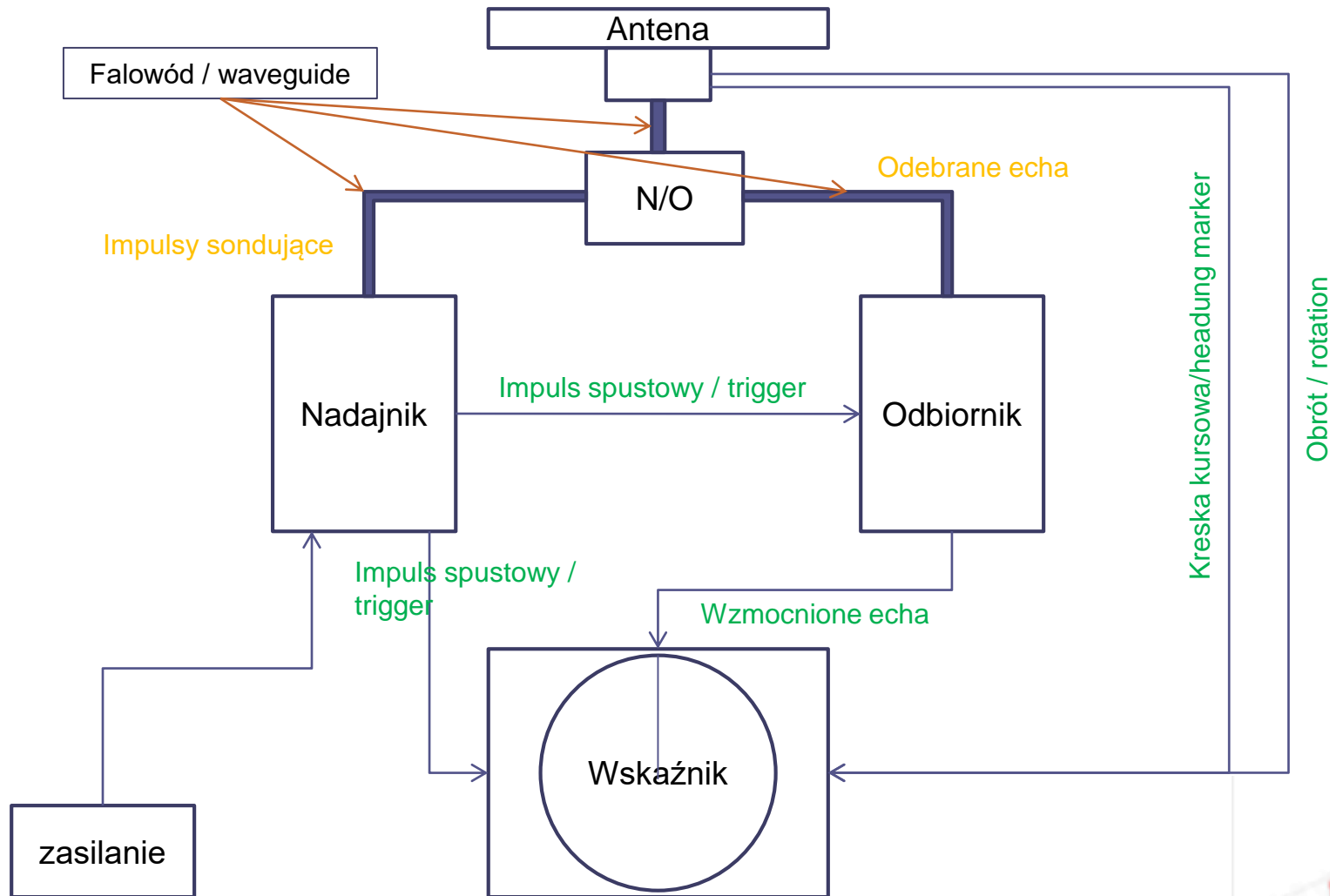


Radiolokacja 2

Nadajnik, odbiornik, wskaźnik, układ
antenowo-falowodowy oraz ich elementy
regulacyjne



Schemat blokowy radaru



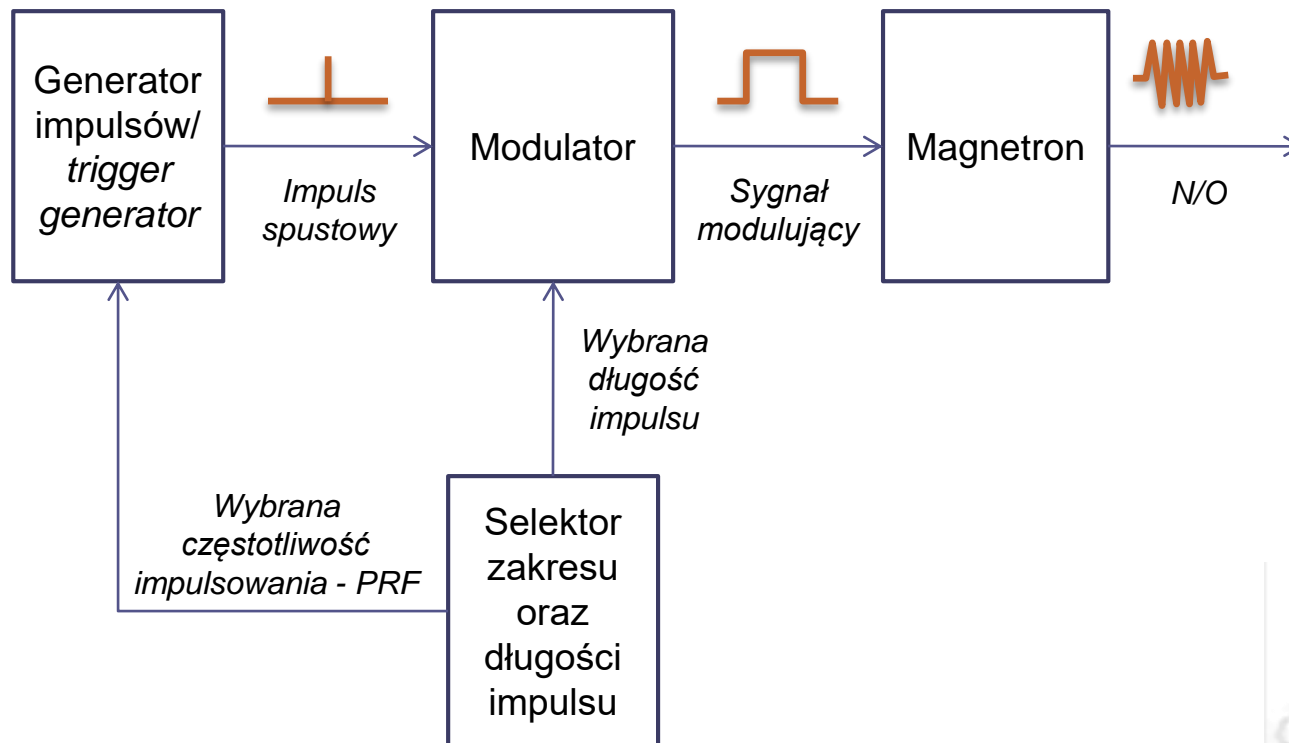
Budowa nadajnika

Nadajnik radaru składa się z trzech podstawowych elementów:

- Generators impulsów spustowych (czasoster)- *trigger generator*, który steruje częstotliwością transmitowanych impulsów sondujących;
- Modulatora, który wraz z dołączoną siecią formującą impuls, określa długość, kształt oraz moc impulsu sondującego;
- Magnetronu, który determinuje częstotliwość fali elektromagnetycznej impulsu sondującego, wysyłanego za pomocą falowodów w kierunku anteny.



Schemat blokowy nadajnika



Generator impulsów spustowych

- Generator impulsów spustowych (czasoster) synchronizuje pracę poszczególnych układów radaru, które biorą udział w procesie pomiaru odległości i dlatego ich synchronizacja jest wymagana dla uzyskania dużej dokładności mierzonych odległości.
- Czasoster wytwarza z określoną częstotliwością powtarzania impulsy szpilkowe, zwane impulsami spustowymi lub synchronizującymi.
- Czasoster steruje m.in. modulatorem, generatorem podstawy czasu (wybór odpowiednich komórek pamięci), układem ZRW itd.



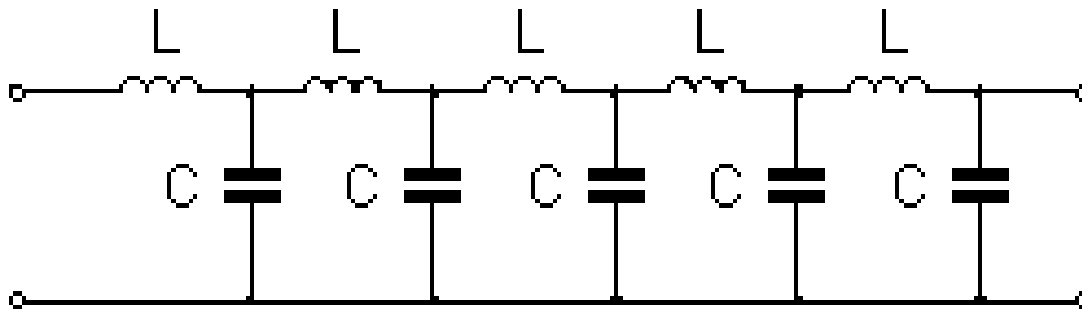
Modulator

- Służy do formowania impulsów prostokątnych o bardzo dużej mocy (wysokie napięcie do kilkudziesięciu tysięcy V, duży prąd impulsowy do kilkuset A).
- Wykorzystywane są zastępcze linie (pulse forming network PFN) których ogniwa składają się z szeregowo połączonych ogniw LC o skupionych parametrach, czyli zbudowanych z kondensatorów i cewek indukcyjnych.
- Są one ładowane stosunkowo wolno (rzędu 1000 μs) natomiast oddaje energię bardzo szybko (rzędu 1 μs).
- Umożliwia to wykorzystanie źródła o niskiej mocy do wyprodukowania impulsu o znacznie większej mocy.



Zastępcza linia transmisyjna - PFN

- Wybór długości impulsu jest realizowany poprzez wybór odpowiedniej ilości „komórek” sieci.



Magnetron

Generator bardzo wielkiej częstotliwości (magnetron)

Pod wpływem energii impulsu modulującego wytwarza on impuls fali elektromagnetycznej dużej mocy o określonej częstotliwości drgań i czasie trwania.

Czas trwania impulsu b.w.cz. waha się w granicach od 0.02 do 1.0 μ s, a jego moc od kilku do kilkudziesięciu kW.

Częstotliwość drgań, zwana częstotliwością pracy radaru zawiera się w pasmach o częstotliwości S lub X. Pasma X stosowane najczęściej w morskich radarach, obejmuje zakres częstotliwości 9200–9500 MHz, zaś pasmo S obejmuje 2900-3100 MHz.

W generatorach b.w.cz. do impulsowej generacji drgań b.w.cz. stosuje się specjalny typ lampy mikrofalowej zwanej magnetronem. Magnetron wytwarza drgania określonej częstotliwości. Impuls energii b.w.cz. Przekazywany jest za pośrednictwem falowodu do anteny.



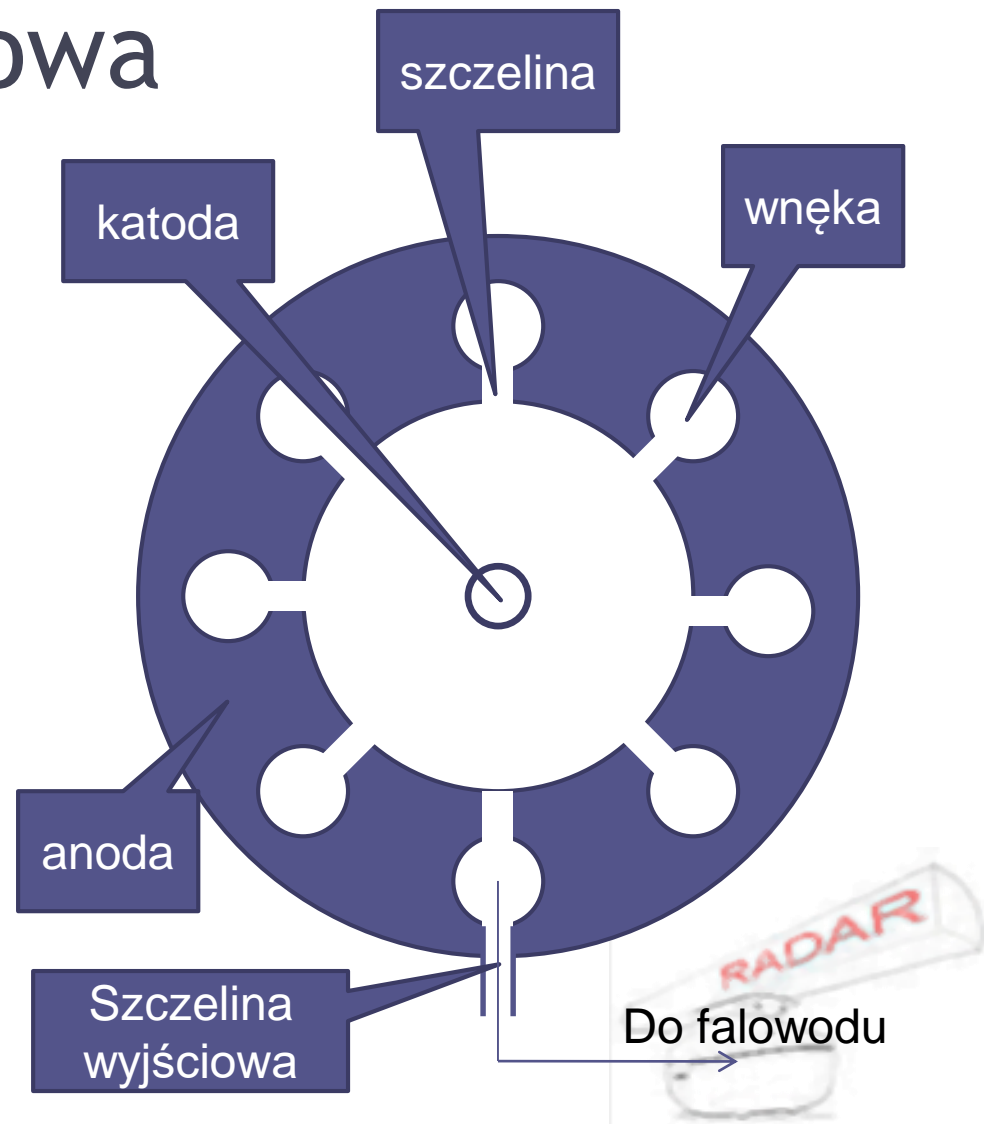
Magnetron

- samowzbudne urządzenie oscylacyjne oparte na zjawisku rezonansu, które przetwarza wejściową energię prądu stałego na energię elektryczną wysokiej częstotliwości.
- Przetwarzanie energii odbywa się w specjalnie ukształtowanej komorze anodowej umieszczonej w silnym polu magnetycznym.
- Elektrony wysyłane przez katodę przyciągane są przez anodę, a tor i ich prędkość modyfikowane są przez pole magnetyczne i kształt komory anodowej.



Magnetron - budowa

- Miedziany cylinder z wnękami
- Źródło elektronów w postaci tlenkowej katody ogrzewanej elementem oporowym żarzenia
- Próżnia



Zakres - długość impulsu

Zakres [Mm]	Impuls krótki		Impuls długi	
	PRF [Hz]	PL [μ s]	PRF [Hz]	PL [μ s]
0.25	2000	0.05	2000	0.05
0.5	2000	0.05	1000	0.25
0.75	2000	0.05	1000	0.25
1.5	2000	0.05	1000	0.25
3.0	1000	0.25	500	1.0
6.0	1000	0.25	500	1.0
12	1000	0.25	500	1.0
24	500	1.0	500	1.0
48	500	1.0	500	1.0

Porównanie długości impulsów

Właściwość	Impuls krótki	Impuls długi
Wykrywanie na dużych odległościach	Gorsze. Używać na krótkich zakresach.	Lepsze. Używać na dalekich zakresach, na krótkich w przypadku występowania słabych ech.
Zasięg minimalny	Lepszy. Używać na krótkich zakresach.	Gorszy. Bez większego znaczenia na dalekich zakresach.
Rozróżnialność promieniowa	Lepsza.	Gorsza.
Wpływ na rozmiar echa	Krótszy rozmiar promieniowy, lepiej oddaje rzeczywiste rozmiary obiektów, zwłaszcza na krótkich zakresach.	Dłuższy rozmiar promieniowy widoczny zwłaszcza na krótkich zakresach. Do zaakceptowania na dłuższych zakresach.
Wpływ na zakłócenia od fal morskich	Obniża prawdopodobieństwo zamaskowania echa przez echa od fal.	Podwyższa prawdopodobieństwo zamaskowania echa przez echa od fal.
Wpływ na zakłócenia od opadów	Obniża prawdopodobieństwo zamaskowania echa przez echa od opadów.	Podwyższa prawdopodobieństwo zamaskowania echa przez echa od opadów.

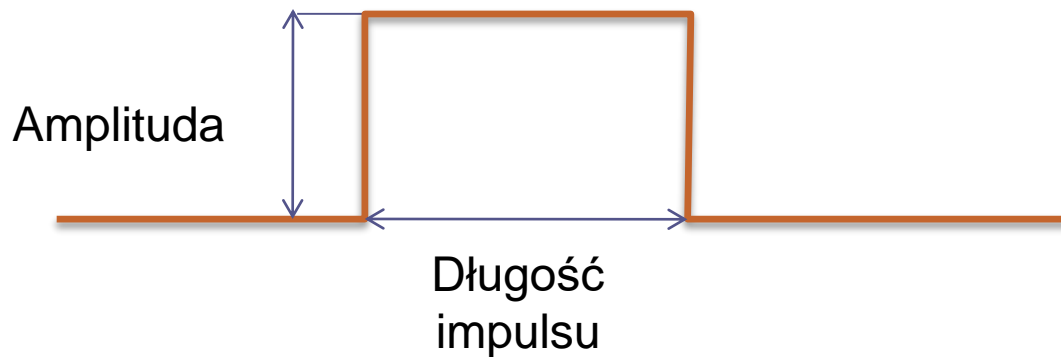
Moc impulsu

- Jest jednym z czynników determinujących zasięg maksymalny radaru.
- Zależy od amplitudy impulsu.
- Na małych statkach stosuje się nadajniki o mocy nie przekraczającej kilku kW. Dla statków handlowych o nieograniczonym zasięgu pływania stosuje się moce nawet do kilkudziesięciu kW.

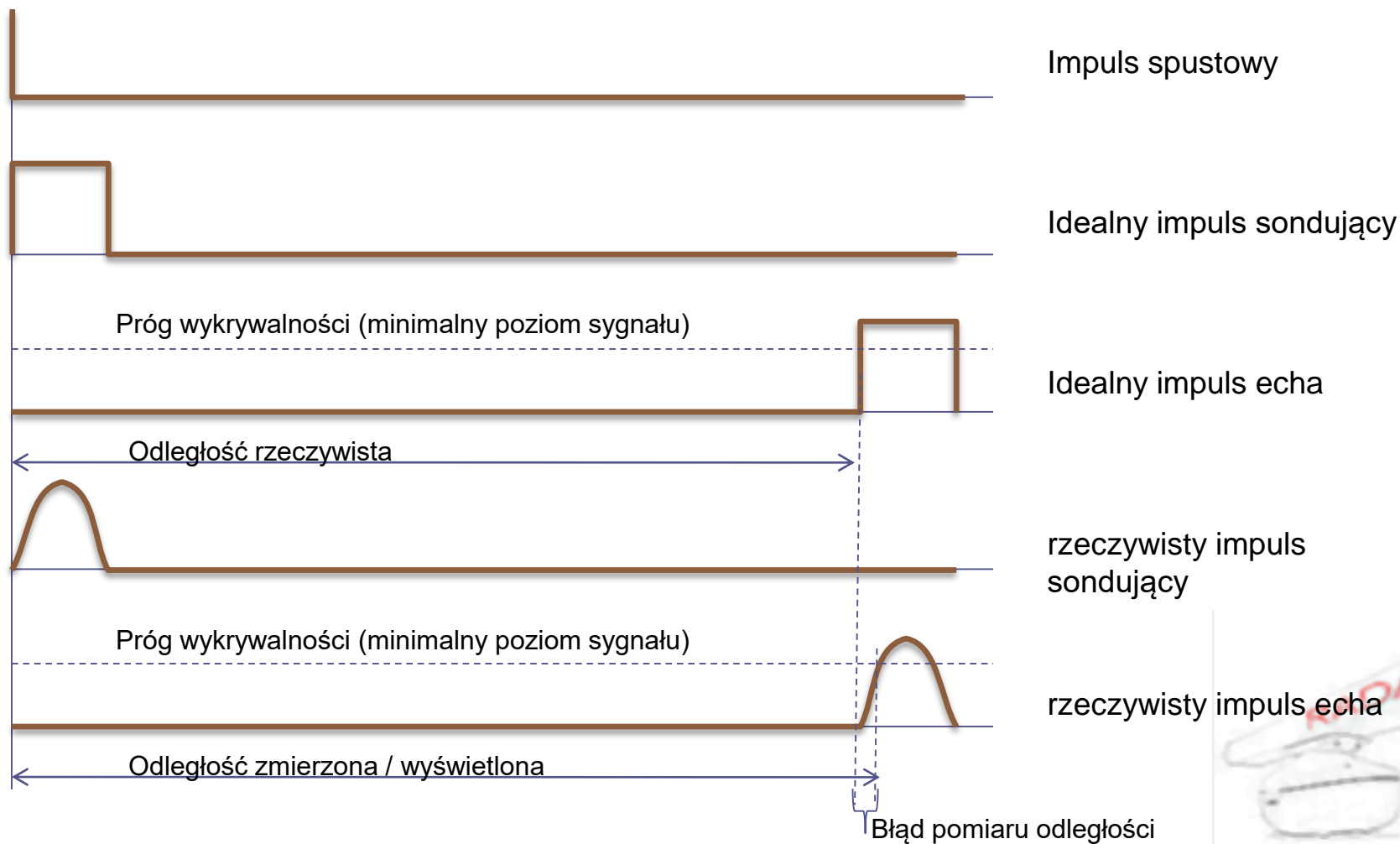


Kształt impulsu

- Kształt impulsu jest szczególnie istotny przy pomiarze odległości. Idealny – prostokątny.

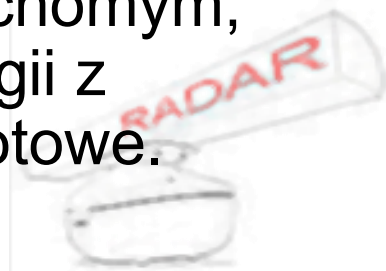


Kształt impulsu



Falowód

- Linia przesyłowa energii impulsu b.w.cz. z nadajnika do anteny, jak również energii impulsów odbitych (impulsów ech) z anteny do odbiornika.
- Dla pasma X falowody są metalowymi rurami o przekroju prostokątnym o odpowiednich wymiarach zapewniających przesyłanie energii b.w.cz. z możliwie najmniejszymi stratami.
- Dla pasma S stosuje się też jako linię przesyłową kable koncentryczne o odpowiedniej konstrukcji.
- Ponieważ antena jest w radarze elementem ruchomym, to celem przekazania do niej (i odwrotnie) energii z nieruchomego falowodu stosuje się złącze obrotowe.



Przełącznik N/O

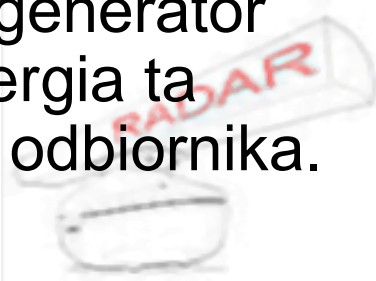
Przełącznik nadawanie / odbiór,

Zadaniem tego przełącznika jest blokowanie obwodów wejściowych odbiornika w czasie pracy nadajnika.

Zabezpieczone są wtedy czułe obwody wejściowe przed uszkodzeniem przez impuls b.w.cz. dużej mocy.

Rolę przełącznika N/O pełni tzw. Zwierak gazowy, umieszczony w odpowiednim miejscu na odcinku falowodu prowadzącego do odbiornika.

Zwierak jest spolaryzowany wstępnie napięciem nie powodującym jednak jego jonizacji i dopiero gdy generator b.w.cz. rozpoczyna wysyłanie impulsu b.w.cz. energia ta powoduje jonizację gazu i zablokowanie drogi do odbiornika.



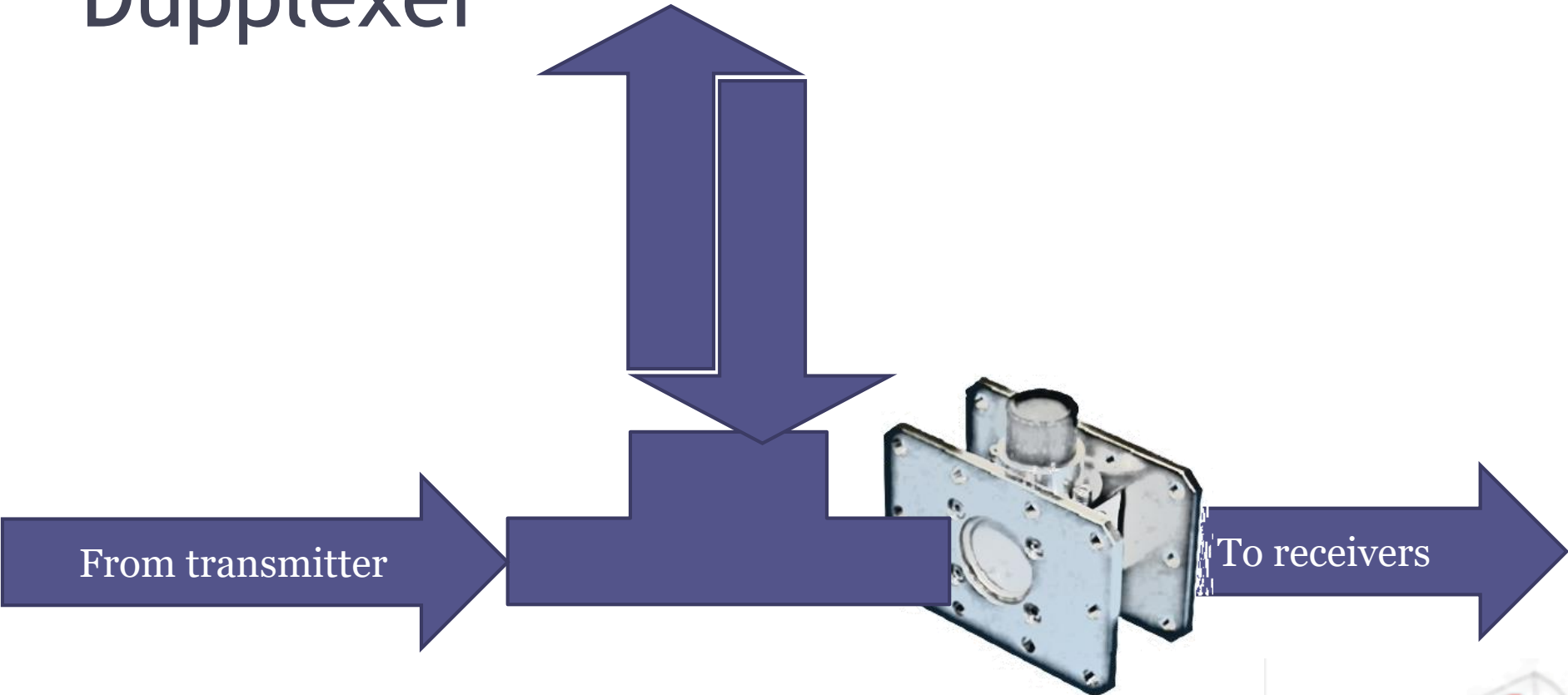
Duplexer

Antenna

From transmitter

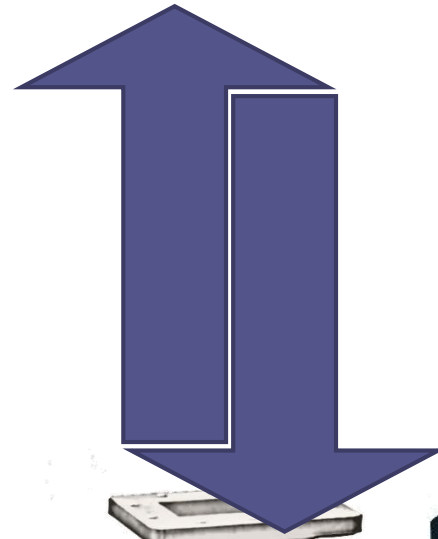
To receivers

T / R Switch

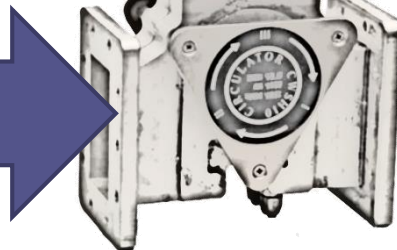


Duplexer

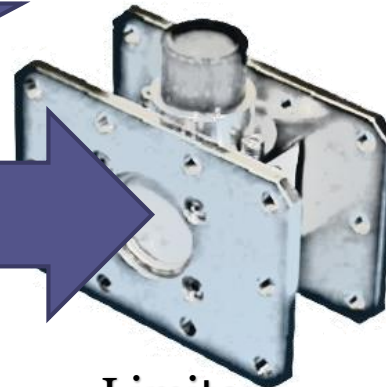
Antenna



From transmitter



Ferrite circulator



Limiter

To receivers



Antena

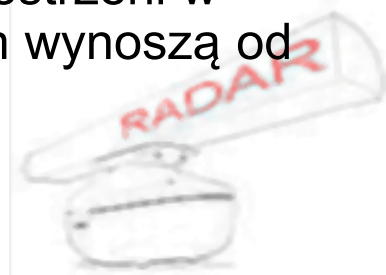
Promieniuje kierunkowo i odbiera impulsy fal elektromagnetycznych. Jest obracana silnikiem elektrycznym w płaszczyźnie poziomej.

Spotyka się dwa typy anten radarowych: anteny szczelinowe i paraboliczne.

Anteny szczelinowe (stosowane najczęściej) wykonane są z odcinka falowodu, w którego krótszej ścianie wyciętych jest szereg szczelin umieszczonych w ściśle określonych odległościach i nachylonych do osi falowodu pod kątem większym niż 70 stopni.

Antena paraboliczna składa się z reflektora będącego wycinkiem parabolicznego zwierciadła w którego ognisku umieszczone jest wyjście falowodu zakończonego rożkiem, pełniącego rolę elementu promieniującego.

Fale elektromagnetyczne promieniowane są (i odbierane) w przestrzeni w postaci listka, którego wymiary kątowe, w przekroju poziomym wynoszą od 0.5 do 2 stopni, a w przekroju pionowym od 20 do 45 stopni.



Anteny

$$\Theta[^\circ] = K \frac{\text{długość fali [m]}}{\text{szerokość apertury [m]}}$$



K – stała, której teoretyczna wartość jest równa 51.

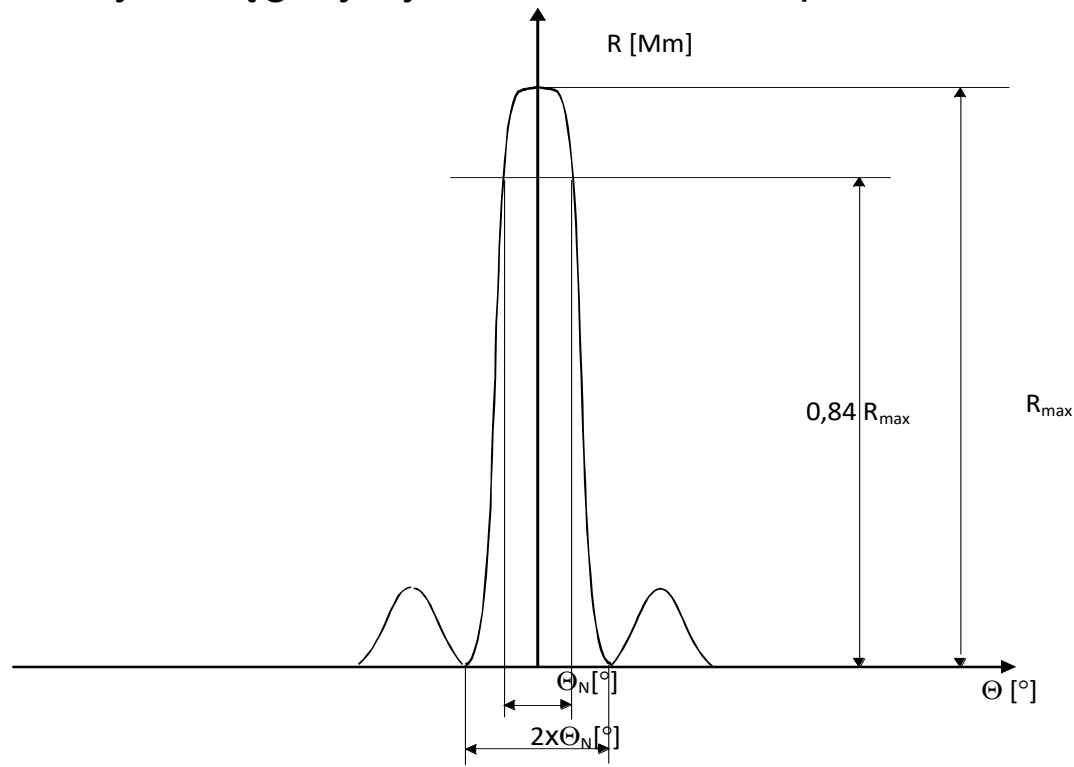
W praktyce wartość stałej różni się w zależności od konstrukcji anteny.

Dla współczesnych anten szczelinowych jest równa 70.

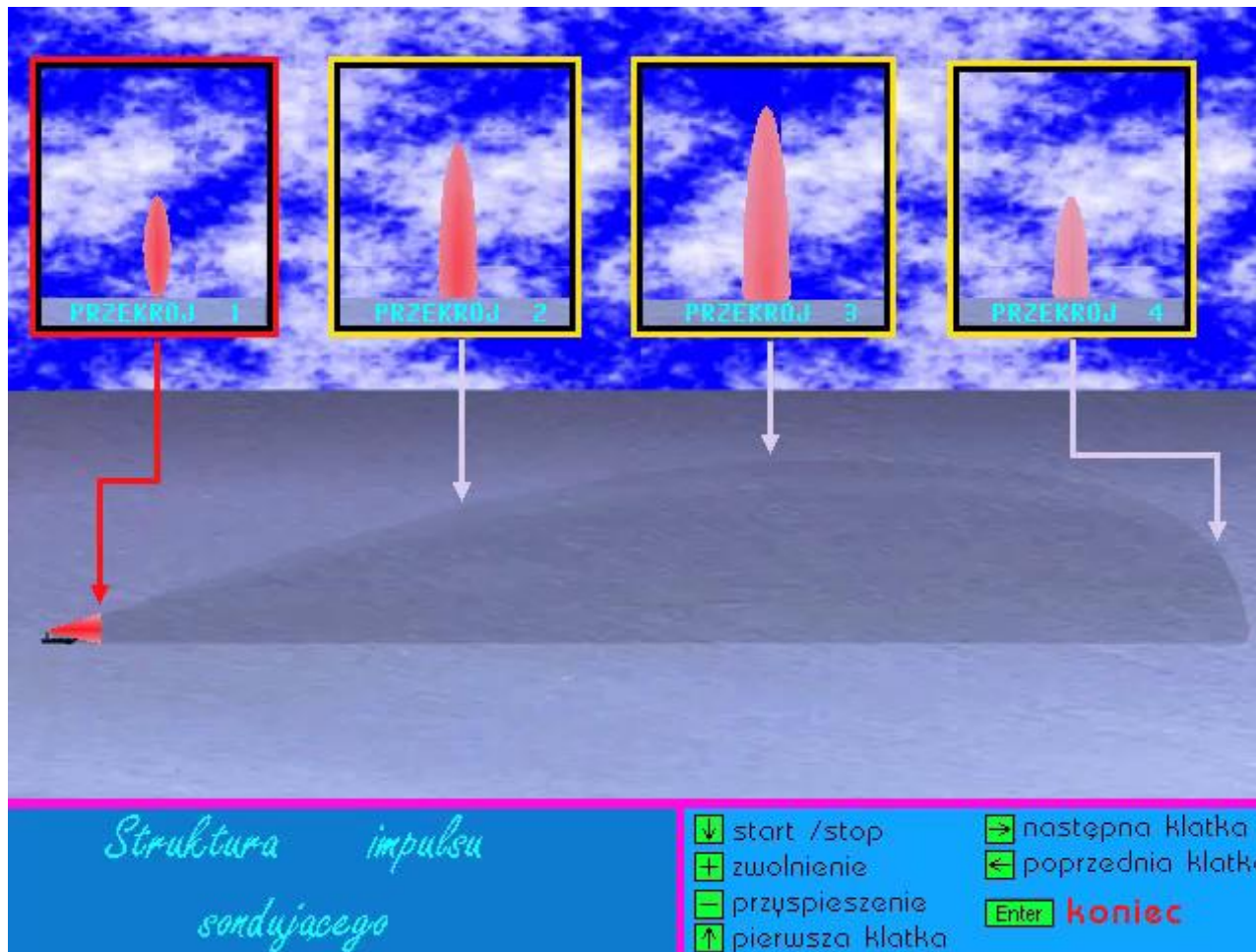


Antena szczelinowa

- Kształt poziomego przekroju charakterystyki antenowej na poziomie osi anteny w układzie prostokątnym (kartezjańskim).
- Θ_N - wartość nominalna Θ w odległości $0,84 R_{max}$ [°];
- R_{max} - maksymalny zasięg wykrywania obiektu na poziomie osi anteny [Mm];



Antena szczelinowa



Antena szczelinowa

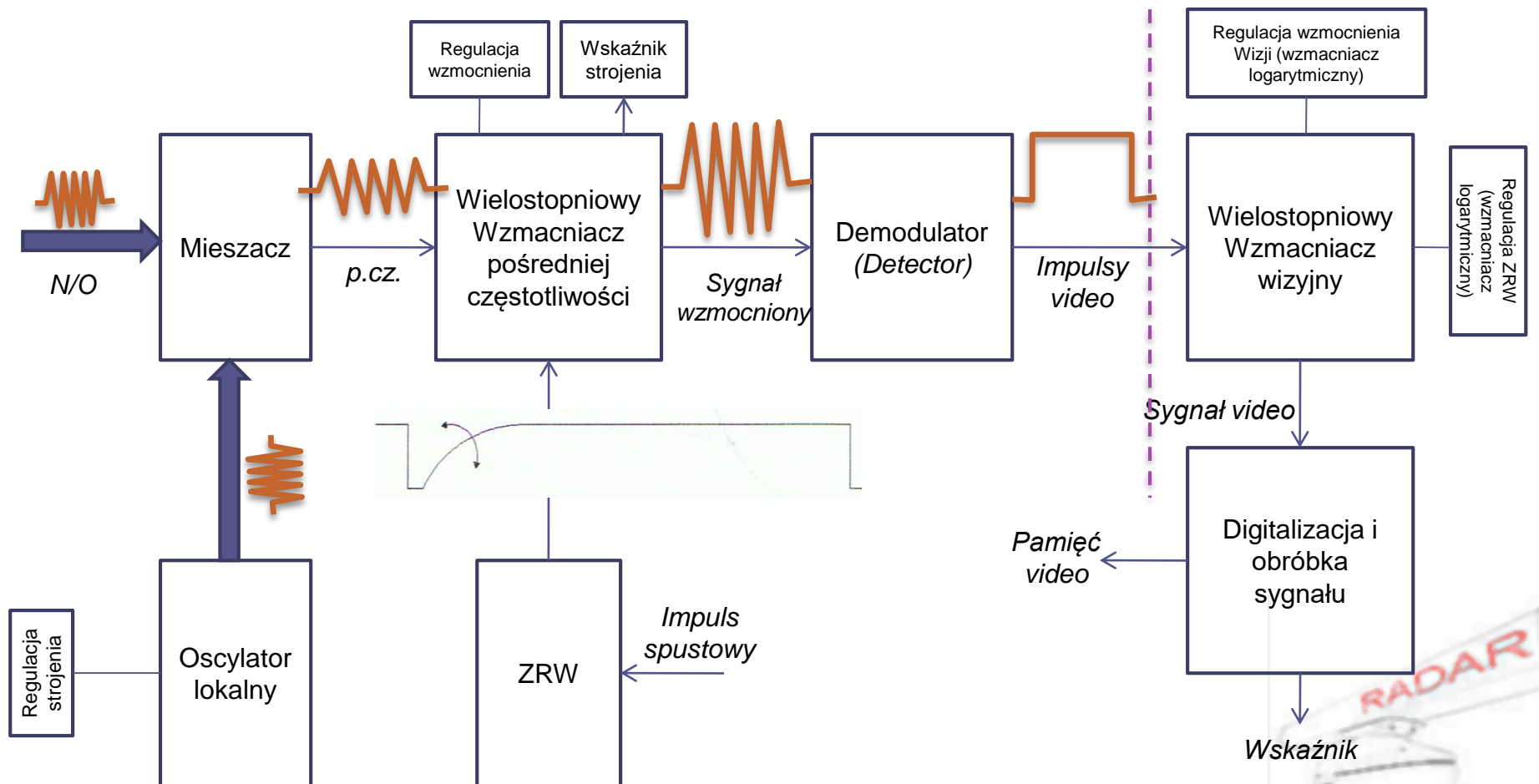


Odbiornik

- Zadanie odbiornika radarowego polega na odebraniu odbitego impulsu sondującego, wzmacnieniu oraz przekazaniu w odpowiedniej formie do wskaźnika radarowego.
- Podstawowe elementy odbiornika to:
 - Mieszacz
 - Oscylator lokalny
 - Wzmacniacz pośredniej częstotliwości
 - demodulator



Schemat blokowy odbiornika



Mieszacz

- Mieszacz – za względu na wielką częstotliwość odebranych przez antenę impulsów ech, są one przekazywane do układu mieszacza przed ich wzmacnieniem. W układzie tym następuje obniżenie częstotliwości odebranych impulsów, w wyniku interferencji z sygnałem lokalnego oscylatora. Powstają w ten sposób impulsy o częstotliwości pośredniej, które są wzmacniane w dalszych układach odbiornika. W odbiornikach radarowych stosuje się mieszacze pracujące na krzemowych diodach krystalicznych.



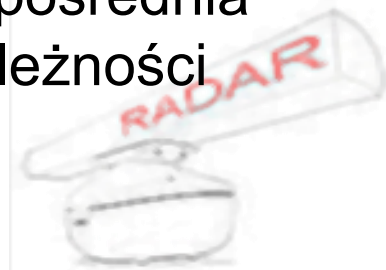
Lokalny oscylator

- Lokalny oscylator – jego zadaniem jest generacja ciągłych drgań o częstotliwości różniącej się od częstotliwości ech (częstotliwości pracy) o wartości częstotliwości pośredniej. Określoną i stałą wartość częstotliwości pośredniej konieczną dla zapewnienia właściwej pracy wzmacniacza p.cz., a więc osiągnięcia największej wykrywalności radaru uzyskuje się w wyniku przestrajania lokalnego oscylatora za pomocą regulatora.



Wzmacniacz p.cz.

- Wzmacniacz pośredniej częstotliwości – słabe impulsy pośredniej częstotliwości są wzmacniane w wielostopniowym wzmacniaczu o regulowanym wzmacnieniu. Wielkość wzmacnienia wszystkich przychodzących na wejście wzmacniacza impulsów ustala się za pomocą regulatora (wzmocnienie). Dodatkowo wzmacnienie sygnałów pochodzących z bliskich odległości może być ustalone przez układ ZRW. Wzmacniacz p.cz. charakteryzuje się odpowiednio dużym wzmacnieniem, selektywnością i szerokością przenoszonego pasma. Częstotliwość pośrednia stosowana w radarach jest stała i zawiera się (w zależności od typu radaru) w granicach 30-80 MHz.



ZRW

- Układ Zasięgowej Regulacji Wzmocnienia (ZRW) – działanie tego układu polega na zmniejszeniu wzmocnienia wzmacniacza p.cz w początkowym okresie każdego cyklu pracy radaru. Regulator ZRW znajdujący się w takim układzie ustala efektywność oraz zasięg działania układu. Układ ZRW sterowany jest impulsami szpilkowymi z czasosteru.



Wskaźnik strojenia

- Wskaźnik dostrojenia – zadaniem tego układu jest sygnalizowanie operatorowi stopnia dostrojenia oscylatora lokalnego. Układ ten mierzy amplitudę częstotliwości pośredniej. Punkt maksymalnego dostrojenia odpowiada największej amplitudzie częstotliwości pośredniej.

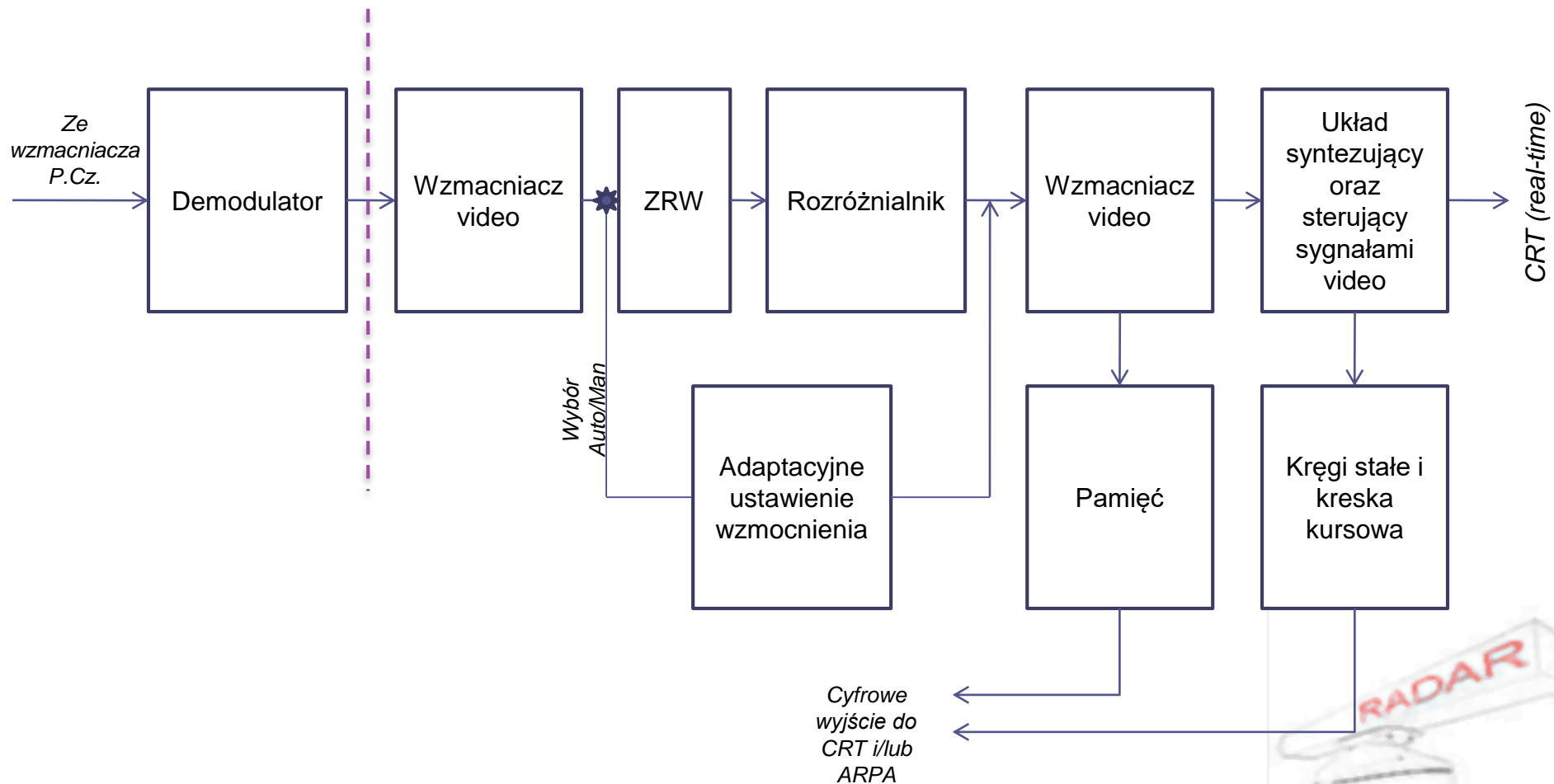


Demodulator

- Demodulator – zadaniem układu jest przekształcenie impulsów przychodzących ze wzmacniacza p.cz. na impulsy wizyjne prądu stałego.



Schemat blokowy wskaźnika

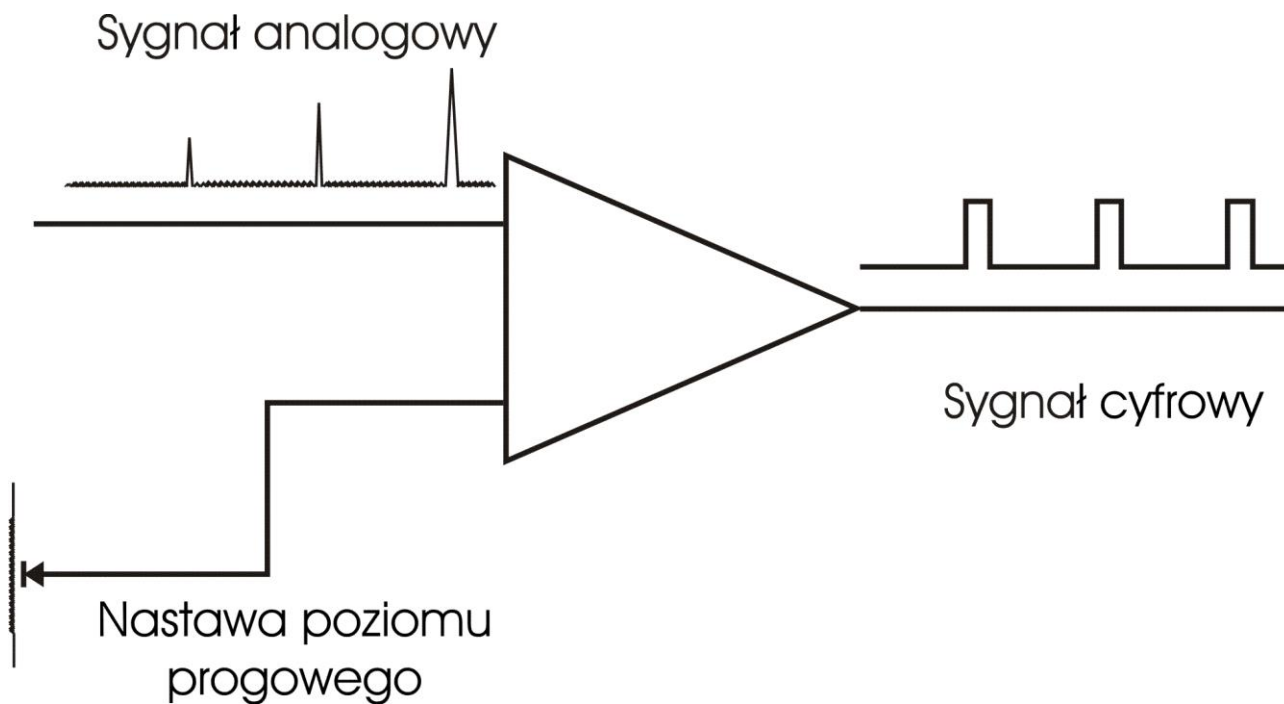


Obróbka sygnału

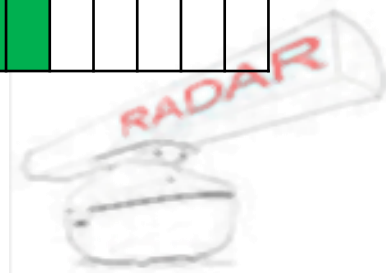
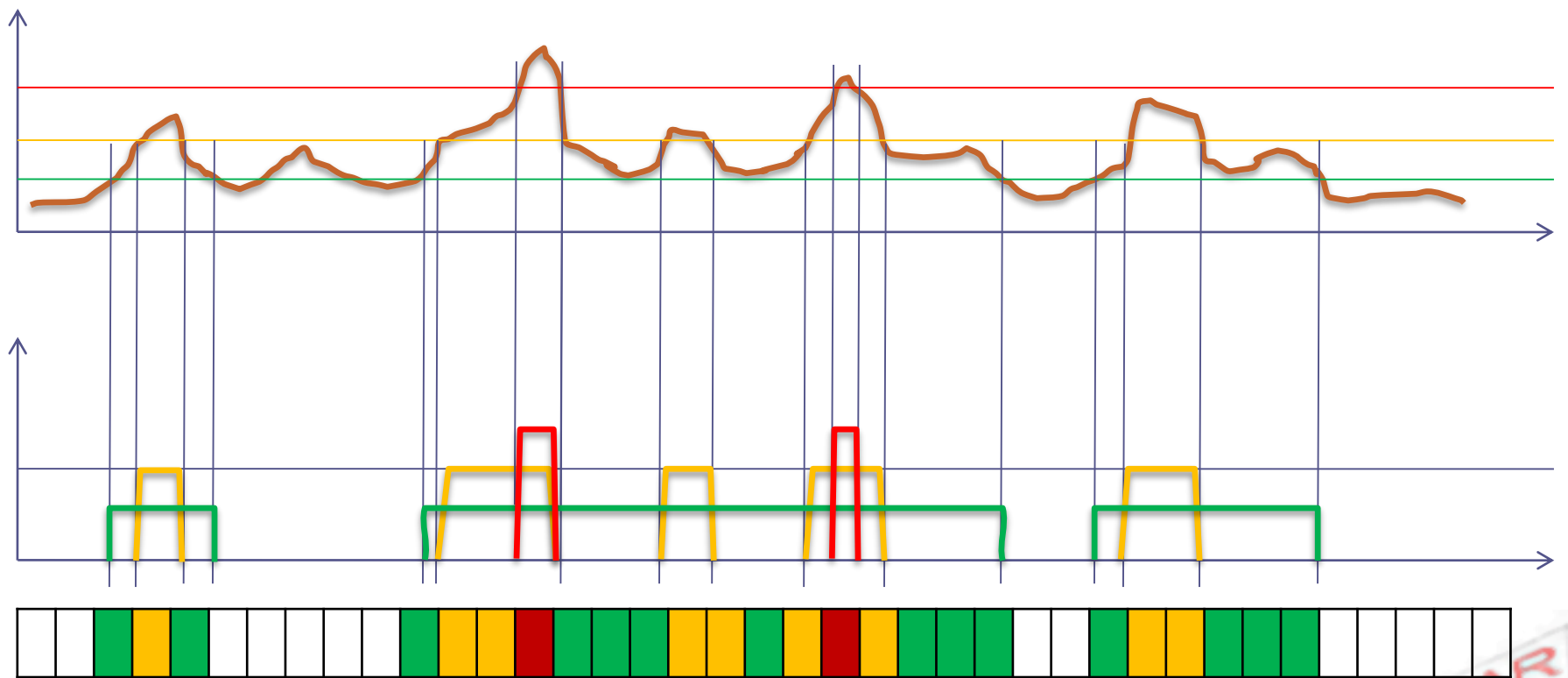
- Układ tłumienia zakłóceń niesynchronicznych lub układ obróbki cyfrowej – w radarach stosuje się układy obróbki cyfrowej sygnału wizyjnego działające na zasadzie detekcji progowej jedno lub wielostopniowej. Sygnał wizyjny poddawany jest dyskretyzacji w stanie i w czasie. Uzyskany sygnał cyfrowy wpisany zostaje do pamięci. Proces ten usuwa zakłócenia niesynchroniczne, a ponadto pozwala uzyskać jednakową jasność ech na ekranie (przy detekcji wielostopniowej obraz kolorowy) niezależnie od amplitudy ech oraz niezależnie od zakresu obserwacji.



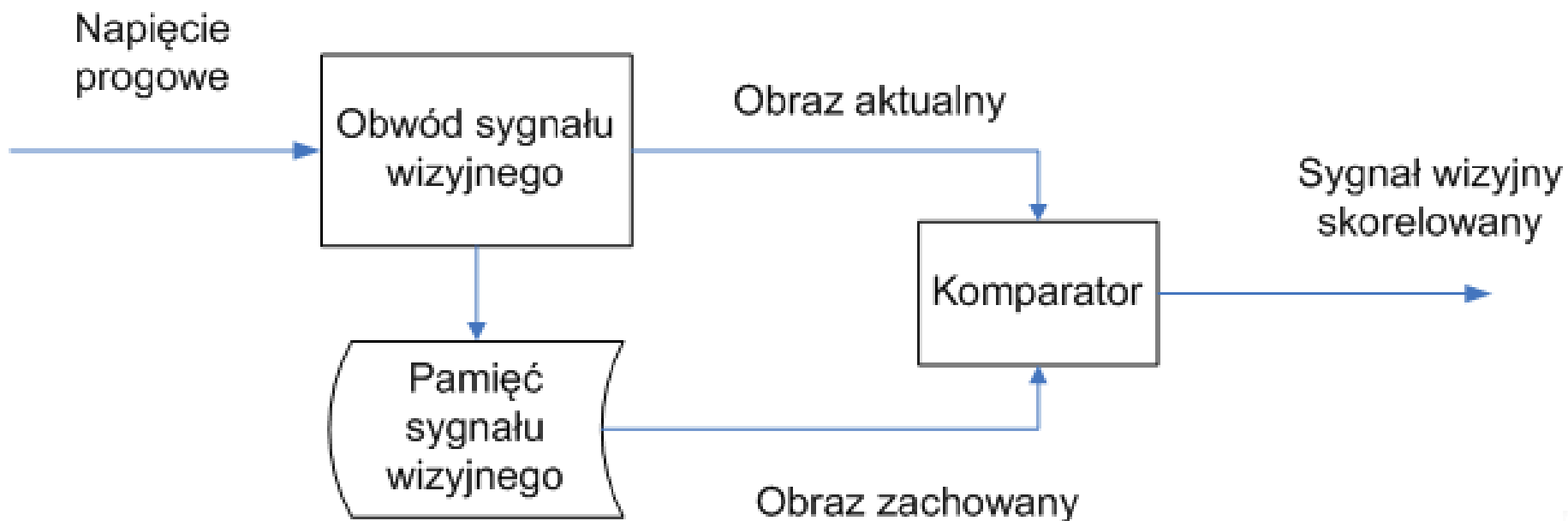
Przetwornik analogowo-cyfrowy



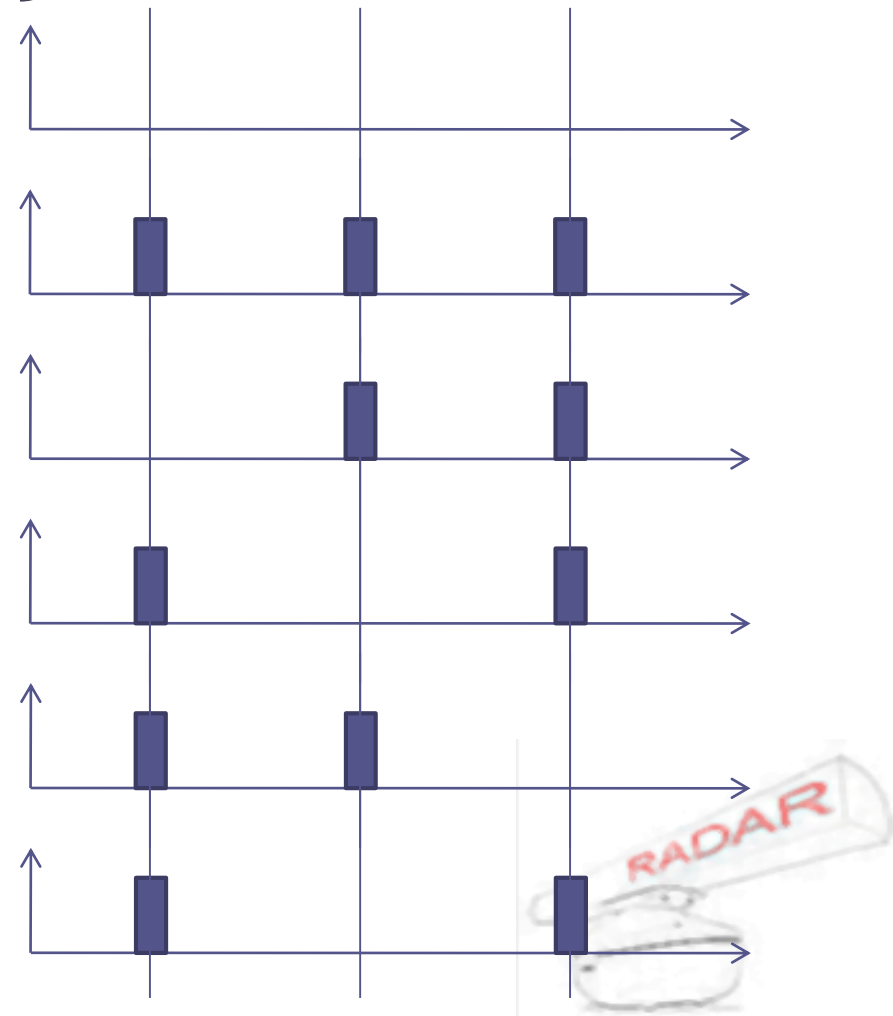
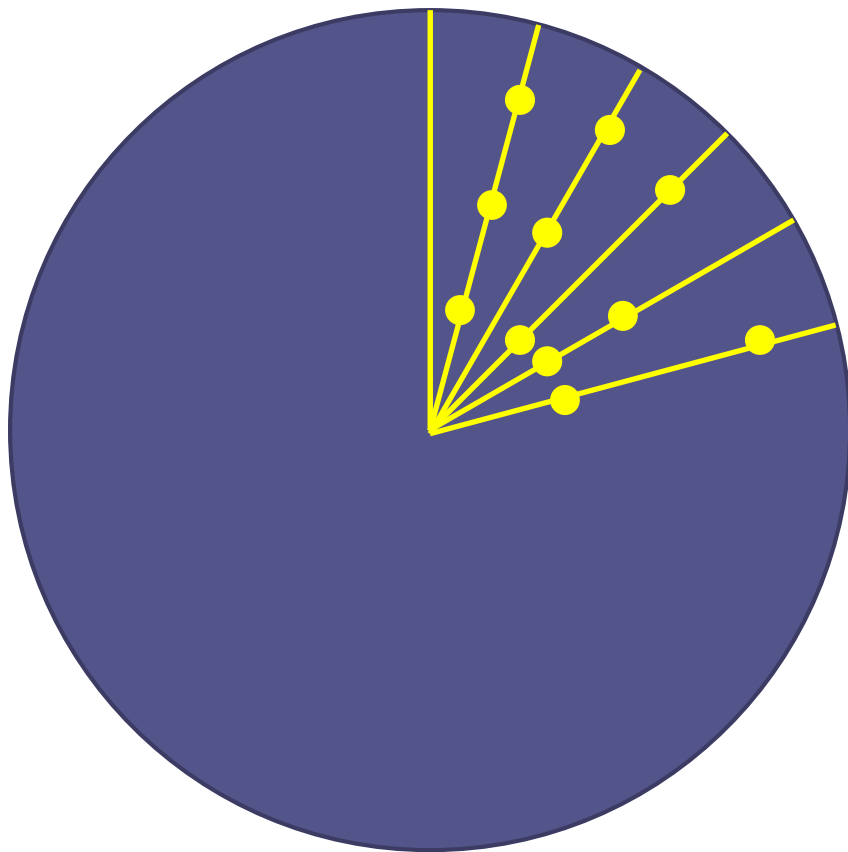
Detekcja progowa



Schemat blokowy IR



IR - interference reject

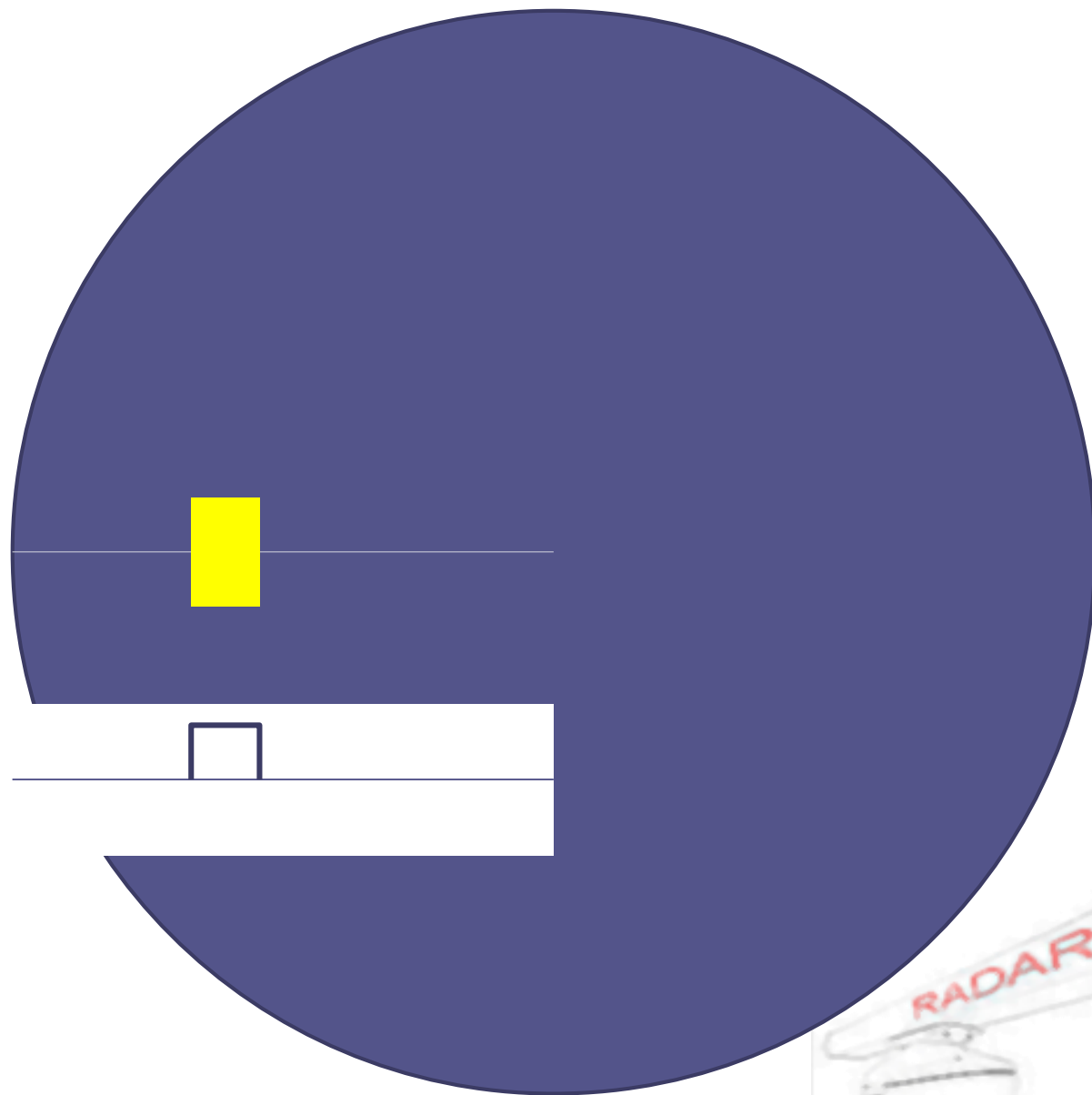


Rozróżniak

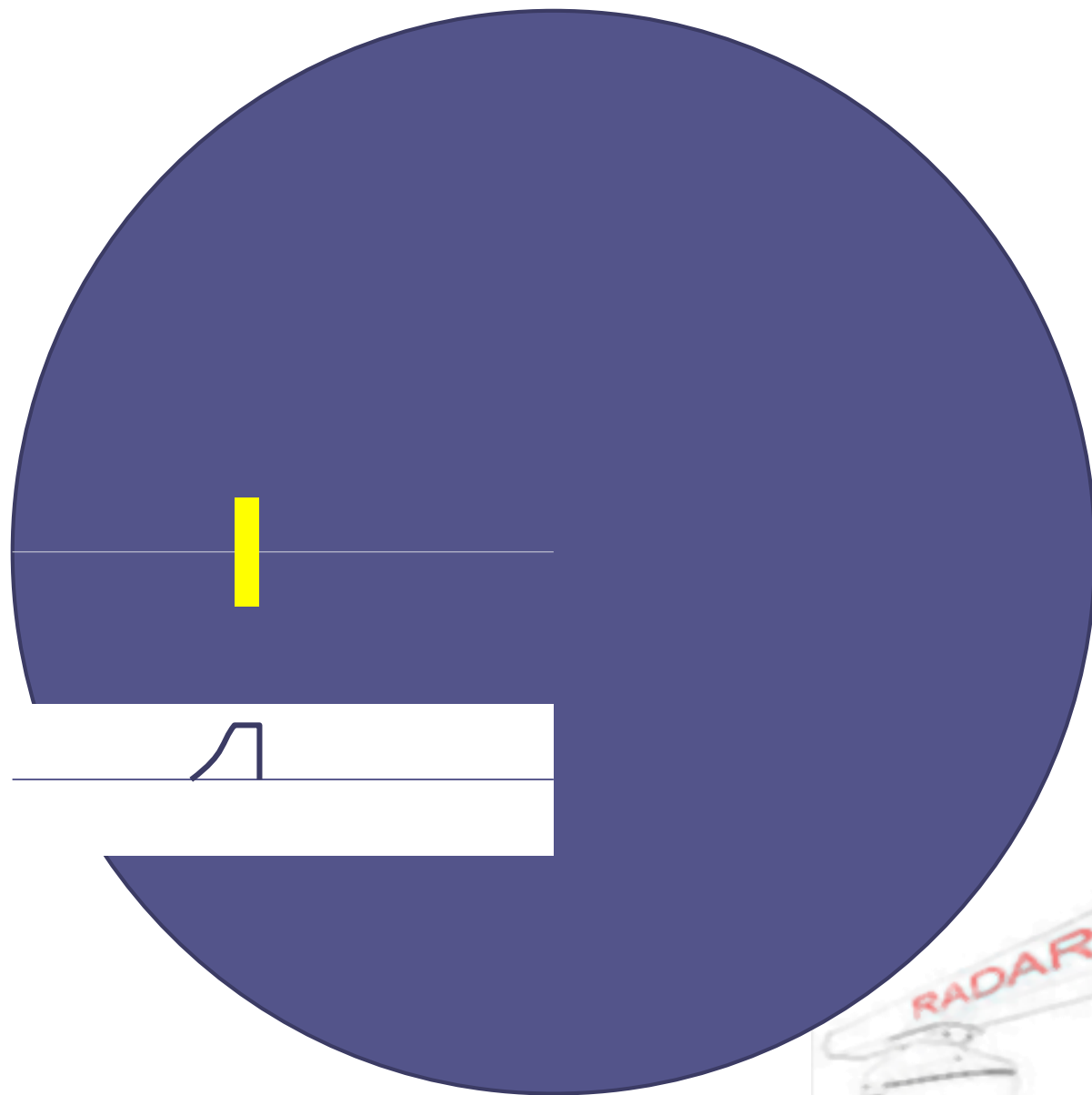
- Rozróżniak – jest to układ różniczkujący, którego zadaniem jest skracanie czasu trwania odbieranych impulsów ech, w celu zwiększenia rozróżnialności promieniowej oraz eliminacji niektórych zakłóceń obrazu radarowego. Wskutek zmniejszenia amplitudy i energii różniczkowanych impulsów (związanej z czasem trwania), wymiary ech na ekranie wskaźnika ulegają zmniejszeniu, co powoduje wyeliminowanie słabych ech i zmniejszenie maksymalnego zasięgu radaru. Układ rozróżniaka może być włączany potencjometrem z wyłącznikiem, co pozwala na płynne regulowanie czasu trwania zróżniczkowanych impulsów.



A/C Rain



A/C Rain



Wzmacniacz wizji

- Wzmacniacz wizji – zadaniem wzmacniacza jest wzmocnienie i połączenie sygnałów wizyjnych oraz impulsów znaczników odległości i kursu w jeden sygnał.



Ekran

- Obecnie w użyciu najczęściej są radary raster –scan z ekranami CRT (cathode ray tube) lub LCD (liquid-crystal display). Obraz jest rysowany w prostokątnym układzie współrzędnych z częstotliwością odświeżania co najmniej równa 60 Hz.
- Ze względu na bardzo krótką poświatę takich ekranów (mniej niż 1 ms) ewentualna poświata poruszających się na ekranie ech uzyskiwana jest sztucznie.



Długość impulsu

- Mierzona w μs , i zdefiniowana jako czas, w którym radar transmituje impuls.
- Im dłuższy impuls tym prawdopodobieństwo wykrycia obiektu jest większe. Jest to spowodowane faktem, iż każdy odbiornik radarowy wzmacnia impulsy długi bardziej efektywnie niż krótkie.
- Im dłuższy impuls, tym bardziej oddalony jest zasięg minimalny, co może spowodować niewykrycie obiektów w bezpośrednim sąsiedztwie anteny radarowej.
- W pewnych sytuacjach (trudność wykrycia echa od obiektu na tle zakłóceń od fal morskich) skrócenie impulsu może spowodować osłabienie zakłócających ech a tym samym wykrycie ech użytecznych.



Długość impulsu

- Liczba możliwych długości impulsu zależy od konstrukcji radaru (od 2 do 5).
- Zakres długości impulsów to 0.05 do 1.3 μs .
- Półautomatyczny wybór długości impulsów jest realizowany poprzez wybór zakresu obserwacji.
- Długość impulsu zależy od wymagań obserwatora, warunków hydrometeorologicznych, akwenu oraz od zakresu pracy radaru.



Zakres, zasięg

- Zakres (*range scale*) jest to promień [Mm] obszaru przedstawionego na ekranie radaru.
- Zasięg maksymalny (*maximum range*) jest to odległość, z jakiej dany obiekt może zostać wykryty. Zależy od właściwości odbijających obiektu oraz od parametrów radaru (moc impulsu, apertura anteny, czułość odbiornika).
- Zasięg minimalny (*minimum range*) jest to najmniejsza odległość z jakiej radar może wykryć obiekt. Zależy od długości impulsu i bezwładności przełącznika N/O.



Rozróżnialność promieniowa

- Zdolność radaru do wyświetlenia oddzielnie dwóch ech od obiektów położonych w takim samym namiarze oraz w bliskiej odległości.
- Jest miarą bezwzględną wyrażoną w metrach, określającą jaka odległość musi być między obiektami aby zostały wyświetlone na ekranie jako osobne echa



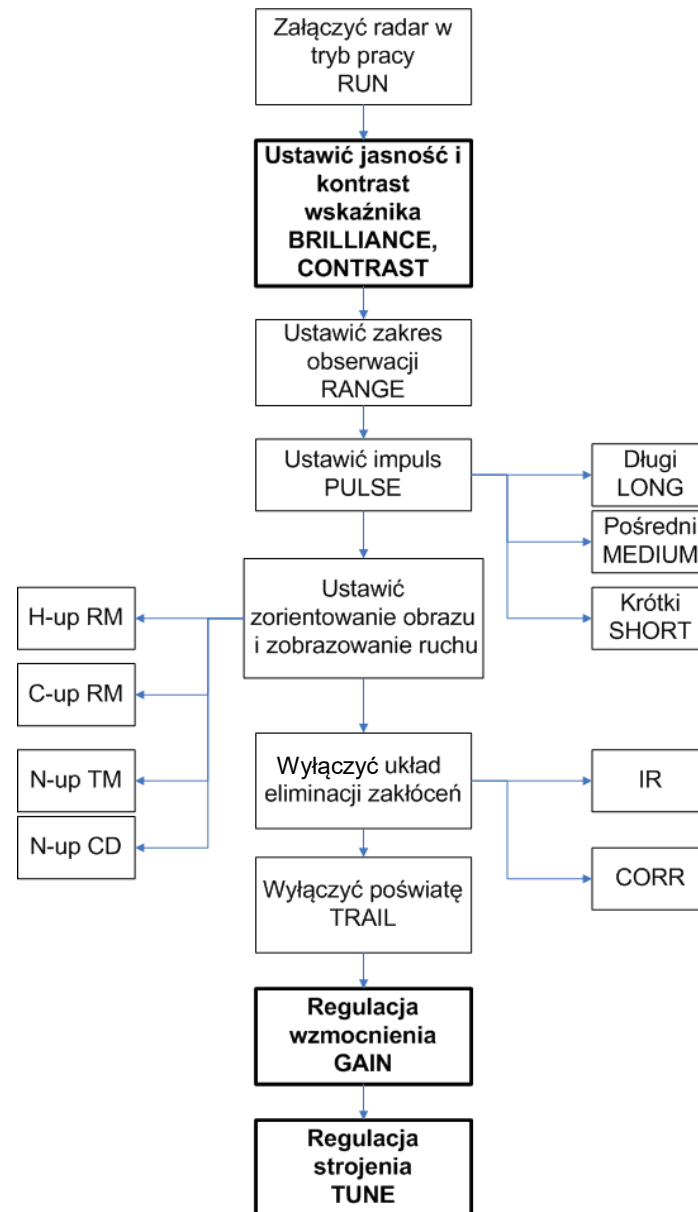
Rozróżnialność kąтова

- Zdolność radaru do wyświetlenia oddzielnie dwóch ech od obiektów położonych w takiej samej odległości oraz w bliskich namiarach.
- Jest miarą bezwzględną wyrażoną w stopniach, określająca jaka musi być odległość kąтова między obiektami aby ich echa zostały wyświetlone osobno.



Regulacja radaru

1. Włączenie zasilania
2. Oczekiwanie na tryb pogotowie
3. Regulacja wstępna
 1. Jasność
 2. Wzmocnienie
 3. Strojenie
4. Regulacja dodatkowa
 1. IR
 2. Rozróżniak
 3. ZRW



Porównanie radarów X i S

- Odzew obiektu (echo) jest większy dla pasma X;
- Dla danej szerokości anteny szerokość charakterystyki poziomej jest około 3.3 raza większa dla pasma S;
- Horyzont radarowy dla pasma S jest nieco bardziej oddalony;
- liczba ech od fal morskich jest mniejsza w przypadku pasma S, dlatego prawdopodobieństwo zamaskowania echa od obiektu jest niższe;
- Prawdopodobieństwo wykrycia obiektu zlokalizowanego w obszarze opadów atmosferycznych jest wyższe dla pasma S;
- Transmisja w paśmie S jest mniej podatna na osłabienie w warunkach opadów atmosferycznych.



Koniec

