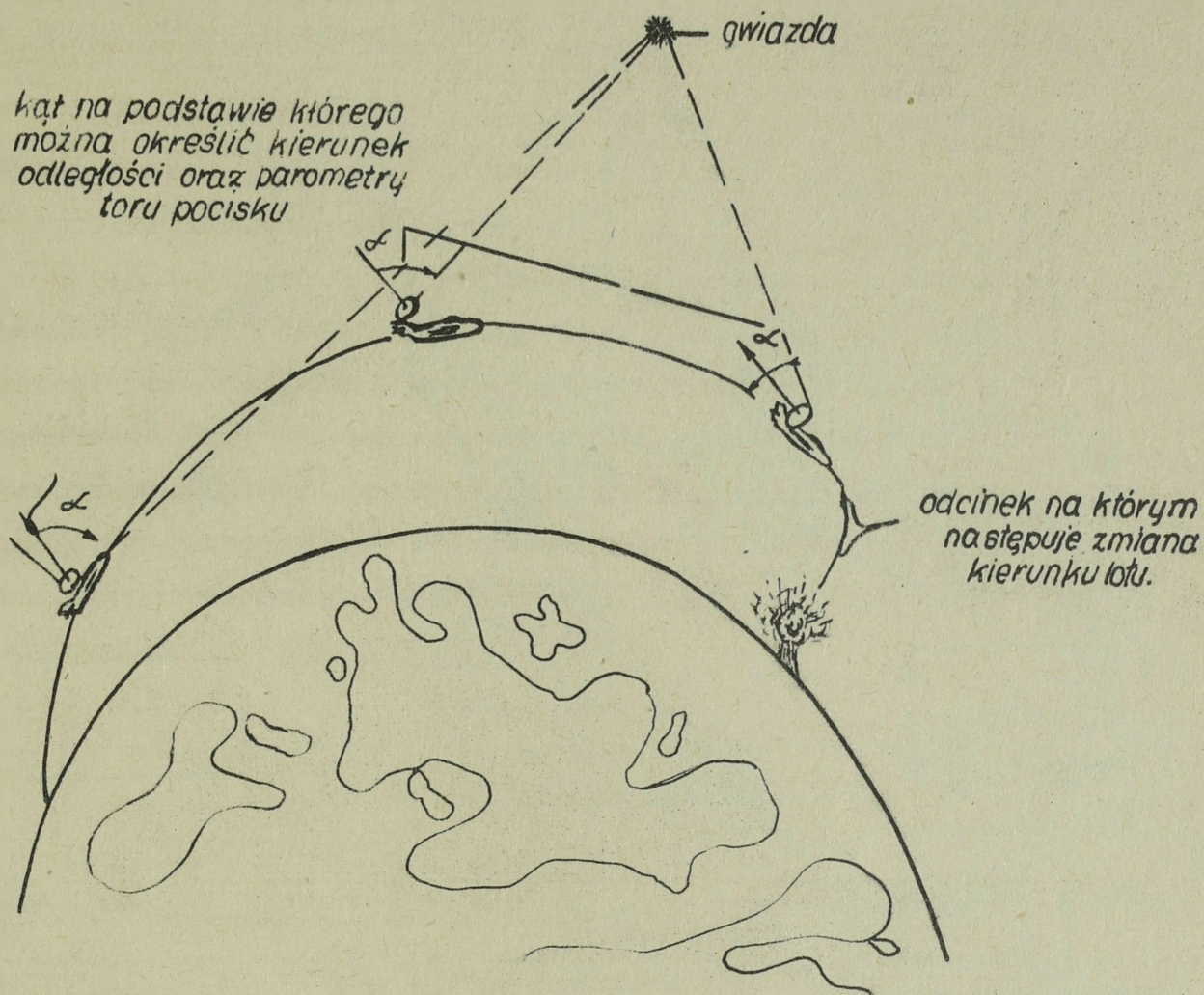
2.3.4. System kierowania radioastronawigacyjny

W tym systemie określania położenia pocisku wykorzystuje się promieniowanie radiowe, na przykład słońca czy księżyca /słońce promieniuje fale radiowe o długości od kilku milimetrów do 10-15 m, księżyc - o długości 1,25 m/.

Promieniowanie jest wykrywane przez radiosekstanty wyposażone w anteny reflektorowe i stabilizowane układami żyroskopowymi. Dalszy cykl pracy jest taki sam jak w systemie astronawigacyjnym.

Namiary przy tym systemie są z dokładnością do 1-2 minut wartości katowych.

Zaletą tego systemu jest niezależność od warunków meteorologicznych. System ten ma zastosowanie w pociskach balistycznych i samolotach-pociskach.



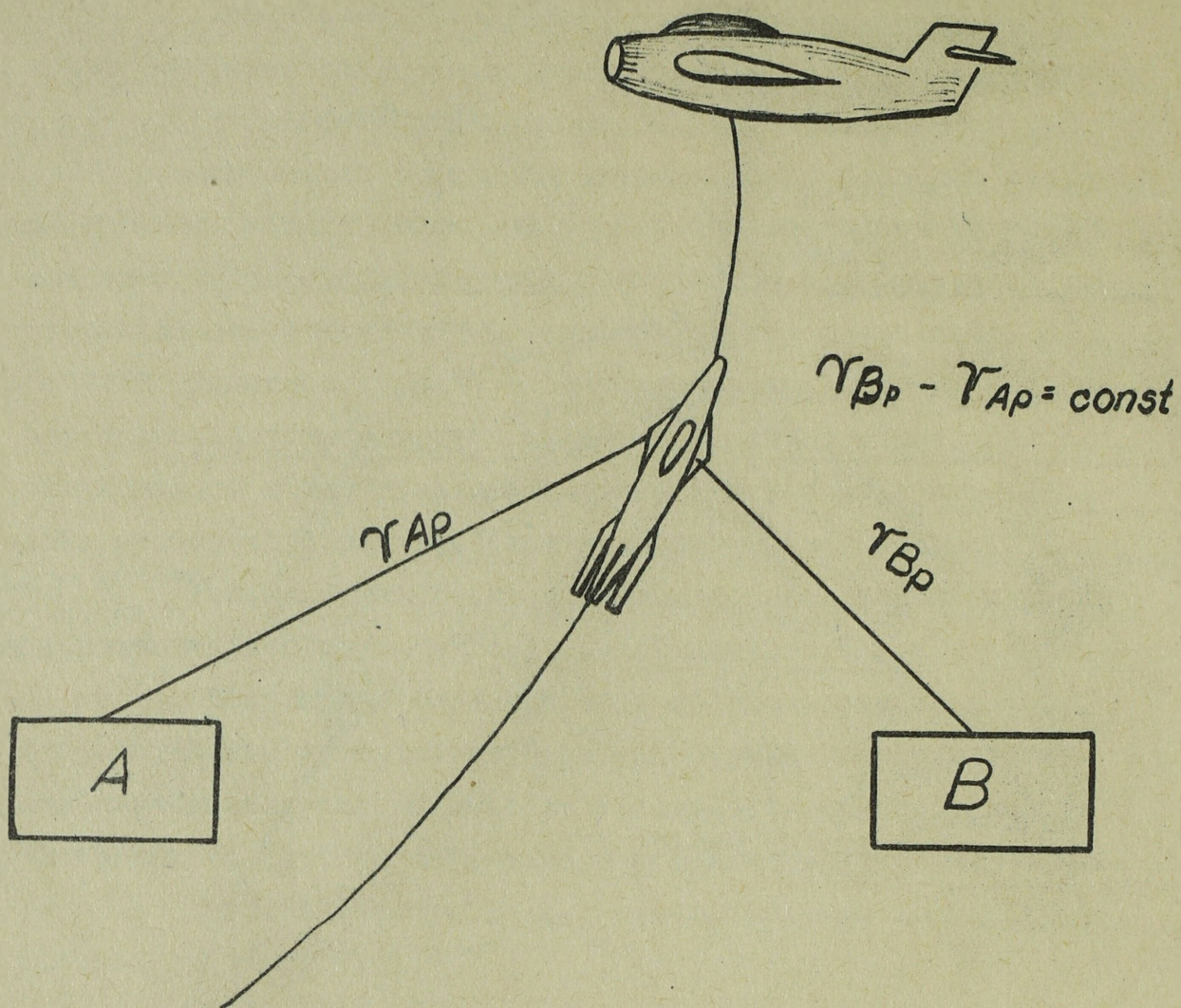
Rys.2.11. Szkic kierowania astronawigacyjnego.

2.3.5. System kierowania radionawigacyjnego

Dla utrzymania pocisku na założonym torze lotu, można stosować znane metody radionawigacyjne, używane w żegludze morskiej i lotniczej.

Jedną z nich jest znana metoda nawigacji hiperbolicznej. Metoda ta polega na tym, że w czasie lotu różnica odległości pocisku do dwu punktów odniesienia jest stała, tor lotu pocisku przedstawia hiperbolę /rys.2.12/.

Dla każdej różnicy odległości istnieje odpowiednia hiperbola. Znając położenie celu względem tych dwu punktów odniesienia /A, B/ można wybrać taką stałą różnicę odległości, aby odpowiednia hiperbola przechodziła przez cel.

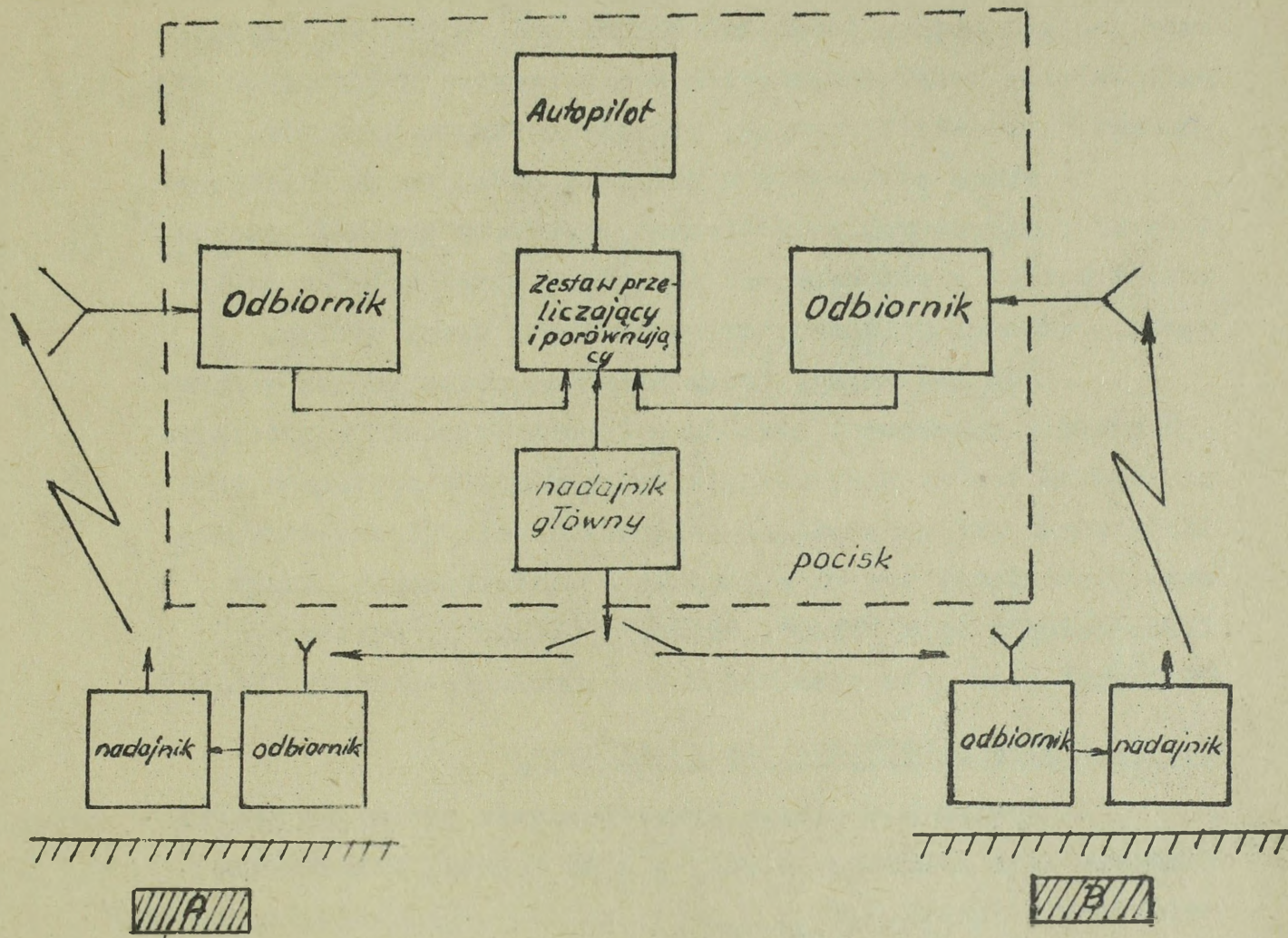


Rys.2.12. Szkic wykorzystania nawigacji hiperbolicznej do kierowania pociskami.

Układy przeliczające mierzą i porównują odległości do punktów odniesienia, autopilot utrzymuje pocisk na torze. Odległości do punktów odniesienia mierzy się za pomocą środków radiotechnicznych. W punktach odniesienia znajduje się odbiornik i nadajnik. Rysunek 2.13. przedstawia schemat blokowy tego układu.

Zasada pracy układu jest następująca. Główny nadajnik znajdujący się w pocisku wysyła sygnały odbierane przez odbiorniki umieszczone w punktach odniesienia A i B /może ich być więcej/. Sygnały z odbiorników uruchamiają znajdujące się w tych punktach nadajniki, które z kolei wysyłają sygnały w stronę pocisku. Każdy nadajnik może pracować na innej częstotliwości. Sygnały na pocisku odbierane są przez odbiorniki wewnętrzne, skąd idą na urządzenia przeliczające i porównujące.

Znając prędkość rozchodzenia się fali można obliczyć odległość pocisku od obu punktów odniesienia. Porównując zmierzona różnicę odległości z założoną dla odpowiedniej hiperboli otrzymuje się sygnał kierujący pociskiem w prawo lub w lewo.



Rys.2.13. Układ blokowy kierowania metodą nawigacji hiperbolicznej.

W podobny sposób dokonuje się pomiaru odległości pocisku względem celu.

Na pewnej odległości można zastosować samonaprowadzanie.

System hiperboliczny jest czuły na zakłócenia, dlatego sygnały przesyłane są kodowane, aby uodpornić je na zakłócenia. Zaletą tego systemu jest to, że po jednej hiperboli można naprowadzać wiele pocisków z różnych punktów. System ten jest najczęściej spotykany w samolotach-pociskach.

2.3.6. System kierowania bezwładnościowego /inercyjnego/

System kierowania bezwładnościowego jest wykorzystywany w nawigacji morskiej i lotniczej.

System ten polega na nieprzerwanym pomiarze przyspieszeń pocisku według dwóch lub trzech osi za pomocą przyspieszeniomierzy bezwładnościowych mechaniczno-elektrycznych czy monometryczno-elektrycznych, względnie innych sposobów.

Przez całkowanie w układach całkujących /integratorach/ pomierzonych przyspieszeń, otrzymamy prędkość pocisku wzdłuż każdej z głównych osi pocisku i przez kolejne całkowanie prędkości otrzymamy drogę przebytą przez pocisk.

Jak już wiemy, droga przebyta przez pocisk w funkcji czasu w zupełności określa położenie pocisku w przestrzeni. System ten ma zastosowanie szczególnie w pociskach balistycznych dużego zasięgu. Jako kierowanie główne zastosowane jest między innymi w pociskach balistycznych Stanów Zjednoczonych typu "Thor", "Titan", "Atlas", "Jupiter" i "Polaris" oraz jako pomocnicze - w samolocie-pocisku "Snark".

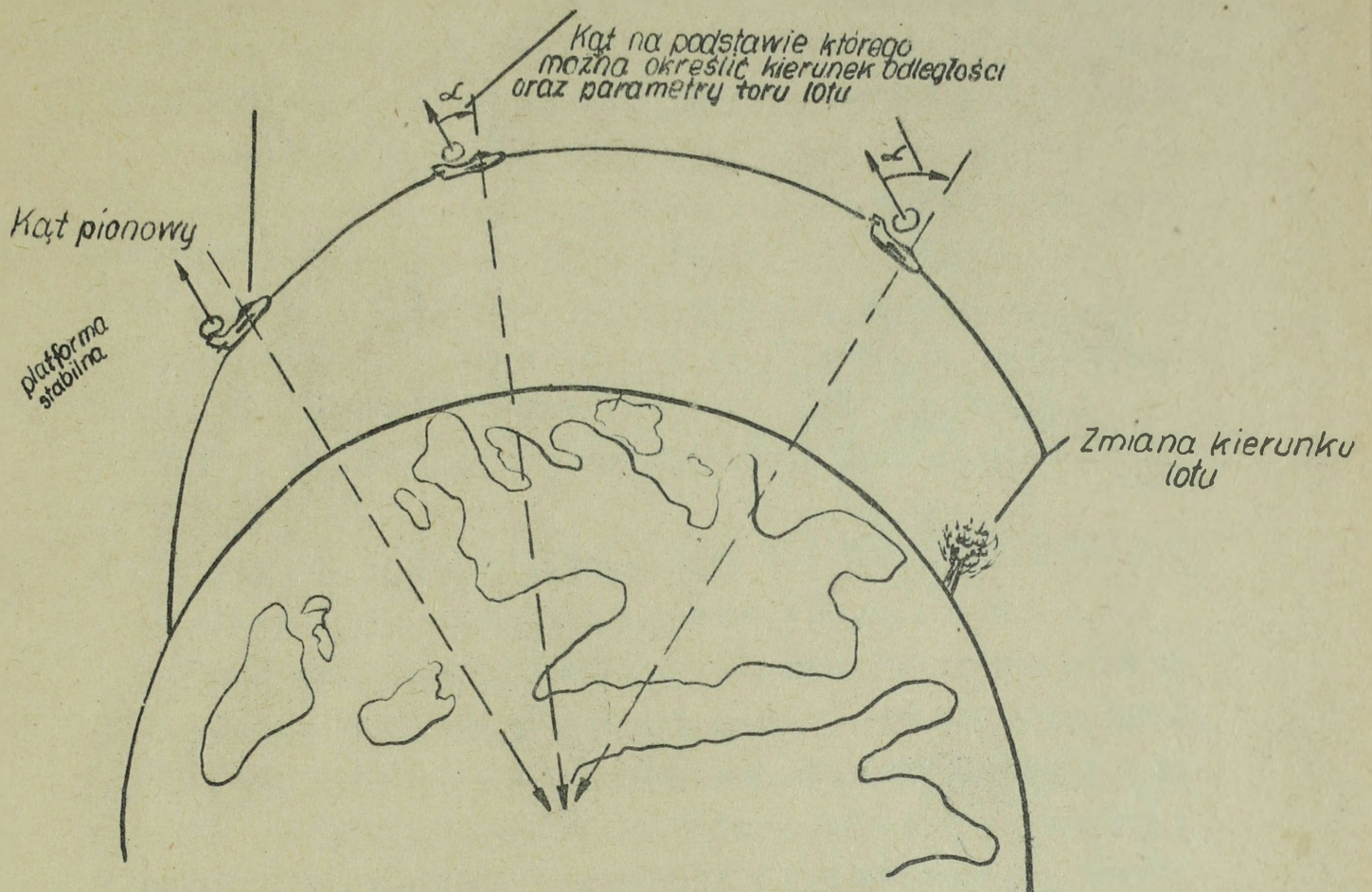
2.3.7. System kierowania grawitacyjnego

System kierowania grawitacyjnego polega na stałym pomiarze kąta zawartego między pionem a pewną płaszczyzną odniesienia /rys.2.14/.

Pion mierzony jest z wykorzystaniem siły przyciągania ziemskiego, na przykład za pomocą wahadła. W pocisku jest stała płaszczyzna uzyskana za pomocą żyroskopu, tak zwana stabilizowana platforma.

Platforma, mimo zmian położenia pocisku, nie zmienia pierwotnego położenia. Względem tej płaszczyzny mierzy się kąt między nią a aktualnym położeniem pionu. Program lotu przedstawia sobą zmianę tego kąta w funkcji czasu.

System ten zastosowany jest między innymi w pociskach balistycznych typu "Hound Dog" i "Wag Tail".



Rys.2.14. Szkic zasady kierowania grawitacyjnego.

2.3.8. System kierowania topograficznego

System kierowania topograficznego polega na ciągłym porównywaniu elektronicznym obrazu terenu, nad którym przelatuje w danej chwili pocisk, z uprzednio przygotowanym obrazem terenu na przykład obrazu uzyskanego z radiolokatora z wcześniej przygotowaną mapą radarową obrazu uzyskiwanego za pomocą kamery telewizyjnej ze zdjęciami terenu itp.

Zasada pracy tego systemu jest następująca.

Obraz terenu /program lotu/ jest naniesiony na przezroczysty film /przesuwany proporcjonalnie do przebywanej odległości wzdłuż trasy/, na który jest jednocześnie rzutowany rzeczywisty obraz terenu, uzyskiwany za pomocą wskaźnika radiolokacyjnego czy kamery telewizyjnej. Z drugiej strony filmu znajduje się komórka fotoelektryczna, która wykrywa nakładanie się obrazów.

Oddzielny układ wykrywa przesunięcia podłużne, a oddzielny poprzeczne, niezbędne dla dopasowania się obrazów. Wielkości tych przesunięć są ~~zmieniane~~ na impulsy elektryczne, które uruchamiają elementy wykonawcze pocisku. Przy tym systemie niepotrzebny jest zegar w pocisku, gdyż nie występuje tu żadna zależność w funkcji czasu.

System ten jest dość dokładny. Wadą jego jest trudność sporządzenia programu lotu, zwłaszcza nad terenem nieprzyjaciela. Kierowanie to jest wygodne dla samolotów-pocisków bliskiego, średniego i dalekiego zasięgu. Przykładem jest samolot-pocisk średniego zasięgu typu "Mace" /USA/.

2.4. Sposoby kierowania zdalnego /telekierowanie/

W dotychczas omawianych systemach kierowania pociskami większość urządzeń opracowujących wielkość zadaną znajdowała się na pocisku. W systemie kierowania zdalnego gros urządzeń znajduje się poza pociskiem. Obserwacja celu i pocisku, powzięcie decyzji co do zmiany kierunku lotu odbywa się na zewnątrz kierowanego pocisku, w tak zwanym punkcie kierowania. Urządzenia znajdujące się wewnątrz pocisku przeznaczone są tylko do odbioru sygnałów, stabilizacji i sterowania lotem pocisku.

W systemie kierowania zdalnego urządzenia przeliczające znajdują się poza pociskiem, na przykład na punkcie kierowania. Wypracowują na podstawie obserwacji celu i pocisku odpowiednie sygnały sterujące /rozkazy/, które przez urządzenia nadawcze i linie przesyłowe układu kierowania są przesyłane do pocisku. W pocisku sygnały te za pomocą urządzenia odbiorczego są wzmacniane, przekształcane i podawane na urządzenia sterujące lotem pocisku powodując zmianę kierunku jego lotu, zgodnie z danymi opracowywanymi na punkcie kierowania.

Dzięki umieszczeniu znacznej części urządzeń poza pociskiem aparatura w samym pocisku jest prostsza, tańsza i bardziej zwarta. Aparatura znajdująca się poza pociskiem może być większa zarówno co do wymiarów jak i ciężaru, a więc bardziej dokładna i ma większy zasięg. Jest to możliwe, gdyż nie jest aparaturą jednorazowego użytku jak aparatura w pocisku.

Wadą tego sposobu jest ograniczona liczba pocisków naprowadzanych jednocześnie na cel oraz duża podatność aparatury odbiorczej na zakłócenia, co eliminuje się przez kodowanie sygnałów.

Najogólniej telekierowanie dzieli się na dwa rodzaje /jak podano w punkcie /2.1/:

1. System kierowania za pomocą wiązki prowadzącej;
2. system kierowania za pomocą sygnałów kierujących.

Według tego podziału w dalszej części niniejszego skryptu będą one szerzej opisane. Podział ten nie jest zbyt dokładny, dlatego szerszy podział telekierowania dowódczego omówimy później.

2.4.1. Podział sposobów telekierowania

Telekierowaniem/TK/ nazywa się takie kierowanie, kiedy między punktem kierowania a pociskiem kierowanym istnieje telemetryczna linia łączności, po której przechodzą sygnały kierujące z punktu kierującego do pocisku.

W ogólnym przypadku dla wykonania zadania naprowadzania na punkcie kierowania należy bez przerwy znać współrzędne pocisku i celu w odniesieniu do punktu kierowania, a także wielkość i kierunek prędkości pocisku i celu. Człowiek-operator lub przelicznik na punkcie kierowania otrzymuje informacje o wzajemnym położeniu pocisku i celu odnośnie punktu kierowania i oblicza punkt spotkania oraz wypracowuje rozkazy, które po linii telekierowania podaje się na pocisk.

W zależności od sposobu obserwacji i kontroli lotu pocisku oraz celu można stosować:

- 1/ telekierowanie z "bezpośrednią" wizualną obserwacją operatora za lotem pocisku i celu przy pomocy optycznych przyrządów;
- 2/ telekierowanie z obserwacją za parametrami lotu pocisku przy pomocy przyrządów na punkcie kierowania wyposażonym w telepomiarowe linie między pociskiem a punktem kierowania;
- 3/ telekierowanie z obserwacją za pociskiem i celem przy pomocy stacji radiolokacyjnej i radiolokacyjnego urządzenia odzewowego na pocisku;

- 4/ telekierowanie z obserwacją tylko celu z samonaprowadzającym pociskiem przy pomocy telewizyjnej lub radiolokacyjnej główki z przekazaniem wyników obserwacji na punkt kierowania;
- 5/ telekierowanie z kombinowaną obserwacją różnymi metodami na różnych odcinkach lotu w zależności od kształtu toru lotu pocisku, odległości do celu oraz do punktu kierowania itp.

Wszystkie wyżej wyliczone sposoby telekierowania przedstawiają sobą tak zwane dowódcze telekierowanie pocisku.

Oprócz tego istnieje jeszcze telekierowanie za pomocą wiązki prowadzącej. W tym przypadku operator lub automatyczny przelicznik na punkcie kierowania, przekręca oś anteny radionadajnika wytwarzającego wiązkę w wymagany punkt przestrzeni, a sygnały kierowania są wytwarzane w aparaturze pokładowej pocisku w wypadku odchylenia jej od linii równosygnałowej.

2.4.2. System kierowania za pomocą sygnałów kierujących /telekierowanie dowódcze/

System kierowania za pomocą sygnałów kierujących polega na tym, że z punktu kierowania wysyła się do pocisku tak zwane sygnały kierujące /rozkazy/ za pomocą nadajnika radiowego, bądź po przewodach.

W związku z tym system kierowania za pomocą sygnałów kierujących dzieli się na:

- kierowanie przewodowe;
- kierowanie radiowe.

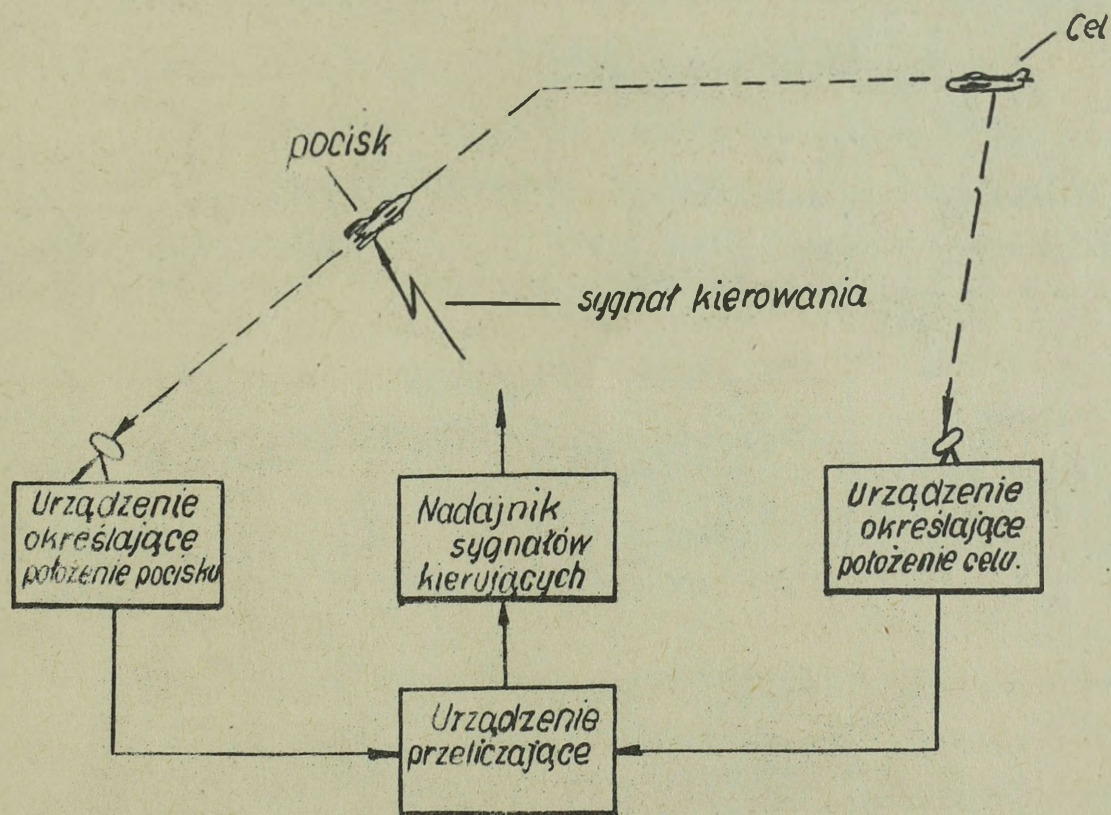
Kierowanie przewodowe stosuje się do kierowania na małe odległości pocisków o małej prędkości.

Po raz pierwszy sposób ten zastosowali Niemcy w czasie II-giej wojny światowej do pocisków raketowych X-4 klasy "powietrze-powietrze" oraz do pocisków przeciwpancernych X-7. Obecnie stosuje się jedynie do pocisków raketowych przeciwpancernych.

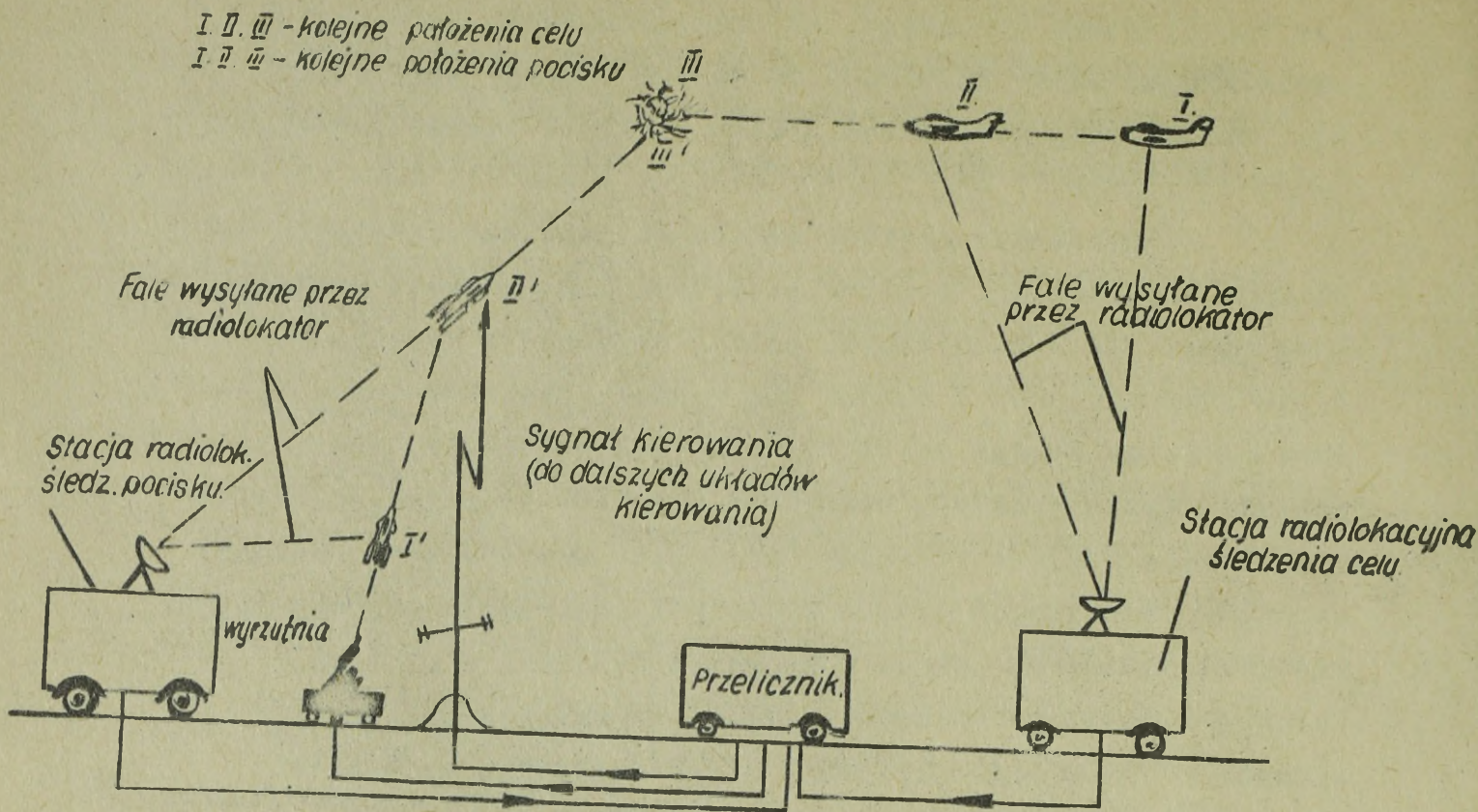
Układ wypracowujący wielkość żadaną składa się z operatora i prostego nadajnika sygnałów elektrycznych.

Operator obserwuje cel i lecący pocisk, jednocześnie stara się tak kierować pociskiem, aby zawsze widział go na celu, czyli innymi słowy utrzymuje go na tak zwanej linii pokrycia /stanowiącej połączenie trzech punktów: operator-pocisk-cel/.

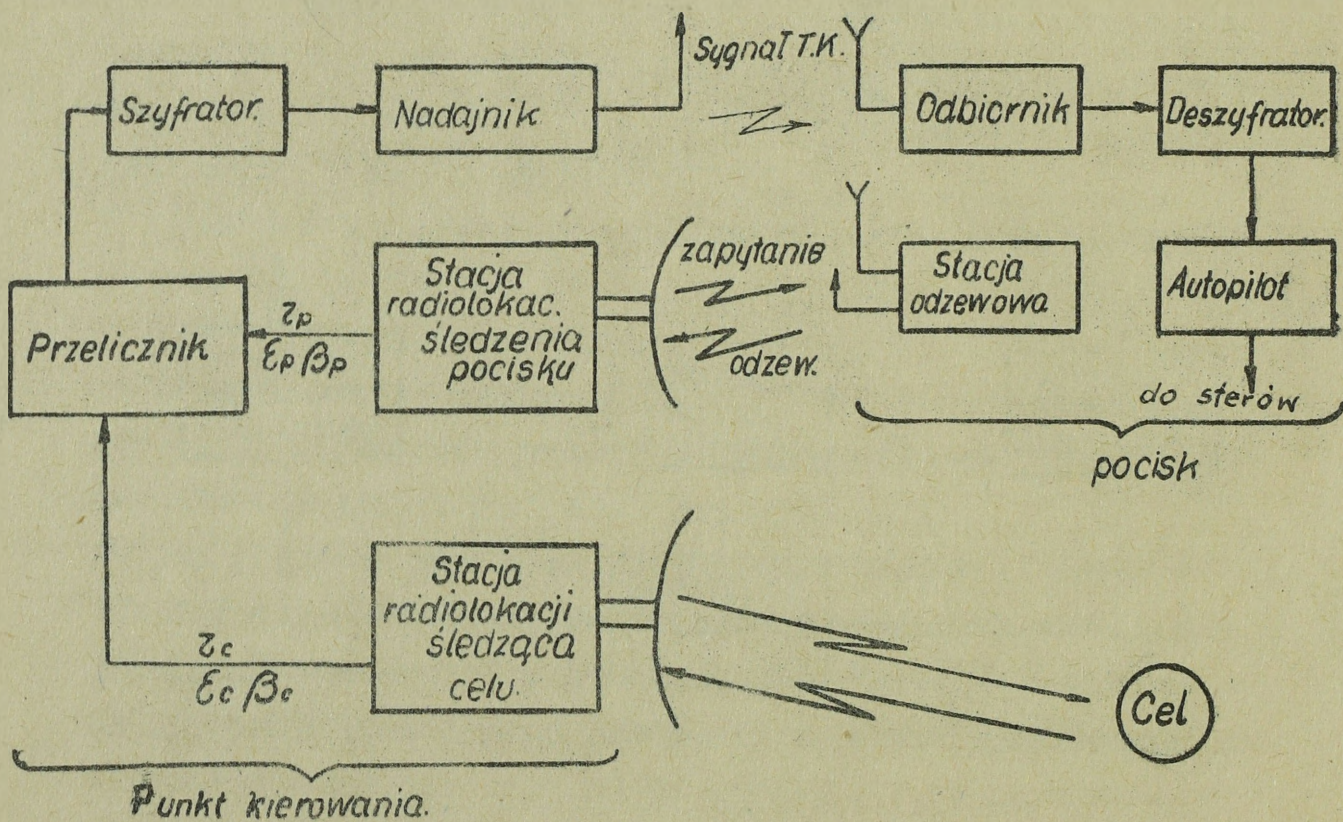
Kierowanie radiowe stosowane jest najczęściej w pociskach lotniczych i przeciwlotniczych. Na przykład pociski typu Nike-Ajax oraz naziemny pocisk Corporal i Regulus I. W tym przypadku układ składa się z dwóch radiolokatorów śledzenia /jeden śledzi cel i określa jego położenie, a drugi-pocisk/, przelicznika i nadajnika sygnałów kierujących. Układ przedstawia rys.2.15. Zasada pracy jest następująca. Nadajnik sygnałów kierujących wysyła w postaci fal elektromagnetycznych wielkość zadaną do układu odbiornika będącego w pocisku. Układ ten wzmacnia odebrane sygnały, przekształca je oraz odchyła w odpowiednim kierunku stery wpływając na tor lotu pocisku.



Rys.2.15. Schemat blokowy kierowania radiowego z wykorzystaniem dwóch radiolokatorów śledzących.



Rys.2.16. Schemat rozmieszczenia radiolokatorów zestawu pokazanego na rys.2.15.



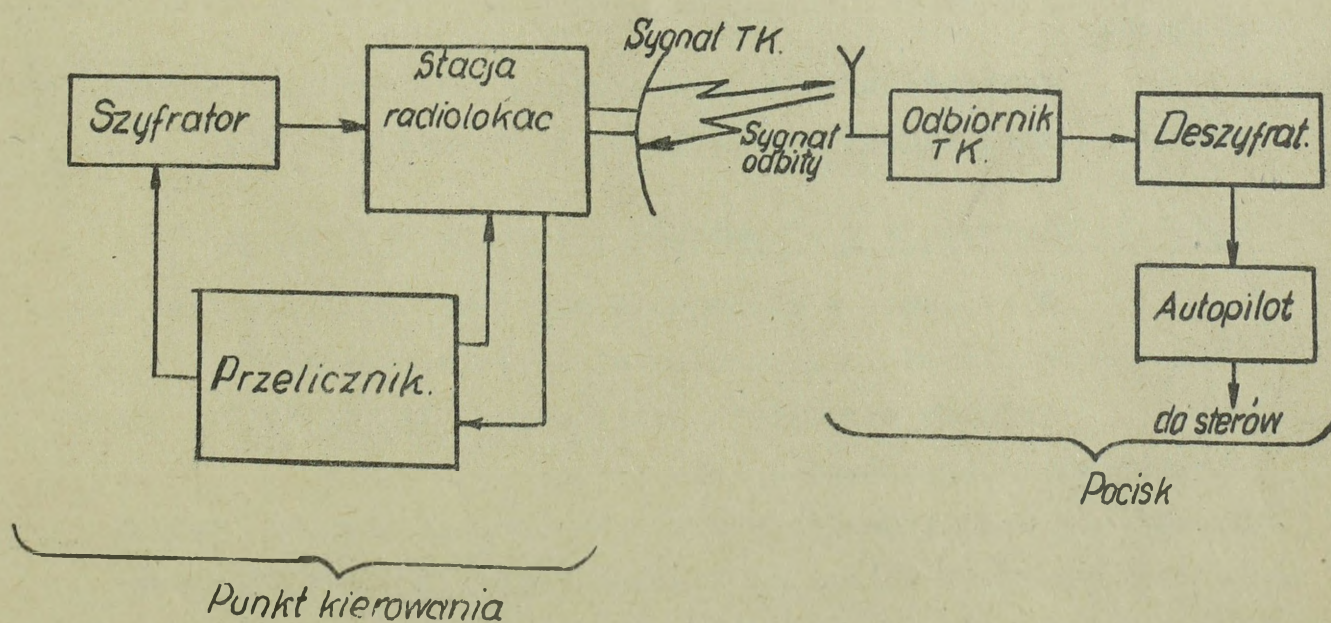
Rys. 2.17. Schemat blokowy systemu dowódczego telekierowania.

Tutaj również wykorzystano dwa radiolokatory dla określenia nieprzerwanie współrzędnych lecącego pocisku i celu. Nadajnik stacji śledzącej pocisk przez antenę nadawczą wysyła impulsy fal elektromagnetycznych, które uruchamiają radiolokacyjną stację odzewową umieszczoną na pokładzie pocisku. Odebrane sygnały radiowe włączają nadajnik sygnałów odzewowych. Sygnały odzewowe są odbierane przez urządzenia odbiorcze radiolokatora prowadzącego pocisk. Dzięki temu zabezpiecza się nieprzerwane prowadzenie pocisku we współrzędnych kątowych i w odległości. Otrzymane współrzędne pocisku w odniesieniu do punktu kierowania postępują do przelicznika, gdzie również przychodzą współrzędne celu, wypracowane drugą stacją radiolokacyjną automatycznego prowadzenia celu. Przelicznik oblicza punkt spotkania pocisku z celem i wypracowuje sygnały kierowania, sygnały te przekształca się, koduje i wysyła urządzeniami telekierowania.

Na pocisku sygnały te przyjmuje odbiornik telekierowania i po deszyfracji w postaci sygnałów kierowania dostają się do autopilota, który przez stery i sterolotki działa na pocisk.

2.4.3. System kierowania w wiązce prowadzącej

W skład kierowania za pomocą wiązki prowadzącej muszą wchodzić urządzenia nadawcze promieniujące wąską wiązkę fal elektromagnetycznych. Do tej wiązki wprowadza się pocisk rakietowy.



Rys.2.18. Schemat blokowy systemu kierowania w wiązce prowadzącej.

Urządzenie pomiarowe znajdujące się w pocisku mierzy odchylenie pocisku od środka wiązki. Jeżeli nie ma sygnału błędu, to urządzenia kierujące lotem pocisku utrzymują go automatycznie przez cały czas lotu w środku wiązki fal elektromagnetycznych.

Układ kierowania pracujący w systemie wiązki prowadzącej pokazano na rys. 2.18.

Zasada działania tego systemu polega na tym, że komendy lub sygnały kierujące nie są wypracowywane bezpośrednio w punkcie kierowania.

Stacja punktu kierowania przeznaczona jest dla wykrycia, przechwycenia i automatycznego lub ręcznego prowadzenia celu. Ona również kształtuje wiązkę nakierowaną na wykryty cel lub w określony punkt. Aparatura umieszczona na pokładzie pocisku powinna określać jej odchylenie od równosygnałowej linii i wypracowywać sygnały kierowania, przy pomocy których układ kierowania oddziałuje na pocisk, w ten sposób, że pocisk wraca na środek wiązki fal. W miarę zbliżania się pocisku do celu odległość pocisku od punktu kierowania zwiększa się, a z tym zwiększa się i błąd liniowy w określaniu odchylenia od linii środkowej wiązki fal.

Stąd wniosek, że naprowadzenie na dużych odległościach od punktu kierowania, to jest w pobliżu celu, okazuje się niedostatecznie dokładne dla porażenia celu o małych wymiarach.

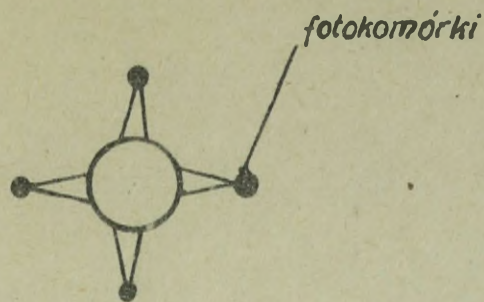
Zasadniczą wadą tego systemu jest trudność wytworzenia wąskiej wiązki poszukującej i prowadzącej cel.

2.4.3.1. Kierowanie w strumieniu świetlnym reflektora

Kierowanie w strumieniu świetlnym było pierwszą metodą kierowania zdalnego pociskami przeciwlotniczymi.

Zródkiem strumienia świetlnego były reflektory przeciwlotnicze /opracowane w 1925 roku/.

System kierowania znajdujący się na pocisku zawierał cztery fotokomórki umieszczone na końcach stabilizatorów prostopadłe do siebie /rys.2.19/.

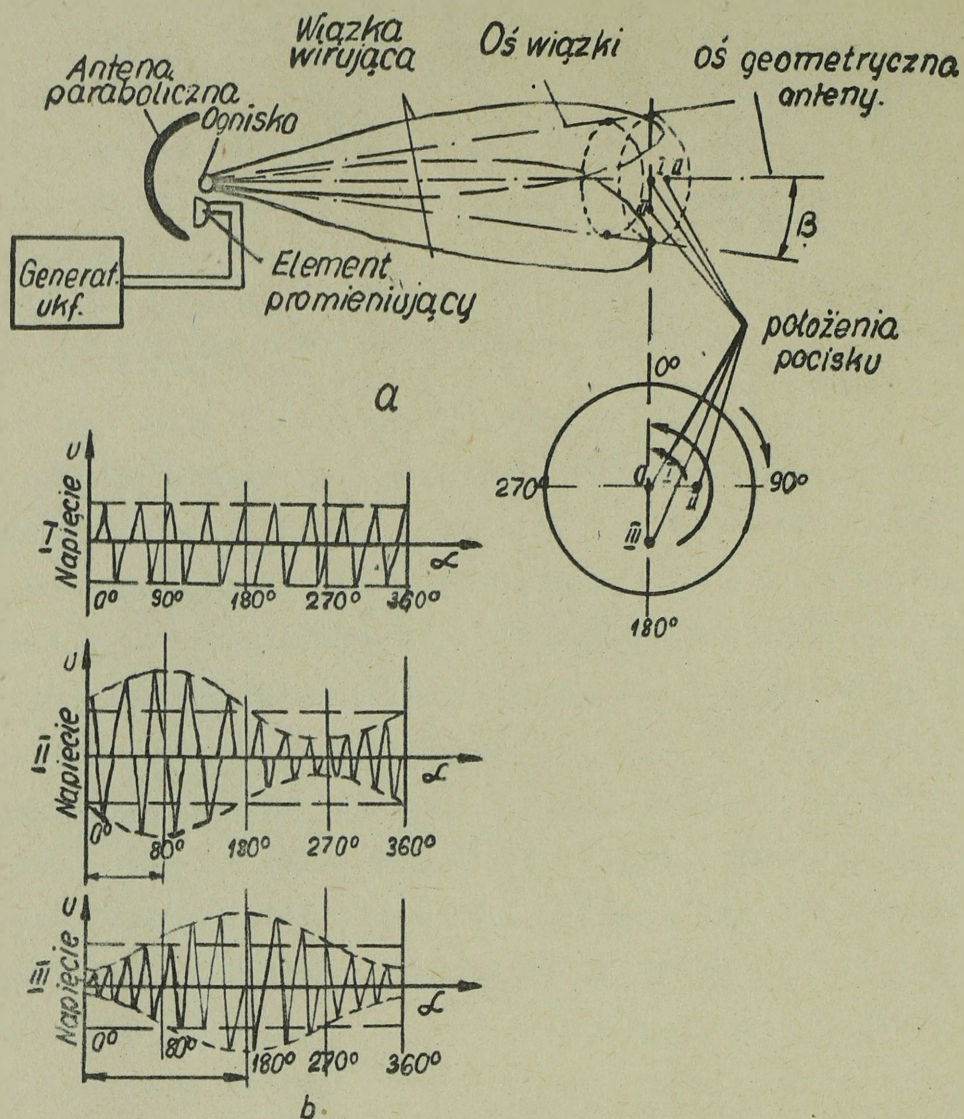


Rys.2.19. Rozmieszczenie fotokomórek na stabilizatorach pocisku.

Zasada działania tego systemu jest następująca. Pod wpływem energii świetlnej reflektora w fotokomórkach powstają napięcia elektryczne. Gdy pocisk jest w środku wiązki, wszystkie fotokomórki oświetlane są z jednakowym natężeniem i nie ma różnicy napięć między przeciwległymi fotokomórkami. Gdy pocisk się wychyli powstanie sygnał, tak zwany uchyb. Pod wpływem uchybu pocisk zostanie wprowadzony w wiązkę przez aparaturę kierowania.

Sposób ten jest prosty, lecz też łatwy do zakłócenia przez inne źródła światła, ponadto ogranicza się do stosowania w nocy.

2.4.3.2. System kierowania w wiązce wirującej



Rys.2.20. Zasada działania systemu kierowania w wiązce wirującej.

W tym systemie zasada działania jest następująca. Energię elektromagnetyczną promieniuje nadajnik poprzez element promieniujący na antenę paraboliczną /reflektor/. Element promieniujący wiruje dookoła ogniska reflektora, rzucając na niego wiązkę fal elektromagnetycznych. Fale te odbijają się od reflektora i w rezultacie otrzymuje się w przestrzeni wąską wiązkę fal elektromagnetycznych wirującą wokół osi geometrycznej anteny i opromieniowującą przestrzeń w kształcie stożka o kącie rozwarcia 2β . Jeżeli w tej wiązce znajdzie się pocisk kierowany, to odbierze sygnały wysłane przez nadajnik. Wartość sygnałów odbieranych zależy od położenia pocisku względem osi wiązki. Jeżeli pocisk znajdzie się na geometrycznej osi anteny /rys.2.20. położ.I/, to odebrane sygnały będą miały jednakową wartość, przy różnych położeniach wiązki.

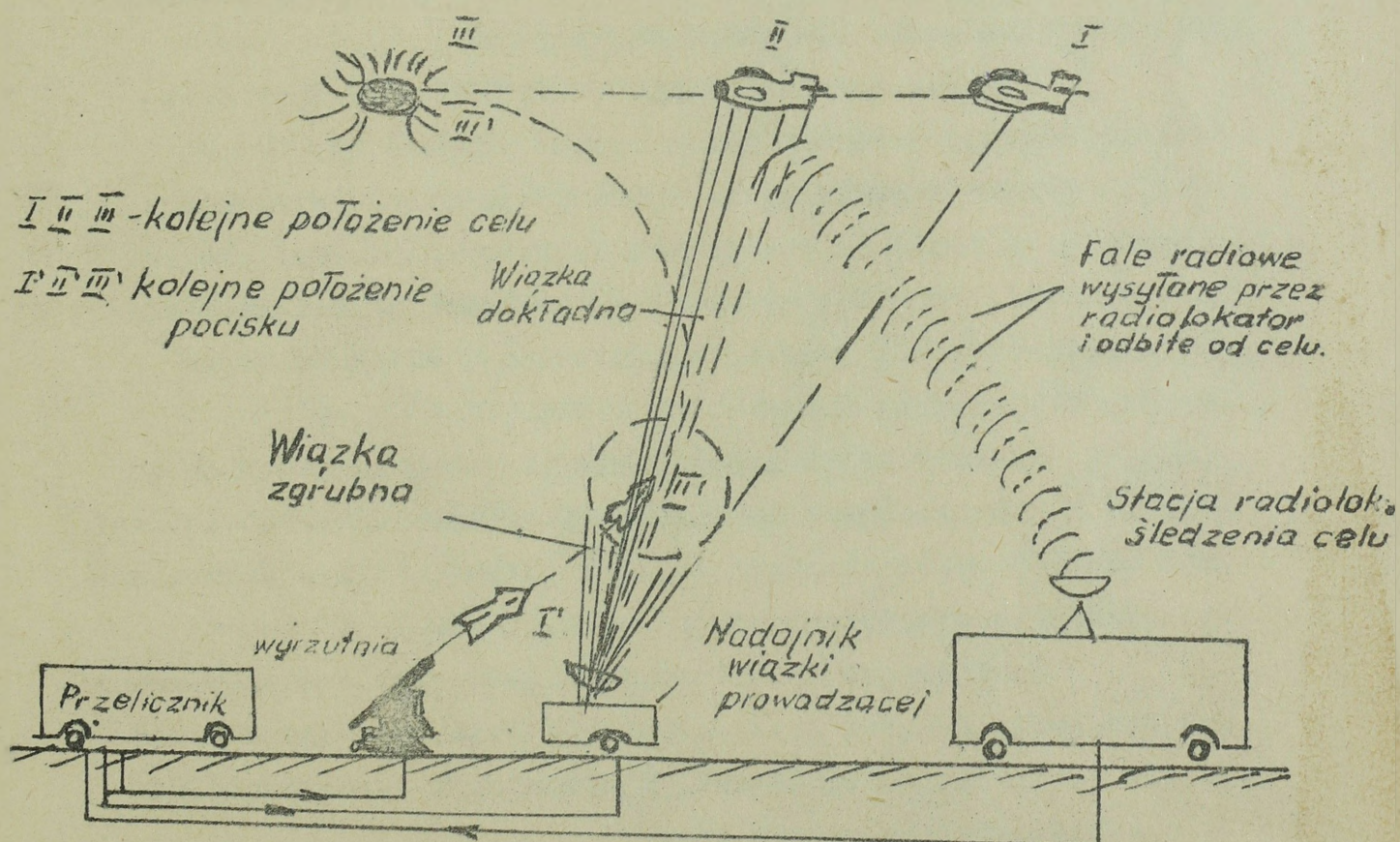
Gdy pocisk odchyli się od geometrycznej osi anteny, sygnały odbierane nie będą miały jednakowej wartości. Gdy na przykład pocisk odchyli się w lewo /położ.II/, to maksymalny sygnał będzie wówczas, gdy wiązka znajdzie się w lewym skrajnym położeniu.

Jeżeli odchyli się w dół /położ.III/, wówczas maksymalny sygnał wystąpi w dolnym skrajnym położeniu wiązki.

Jak widać, w ten sposób można określać kierunek odchylania się pocisku od osi geometrycznej anteny. Aby znać położenie pocisku w wiązce, potrzeba wiedzieć o ile odchylił się od osi. Gdy pocisk znajduje się na osi wiązki, wtedy sygnał będzie największy. Sygnał maleje w miarę zbliżania się pocisku do osi geometrycznej anteny, osiągając w momencie znalezienia się na tej osi wartość najmniejszą. Sygnały z odbiornika pocisku służą do uruchomienia jego zespołów wykonawczych /sterów/.

System wiązki wirującej jest szeroko wykorzystany w przeciwlotniczych pociskach kierowanych, a nawet w lotniczych /klasy "powietrze-powietrze"/. Przykładem mogą być przeciwlotnicze pociski typów: Oerlikon /Szwajcaria/, Terrier /USA/, Seaslug /Anglia/.

Dla przykładu rozpatrzmy system kierowania za pomocą wiązki wirującej stosowany do pocisków typu Oerlikon /rys.2.21/.



Rys.2.21. Kierowanie za pomocą wiązki wirującej.

Układ określający wielkość zadana składa się z radiolokatora śledzącego cel, przelicznika i nadajnika wiązki prowadzącej /wirującej/.

Stacja śledzenia celu określa położenie celu w przestrzeni i przekazuje drogą kablową do przelicznika. W przeliczniku uwzględnia się błąd paralaksy, a odpowiednie sygnały zostają przekazane do nadajnika wiązki oraz do wyrzutni w celu zorientowania ich w stosunku do celu. Wyrzutnia po zorientowaniu ustawia się tak, że pocisk po starcie wpada w wiązkę prowadzącą.

Aby ułatwić wejście pocisku w wiązkę wąską, najpierw pocisk wchodzi w wiązkę zgrubną /o kącie rozwarcia około 20° / ustawioną współosiowo z wiązką dokładną /o kącie rozwarcia kilku stopni, np. 3° /, w którą wchodzi później.

Dzięki stałej obserwacji celu przez stację, nadajnik wiązki jest zawsze skierowany na cel. Pocisk porusza się w kierunku celu, dopóki nie zadziała zapalnik i głowica bojowa nie rozewnie się rażąc cel.

3. Zakończenie

W ten sposób zakończono w wielkim skrócie przegląd systemów kierowania pociskami raketowymi.

W sposobach kierowania pociskami raketowymi według założonego programu nie omawiano układów blokowych, a tylko podano najważniejsze systemy kierowania wynikające z punktów odniesienia, w stosunku do których ułożono program lotu pocisku. Powyższe sposoby, szczególnie w pociskach klasy "ziemia-ziemia", które mniej interesują oficerów Wojsk Ochrony Powietrznej Kraju i Lotnictwa.

Sposoby samonaprowadzania pocisków raketowych są najczęściej stosowane w pociskach klasy "powietrze-powietrze" oraz klasy "powietrze-ziemia". Ze ^{tego} względu ~~tego~~ systemom samonaprowadzania poświęcono więcej uwagi.

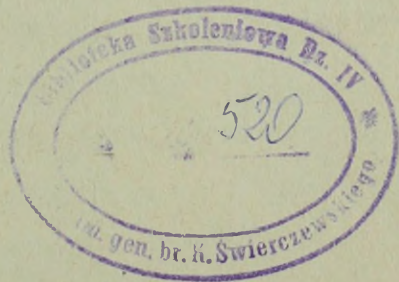
Rozwiązanie konstrukcyjne niektórych systemów samonaprowadzania /szczególnie pasywnego/ będą omawiane w przedmiocie "Uzbrojenie lotnictwa". W niniejszym opracowaniu podano najogólniejsze zasady pracy.

W telekierowaniu /kierowanie zdalne/ omówiono ogólnie zasadę pracy tylko dwóch systemów kierowania zdalnego, to jest systemu kierowania pociskiem za pomocą wiązki prowadzącej oraz systemu dowódczego. System wiązki prowadzącej nie będzie więcej omawiany, dlatego też starano się wyjaśnić jego zasadę pracy dokładniej przez zilustrowanie na przykładzie zestawu Oerlikon. Zasadę pracy telekierowania dowódczego podano najogólniej, gdyż kurs¹ z techniki raketowej Wojsk OPK oraz teorii naprowadzania pocisków kierowanych będą poświęcone tylko systemowi kierowania zdalnego za pomocą sygnałów radiowych.

Niniejszy skrypt jest drugą częścią "Ogólnych wiadomości o pociskach kierowanych" /część I - skrypt mjr mgr inż. J. Zdziech - "Ogólne wiadomości o pociskach kierowanych"/.

LITERATURA

1. Paszkowski S. - Zasady kierowania zdalnego pociskami raketowymi. Wyd. MON Warszawa 1958.
2. Burakowski T., Sala A.- Rakiety broń XX wieku. Wyd. MON Warszawa 1963.
- ✓ 3. Burakowski T., Sala A.- Rakiety i pociski kierowane - część I. Wyd. MON. Warszawa 1960.
- ✓ 4. Burakowski T., Sala A.- Samonaprowadzanie pocisków na podcezerwień. Wojskowy Przegląd Lotniczy zeszyt 5. 1963.
5. A.C. Lekk - Uprawlenie snarjadami /tłumaczenie z angielskiego/. Wyd. Gosudarstwiennoe Izdatielstwo Fiziko-Matematichieskoj Literatury. Moskwa 1958.
6. F. Müller - Teleuprawlenie /tłumaczenie z angielskiego/. Wyd. Izdatielstwo Innostranoj Litieratury, Moskwa 1957.
7. E. Burgess- Uprawljajemoje reaktiwnoje cruzje /tłumaczenie z angielskiego/. Wyd. Izdatielstwo Innostranoj Litieratury. Moskwa 1958.



8. B.T. Kocetkow, A.M. Połowko, B.M. Ponomarew - Teoria sistem teleuprawlenija i samonawiedienija raket. Wyd. Izdatielstwo "Nauka". Moskwa 1964.
9. P.T. Astuszenko - Radioelektronika w uprawlenii Snariadami. Wyd. Wojenizdat. Moskwa 1960.

Wykonano 5 egz.

egz.nr 1-50 Bibl. Jawna; 51 - 55 - Katedra

wyk. ppłk Zoń

druk.BI.dn.21.10.1964r.

nr ks.masz.2706/WW

CW-O-XV-2481

