

CSŁiI wewn.....

Do użytku służbowego

Egz. Nr. ....

# **PODSTAWY RADIOKOMUNIKACJI**

OPRACOWAŁ:

mjr mgr inż. Mieczysław Hucal

Zegrze, dn.....

Zatwierdzam i wprowadzam do użytku w Centrum Szkolenia Łączności i Informatyki  
z dniem ..... Skrypt pt. Podstawy radiokomunikacji.

KOMENDANT  
CENTRUM SZKOLENIA  
ŁĄCZNOŚCI I INFORMATYKI

.....

## SPIS TREŚCI

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 1.       | PRZEDMOWA   | 5  |
| 2.       | PROPAGACJA FAL RADIOWYCH  | 7  |
| 2.1.     | Podział fal radiowych   | 7  |
| 2.2.     | Parametry fal radiowych   | 9  |
| 2.3.     | Troposfera  | 11 |
| 2.4.     | Jonosfera   | 13 |
| 2.5.     | Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych o różnych długościach | 17 |
| 2.5.1.   | Fale długie   | 17 |
| 2.5.2.   | Fale średnie  | 17 |
| 2.5.3.   | Fale krótkie  | 17 |
| 2.5.4.   | Prognozy radiowe  | 20 |
| 2.5.5.   | Fale ultrakrótkie   | 23 |
| 3.       | ANTENY RADIOSTACJI WOJSKOWYCH                                   | 26 |
| 3.1.     | Klasyfikacja anten  | 26 |
| 3.2.     | Podstawowe parametry anten                                      | 26 |
| 3.2.1.   | Charakterystyka promieniowania anteny                           | 27 |
| 3.2.2.   | Zysk kierunkowy   | 27 |
| 3.2.3.   | Zysk energetyczny   | 29 |
| 3.2.4.   | Wysokość skuteczna anteny                                       | 29 |
| 3.2.5.   | Oporność promieniowania   | 30 |
| 3.2.6.   | Oporność strat  | 30 |
| 3.2.7.   | Współczynnik sprawności anteny                                  | 31 |
| 3.3.     | Podstawowe typy anten radiostacji wojskowych                    | 31 |
| 3.3.1.   | Anteny niesymetryczne   | 31 |
| 3.3.1.1. | Antena prętowa  | 31 |
| 3.3.1.2. | Antena skośny promień   | 32 |
| 3.3.1.3. | Antena typu T   | 32 |
| 3.3.1.4. | Antena półrombowa   | 33 |
| 3.3.1.5. | Antena fali bieżącej  | 33 |
| 3.3.2.   | Anteny symetryczne  | 34 |
| 3.3.2.1. | Antena typu dipol półfalowy                                     | 34 |
| 4.       | EMISJE RADIOWE  | 35 |
| 4.1.     | Łącze radiokomunikacyjne  | 35 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2. Sygnał elektryczny   | 36 |
| 4.3. Emisja radiowa   | 38 |
| 4.4. Oznaczanie emisji radiowych  | 38 |
| 4.4.1. Niezbędna szerokość pasma  | 39 |
| 4.4.2. Podstawowe cechy charakterystyczne                                     | 41 |
| 4.4.3. Dodatkowe cechy charakterystyczne                                      | 42 |
| 4.5. Charakterystyki czasowe i częstotliwościowe podstawowych rodzajów emisji | 44 |
| 5. EMISJE SZEROKOPASMOWE  | 47 |
| 5.1. System DS  | 47 |
| 5.2. System FH  | 55 |

## 1. PRZEDMOWA

Program kształcenia z przedmiotu „Urządzenia łączności” obejmuje między innymi zagadnienia dotyczące podstaw radiokomunikacji.

Wymaga to korzystania z obszernych instrukcji i podręczników. Instrukcje i podręczniki podają materiał w sposób złożony.

W celu ułatwienia nauki opracowany został skrypt pt. Podstawy radiokomunikacji..

Skrypt zawiera całokształt materiału, dotyczącego podstawowych zagadnień z radiokomunikacji, przewidzianego programem szkolenia. Obejmuje on mianowicie: propagację fal radiowych, podstawowe wiadomości o antenach radiostacji wojskowych, podstawowe wiadomości o emisjach radiowych. Zawiera także wiadomości o emisjach szerokopasmowych, stosowanych w urządzeniach radiowych najnowszej generacji.



## 2.PROPAGACJA FAL RADIOWYCH

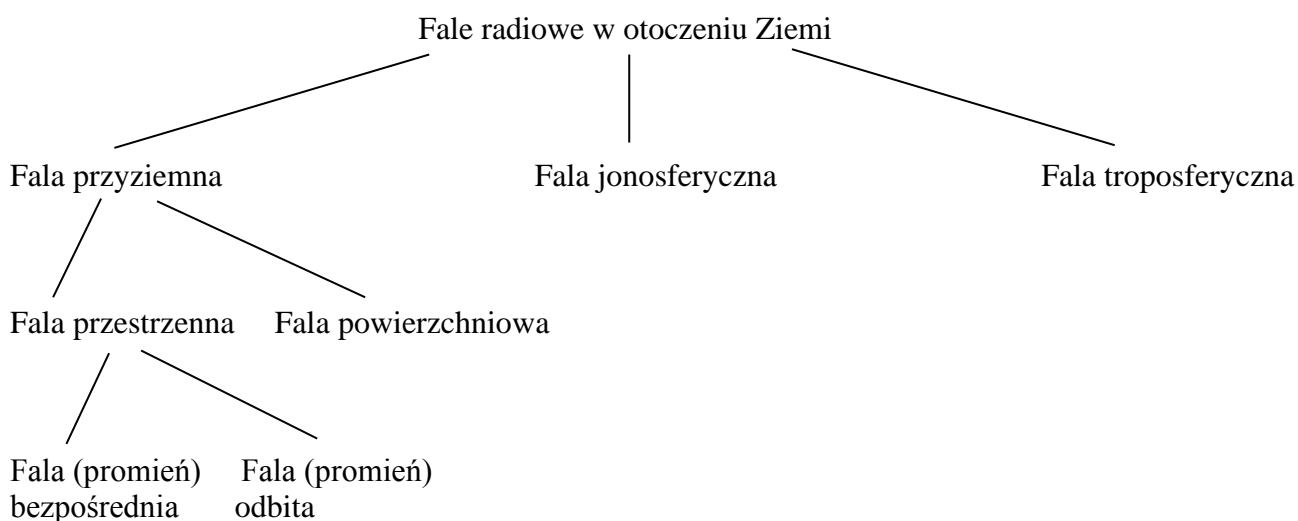
### 2.1 Podział fal radiowych

Zakres częstotliwości wykorzystywany w systemach radiokomunikacyjnych jest bardzo szeroki i rozciąga się od częstotliwości rzędu kilku kiloherców aż do częstotliwości optycznych. Ze względu na długość fali podzielono wszystkie częstotliwości używane w radiokomunikacji na kilka zakresów. Granice poszczególnych zakresów nie wszyscy określają jednoznacznie, gdyż nie ma wyraźnych kryteriów podziału i dlatego nie należy traktować ich jako granice sztywne. Niżej przyjęto dekadowy podział długości fal:

| NAZWA ZAKRESU     | DŁUGOŚĆ FAL  | CZĘSTOTLIWOŚĆ  |
|-------------------|--------------|----------------|
| Fale b. długie    | ponad 10 km  | poniżej 30kHz  |
| Fale długie       | 10 ÷ 1 km    | 30 ÷ 300kHz    |
| Fale średnie      | 1000 ÷ 100 m | 300kHz ÷ 3MHz  |
| Fale krótkie      | 100 ÷ 10 m   | 3 ÷ 30MHz      |
| Fale ultrakrótkie | 10 ÷ 1 mm    | 30MHz ÷ 300GHz |

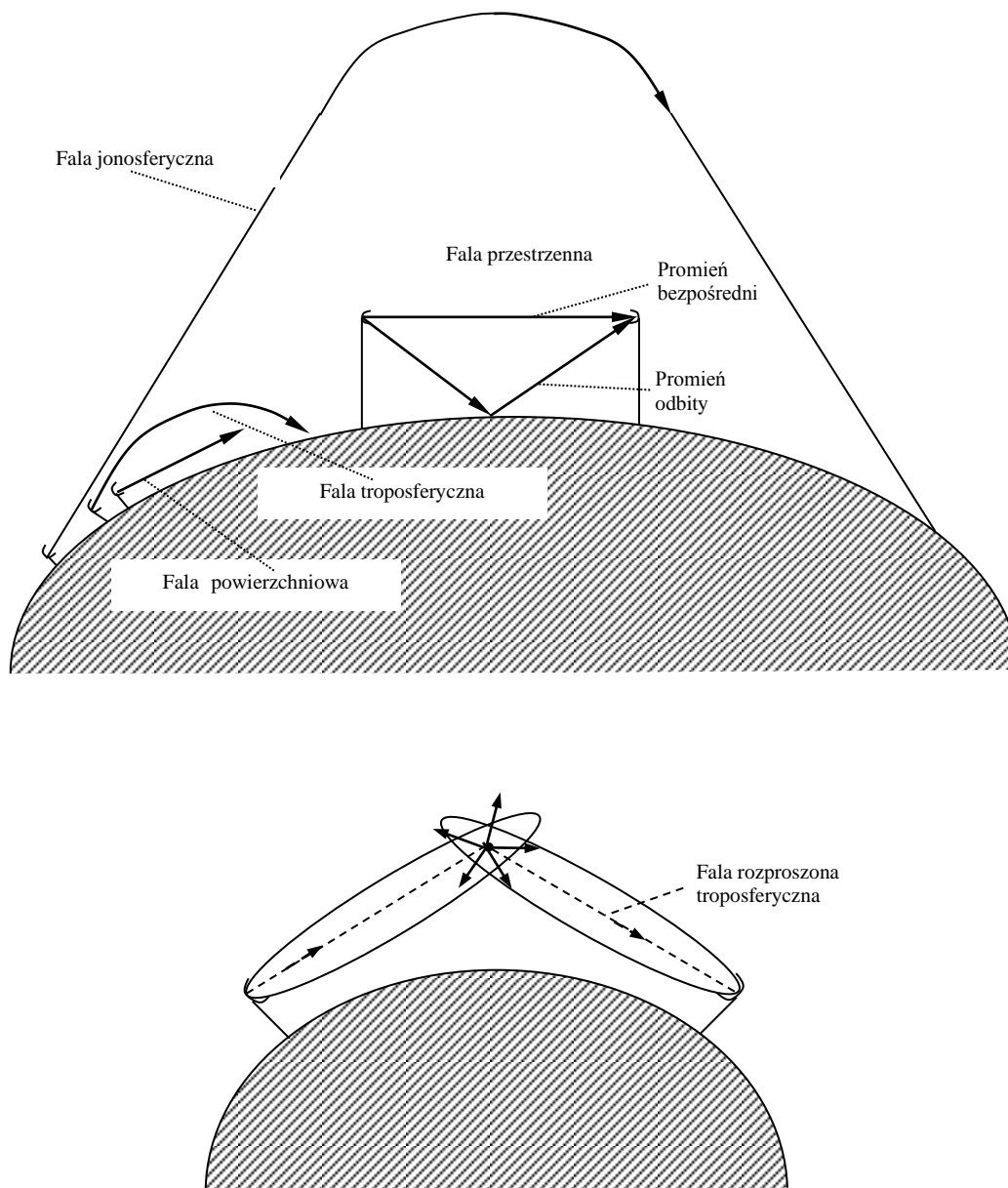
Jak wynika z przyjętej klasyfikacji radiostacje wojskowe mogą pracować w części fal średnich, w zakresie KF oraz w części zakresu UKF. W radiostacjach specjalnego przeznaczenia wykorzystuje się również część zakresu fal długich i średnich.

Drugą metodą klasyfikacji jest klasyfikacja biorąca pod uwagę charakter drogi wzdłuż której docierają one z nadajnika do odbiornika. Poniżej zamieszczony rysunek przedstawia tę klasyfikację.



Rys.2.1. Klasyfikacja fal radiowych

Schematycznie różne sposoby rozchodzenia się fal radiowych w otoczeniu Ziemi przedstawiają poniższe rysunki.



Rys.2.2. Sposoby rozchodzenia się fal radiowych

**Fala jonosferyczna** biegnie od nadajnika poprzez coraz to wyższe warstwy atmosfery aż do strefy warstw zjonizowanych, znajdujących się na wysokości ponad 60 km, skąd po załamaniu się i odbiciu dąży z powrotem do ziemi. Tą drogą odbywa się radiowa komunikacja dalekosiężna na wszystkich częstotliwościach, z wyjątkiem bardzo dużych i bardzo małych .

**Fala troposferyczna** biegnie w dolnej strefie atmosfery zwanej troposferą, w której na skutek niejednorodności energia wypromieniowana przez antenę zostaje w pewnym obszarze rozproszona, przy czym część energii rozproszonej ma możliwość dojścia do anteny odbiorczej - powyższe zjawisko nazywa się rozproszeniem fal w troposferze.



Fala przyziemna biegnie w płaszczyźnie poziomej i rozprzestrzenia się wzdłuż powierzchni ziemi, w niższych warstwach atmosfery. Możemy ją podzielić na fale przestrzenne i fale powierzchniowe.

Jeżeli obie anteny są umieszczone nisko nad ziemią, to jest na wysokości mniejszej od długości fali, łączność może być utrzymywana na tzw. **fali powierzchniowej**, rozchodzącej się wzdłuż powierzchni ziemi.

Gdy anteny są wzniesione na dużą wysokość w porównaniu z długością fali, możliwa jest łączność za pomocą **fali przestrzennej**. Energia elektromagnetyczna w tym wypadku może rozprzestrzeniać się kilkoma drogami to jest za pomocą fali bezpośredniej oraz fal odbitych.

## 2.2. Parametry fal radiowych

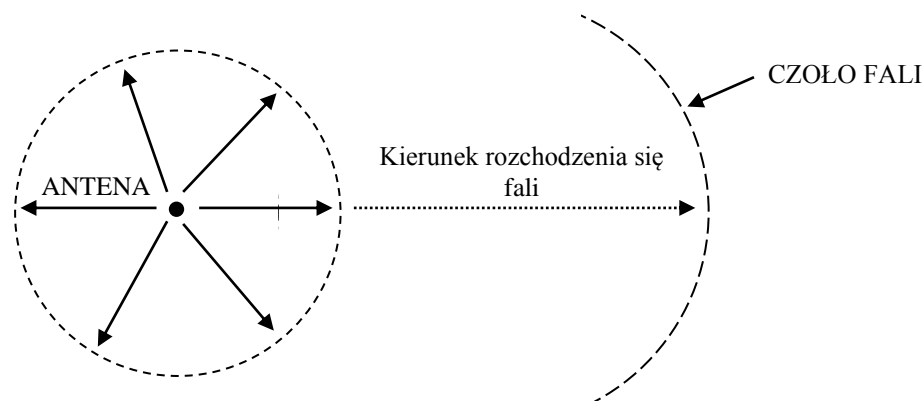
Falami radiowymi nazywamy fale elektromagnetyczne leżące w zakresie ograniczonym od dołu częstotliwością  $f=3 \times 10^3 \text{ Hz}$ , a od góry częstotliwością  $f=3 \times 10^{12} \text{ Hz}$ , przeznaczone do przesyłania sygnałów (informacji) na odległość bez przewodów. Wytwarzane są przez prądy w.cz. przepływające w antenie. W fali radiowej zmienne pola elektryczne i elektromagnetyczne, wzajemnie się przenikające tworzą pole elektromagnetyczne.

Do parametrów fali radiowej zaliczamy:

- czoło fali
- kierunek rozchodzenia się fali
- szybkość rozchodzenia się fali
- długość fali
- częstotliwość fali

**Czołem fali** nazywamy zbiór punktów o jednakowej gęstości strumienia elektrycznego.

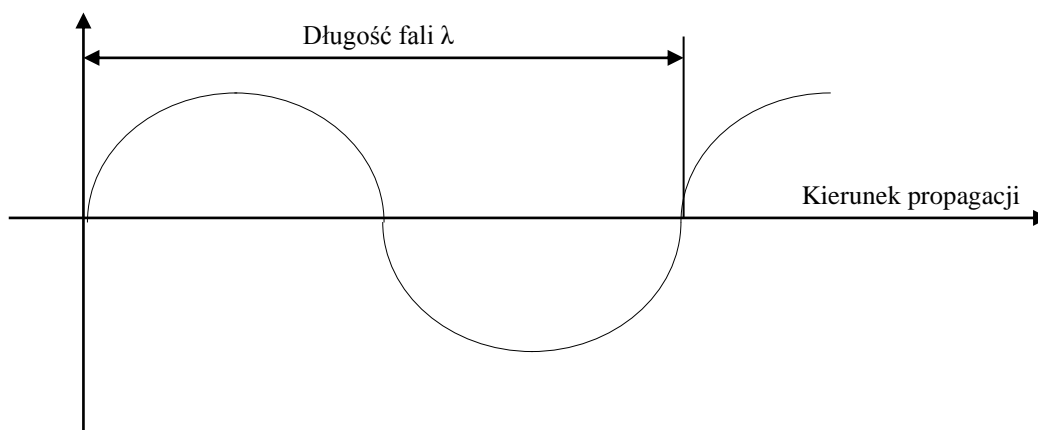
**Kierunek rozchodzenia** się fali jest zawsze prostopadły do jej czoła, aczkolwiek w zależności od wzajemnego kierunku pól elektrycznego i magnetycznego ruch ten może być skierowany do przodu lub wstecz.



Rys. 2.3. Kierunek i czoło fali

W praktyce czoło fali rozpatruje się w dużej odległości od anteny nadawczej i jako niewielki jego wycinek (wokół anteny odbiorczej). W tym przypadku czoło fali można uważać za płaskie.

**Szybkość rozchodzenia się fal** w wolnej przestrzeni wynosi w przybliżeniu 300 000 km/sek. **Długość fali** stanowi odległość pomiędzy punktami przestrzeni, w których kolejno wartość pola magnetycznego lub elektrycznego jest maksymalna.



Rys. 2.4. Długość fali

Natomiast zależność pomiędzy częstotliwością, długością fali i szybkością rozchodzenia się fali przedstawia poniższa zależność:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

f – częstotliwość

c – prędkość rozchodzenia się fal

$\lambda$  - długość fali

## 2.3. Troposfera

Troposfera jest to obszar atmosfery położony najbliżej powierzchni Ziemi rozprzestrzeniający się do wysokości 8-10 km w okolicach biegunów i do 16-18 km w okolicach równika. W troposferze zawiera się do 4/5 masy gazów, stanowiących atmosferę i prawie całkowitą ilość pary wodnej. Pod względem budowy troposfera jest ośrodkiem niejednorodnym i dlatego mogą w niej ulegać zakrzywieniu drogi promieni radiowych, co z kolei prowadzi do zmiany kierunku fali radiowej oraz natężenia pola na danej odległości. Cechą charakterystyczną troposfery jest stałość jej składu (objętościowo 4/5 azotu i 1/5 tlenu) oraz prawie równomierny spadek temperatury wraz z wysokością, średnio 0,5°C na każde 100 m. Górną granicę troposfery określa poziom, na którym zanika spadek temperatury.

Przenikalność dielektryczną troposfery z pewnym przybliżeniem można przyjąć za równą jedności. W rzeczywistości jej wartość jest niewiele większa od jedności i zależy od ciśnienia, temperatury i bezwzględnej wilgotności powietrza. Zależność przenikalności od wysokości zauważa się szczególnie w okresie letnim na wysokościach do 2-3 km, gdzie występują intensywne obszary chmur, lokalne inwersje temperatury i wilgotności. W praktyce zawsze powstają niewielkie fluktuacje przenikalności wywołane turbulentnym ruchem powietrza. Fluktuacje sprawiają, że w wielu przypadkach troposfera jest niejednorodna. Obszary niejednorodne w troposferze ciągle ulegają zmianie, pojawiają się i znikają.

W troposferze zachodzi zjawisko refrakcji, czyli ugięcia trajektorii fal radiowych przy ich rozchodzeniu się w środowisku niejednorodnym. Zjawisko refrakcji w troposferze jest możliwe dzięki zmianom przenikalności dielektrycznej, a więc współczynnika załamania troposfery wraz z wysokością.

Refrakcja zachodząca w troposferze standardowej (czyli takiej, której właściwości odzwierciedlają średni stan troposfery rzeczywistej i charakteryzującej się stałością współczynnika załamania) nazywa się refrakcją troposferyczną normalną, w której trajektorie fal radiowych mają kształt łuku o promieniu ok. 2500 km.

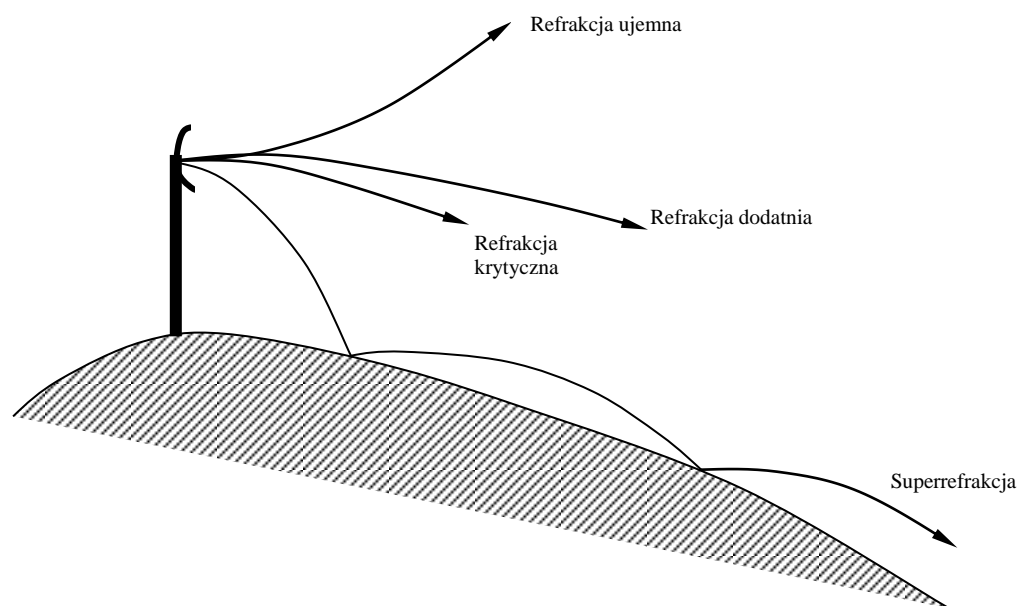
Pod wpływem różnych warunków meteorologicznych w troposferze mogą powstać zmiany współczynnika załamania wraz z wysokością, znacznie różniące się od przypadku refrakcji normalnej. Rozróżnia się refrakcję ujemną i dodatnią. Dla refrakcji ujemnej współczynnik załamania nie zmniejsza się z wysokością lecz wzrasta. W tym przypadku trajektoria fali radiowej jest zwrócona wypukłością w dół i fala radiowa oddala się od powierzchni ziemi.

Jeśli współczynnik załamania ze zmianą wysokości jest wielkością stałą, to refrakcja nie zachodzi.

W praktyce najczęściej spotyka się przypadki gdy współczynnik załamania wraz z wysokością zmniejsza się. Trajektoria fali radiowej w tym przypadku jest zwrócona wypukłością w górę, zachodzi refrakcja dodatnia. Mogą zajść następujące przypadki refrakcji dodatniej:

- refrakcja, przy której promień trajektorii fali radiowej jest mniejszy niż przy refrakcji normalnej
- refrakcja, przy której promień trajektorii fali radiowej jest większy niż przy refrakcji normalnej
- refrakcja, przy której promień trajektorii fali radiowej jest równy promieniowi krzywizny Ziemi (refrakcja krytyczna)
- refrakcja, przy której promień trajektorii fali radiowej jest mniejszy od promienia krzywizny Ziemi (superrefrakcja).

Podczas superrefrakcji fale radiowe wypromieniowane pod niewielkimi kątami podlegają w niższych warstwach dużemu ugięciu i powracają na Ziemię. W wyniku kolejnych odbić od powierzchni Ziemi fale radiowe mogą rozchodzić się na znaczne odległości przekraczając granicę „bezpośredniej widoczności”.



Rys.2.5. Rodzaje refrakcji fal radiowych w troposferze

Fale radiowe zakresu długiego, średniego i krótkiego nie ulegają pochłanianiu w troposferze. Dla fal radiowych krótszych niż 10 cm osłabienie energii jest już znaczne. Jest to spowodowane pochłanianiem i rozproszeniem głównie na kroplach deszczu, mgły. Pochłanianie i rozproszenie zachodzi również na stałych cząsteczkach (pył, dym). Pochłanianie energii jest spowodowane stratami cieplnymi w cząsteczkach wody lub pyłu, natomiast straty na rozproszenie są wynikiem rozbieżności wiązki radiowej w przestrzeni (część energii ucieka w przestrzeń kosmiczną).

## 2.4. Jonosfera

Jonosferą nazywamy obszar atmosfery rozciągający się na wysokościach od 60-1000 km, w którym występują warstwy o określonej jonizacji. W górnych warstwach atmosfery występują swobodne elektrony mające wpływ na parametry elektryczne zjonizowanego gazu, tj. przenikalność dielektryczną i konduktywność elektryczną (konduktywność - wielkość fizyczna charakteryzująca materiały i ośrodki z punktu widzenia zdolności przewodzenia).

Energia promieniowana skośnie lub prostopadle do powierzchni ziemi biegnie poprzez przestrzeń dopóki nie osiągnie zjonizowanego obszaru w górnych warstwach atmosfery, gdzie przy sprzyjających warunkach następuje stopniowe załamanie kierunku fali i odchylenie jej z powrotem ku ziemi. Taka fala jonosferyczna może powrócić na ziemię w pewnej odległości od nadajnika i umożliwi uzyskanie dalekosiężnej łączności radiowej.

Bezpośrednią przyczyną jonizacji górnych warstw jonosfery są promienie ultrafioletowe światła słonecznego oraz promieniowanie kosmiczne.

Łączność radiowa na fali jonosferycznej jest możliwa tylko dzięki temu, że jonosfera jest elektrycznie niejednorodna, w przeciwnym przypadku tor fali byłby prostoliniowy i jej powrót na ziemię byłby niemożliwy. Właśnie różnice w stanie elektrycznym warstw powodują zakrzywienie toru fali i umożliwiają jej powrót na ziemię.

Jednak przy zbyt dużej częstotliwości, ugięcie fali może być niedostateczne i fala nie powróci na ziemię, a przejdzie przez warstwy jonosfery. Z drugiej strony zmniejszenie częstotliwości może również nie dać spodziewanego efektu ze względu na tłumienie, które rośnie z długością fali i może spowodować to, że chociaż fala wróci na ziemię, będzie jednak silnie stłumiona i praktycznie niemożliwa do wykorzystania.

Wybór częstotliwości ma decydujące znaczenie dla zapewnienia łączności. Może być właściwie dokonany tylko wtedy, gdy znany jest stan jonosfery, a więc jej charakterystyka. Można ją uzyskać z ciągłych pomiarów wykonywanych stale w dostatecznie gęsto rozsianych na kuli ziemskiej punktach. Ciągłość pomiarów jest niezbędna, gdyż jonosfera jest tworem niezwykle zmiennym i ruchliwym.

Jonosfera jest zbudowana z trzech podstawowych warstw D, E i F przy czym w pewnych okresach warstwa F rozdwaja się na  $F_1$  i  $F_2$ .

Poszczególne warstwy można scharakteryzować niektórymi ich właściwościami:

- warstwa D istnieje tylko w dzień na wysokości 60-80 km, w nocy ginie wskutek szybkiej utraty ładunków przez cząstki, zjawisko to nosi również nazwę rekombinacji cząstek. Częstotliwości krytyczne są rzędu 0,1-0,7 MHz;

- warstwa E tworzy się na wysokości około 110 km, dolna granica jest bardzo ostro zarysowana. Częstotliwości krytyczne, dla których jest jeszcze możliwe odbicie, zmieniają się w granicach 0,6-4 MHz;
- warstwa F wykazuje największą zmienność i ruchliwość. Wysokość warstwy waha się w granicach od 200 do 400 km . W ciągu całego roku w nocy warstwa F utrzymuje się na wysokości 300 km, przy tym nocne zimowe częstotliwości krytyczne są rzędu 2-4 MHz, natomiast nocne letnie częstotliwości są zależne od ilości plam słonecznych i wahają się w granicach 3-8 MHz. W dzień zimowy warstwa F obniża się do wysokości 200-220 km; przy czym koło południa może rozdzielić się na warstwę F<sub>1</sub> i warstwę F<sub>2</sub>, rozmieszczone na niewiele różniących się wysokościach.

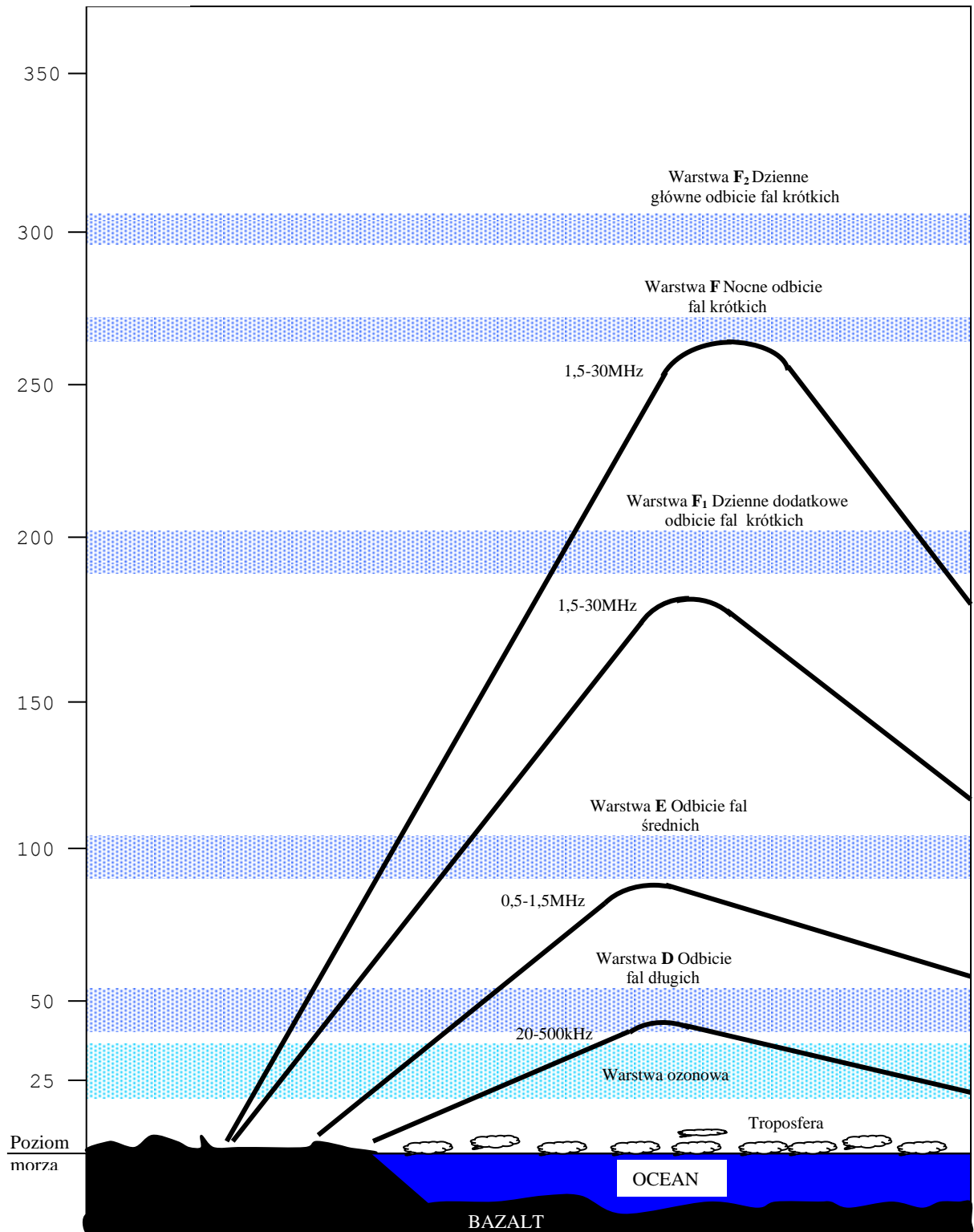
Latem zmiany jonizacji w ciągu doby są inne niż w zimie. W dzień warstwa F zawsze rozdziela się, F<sub>1</sub> obniża się do wysokości około 220 km, F<sub>2</sub> podnosi się na wysokość rzędu 400 km . Maksymalna częstotliwość krytyczna latem jest mniejsza niż w zimie o kilka MHz.

Oprócz warstw regularnych, pojawia się nieregularna i nie dająca się przewidzieć jonizacja w pobliżu regularnej warstwy E. Zwana jest ona jonizacją sporadyczną E<sub>s</sub> i często odbija znacznie większe częstotliwości niż to zdolne są uczynić warstwy regularne. Jonizacja sporadyczna E<sub>s</sub> przybiera postać obłoków o grubości wielu kilometrów, które powstają i znikają w czasie od kilku minut do kilku godzin. Jonizacja sporadyczna pojawia się najczęściej w nocy, przeważnie o północy, choć najsilniejsza pojawia się w ciągu dnia. Zachodzi to najczęściej w miesiącach letnich. Zachowanie się jonosfery określa się zazwyczaj pojęciami wysokości pozornej i częstotliwości krytycznej, ponieważ wielkości te mogą być z łatwością zmierzone bezpośrednio.

Wysokość pozorna określa w przybliżeniu wysokość rzeczywistej warstwy, lecz zależy od rozkładu elektronów w obszarach znajdujących się pod tą warstwą.

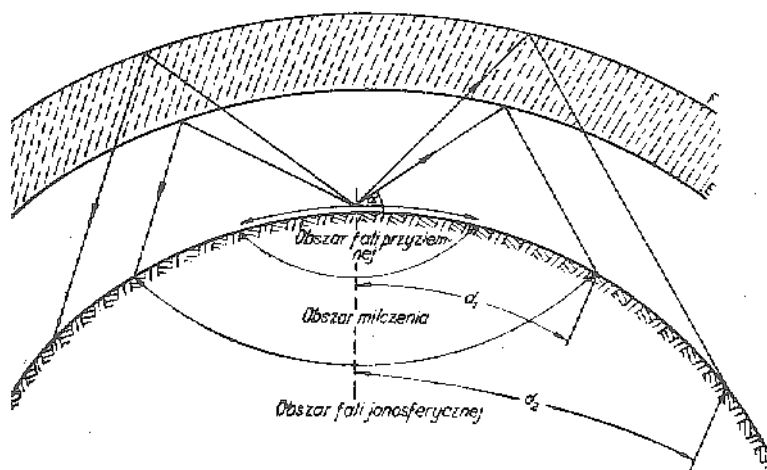
Częstotliwość krytyczna jest to największa częstotliwość fali, która wypromieniowana pionowo zostaje odbita od danej warstwy. Dla każdej częstotliwości istnieje jeden kierunek w stosunku do powierzchni ziemi, w którym wypromieniowana fala zostaje najwcześniej odbita. Ten punkt na ziemi, który taka fala osiąga, będzie najbliższym punktem w stosunku do nadajnika, w którym odbiór fal odbitych staje się możliwy. Odległość takiego punktu od nadajnika nazywa się uskokiem fali.

Wysokość w km



Rys.2.6. Struktura atmosfery ziemskiej

Uskok ( $d_1$  na rysunku 2.5) jest to najmniejsza odległość przy której dana fala wraca jeszcze na ziemię. Przy kołowej poziomej charakterystyce promieniowania anteny nadawczej, koło zakreślone naokoło punktu nadania ogranicza tzw. obszar milczenia, w którym możliwy jest odbiór na fali przyziemnej, lecz zasięg tej fali jest w praktyce nieduży w stosunku do odległości uskoku. Stąd też powstają tzw. strefy martwe, w których nie ma ani fali przyziemnej ani jonosferycznej (różnica odległości między uskokiem  $d_1$  a obszarem fali przyziemnej).



Rys.2.7. Obszary milczenia występujące przy odbiciu fali od warstwy jonosferycznej

Przy nawiązywaniu łączności na falach krótkich nie można stosować dowolnej częstotliwości dla zapewnienia łączności między dwoma punktami. Największą częstotliwość, przy której można jeszcze nawiązać łączność między dwoma punktami, nazywamy maksymalną częstotliwością użytkową i oznaczamy przez MUF (ang. Maximal Usable Frequency). Jeżeli w jonosferze istnieje więcej niż jedna wyraźnie zaznaczona warstwa, wówczas każda z tych warstw posiada własną maksymalną częstotliwość użytkową oraz uskok, a prawdziwa maksymalna częstotliwość użytkowa jest największą spośród tych kilku wartości. MUF jest najkorzystniejszą częstotliwością dla utrzymania łączności na danej linii. O wartości MUF decyduje stan jonosfery w obszarze zawierającym wierzchołek toru fali jonosferycznej.



## 2.5. Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych o różnych długościach

### 2.5.1. Fale długie

Fale długie są najdłuższymi falami używanymi w telekomunikacji. Dwie podstawowe właściwości rozchodzenia się uzasadniają wydzielenie tego zakresu.

Pierwszą jest bardzo małe tłumienie fali przyziemnej. Gleba, a tym bardziej woda morska, przy tych częstotliwościach jest dobrym przewodnikiem, a fala rozchodząca się nad dobrym przewodnikiem mało traci ze swojej energii.

Drugą właściwością jest łatwe ugięcie fal długich dookoła powierzchni ziemi.

### 2.5.2. Fale średnie

Rozpatrując fale średnie możemy stwierdzić różnice w rozchodzeniu się fali przyziemnej i jonosferycznej.

Pole fali przyziemnej w dużym stopniu zależy od parametrów elektrycznych ziemi i warunków dyfrakcji (ugięcia) i nie zależy od pory dnia i roku. Najkorzystniejsze warunki rozchodzenia się posiadają najdłuższe fale zakresu. Krótsze fale tego zakresu są silniej tłumione, gdyż rośnie absorpcja ziemi oraz fale te mniej się uginają. Wybór częstotliwości w sposób decydujący wyznacza zasięg stacji nadawczej. Fala jonosferyczna tego zakresu jest tłumiona przez warstwę zjonizowanego powietrza, zwaną warstwą D. Po zachodzie słońca warunki rozchodzenia się fal całkowicie się zmieniają. Warstwa D zanika i tłumienie spada do bardzo małej wartości. Jest bardzo znamienne dla zakresu średniofalowego, że tłumienie fali jonosferycznej mało zależy od częstotliwości.

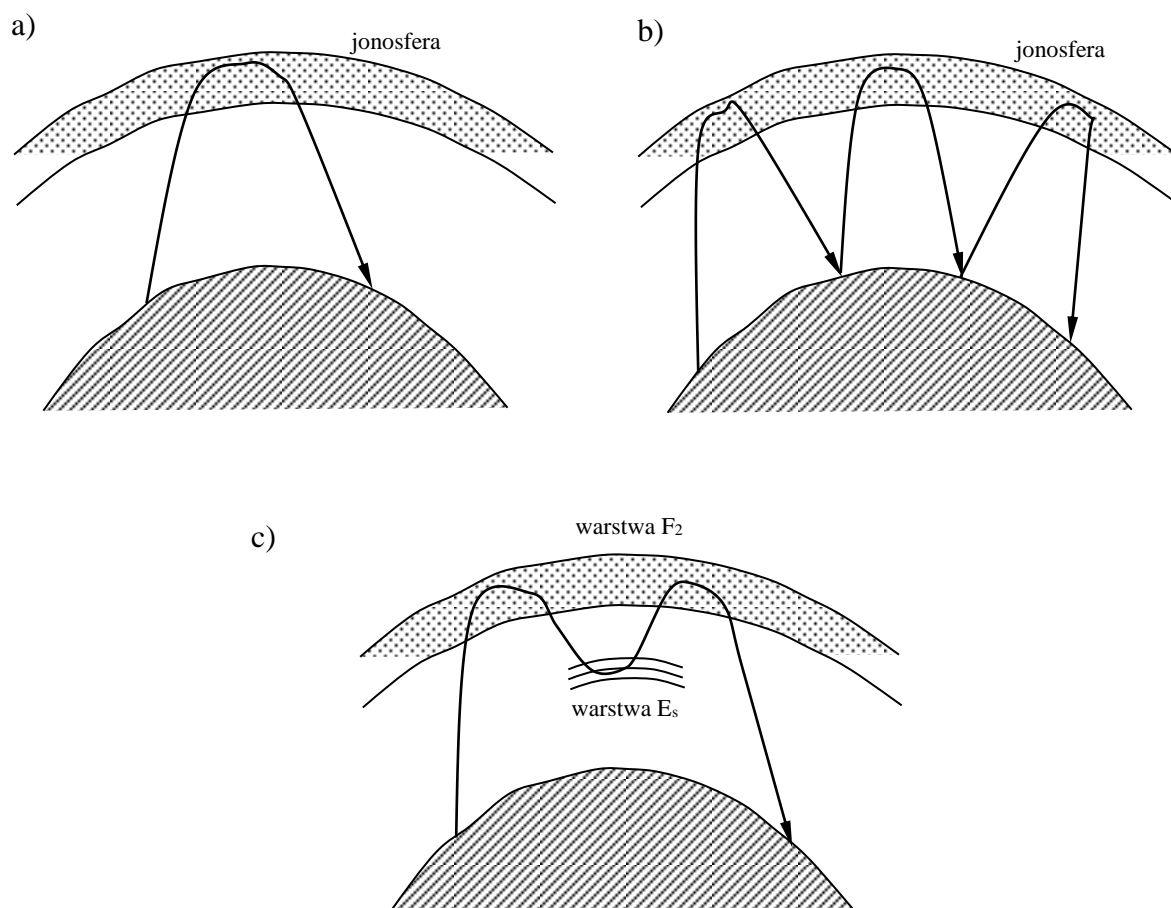
### 2.5.3. Fale krótkie

Fale krótkie obejmują zakres częstotliwości od 3-30 MHz. Zasięg fali powierzchniowej w zakresie fal krótkich jest znikomo mały ze względu na znaczne tłumienie wnoszone przez powierzchniowe warstwy gruntu oraz ze względu na krzywiznę ziemi. W odległości kilku – kilkudziesięciu (w zależności od długości fali) kilometrów od nadajnika odbiór jest już praktycznie niemożliwy.

Fale zakresu krótkiego rozchodzą się przede wszystkim w postaci fali jonosferycznej i z tych względów są głównie wykorzystywane do celów radiokomunikacji dalekosiężnej.

Fale krótkie, jonosferyczne mogą rozchodzić się w różnoraki sposób. Mogą jednorazowo odbić się od jonosfery, czyli wystąpi tzw. transmisja jednoskokowa. Mogą również wielokrotnie odbić się od jonosfery i od ziemi. Ten sposób propagacji nazywamy transmisją wieloskokową.

Dzięki transmisji wieloskokowej fale krótkie osiągają zasięg łączności rzędu kilkunastu tysięcy kilometrów. Fale krótkie ulegają w jonosferze tłumieniu. Tłumienie to zachodzi głównie w dolnych obszarach jonosfery, a więc w obszarach D i E. Z fal odbijanych przez obszar F najmniejszemu tłumieniu przy przenikaniu przez obszar E podlegają fale o częstotliwości bliskiej MUF.



Rys.2.8. Sposoby rozchodzenia się fali jonosferycznej:

- a) transmisja jednoskokowa
- b) transmisja wieloskokowa
- c) transmisja typu M.

Ze wzrostem długości fali tłumienie zwiększa się. Zakres częstotliwości użytkowych jest więc ograniczony od góry przez MUF, a od dołu przez duże tłumienie wnoszone przez niższe obszary jonosfery. Przy zmniejszaniu częstotliwości tłumienie wprowadzane przez jonosferę uniemożliwia nawiązanie łączności. Najmniejsza częstotliwość, która z uwagi na tłumienie może być jeszcze użyta do zapewnienia łączności, nosi nazwę najmniejszej częstotliwości użytkowej i jest oznaczona skrótem LUF (ang. Lowest Usable Frequency). Należy pamiętać że gdy częstotliwość jest większa od MUF, to fala przenika przez warstwę F<sub>2</sub> i nawet bardzo duże zwiększenie mocy nadajnika nie doprowadzi do nawiązanie łączności.

Natomiast gdy częstotliwość jest bliska LUF, wówczas można zwiększone tłumienie skompensować zwiększeniem mocy nadajnika.

Najbardziej dogodna do utrzymywania łączności jest częstotliwość nieco mniejsza od MUF, gdyż podlega ona małemu tłumieniu.

W związku z tym w praktyce przyjmuje się, że optymalna częstotliwość robocza oznaczona międzynarodowym skrótem FOT (franc. Frequence Optimum de Traffic) wynosi:

$$FOT = 0,85 MUF$$

W czasie pracy na falach krótkich możemy spotkać się z zakłóceniami łączności, których przyczyną są nieregularne zjawiska zachodzące w jonosferze.

Do typowych zjawisk tego rodzaju należą:

- zaniki tłumiące;
- burze jonosferyczne.

Czas trwania zaniku tłumiącego wynosi od kilkunastu minut do paru godzin, zanim jonosfera wróci do stanu normalnego. Łączność w tym czasie jest niemożliwa. Zanik tłumiący jest najczęściej obserwowany w okresie maksimum plam słonecznych i dotychczas trudno go przewidzieć.

Czas trwania burzy jonosferycznej wynosi od kilku godzin do 1-2 dni, chociaż zdarzają się burze trwające kilka dni. Łączność krótkofalowa jest w zasadzie możliwa w czasie burzy na częstotliwościach średnio o 50% mniejszych niż normalnie stosowane częstotliwości optymalne, jednak pole jest często niestabilne z charakterystycznym „trzepotaniem” wskutek silnego zawirowania atmosfery.

W czasie nawiązywania łączności na fali jonosferycznej spotykamy się najczęściej z zanikami krótkotrwałymi, które z reguły powstają w wyniku interferencji fal jonosferycznych, przebywających różne drogi.



Rys. 2.9. Rodzaje interferencji fal jonosferycznych

Walka z tego rodzaju zanikami sprowadza się do:

- zastosowania anteny nadawczej i odbiorczej z odpowiednio ukształtowanymi charakterystykami w płaszczyźnie pionowej (charakterystyki kierunkowe);
- zwiększenie mocy promieniowanej przez radiostację;
- stosowanie odbioru zbiorczego na rozmieszczone anteny.

#### 2.5.4. Prognozy radiowe

Zapewnienie niezawodnej łączności na falach krótkich wymaga określenia optymalnych częstotliwości fal roboczych.

Wyboru tych częstotliwości dokonuje się na podstawie prognoz radiowych opracowywanych przez stacje jonosferyczne, rozmieszczone w różnych punktach kuli ziemskiej. Stacje jonosferyczne wykonują mapy zawierające prognozę trzymiesięczną. Wyznaczanie częstotliwości fal roboczych na podstawie map jonosferycznych jest skomplikowane i pracochłonne. Z tego względu do opracowywania prognoz radiowych wykorzystuje się komputery. Poniżej przedstawiono wydruk komputerowy miesięcznej prognozy radiowej dla rejonu Polski, sporządzonej na podstawie programu opracowanego przez naukowców Polskiej Akademii Nauk i Wojskowego Instytutu Łączności.

Prognoza ta zawiera następujące informacje:

- rok i miesiąc, którego dotyczy;
- liczbę Wolfa, która określa średnioroczną względną liczbę plam słonecznych;
- współrzędne geograficzne obszaru Polski;
- długość trasy (prognozy opracowuje się dla różnych długości tras);
- dane techniczne nadajnika: moc nadajnika równą 1kW, zysk kierunkowy anteny nadajnika równy 0 dB;
- wykres przebiegu dobowego MUF(+++) i LUF(\* \* \*), gdzie:
  - MUF - maksymalna wartość częstotliwości fali roboczej, która odbija się jeszcze od warstwy F<sub>2</sub> jonosfery;
  - LUF - minimalna wartość częstotliwości fali roboczej, która odbija się od warstwy F<sub>2</sub> przechodząc przez warstwy D i E;
  - UT - (universal time) - czas uniwersalny - zachodnioeuropejski;
  - LT - (local time) - czas lokalny - środkowoeuropejski;

- wartości natężenia sygnału (S) w dB powyżej 1V oraz wartości kątów elewacji (K) dla określonych częstotliwości pracy nadajnika i dla MUF;
- tabelę poprawek do natężeń sygnałów (S) dla różnych mocy nadajnika i zysków kierunkowych anten.

W celu określenia optymalnych częstotliwości pracy nadajnika (FOT) dla danej trasy należy z wykresu  $MUF=f(LT)$  odczytać dla każdej godziny doby wartość MUF w MHz, a następnie obliczyć wartość FOT z zależności:

$$FOT = 0,8 MUF$$

Z otrzymanych obliczeń wykreślamy dobowy przebieg FOT. Spośród przydzielonych do pracy częstotliwości staramy się wybrać dla danego okresu doby maksymalną wartość częstotliwości, jednak nie przekraczającą wartości FOT.

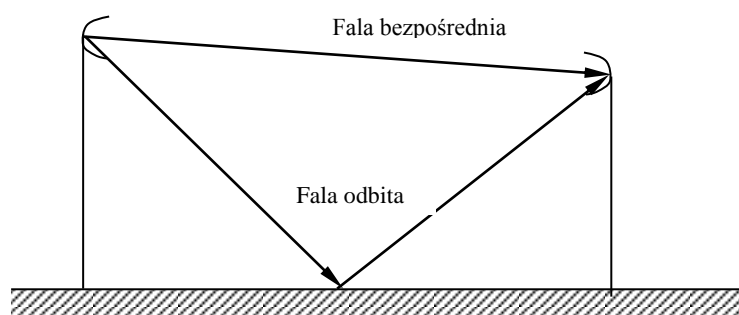


### 2.5.5. Fale ultrakrótkie

Przy odbiorze fal ultrakrótkich można w zasadzie liczyć tylko na falę przyziemną, ponieważ fale UKF przenikają jonosferę i nie powracają na ziemię. Istnieją co prawda warunki sprzyjające, kiedy w całej warstwie lub w pewnych niewielkich obszarach powstanie duża koncentracja elektronów, dostateczna dla odbicia fali ultrakrótkiej, jednak warunki takie występują raczej wyjątkowo i chociaż znane są przypadki odbić aż do częstotliwości 100 MHz, nie może być mowy o regularnym wykorzystywaniu fali jonosferycznej na tym zakresie.

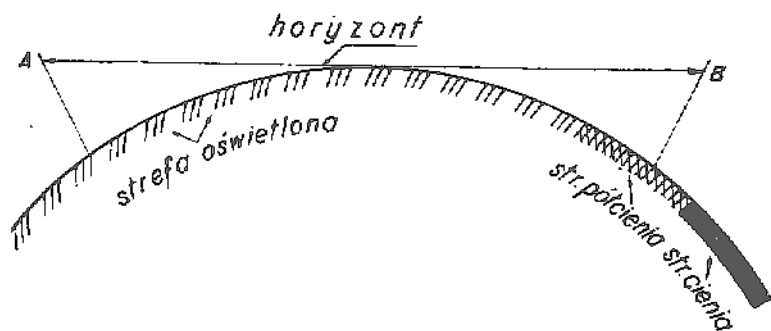
Jako drugą cechę fal UKF wymienić należy bardzo silne tłumienie fali przyziemnej, przez co zupełnie niecelowe staje się umieszczanie anten nadawczych bezpośrednio nad ziemią – umieszczamy je w zasadzie na pewnej wysokości.

Wznoszenie anteny nadawczej, a także i odbiorczej pozwala na odsunięcie toru fali od bezpośredniego wpływu ziemi, transmisja wówczas odbywa się za pośrednictwem fali bezpośredniej i odbitej od ziemi.



Rys. 2.10. Transmisja za pośrednictwem fali bezpośredniej i odbitej

Wznoszenie anteny nadawczej odsuwa horyzont, natomiast wznoszenie anteny odbiorczej pozwala często albo całkiem wyjść z obszaru dyfrakcji, albo umieścić punkt odbiorczy w obszarze bardziej oświetlonym polem niż przy powierzchni ziemi. Wynika to z tego, że tor fali na tym zakresie jest prawie prostoliniowy, a więc punkty przy ziemi leżące poza horyzontem są coraz mniej oświetlone polem.



Rys.2.11. Strefy pola elektromagnetycznego: oświetlona, półcienia i cienia

Utarło się powiedzenie, że zasięg na falach UKF jest „zasięgiem optycznym”, pod którym należy rozumieć, że obie radiostacje korespondują ze sobą w zasięgu fal bezpośrednich (optyczna widoczność anten). Uwzględniając jednakże częściowe uginanie się fal w troposferze uzyskujemy łączność i poza horyzontem.

Na odległościach znacznie przekraczających odległości bezpośredniej widoczności, natężenie pola fal radiowych gwałtownie maleje. Na tych odległościach uzyskujemy łączność w wyniku dyfrakcji (dyfrakcja – zdolność uginania się fal na krzywiznie ziemi i wzniesieniach) fal na sferycznej powierzchni ziemi, refrakcji fal w troposferze i ich rozproszeniu na niejednorodnościach w troposferze.

Znaczny wzrost odległości rozchodzenia się fal UKF występuje wtedy, gdy obszar superrefrakcji rozciąga się na dużych odległościach nad powierzchnią ziemi. W tym przypadku fala radiowa rozchodzi się w oparciu o zjawiska refrakcji w atmosferze i odbicia od powierzchni ziemi. Taki rodzaj propagacji fal otrzymał nazwę falowodu atmosferycznego. Należy zaznaczyć, że od atmosfery odbija się tylko część energii fali, którą wykorzystuje się do odbioru, a pozostała część załamując się przechodzi przez górną ściankę falowodu.

Jeśli nadajnik i odbiornik znajdują się w granicach falowodu, to odbiór UKF jest możliwy na dużych odległościach. W przeciwnym przypadku, zasięg łączności może nawet być mniejszy w porównaniu z warunkami refrakcji normalnej.

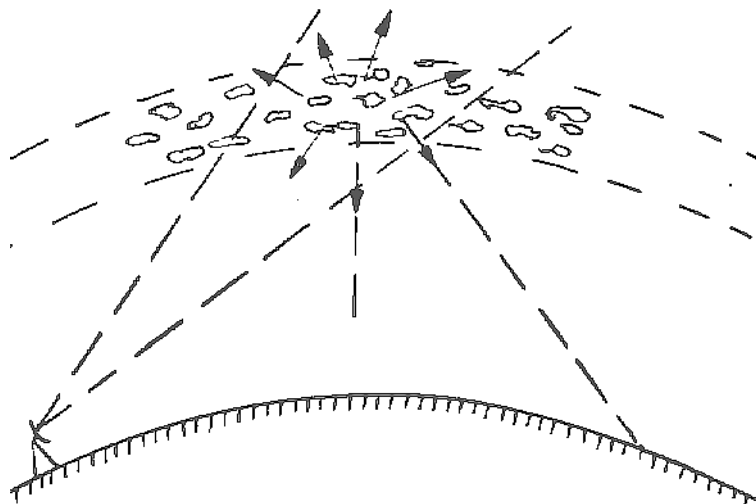
Falowody atmosferyczne pojawiają się nieregularnie i dlatego zapewnienie trwałej łączności na duże odległości jest niemożliwe.

Inną możliwością zwiększenia zasięgu łączności jest wykorzystanie niejednorodności troposfery (tzw. globuliny).

Niejednorodności troposfery są to obszary, w których przenikalność dielektryczna różni się od wartości średniej otaczającej troposferę. Pod działaniem pola przechodzącej fali radiowej, w każdej niejednorodności troposfery indukują się prądy o odpowiedniej polaryzacji i wytwarzają moment elektryczny.



W rezultacie istniejących niejednorodności zaczynają promieniować wtórne źródła fal. Wtórne źródło promieniowania, które powstaje dzięki niejednorodnościom cechuje pewna charakterystyka kierunkowości o maksymalnym promieniowaniu w kierunku pierwotnego biegu fali.



Rys. 2.12. Rozproszenie fal na skutek niejednorodności troposfery

Pole, które powstaje w pobliżu powierzchni ziemi, jest rezultatem interferencji pól, wypromieniowanych przez olbrzymie ilości źródeł wtórnych znajdujących się w niejednorodnościach troposfery. Ze względu na zmiany struktury, jak również zmiany położenia niejednorodności pole ciągle ulega fluktuacjom i jest losową funkcją czasu.

Oczywiście, że zasadnicza część energii fali przechodzi przez warstwę rozpraszającą i tylko nieznaczna część energii wraca na ziemię, gdzie może być odebrana.

### **3. ANTENY RADIOSTACJI WOJSKOWYCH**

#### **3.1. Klasyfikacja anten**

Antenami w ogólnym znaczeniu, nazywa się urządzenia służące do promieniowania lub odbioru fal elektromagnetycznych.

Ze względu na to, jako pierwszy zastosujemy, najbardziej powszechny podział anten na:

- nadawcze,
- odbiorcze.

Anteną nadawczą będziemy nazywać tą część stacji nadawczej, która ma za zadanie przetworzyć energię prądów wielkiej częstotliwości dostarczoną przez nadajnik na energię fal elektromagnetycznych i umożliwić wypromieniowanie tych fal w określonym kierunku.

Anteną odbiorczą będziemy nazywać tą część stacji odbiorczej, która ma za zadanie przetworzyć energię fal elektromagnetycznych na energię prądów wielkiej częstotliwości i doprowadzić tą energię do obwodu wejściowego odbiornika.

Anteny te spełniają zupełnie różne funkcje jednak opierając się na „zasadzie wzajemności” mogą być stosowane zamiennie. Dlatego w radiostacjach gdzie nadajnik i odbiornik stanowią jeden zespół (całość) stosuje się jedną antenę spełniającą obie funkcje.

Ze względu na kierunek wypromieniowanej energii anteny dzielimy na:

- kierunkowe,
- bezkierunkowe (dookólne).

Ze względu na sposób podłączenia anteny do nadajnika (odbiornika) dzielimy na:

- symetryczne,
- niesymetryczne.

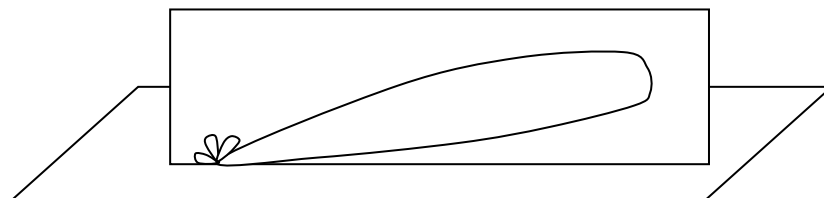
#### **3.2. Podstawowe parametry anten**

Do podstawowych parametrów anten zaliczamy:

- charakterystyka promieniowania anteny;
- zysk kierunkowy;
- zysk energetyczny;
- wysokość skuteczna anteny;
- oporność promieniowania;
- oporność strat;
- współczynnik sprawności anteny.

### 3.2.1. Charakterystyka promieniowania anteny

Charakterystyka promieniowania przedstawia graficznie koncentrację energii w.cz. promieniowanej przez antenę w różnych kierunkach. Przecinając charakterystykę przestrzenną anteny płaszczyzną poziomą otrzymujemy charakterystykę poziomą, przecinając płaszczyzną pionową mamy charakterystykę pionową anteny.

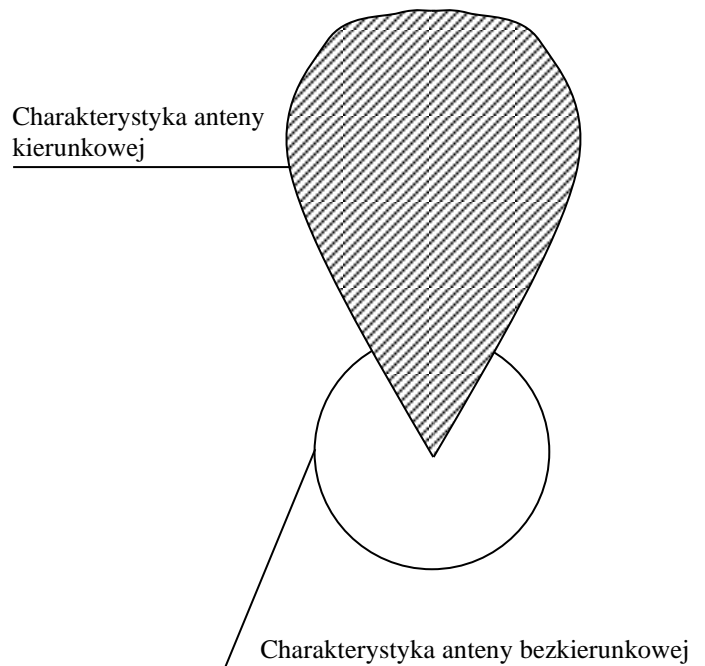


Rys.3.1. Charakterystyka przestrzenna promieniowania anteny

Jeżeli energia zostałaby wypromieniowana przez antenę we wszystkich kierunkach przestrzeni równocześnie mówilibyśmy, że antena promieniuje dookoła i na pewnej odległości od anteny uzyskalibyśmy jednakowe natężenie pola we wszystkich kierunkach przestrzeni. O ile ta energia zostaje wypromieniowana w określonym kierunku, mówimy że antena promieniuje kierunkowo, wówczas natężenie pola w różnych kierunkach przestrzeni nie jest jednakowe. Parametrem anteny, który mówi nam jaki jest rozkład energii elektromagnetycznej w przestrzeni wysyłanej przez antenę jest właśnie jej charakterystyka promieniowania.

### 3.2.2. Zysk kierunkowy

Miarą kierunkowego działania anteny jest jej kierunkowość zwana zyskiem kierunkowym anteny. Gdy antena ma własności kierunkowe, to promieniowana energia nie rozprasza się we wszystkich kierunkach lecz zostaje skupiona w określonym kierunku w postaci wąskiej wiązki.



Rys. 3.2. Porównanie charakterystyk promieniowania anteny kierunkowej i bezkierunkowej

Porównując promieniowanie anteny kierunkowej i dookólnej dochodzimy do wniosku, że przy równej mocy promieniowania natężenie pola od anteny kierunkowej w kierunku maksymalnego promieniowania będzie większe niż natężenie pola od anteny dookólnej w tym samym kierunku. Ilościowo ujmuje te wielkości zysk kierunkowy anteny, który definiujemy następująco:

$$G = \frac{E^2}{E_{wzor}^2}$$

$E$  - natężenie pola anteny

$E_{wzor}$  - natężenie pola anteny wzorcowej

Zysk kierunkowy  $G$  jest to stosunek kwadratów natężenia pola od danej anteny w kierunku najsilniejszego jej promieniowania do kwadratu natężenia pola od anteny bezkierunkowej wzorcowej na tej samej odległości i przy tej samej mocy promieniowania.

**Uwaga:** Antena wzorcowa to często dipol półfalowy.

### 3.2.3. Zysk energetyczny

Zysk energetyczny „g” danej anteny jest to stosunek mocy, jaka musi być dostarczona antenie wzorcowej dookólnej, do mocy dostarczonej antenie kierunkowej, by natężenia pól wytwarzane przez każdą z tych anten w kierunku maksymalnego promieniowania na tej samej odległości były jednakowe.

$$g = \frac{P_{w\ cał}}{P_{cał}}$$

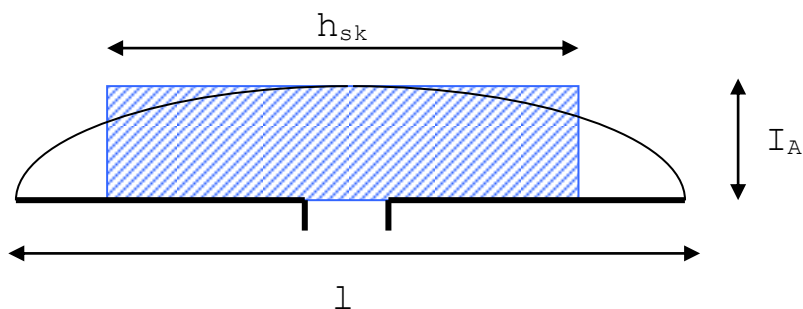
$P_{w\ cał}$  – moc dostarczona do anteny wzorcowej

$P_{cał}$  – moc dostarczona do anteny kierunkowej

### 3.2.4. Wysokość skuteczna anteny

Wysokością skuteczną anteny będziemy nazywać długość wyobraźalnej anteny z równomiernym rozkładem prądu, która przy prądzie równym prądowi na zaciskach anteny wytwarza w danym kierunku promieniowania takie samo natężenie pola jak dana antena w kierunku maksymalnego promieniowania.

$$h_{sk} = \frac{S}{I_A}$$



$l$  - długość anteny

$I_A$  - prąd anteny

$h_{sk}$  - wysokość skuteczna

$S$  - powierzchnia pola elektrycznego wypromieniowanego przez antenę rzeczywistą

### 3.2.5. Oporność promieniowania

Opornością promieniowania anteny nazywać będziemy taką oporność rzeczywistą, która połączona szeregowo z anteną pobierze moc równą mocy promieniowanej wówczas przez antenę. Inaczej jest to oporność fikcyjna, na której wydzieli się moc równa mocy promieniowanej przez antenę, gdyby przezeń płynął prąd  $I_A$  równy prądowi płynącemu w antenie.

$$R_{pr} = \frac{P_{pr}}{I_{max}^2}$$

$P_{pr}$  - moc promieniowania

$I_{max}$  – max. prąd w antenie

### 3.2.6. Oporność strat

Podobnie jak w każdym rzeczywistym układzie również i w antenie nie cała moc doprowadzona do niej od nadajnika jest wypromieniowana w przestrzeń. Część mocy jest zawsze tracona ulegając zamianie na ciepło. Można przyjąć, że podobnie jak moc promieniowana, moc stracona również wydzieli się na pewnej oporności strat i wtedy:

$$R_{str.} = \frac{P_{str}}{I_A^2}$$

$P_{str}$  - moc strat

$I_A$  - prąd w antenie

Na oporność strat składa się:

a/ oporność uziemienia;

b/ oporność strat w sieci antenowej;

- straty cieplne w przewodach anteny,
- straty dielektryczne w izolatorach,
- straty na prądy wirowe w pobliskich masach metalowych.

c/ straty w fiderze oraz w urządzeniach dopasowujących i dostrajających.

### 3.2.7. Współczynnik sprawności anteny

Współczynnikiem sprawności anteny będziemy nazywali stosunek mocy wypromieniowanej do całkowitej mocy doprowadzonej do anteny.

$$\eta = \frac{P_{pr}}{P_{cał}}$$

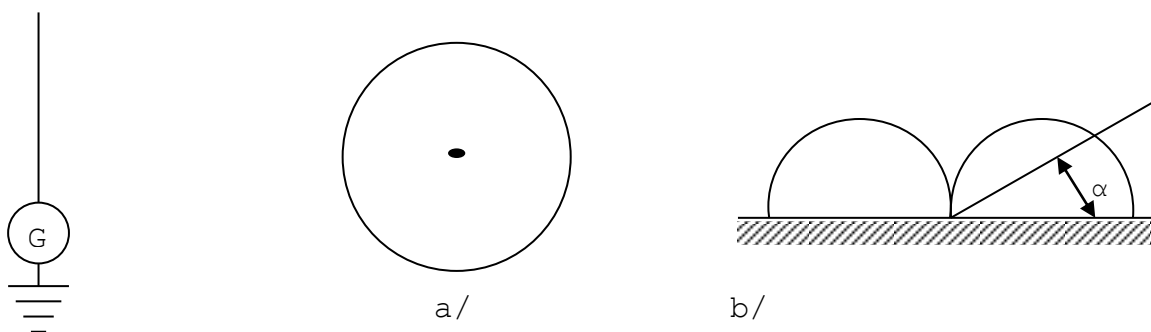
Stosunek ten określa więc jaka część energii dostarczonej antenie zamienia się w energię fal elektromagnetycznych. Osiągane sprawności w praktyce zależą od długości fali i osiągają wartość do 70-95%.

## 3.3. Podstawowe typy anten radiostacji wojskowych

### 3.3.1. Anteny niesymetryczne

#### 3.3.1.1. Antena prętowa

Antena prętowa jest powszechnie stosowana w radiokomunikacji jako antena niekierunkowa. Zasilana jest u podstawy. Antena tego typu jest wykorzystywana przeważnie do nawiązywania łączności na fali przyziemnej, chociaż można ją wykorzystać również do promieniowania przestrzennego. W tym przypadku najkorzystniejszy kąt promieniowania będzie znajdował się w granicach  $\alpha = 0^{\circ}$ - $20^{\circ}$ .

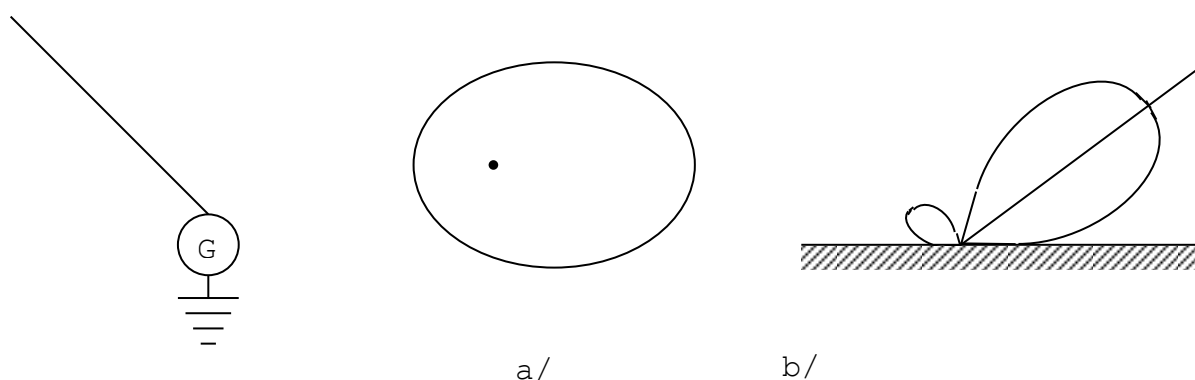


Rys. 3.3. Charakterystyki promieniowania anteny prętowej

a/ pozioma , b/ pionowa

### 3.3.1.2. Antena skośny promień

Antena skośny promień jest to prostoliniowy przewód nachylony pod kątem względem ziemi. Charakterystyka promieniowania anteny zależy od parametrów elektrycznych ziemi, nad którą jest ona rozwinięta, kąta nachylenia anteny jak również od długości fali. Związane jest to z nachyleniem czoła fali w trakcie rozchodzenia się fali elektromagnetycznej. Maksymalny odbiór przy fali przyziemnej uzyskujemy gdy przewód antenowy jest nachylony w stronę przeciwną, do kierunku na stację promieniującą energię.



Rys. 3.4. Charakterystyka promieniowania anteny skośny promień  
a/ pozioma , b/ pionowa

Anteny skośny promień można stosować:

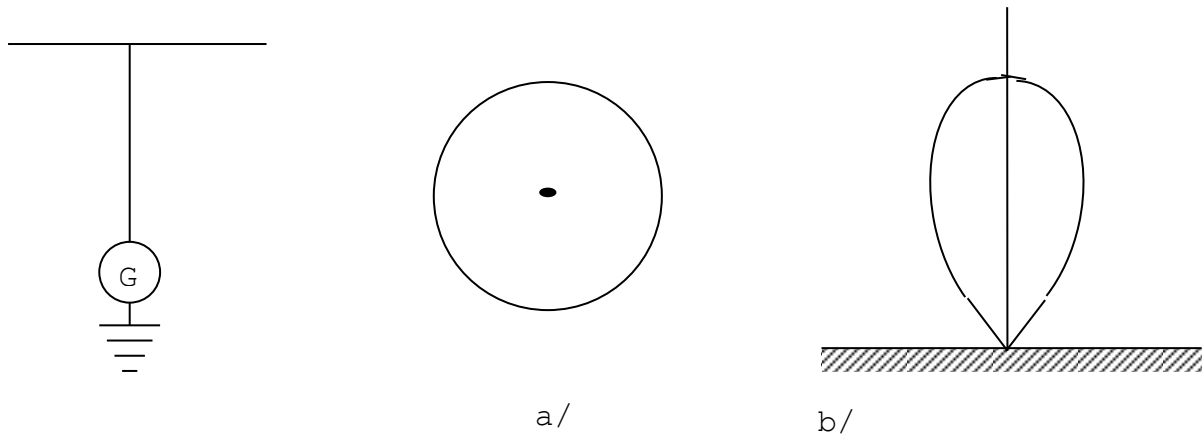
- na falach krótkich;
- przy glebie suchej;
- im lepsza przewodność ziemi, tym kąt nachylenia anteny powinien być większy.

Wykorzystując tą antenę możemy w pewnych granicach zmieniać kierunek promieniowania (odbioru) przez zmianę kąta pochylenia anteny. Najkorzystniejszy kąt promieniowania anteny leży w granicach  $40^{\circ}$ - $60^{\circ}$ .

### 3.3.1.3. Antena typu T

Antena tego typu stosowana jest dla zapewnienia łączności na fali jonosferycznej na bliskich odległościach. Posiada maksimum promieniowania dla kąta zenitowego (pionowego), lub do niego zbliżonego. Dla dużych kątów promieniowania, a więc dla promieniowania przestrzennego charakterystyka pozioma zbliżona jest do kształtu koła.

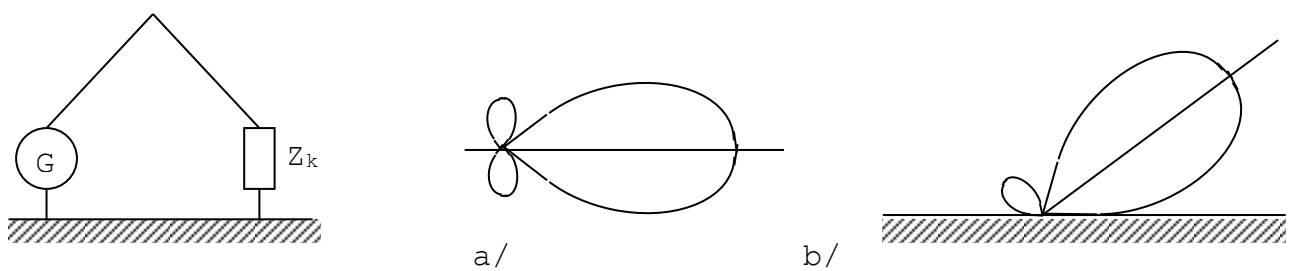




Rys. 3.4. Charakterystyka promieniowania anteny typu T  
a/ pozioma , b/ pionowa

#### 3.3.1.4. Antena półrombowa

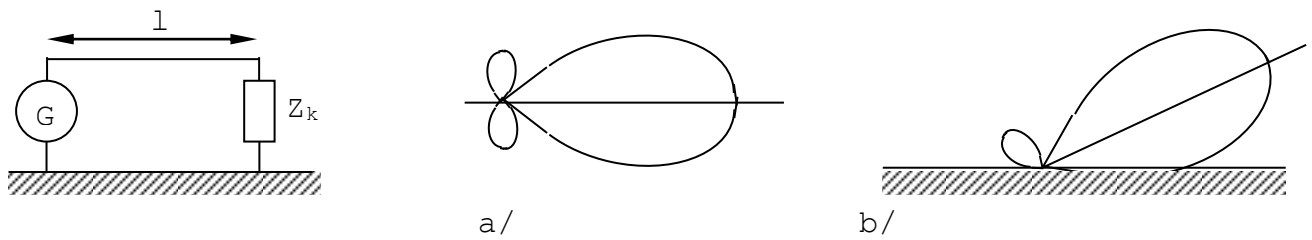
Antena półrombowa prócz wzrostu sygnału potęguje własności kierunkowe. Antena jest uziemiona przez oporność  $Z_k$ , równą oporności falowej. Zaletą tych anten jest niezależność ich działania od przewodności gleby, nad którą rozwijamy antenę.



Rys. 3.5. Charakterystyka promieniowania anteny półrombowej  
a/ pozioma , b/ pionowa

#### 3.3.1.5. Antena fali bieżącej

Antena jest utworzona przez przewód o długości od  $0,5\lambda$  do  $10\lambda$ , rozpięty równoległe do powierzchni ziemi. Właściwości kierunkowe anteny zależą w dużym stopniu od jej długości, od wartości oporu zamykającego linię ( $Z_k$ - równy oporowi falowemu przewodnika anteny), oraz elektrycznych właściwości ziemi. Im mniejsza przewodność ziemi i krótsza długość fali, tym większa składowa pozioma pola elektrycznego i tym samym większa SEM w antenie.



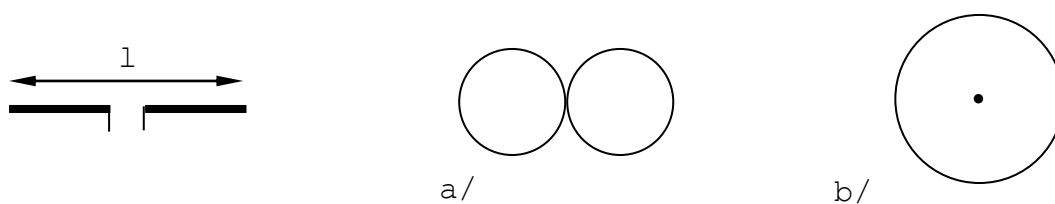
Rys.3.6. Charakterystyka anteny fali bieżącej  
a/ pozioma , b/ pionowa

Maksimum promieniowania leży pod kątami  $20^0$ - $25^0$  względem horyzontu. Kierunkowość anteny w płaszczyźnie poziomej może być spotęgowana przez użycie układu utworzonego z kilku anten połączonych równolegle.

### 3.3.2. Anteny symetryczne

#### 3.3.2.1. Antena typu dipol półfalowy

Często spotykanym typem anteny jest antena półfalowa o długości  $l = 0,5 \lambda$ . Antena ta znajduje zastosowanie w szeregu układach antenowych jako jeden z podstawowych elementów (np. antena Yagi, ścianowa, paraboliczna itp.).



Rys. 3.7. Charakterystyka promieniowania anteny typu dipol półfalowy  
a/ w płaszczyźnie dipola  
b/ w płaszczyźnie prostopadłej do dipola

## 4. EMISJE RADIOWE

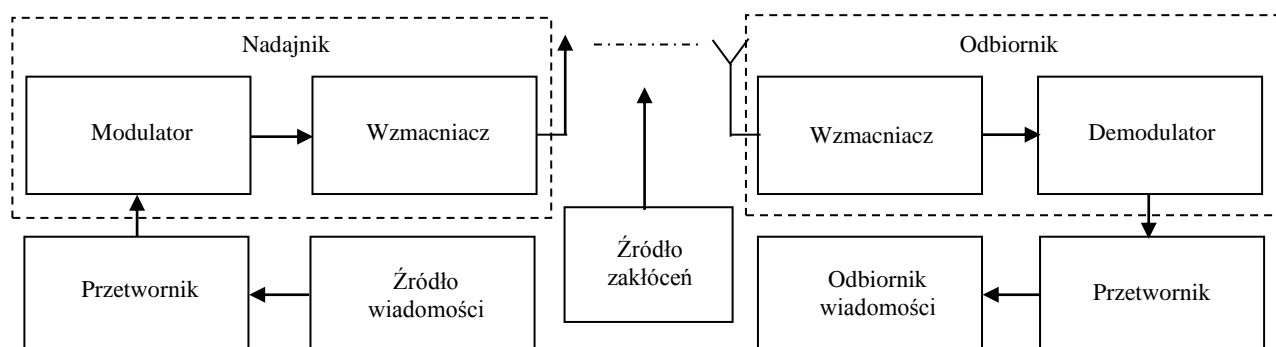
### 4.1. Łącze radiokomunikacyjne

Łączem radiokomunikacyjnym będziemy nazywać zestaw urządzeń niezbędnych do przekazania informacji między korespondentami w jednym lub w obu kierunkach za pośrednictwem fal elektromagnetycznych.

Łącza radiokomunikacyjne możemy sklasyfikować w kilku kategoriach:

1. Ze względu na przeznaczenie:
  - stacjonarne;
  - ruchome;
2. Ze względu na rodzaj urządzeń końcowych:
  - foniczne;
  - telegraficzne;
  - telekopiowe;
  - telewizyjne;
3. Ze względu na zakres częstotliwości:
  - fal długich;
  - fal średnich;
  - fal krótkich
  - fal ultrakrótkich.

Tor radiokomunikacyjny możemy przedstawić schematycznie, jako składający się z urządzeń końcowych, urządzeń szyfrujących i deszyfrujących, urządzeń komutacyjnych, nadajnika, odbiornika, anteny nadawczej i odbiorczej.



Rys. 4.1. Schemat łączy radiokomunikacyjnego

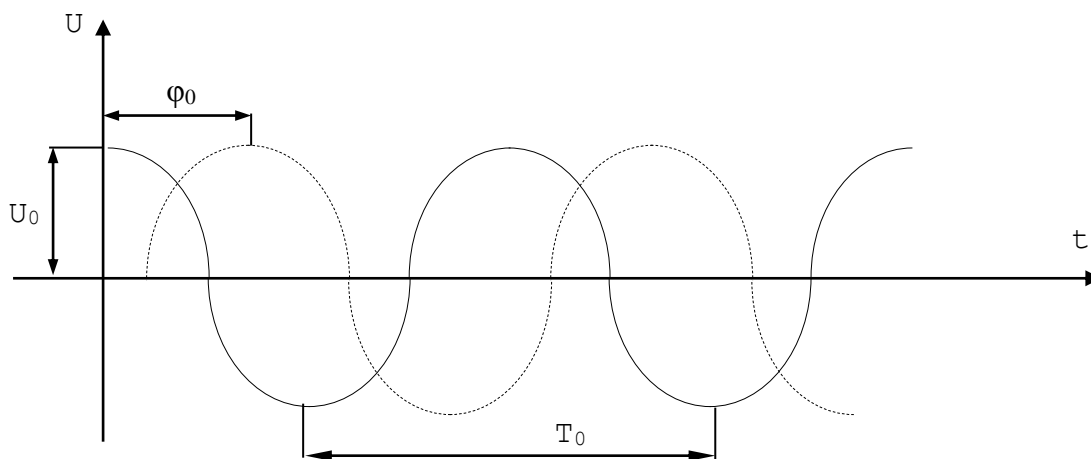
## 4.2. Sygnał elektryczny

Pod pojęciem sygnału będziemy rozumieć stan lub proces fizyczny będący nośnikiem informacji.

Sygnałem elektrycznym będziemy nazywać przebieg elektryczny będący nośnikiem informacji.

Do podstawowych parametrów sygnału elektrycznego możemy zaliczyć:

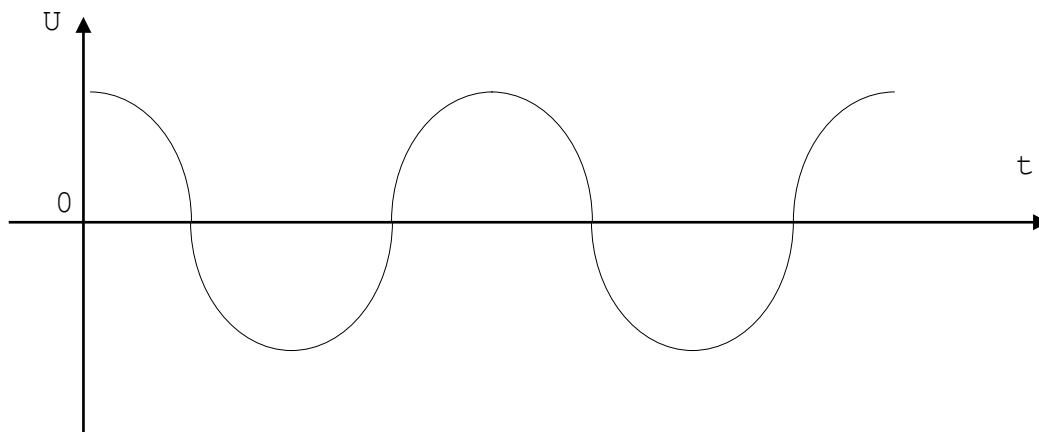
1. Amplitudę sygnału –  $U_0$
2. Okres –  $T_0$  ( $T_0=1/f$ )
3. Częstotliwość –  $f$
4. Fazę sygnału –  $\varphi_0$



Sygnał elektryczny możemy przedstawić na wiele sposobów. Do najczęściej stosowanych zaliczamy przedstawienie sygnału :

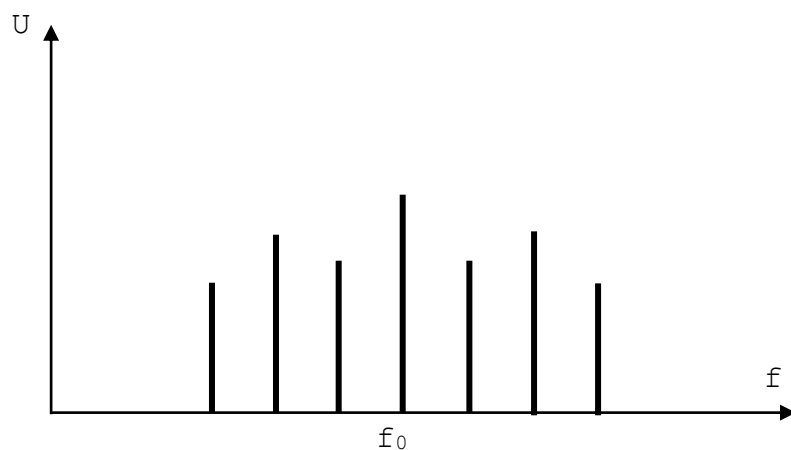
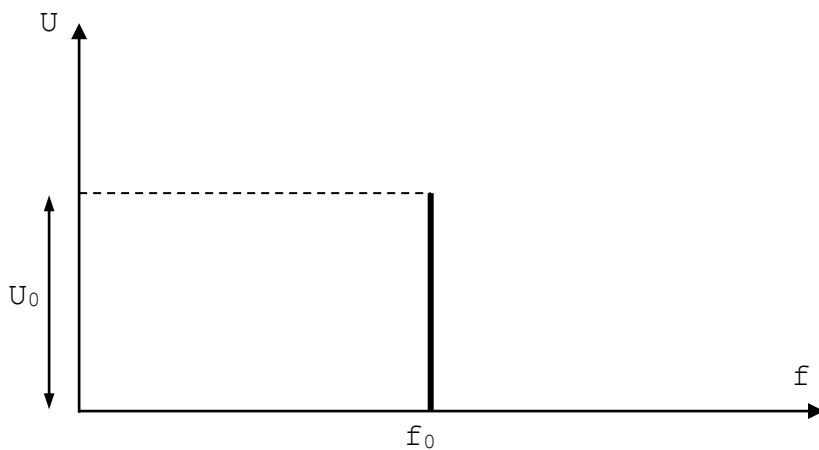
1. W funkcji czasu.

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{gdzie } \omega = 2\pi f \quad (\omega = 2\pi/T) - \text{częstotliwość kątowa}$$
$$\varphi_0 - \text{faza początkowa sygnału}$$



## 2. W funkcji częstotliwości.

Przedstawienia sygnału elektrycznego w funkcji częstotliwości dokonuje się po rozłożeniu go na składowe harmoniczne. Sygnał elektryczny w tej postaci wyraża zależność amplitud poszczególnych składowych sygnału od częstotliwości. Przedstawienie takie nazywa się charakterystyką częstotliwościową lub widmową sygnału.



### 4.3. Emisja radiowa

Emisją radiową będziemy nazywać promieniowanie elektromagnetyczne wysyłane przez antenę nadajnika zawierające nałożoną informację.

Emisje radiowe możemy sklasyfikować w kilku kategoriach:

1. Według rodzaju przesyłanej informacji:
  - telegraficzne;
  - telefoniczne;
  - telekopiowe;
  - telewizyjne, itp.
2. Według szerokości zajmowanego pasma:
  - wąskopasmowe;
  - szerokopasmowe.
3. Według rodzaju modulacji:
  - amplitudowe;
  - częstotliwościowe;
  - kodowo-impulsowe.
4. Według ilości kanałów informacyjnych:
  - jednokanałowe;
  - wielokanałowe.

### 4.4. Oznaczanie emisji radiowych

Wcześniej stosowane oznaczenia emisji radiowych zawierały zbyt mało informacji. Dlatego powstała konieczność stworzenia systemu oznaczeń, w którym byłaby maksymalna ilość jednoznacznych informacji charakteryzujących daną emisję. System taki został opracowany i przyjęty przez Światową Administracyjną Konferencję Radiokomunikacyjną (WARC, Genewa 1975). Nowa metoda oznaczania emisji weszła w życie z dniem 1 stycznia 1982 roku.

Pełne oznaczenie rodzaju emisji zawiera dziewięć symboli alfanumerycznych, które dzielą się na trzy podstawowe grupy, a mianowicie:

1. Pierwsza grupa, zawierająca cztery symbole, określa niezbędną szerokość pasma.
2. Druga grupa, zawierająca trzy symbole, określa podstawowe cechy charakterystyczne emisji radiowych, przy czym:
  - pierwszy symbol określa rodzaj modulacji głównej fali nośnej,

- drugi symbol określa charakter sygnałów modulujących główną falę nośną,
- trzeci symbol określa rodzaj przesyłanej informacji.

3. Trzecia grupa, zawierająca dwa symbole, określa dodatkowe cechy charakterystyczne, przy czym:

- pierwszy symbol określa szczegóły sygnału (ów),
- drugi symbol określa sposób zwielokrotnienia.

Sposób oznaczania emisji radiowych przedstawia tabela 4.1.

Tabela 4.1

| Kolejność symboli w oznaczeniu emisji |   |   |   |   |   |                               |                                      |                         |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 1                                     | 2 | 3 | 4 | 5   | 6   | 7                             | 8                                    | 9                       |
| I grupa                               |   |   |   | II grupa                                  |   |                               | III grupa                            |                         |
| 1                                     | 2 | 3 | 4 | 1   | 2   | 3                             | 1                                    | 2                       |
| Niezbędna szerokość pasma             |   |   |   | Podstawowe cechy charakterystyczne emisji |   |                               | Dodatkowe cechy charakteryst. emisji |                         |
|                                       |   |   |   | Rodzaj modulacji głównej fali nośnej      | Charakter sygnałów modulujących główną falę nośną | Rodzaj przesyłanej informacji | Szczegóły sygnału (ów)               | Sposób zwielokrotnienia |

Pełne oznaczenie rodzaju emisji radiowych, zawierające dziewięć znaków alfanumerycznych stosuje się w wypadkach występowania o przydział pasm (częstotliwości roboczych) dla nowo opracowywanych urządzeń radioelektronicznych oraz w wypadkach przekazywania informacji dotyczących występowania zakłóceń radiowych.

W innych przypadkach, do oznaczania rodzaju emisji wykorzystuje się trzy symbole drugiej grupy, a jeżeli jest to niezbędne – dodatkowo dwa symbole trzeciej grupy.

#### 4.4.1. Niezbędna szerokość pasma

Niezbędna szerokość pasma jest to szerokość pasma częstotliwości dla danego rodzaju emisji, która jest wystarczająca do zapewnienia przesłania informacji z wymaganą szybkością i jakością dla stosowanego systemu w danych warunkach.

Niezbędną szerokość pasma oznacza się za pomocą czterech symboli – trzech cyfr i jednej litery. Litera w oznaczeniu określa jednostkę szerokości pasma (Hz, kHz, MHz, GHz) i zajmuje miejsce punktu dziesiętnego (przecinka) rozdzielającego jednostki od dziesiętnych.

Przyjęto następujące litery:

- H – dla herców,
- K – dla kiloherców,
- M – dla megaherców,
- G – dla gigaherców.

Dla uniknięcia niejednoznacznego oznaczania danej szerokości pasma, pierwszym symbolem nie może być „0” oraz litery K, M i G.

Niezbędne szerokości pasma powinny być oznaczane następująco:

- 1/ W zakresie od 0,001 do 999 Hz w hercach – Hz (litera H);
- 2/ W zakresie od 1,00 do 999 kHz w kilohercach – kHz (litera K);
- 3/ W zakresie od 1,00 do 999 MHz w megahercach – MHz (litera M);
- 4/ W zakresie od 1,00 do 999 GHz w gigahercach – GHz (litera G).

Przykłady:

|           |      |
|-----------|------|
| 0,1 Hz    | H100 |
| 25,3 Hz   | 25H3 |
| 400 Hz    | 400H |
| 2,4 kHz   | 2K40 |
| 16,30 MHz | 16M3 |
| 5,65 GHz  | 5G65 |



#### 4.4.2. Podstawowe cechy charakterystyczne

Podstawowe cechy charakterystyczne emisji radiowych są oznaczane trzema symbolami, które określają:

1. Pierwszy symbol – rodzaj modulacji fali nośnej (Tabela 4.2)

Tabela 4.2

|   |  |  |    |
|---|--|--|----|
| EMISJA NIEMODULOWANEJ FALI NOŚNEJ   |  | N  |    |
| EMISJA, W KTÓREJ GŁÓWNA FALA NOŚNA JEST MODULOWANA AMPLITUDOWO WŁĄCZAJĄC WYPADKI Z PODNOŚNYMI MODULOWANYMI KĄTOWO   | PODWÓJNA WSTĘGA BOCZNA   | A  |    |
|   | POJEDYNCZA WSTĘGA BOCZNA, PEŁNA FALA NOŚNA                                       | H  |    |
|   | POJEDYNCZA WSTĘGA BOCZNA, PRZYTLUMIONA FALA NOŚNA LUB ZMIENNY POZIOM FALI NOŚNEJ | R  |    |
|   | POJEDYNCZA WSTĘGA BOCZNA, STŁUMIONA FALA NOŚNA                                   | J  |    |
|   | NIEZALEŻNE WSTĘGI BOCZNE   | B  |    |
|   | SZCZĄTKOWA WSTĘGA BOCZNA   | C  |    |
|   | EMISJE, W KTÓRYCH GŁÓWNA FALA NOŚNA JEST MODULOWANA KĄTOWO                       | MODULACJA CZĘSTOTLIWOŚCIOWA  | F  |
|   | MODULACJA FAZOWA   | G  |    |
| EMISJA, W KTÓREJ GŁÓWNA FALA NOŚNA JEST MODULOWANA AMPLITUDOWO I KĄTOWO JEDNOCZEŚNIE ALBO W USTALONEJ WCZEŚNIEJ KOLEJNOŚCI  |  | D  |    |
| EMISJA IMPULSÓW*  | NIEMODULOWANY CIĄG IMPULSÓW  | P  |    |
|   | CIĄG IMPULSÓW  | MODULOWANY AMPLITUDOWO   | K  |
|   |  | O MODULOWANEJ SZEROKOŚCI ( CZASIE TRWANIA)   | L  |
|   |  | O MODULOWANYM POŁOŻENIU (FAZIE)  | M. |
|   |  | W KTÓRYM FALA NOŚNA MODULOWANA JEST KĄTOWO W CZASIE TRWANIA OKRESU IMPULSU           | Q  |
|   |  | W KTÓRYM WYSTĘPUJĄ KOMBINACJE WYŻEJ WYMIENIONYCH EMISJI LUB WYTWARZANE W INNY SPOSÓB | V  |
| WYPADKI NIE OBJĘTE WYŻEJ, W KTÓRYCH GŁÓWNA FALA NOŚNA JEST MODULOWANA DWOMA LUB WIĘCEJ SPOSOBAMI (AMPLITUDOWO, KĄTOWO, IMPULSOWO) JEDNOCZEŚNIE LUB W USTALONEJ WCZEŚNIEJ KOLEJNOŚCI |  | W  |    |
| WYPADKI NIE UWZGLĘDNIONE WYŻEJ  |  | X  |    |

\*Emisje, w których główna fala nośna jest bezpośrednio modulowana przez sygnał zakodowany w formie skwantowanej (np. modulacja kodowo – impulsowa) powinny być oznaczone bądź jako modulacja amplitudowa bądź jako modulacja kątowa.

2. Drugi symbol – charakter sygnałów modulujących główną falę nośną (Tabela 4.3)

Tabela 4.3

|   |   |
|---|---|
| BRAK SYGNAŁU MODULUJĄCEGO   | 0 |
| POJEDYNCZY KANAŁ ZAWIERAJĄCY INFORMACJĘ SKWANTOWANĄ LUB CYFROWĄ BEZ MODULACJI PODNOŚNEJ*  | 1 |
| POJEDYNCZY KANAŁ ZAWIERAJĄCY INFORMACJĘ SKWANTOWANĄ LUB CYFROWĄ Z ZASTOSOWANIEM MODULACJI PODNOŚNEJ   | 2 |
| POJEDYNCZY KANAŁ ZAWIERAJĄCY INFORMACJĘ ANALOGOWĄ   | 3 |
| DWA LUB WIĘCEJ KANAŁÓW ZAWIERAJĄCYCH INFORMACJĘ CYFROWĄ LUB SKWANTOWANĄ   | 7 |
| DWA LUB WIĘCEJ KANAŁÓW ZAWIERAJĄCYCH INFORMACJĘ ANALOGOWĄ   | 8 |
| SYSTEM OBEJMUJĄCY JEDEN LUB WIĘCEJ KANAŁÓW ZAWIERAJĄCYCH INFORMACJĘ ZŁOŻONĄ ( SKWANTOWANĄ, CYFROWĄ, ANALOGOWĄ) W JEDNYM LUB WIĘCEJ KANAŁACH | 9 |
| WYPADKI NIE UWZGLĘDNIONE WYŻEJ  | X |

\*Wyklucza to zwielokrotnienie czasowe

3. Trzeci symbol – rodzaj przesyłanej informacji (Tabela 4.4)

Tabela 4.4

|   |   |
|---|---|
| BRAK PRZESYŁANEJ INFORMACJI*                      | N |
| TELEGRAFIA DLA ODBIORU SŁUCHOWEGO                 | A |
| TELEGRAFIA DLA ODBIORU AUTOMATYCZNEGO             | B |
| TELEKOPIA   | C |
| TRANSMISJA DANYCH, TELEMETRIA, TELESTEROWANIE     | D |
| TELEFONIA (W TYM RADIOFONIA)                      | E |
| TELEWIZJA (SYGNAŁ WIZYJNY)                        | F |
| KOMBINACJE WYŻEJ WYMIENIONYCH RODZAJÓW INFORMACJI | W |
| WYPADKI NIE UWZGLĘDNIONE WYŻEJ                    | X |

\*Słowo „informacja” w tym kontekście nie dotyczy sygnałów o stałym niezmiennym charakterze, takich jak emisja częstotliwości wzorcowych, fali ciągłej, impulsów radarowych itp.

4.4.3. Dodatkowe cechy charakterystyczne

W celu uzyskania pełniejszego opisu rodzaju emisji wykorzystuje się dwa następne symbole umieszczone na ósmym i dziewiątym miejscu jako dodatkowe cechy charakterystyczne.

1. Pierwszy symbol – szczegóły sygnału (ów), (Tabela 4.5)

Tabela 4.5

|  |   |
|--|---|
| KOD DWUWARTOŚCIOWY O ELEMENTACH SYGNAŁÓW, KTÓRE RÓŻNIĄ SIĘ ALBO ILOŚCIĄ, ALBO CZASEM TRWANIA   | A |
| KOD DWUWARTOŚCIOWY Z ELEMENTAMI SYGNAŁÓW IDENTYCZNYMI CO DO ILOŚCI I CZASU TRWANIA, BEZ KOREKCJI BŁĘDÓW                                  | B |
| KOD DWUWARTOŚCIOWY Z ELEMENTAMI SYGNAŁÓW IDENTYCZNYMI CO DO ILOŚCI I CZASU TRWANIA, Z KOREKCJĄ BŁĘDÓW                                    | C |
| CZTEROWARTOŚCIOWY KOD, W KTÓRYM KAŻDY STAN OKREŚLA JEDEN ELEMENT SYGNAŁU (JEDEN LUB WIĘCEJ BITÓW)  | D |
| WIELOWARTOŚCIOWY KOD, W KTÓRYM KAŻDY STAN OKREŚLA JEDEN ELEMENT SYGNAŁU (JEDEN LUB WIĘCEJ BITÓW)   | E |
| WIELOWARTOŚCIOWY KOD, W KTÓRYM KAŻDY STAN LUB KOMBINACJA STANÓW OKREŚLA ZNAK ALFANUMERYCZNY  | F |
| SYGNAŁ RADIOFONICZNY (MONOFONIA)   | G |
| SYGNAŁ RADIOFONICZNY (STEREO LUB KWADROFONIA)  | H |
| SYGNAŁ FONICZNY KOMERCYJNEJ JAKOŚCI (Z WYŁĄCZENIE KATEGORII OZNACZONYCH „K” i „L”)   | J |
| SYGNAŁ FONICZNY KOMERCYJNEJ JAKOŚCI Z ZASTOSOWANIEM INWERSJI CZĘSTOTLIWOŚCI LUB Z PODZIAŁEM PASMA  | K |
| SYGNAŁ FONICZNY KOMERCYJNEJ JAKOŚCI Z ODDZIELNYMI SYGNAŁAMI MODULOWANYMI CZĘSTOTLIWOŚCIOWO DLA REGULACJI POZIOMU SYGNAŁU ZDEMODULOWANEGO | L |
| SYGNAŁ WIZYJNY (OBRAZ MONOCHROMATYCZNY)  | M |
| SYGNAŁ WIZYJNY (OBRAZ KOLOROWY)  | N |
| KOMBINACJE WYPADKÓW WYMIENIONYCH WYŻEJ   | W |
| WYPADKI NIE UWZGLĘDNIONE WYŻEJ   | X |

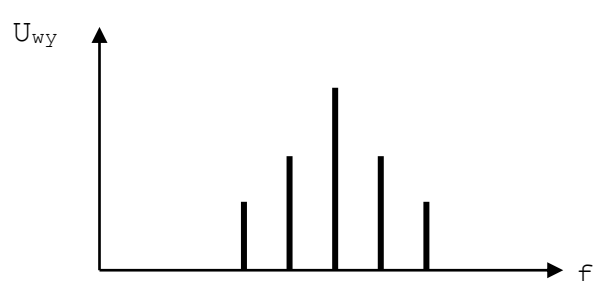
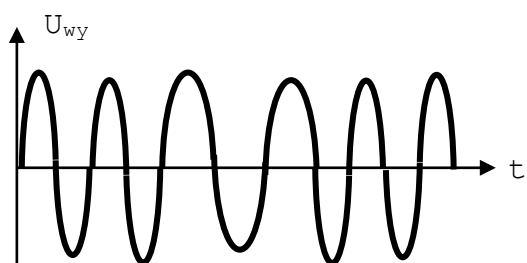
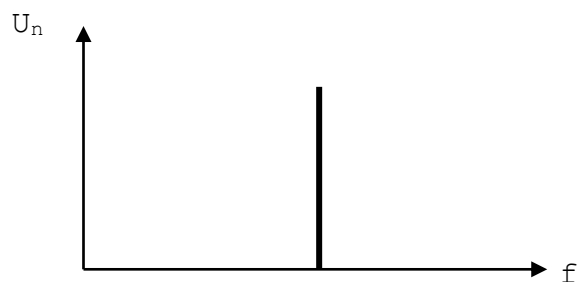
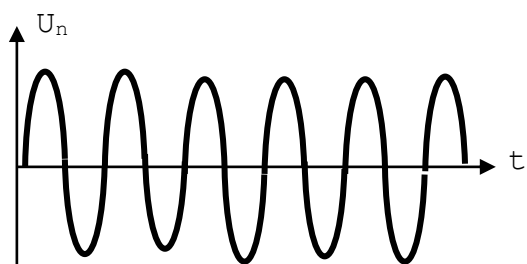
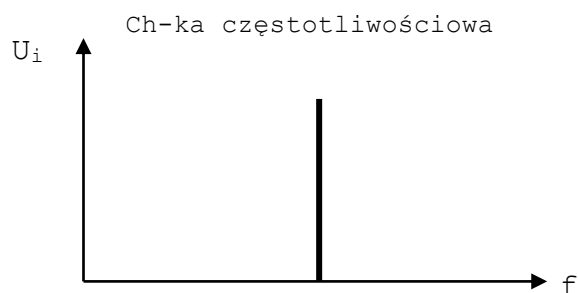
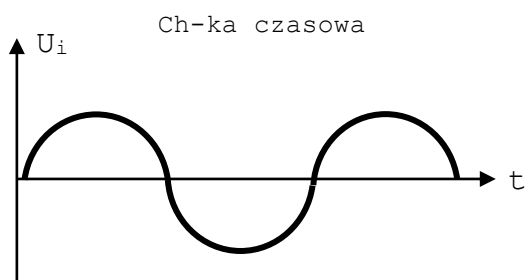
2. Drugi symbol - sposób zwielokrotnienia (Tabela 4.6)

Tabela 4.6

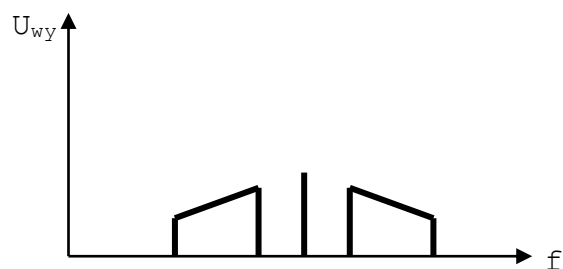
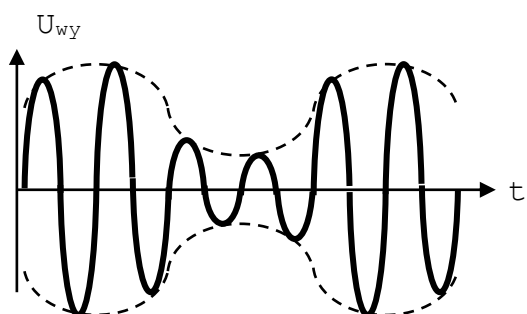
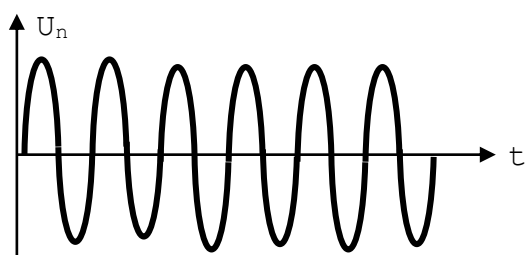
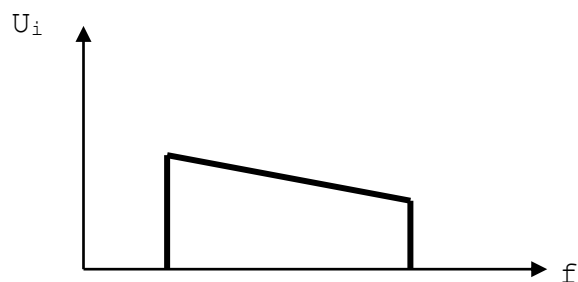
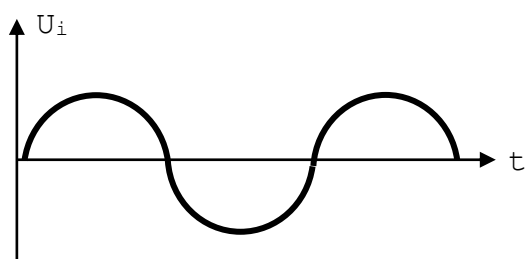
|   |   |
|---|---|
| BEZ ZWIELEKROTNIENIA  | N |
| ZWIELEKROTNIENIE KODOWE                                     | C |
| ZWIELEKROTNIENIE CZĘSTOTLIWOŚCIOWE                          | F |
| ZWIELEKROTNIENIE CZASOWE                                    | T |
| KOMBINACJE ZWIELEKROTNIENIA CZASOWEGO I CZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO | W |
| INNE RODZAJE ZWIELEKROTNIENIA                               | X |

#### 4.5. Charakterystyki czasowe i częstotliwościowe podstawowych rodzajów emisji

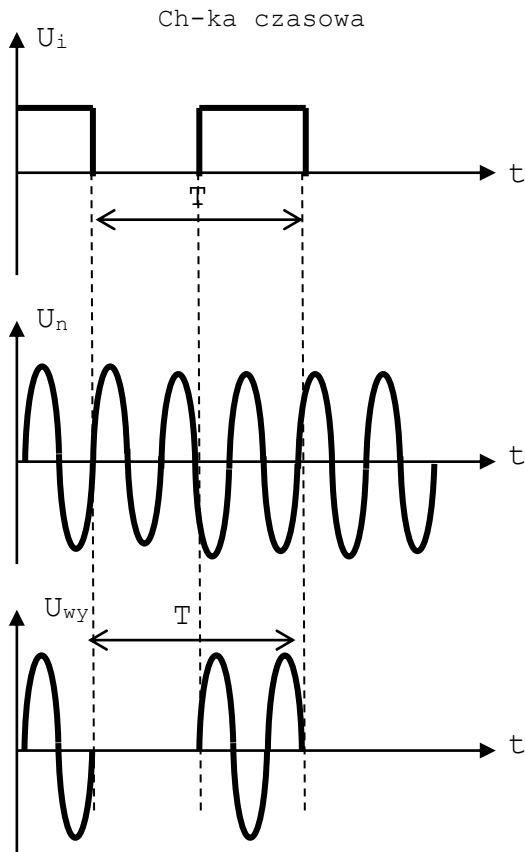
##### EMISJA F3E



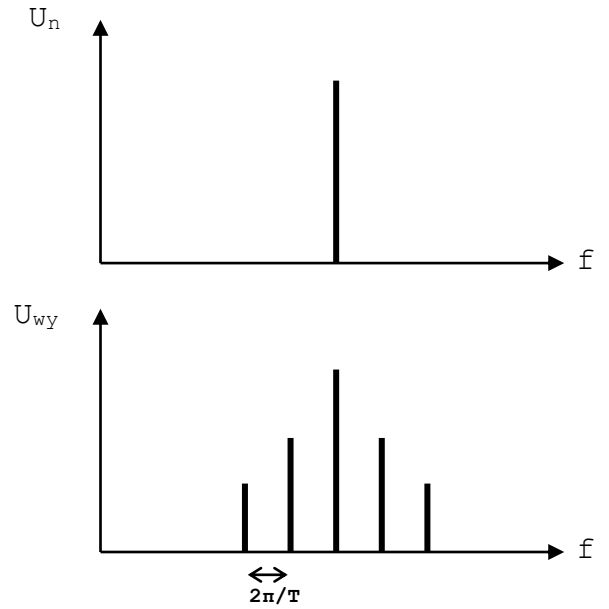
##### EMISJA A3E



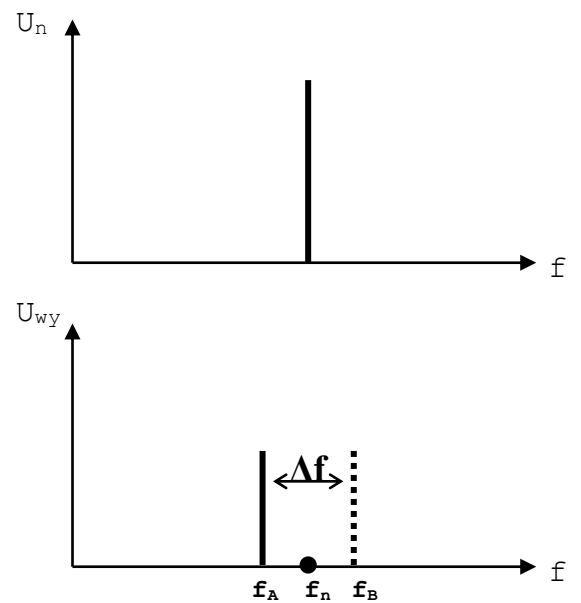
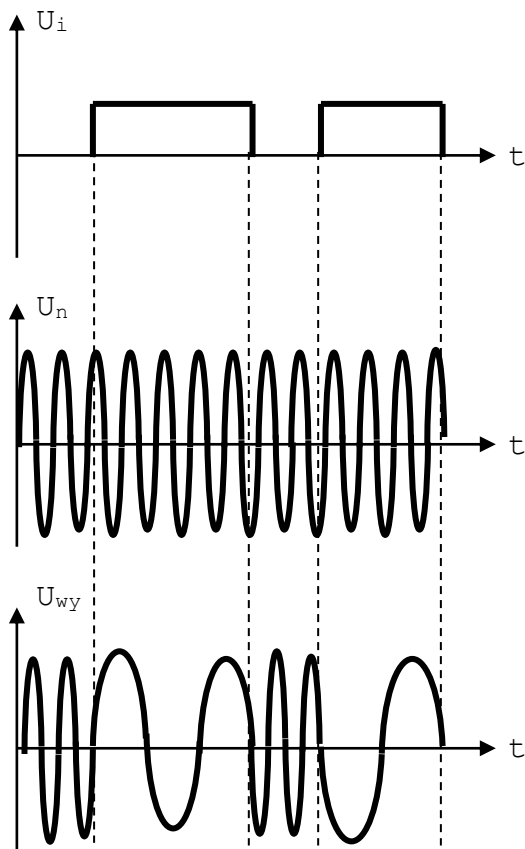
## EMISJA A1A



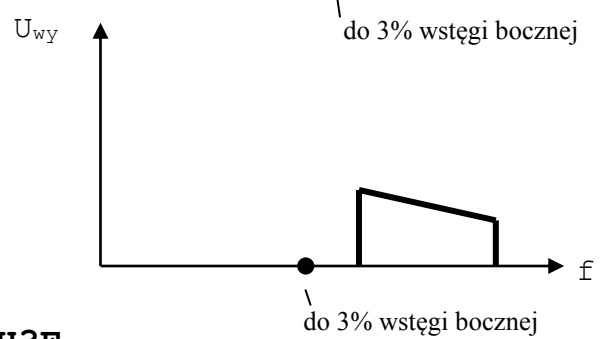
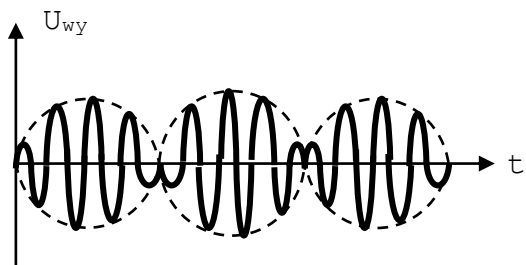
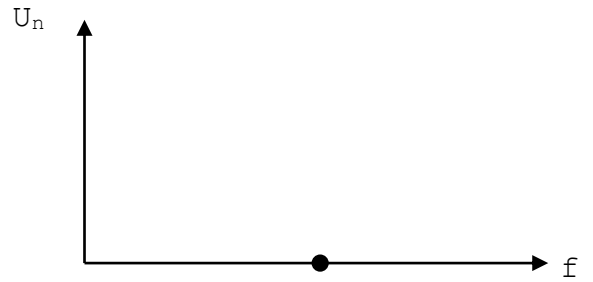
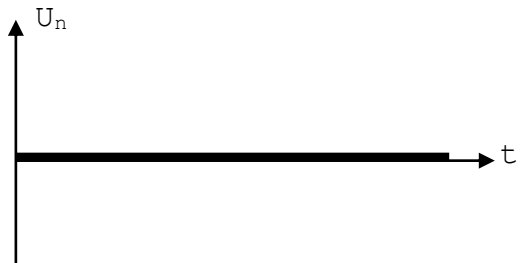
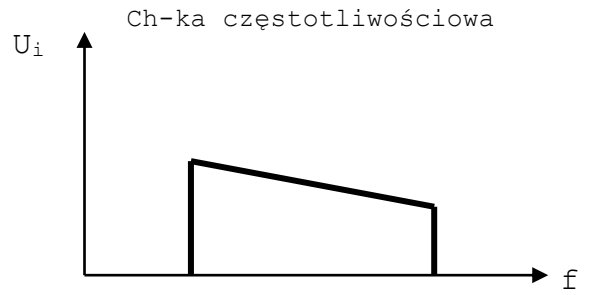
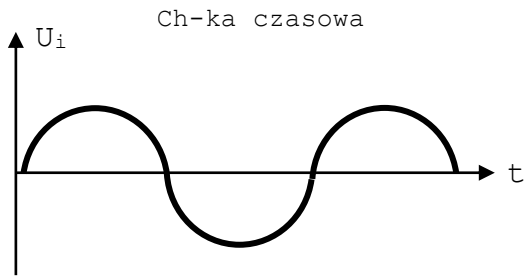
Ch-ka częstotliwościowa



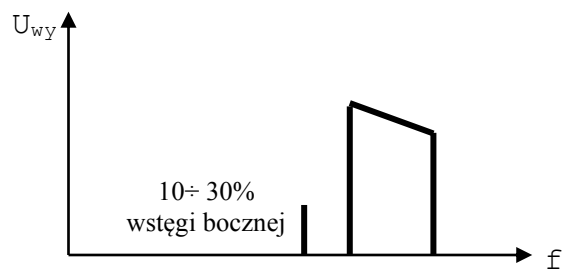
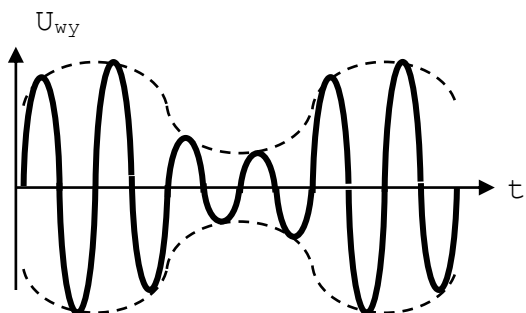
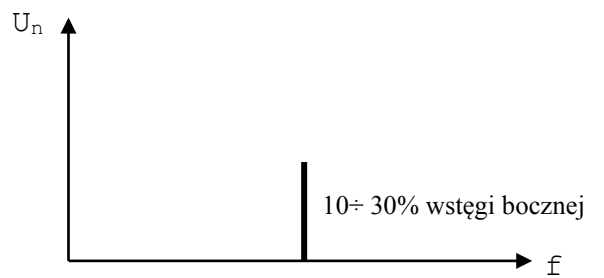
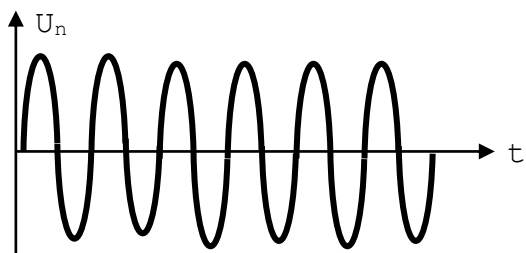
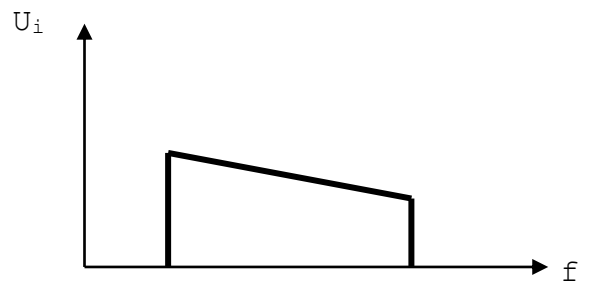
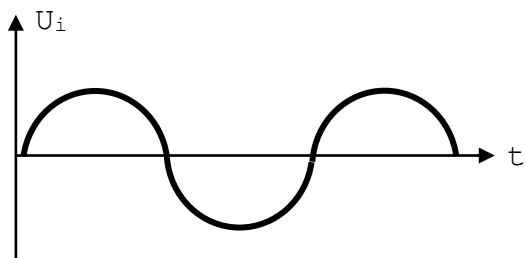
## EMISJA F1A



### EMISJA J3E



### EMISJA H3E



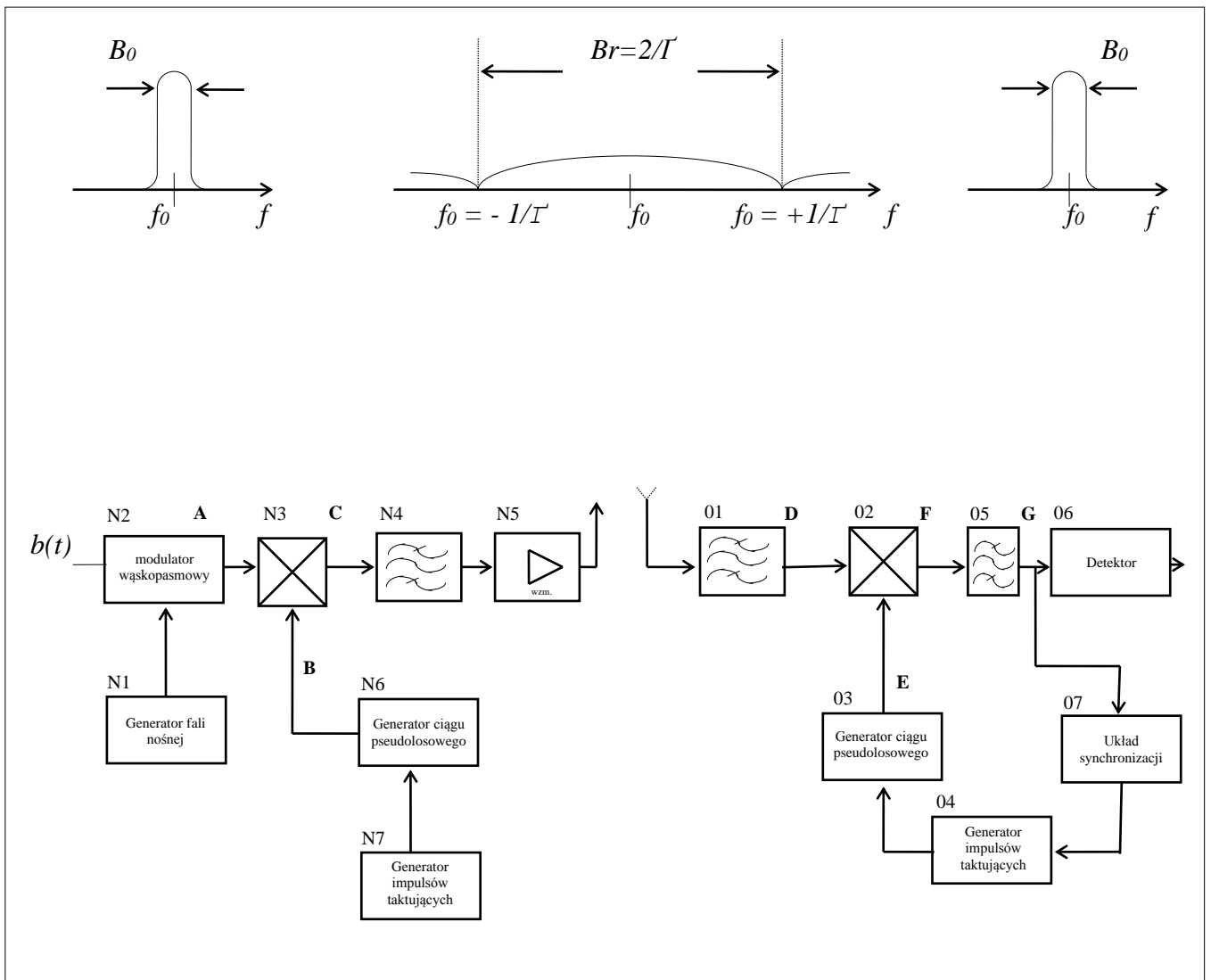
## 5. EMISJE SZEROKOPASMOWE

Ogólnie rzecz biorąc systemem szerokopasmowym jest każdy system telekomunikacyjny, w którym do przesyłania informacji stosuje się pasmo szersze niż zajmowane przez sygnał informacyjny przed procesem modulacji. Przykładem tego będą opisane niżej systemy stosowane w technice wojskowej; pierwszy- bezpośrednio kluczujący fazę sygnału zmodulowanego (DS), drugi – kluczujący częstotliwość nośną sygnału (FH).

Inny system to system matrycowy, w którym sygnały są przesyłane w postaci krótkich impulsów o różnej częstotliwości, w różnym czasie (tzw. matryca czasowo-częstotliwościowa, która jest różna dla różnych użytkowników).

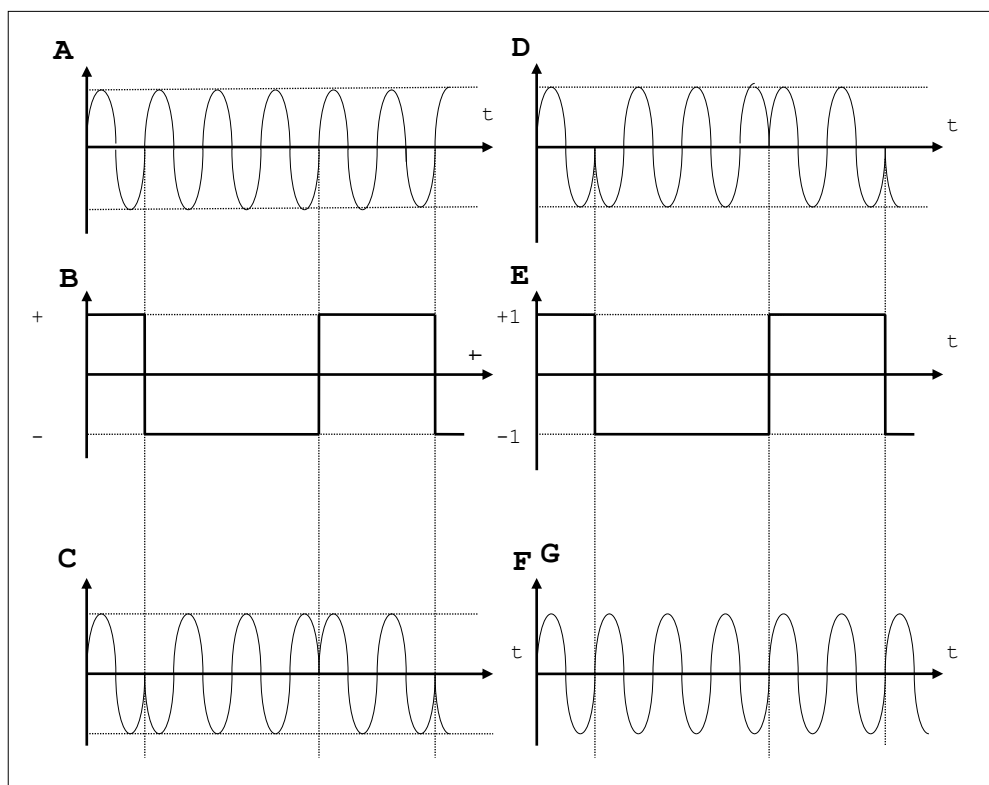
### 5.1. System DS (*ang: direct sequence* )

Zasadę działania systemu DS można wyjaśnić na przykładzie schematu blokowego rys 5.1. Przyjmijmy, że generator ciągu pseudolosowego wytwarza przebieg prostokątny, przyjmujący tylko wartości „+1” i „-1” przy czym momenty zmiany znaku określa odpowiednia reguła kodowa. Sygnał z generatora N1 podlega konwencjonalnej wąskopasmowej modulacji sygnałem informacji w modulatorze wąskopasmowym N2. Sygnał zmodulowany o szerokości pasma  $B_0$ , porównywalnej z szerokością pasma sygnału modulującego, trafia do układu mnożącego N3, w którym jest poddany kluczowaniu fazy przez binarną sekwencję pseudolosową wytworzoną w generatorze ciągu pseudolosowego N6. Szybkość kluczowania określona przez generator impulsów taktujących N7 jest bardzo duża, dzięki czemu następuje poszerzenie widma sygnału zmodulowanego. Przebiegi czasowe systemu DS przedstawione są na rys 5.2. Dla uproszczenia przyjęto, że do drugiego wejścia układu mnożącego jest doprowadzona niemodulowana fala nośna.

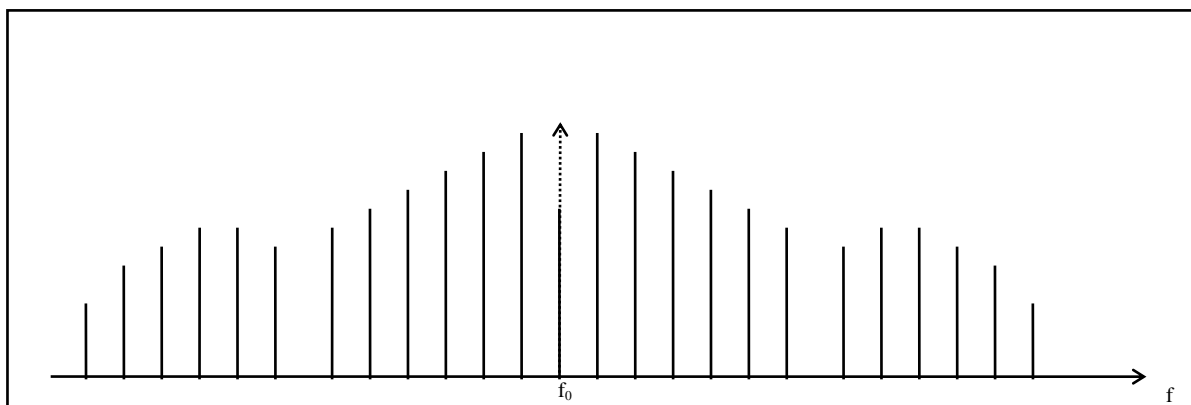


Rys.5.1. Schemat blokowy łącza szerokopasmowego DS





Rys.5.2. Przebiegi czasowe w różnych punktach układu DS przedstawionego na schemacie blokowym rys. .5.1

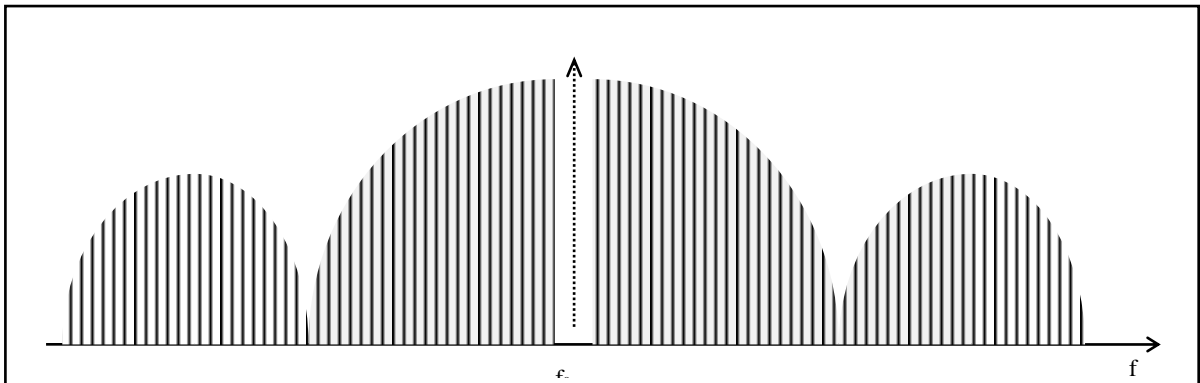


Rys.5.3. Widmo sygnału po ekspansji dla długości ciągu pseudolosowego  $l = 7$  bitów

Odstęp czasu między dwiema dowolnymi zmianami w ciągu pseudolosowym jest całkowitą wielokrotnością okresu taktowania. Jeśli założy się, że rozkład prawdopodobieństwa momentów przeskoku jest równomierny, to funkcja autokorelacji ciągu pseudolosowego ma przebieg trójkątny, a widmową gęstość mocy sygnału skłuczowanego opisuje funkcja.

$$S = \left( \frac{\sin \cdot \Pi \cdot f \cdot \tau}{\Pi \cdot f \cdot \tau} \right)^2$$

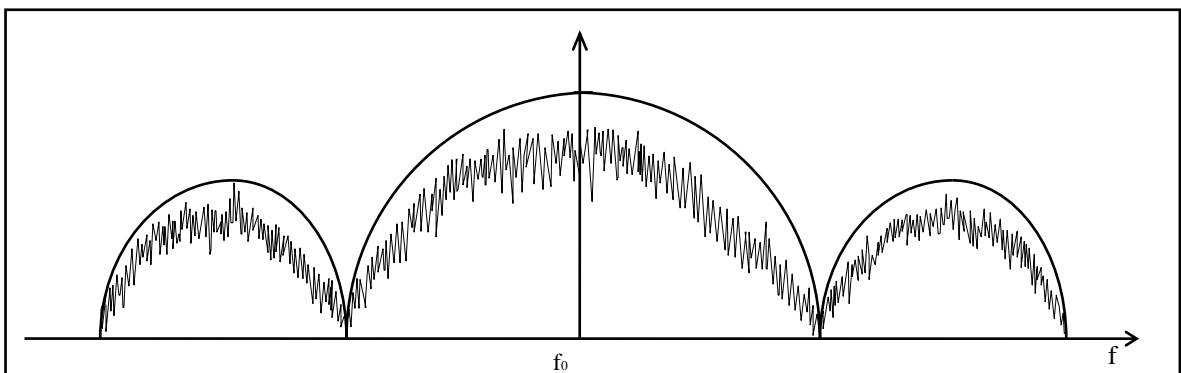
Szerokość pasma tego sygnału, rozumiana jako odstęp częstotliwości między dwoma zerami obejmującymi główne maksimum wynosi  $2/\tau$



Rys.5.4. Widmo sygnału po ekspansji dla długości ciągu pseudolosowego  $l = 31$  bitów

Jak widać na rys. 5.3; 5.4; 5.5 okres taktowania  $\tau$  decyduje o szerokości pasma zmodulowanego sygnału. Kluczując na przykład sygnał nośny z częstotliwością  $1/\tau = 5$  MHz otrzymuje się sygnał wyjściowy o paśmie  $B_r = 10$  MHz.

Struktura widma zależy od długości ciągu kluczującego. Im krótszy jest ciąg pseudolosowy, tym wyraźniej zaznacza się ziarnista struktura widma.



Rys.5.5. Widmo sygnału po ekspansji dla długości ciągu pseudolosowego  $l = 255$  bitów

Stopniowe zacieranie się ziarnistej struktury widma w miarę zwiększania się długości ciągu pseudolosowego przedstawia rys.5.5. Podziałka na osi częstotliwości wynosi 2 MHz/dz, na osi amplitud -10 dB/dz.

Sygnal skłuczony o rozproszonym widmie jest doprowadzony do filtra pasmowoprzepustowego N4, który ogranicza jego widmo do głównego listka o szerokości  $B_r$ . Po wzmacnieniu we wzmacniaczu mocy N5 sygnał szerokopasmowy jest wypromieniowany przez antenę nadawczą.

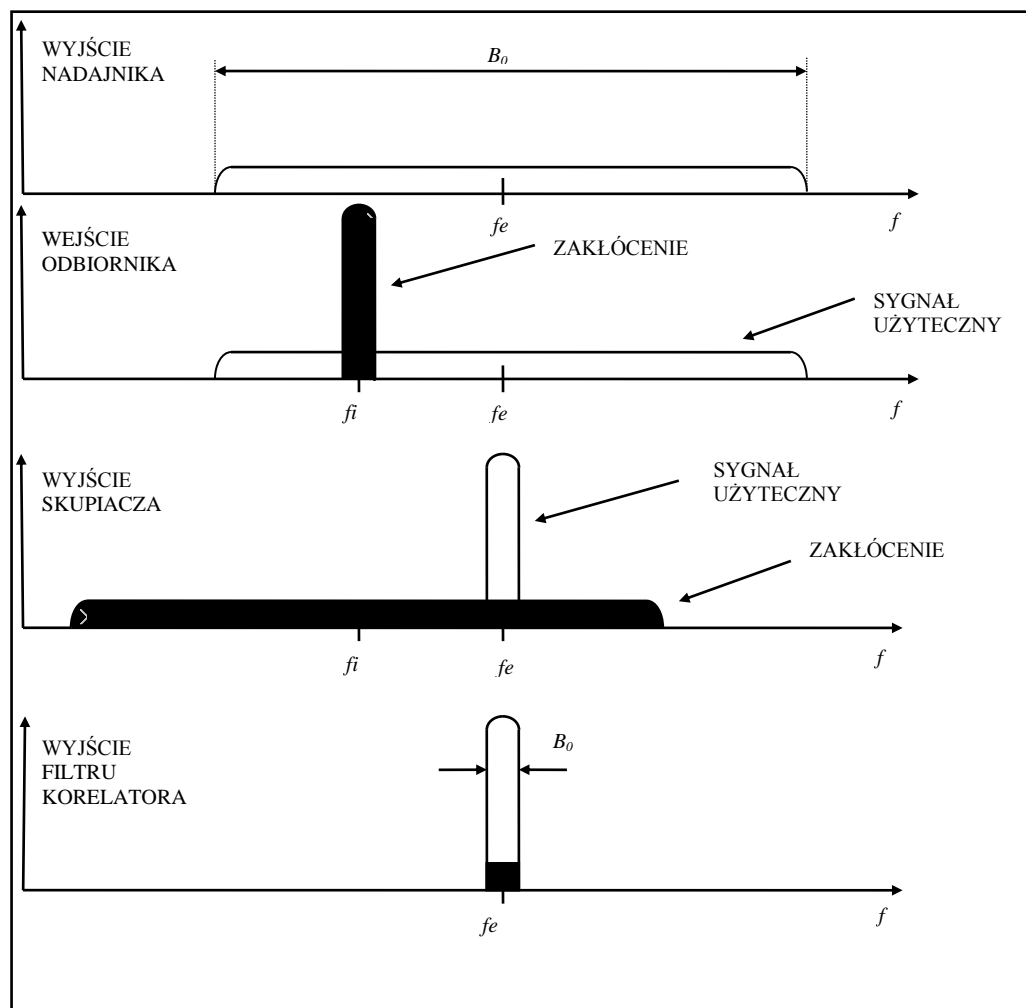
Po stronie odbiorczej przebieg odebrany przez antenę odbiorczą podlega wzmacnieniu i filtracji a następnie jego widmo ulega kompresji. W tym celu do mieszacza zrównoważonego O2 doprowadza się sygnał odebrany i replikę ciągu klucującego stosowanego po stronie nadawczej. Replikę tę wytwarza się w generatorze ciągu pseudolosowego O3. W mieszaczu następuje usunięcie modulacji szerokopasmowej tak, że filtr O5 może mieć pasmo przepuszczania o szerokości odpowiadającej pierwotnej modulacji wąskopasmowej. Mieszacz O2 i filtr O5 tworzą korelator, w którym powstaje tzw. zysk przetwarzania, charakterystyczny dla systemów szerokopasmowych. Niezbędną dla zaistnienia konstruktywnej kompresji zgodność faz sekwencji niesionej przez sygnał odbierany i sekwencji generowanej lokalnie w odbiorniku zapewnia układ synchronizacji O7, sterujący generatorem impulsów taktujących O4. Skupiony sygnał wąskopasmowy podlega konwencjonalnej detekcji w detektorze O6. Jeśli na wejściu odbiornika oprócz pożądanego sygnału szerokopasmowego tzn. sygnału o znanej sekwencji kodowej występują inne sygnały wąskopasmowe lub szerokopasmowe adresowane inną sekwencją kodową, to ich widmo ulega rozproszeniu co najmniej w takim stopniu, w jakim ulega rozproszeniu sygnał po stronie nadawczej. Na wejście odbiornika przedostaje się więc znikoma część mocy sygnałów niepożądanych.

Opisany efekt wyjaśnia, skąd wynika duża odporność omawianych systemów na zakłócenia, umożliwiającą poprawną ich pracę przy stosunku sygnał / szum znacznie mniejszym od 1. Ścisłe wiąże się z tym pewna miara jakości systemów DS , a mianowicie tzw. zysk przetwarzania lub zysk rozproszenia sygnału, definiowany analogicznie jak zysk modulacyjny .

Zakładając, że na wejściu układu mnożącego moc sygnału zakłócającego jest rozpraszana w paśmie o szerokości co najmniej  $B_r$ , to gęstość mocy tego sygnału na wejściu filtru przy upraszczającym założeniu rozpraszania równomiernego wynosi  $N/B_r$ . Wobec tego moc sygnału zakłócającego na wyjściu filtru jest równa  $N \cdot B_0 / B_r$ . Widać to dokładnie na rys 5.6. Ponieważ moc sygnału pożądanego jest taka sama na wyjściu skupiacza jak i na jego wejściu, więc stosunek mocy sygnału pożądanego do zakłócającego na wyjściu skupiacza odniesiony do analogicznego stosunku na jego wejściu wynosi:

$$\frac{\left[ \frac{\text{Sygnał}}{\text{Zakłócenie}} \right]_{\text{wy}}}{\left[ \frac{\text{Sygnał}}{\text{Zakłócenie}} \right]_{\text{we}}} = \frac{\frac{S}{N \frac{B_0}{B_r}}}{\frac{S}{N}} = \frac{B_r}{B_0} = G_p = \text{Zysk przetwarzania}$$

Jeśli np. system pracuje z zyskiem przetwarzania 30 dB, a przy stosowanym rodzaju modulacji wymaga się, aby na wejściu detektora stosunek sygnał / szum wynosił 10 dB, to znaczy, że analogiczny stosunek dla transmitowanego sygnału rozproszonego wynosi -20 dB. Aby wykryć taki sygnał nie znając zastosowanego ciągu kodowego, a więc bez skupiacza, trzeba dysponować znacznie lepszym niż stosowany w systemie. Ponadto nawet w przypadku wykrycia transmitowanego sygnału nie ma możliwości odtworzenia nadawanej informacji, jeśli ciąg kodowy jest nieznan.



Rys.5.6. Mechanizm powstawania zysku przetwarzania  $G_p$  w SS z kluczowaniem fazy

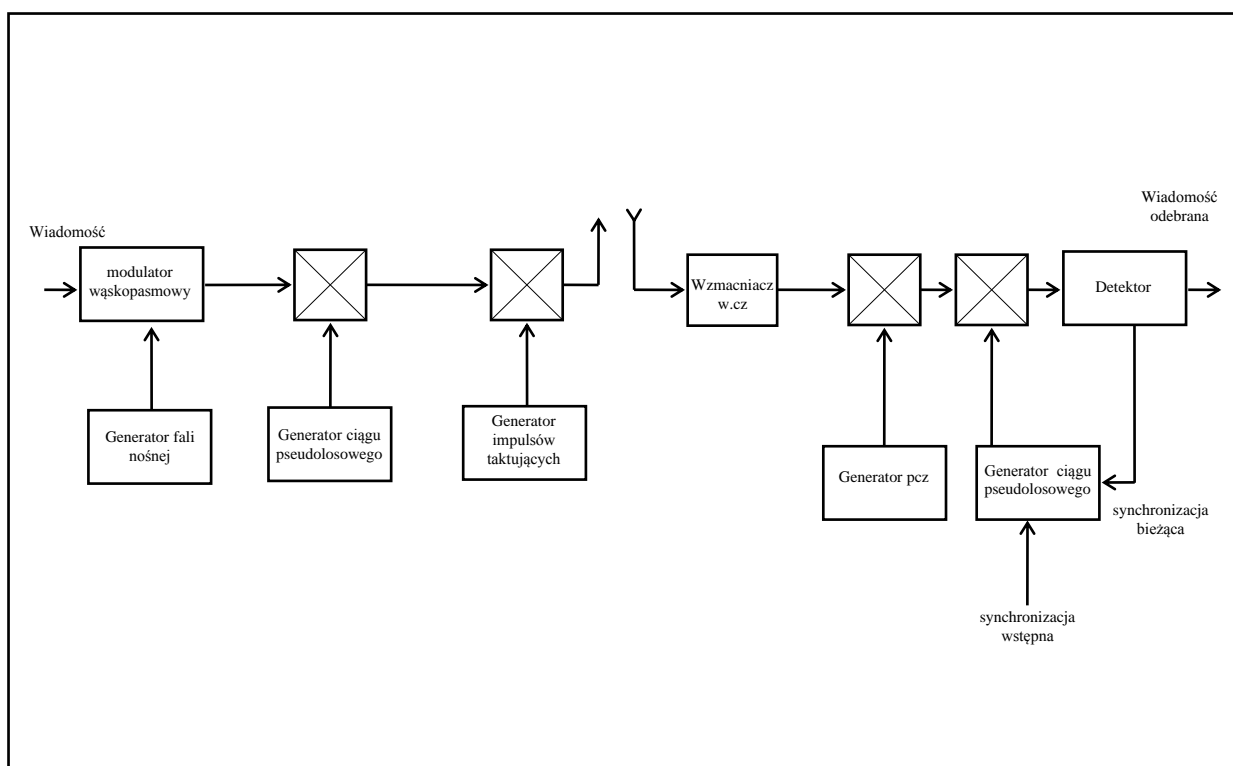
Zysk przetwarzania stanowi więc bardzo istotny parametr systemu i wskazane jest, aby był on możliwie duży. W praktyce oczywiście nie można zysku przetwarzania zwiększać w sposób nieograniczony. Szerokość pasma sygnału rozproszonego  $B_r$  jest ograniczona szybkością kluczowania, czyli częstotliwością podstawową ciągu kodowego. Współczesne układy scalone pozwalają wytwarzać takie ciągi o częstotliwości 200 - 300 MHz. Występuje tu jednak poważny problem. Aby generator kodowy był praktycznie użyteczny, musi on pracować bezbłędnie przez okres rzędu kilku- kilkunastu godzin. Dla spełnienia tego wymagania generatory o dużej częstotliwości podstawowej muszą się odznaczać ogromną niezawodnością, tymczasem szybkie układy logiczne są wrażliwe na zakłócenia, co zmniejsza ich niezawodność.

Ważnym zagadnieniem jest synchronizacja generatorów kodowych w odbiorniku i nadajniku. Problem kluczowy dla poprawnej pracy systemu jest tym trudniejszy do rozwiązania, im większa jest częstotliwość podstawowa tych generatorów. Przy generatorach o częstotliwości 100 MHz konieczna jest synchronizacja z dokładnością do 5 ns.

Tak więc na razie znaczenie praktyczne mają systemy, dla których podstawowa częstotliwość kluczowania nie przekracza 100 MHz. Drugim czynnikiem, określającym zysk przetwarzania, jest szerokość pasma sygnału zmodulowanego  $B_0$ , która zależy od charakteru przesyłanych wiadomości oraz rodzaju i parametrów stosowanej modulacji. Przy transmisji sygnałów analogowych np. kanału telefonicznego, nie można uzyskać pasma węższego niż kilka kiloherców niezależnie od rodzaju stosowanej modulacji. Natomiast przy wolnej transmisji danych, można zmniejszyć szerokość pasma do kilkudziesięciu herców. Dalsze jednak zmniejszanie grozi niestabilnością pracy systemu.

W systemach DS na ogół występuje dodatkowa przemiana częstotliwości. Pseudolosowe kluczowanie fazy sygnału zmodulowanego dokonuje się na określonej częstotliwości np. 50 MHz, a następnie „przesuwa się” sygnał rozproszony w pasmo np. 8 GHz i wypromieniowuje w kierunku satelity. Tam sygnały wszystkich stacji naziemnych systemów, mające jednakowe nośne i zajmujące to samo pasmo częstotliwości, zostają odebrane i zsumowane, tworząc sygnał grupowy systemu. Sygnał ten najpierw przesuwa się częstotliwościowo w dół, do częstotliwości pośredniej, na której zostaje wzmacniony, po czym ponownie zwiększa się jego częstotliwość nośną do wartości np. 7 GHz i wypromieniowuje w kierunku Ziemi. Każda ze stacji naziemnych systemu odbiera sygnał grupowy, wzmacnia i „przesuwa” go do częstotliwości pośredniej, na której drogą kluczowania wydziela się z sygnału grupowego fragment przeznaczony dla danej stacji, a następnie, poprzez detekcję tego fragmentu odtwarza się przesyłaną wiadomość.

Przykładem sprawnie działającego systemu DS może być zrealizowany przez NASA amerykański system ATS-1, który pracuje według schematu blokowego rys.5.7. System służy do transmisji sygnałów akustycznych w paśmie 0,3 - 3,4 kHz .

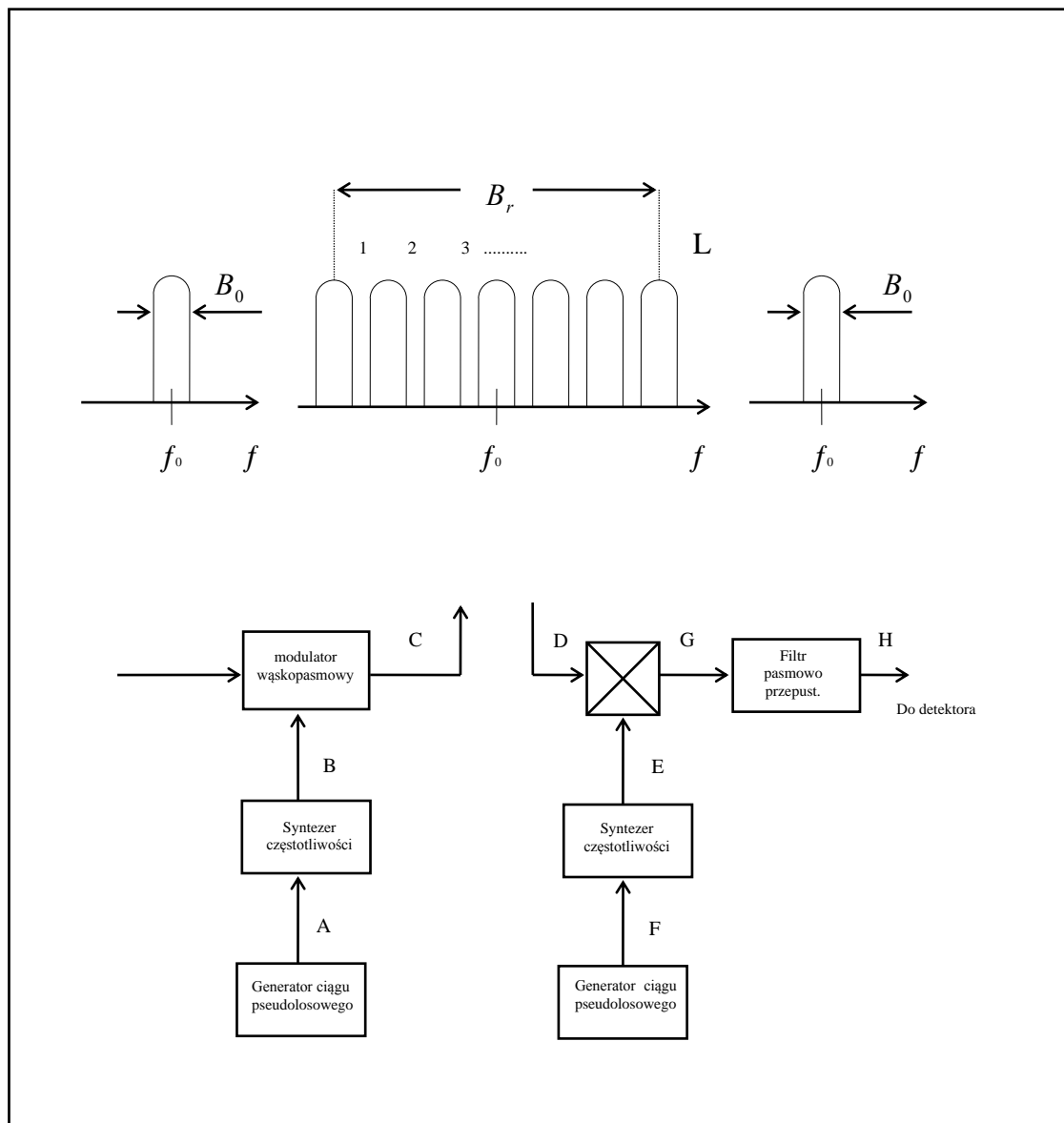


Rys.5.7. Schemat blokowy systemu DS (II)

Stosuje się w nim modulację, częstotliwości nośnej 70 MHz. Pasmo sygnału zmodulowanego  $B_0 = 20$  kHz zostaje poszerzone do  $B_r = 30$  MHz poprzez pseudolosowe kluczkowanie fazy z częstotliwością podstawową 16,376 MHz oraz dewiacją  $\pi/2$ . Stosowany przy tym kod typu PN maksymalnej długości ma ciągi o długości 2047, wytwarzane przez dwustopniowy rejestr przesuwany. W odniesieniu do sygnału rozproszonego stosuje się korelacyjną metodę odbioru. Detekcja sygnału FM przebiega w sposób konwencjonalny. System ATS-1 przeszedł obszerny program badań dotyczących m.in. maksymalnej liczby równocześnie korzystających z łączności użytkowników systemu, stosunku sygnał/szum i zysku przetwarzania, wpływu nieliniowości retranslatora na parametry systemu oraz transmisji sygnału rozproszonego w obecności sygnału telewizyjnego. Badania te potwierdziły, że jest to system który najlepiej spełnia wymagania bezpiecznej wymiany informacji.

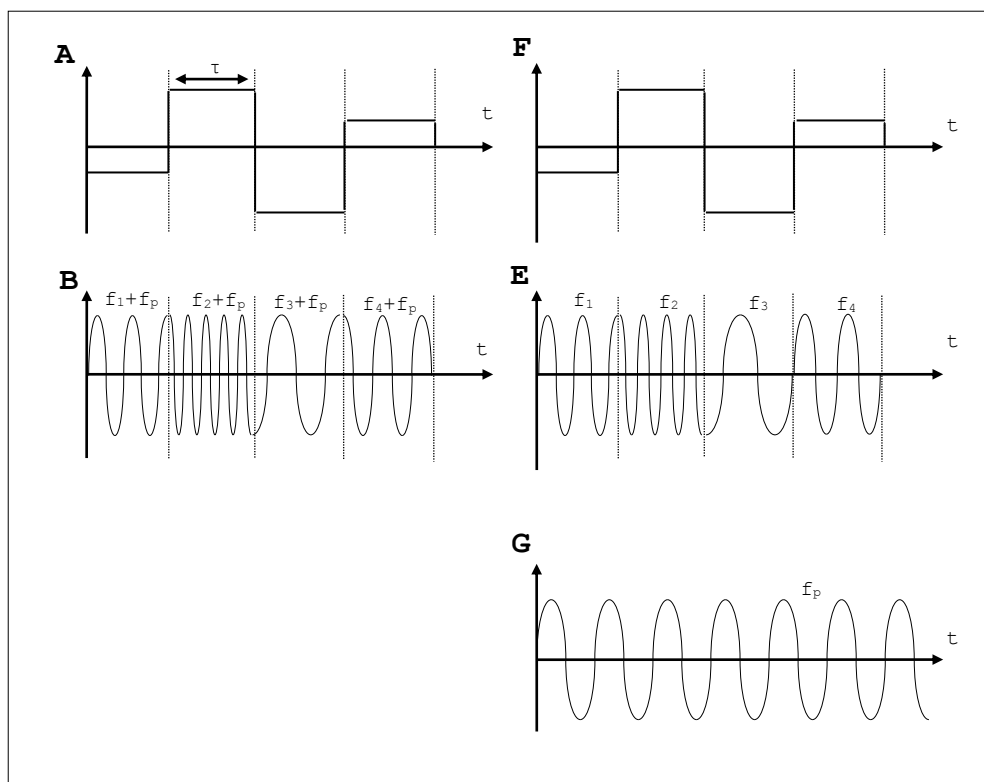
## 5.2 System FH (ang: frequency hopping)

Zasadę wielokrotnego dostępu, stosowaną w systemach FH ilustruje schemat blokowy, przedstawiony na rys.5.8.



Rys.5.8. Schemat blokowy systemu FH

Generator ciągu pseudolosowego z częstotliwością  $1/\tau$  wybiera doprowadzoną do modulatora częstotliwość nośną w sposób określony odpowiednią regułą kodową. Częstotliwość nośna sygnału zmodulowanego zmienia się więc skokowo z okresem  $\tau$ . Na rysunku 5.9. pokazano przebiegi czasowe sygnałów w różnych punktach układu przy założeniu, że do modulatora nie doprowadza się wiadomości.



Rys.5.9. Przebiegi czasowe w różnych punktach układu FH przedstawionego na schemacie blokowym na rys. 5.8

Generator ciągu pseudolosowego w odbiorniku, odpowiednio zsynchronizowany z generatorem nadajnika, określa częstotliwości sygnału doprowadzonego do mieszacza. Częstotliwości te są o stałą - równą częstotliwości pośredniej  $f_p$  - różne od odpowiednich częstotliwości nośnych w nadajniku. Na wyjściu mieszacza występuje więc sygnał o stałej częstotliwości pośredniej. W systemie możliwe jest stosowanie dowolnej modulacji z harmoniczną falą nośną, największe znaczenie praktyczne mają jednak modulacje kątowe ( fazy, częstotliwości). Wiadomość może być ciągłą funkcją czasu względnie może występować w postaci cyfrowej. Rozpiętość widma sygnału zmodulowanego  $B_0$  nie przekracza odległości pomiędzy dwoma sąsiednimi poziomami częstotliwości nośnej. Skokowa zmiana częstotliwości nośnej w nadajniku rozwiązuje jednocześnie dwa zagadnienia:



adresowanie sygnału przeznaczonego dla danego użytkownika poprzez dobór właściwego ciągu kodowego oraz rozproszenie mocy wysyłanego sygnału w szerokim paśmie częstotliwości  $B_r$ . W odbiorniku mieszacz z odpowiednio zmienną częstotliwością generatora lokalnego realizuje synchronicznie z nadajnikiem operację odwrotną. Tę część sygnału odebranego, która jest dla niego przeznaczona, przenosi z pasma  $B_r$  na powrót do znacznie węższego pasma  $B_0$ . Każdy natomiast inny niepożądany składnik sygnału odebranego poprzez mieszanie zostaje rozproszony widmowo i zajmuje na wyjściu filtru pasmo o szerokości co najmniej  $B_r$ , które może być tak położone na osi częstotliwości, że tylko częściowo lub wcale nie pokrywa się z pasmem sygnału użytecznego. Dlatego też na wyjściu filtru pasmowo przepustowego o paśmie  $B_0$  moc każdej składowej niepożądaney jest znacznie mniejsza od mocy sygnału użytecznego.

Dla systemów FH można przyjąć, że zysk przetworzenia (margines zakłóceńowy) jest równy liczbie wszystkich poziomów częstotliwości  $L$

$$G_p = L$$

Definicja ta jest szczególnie przydatna w przypadkach, gdy poszczególne kanały częstotliwościowe nie stykają się ze sobą i nie tworzą ciągłego pasma częstotliwości. Można ją interpretować następująco: po to, ażeby całkowicie uniemożliwić działanie systemu, w którym przesyła się informację skokowo na  $L$  kanałach, należy (nie znając kodu) każdy z tych kanałów zakłócać z mocą co najmniej równą mocy transmitowanego sygnału, a więc moc zakłóceń musi być  $L$  razy większa od mocy sygnału.

Stosowanie dużej liczby sygnałów w systemie FH jest korzystne nie tylko ze względu na zysk przetworzenia ale powoduje także zmniejszenie stopy błędów.

Dla przykładu, przy transmisji metodami cyfrowymi i przesyłaniu wiadomości binarnych, gdy częstotliwość kluczowania jest równa prędkości przesyłania informacji, prawdopodobieństwo błędnego odtworzenia sygnału elementarnego wyraża się zależnością:

$$P_b = \frac{J}{L}$$

Gdzie:

$L$  – całkowita liczba kanałów (poziomów częstotliwościowych)

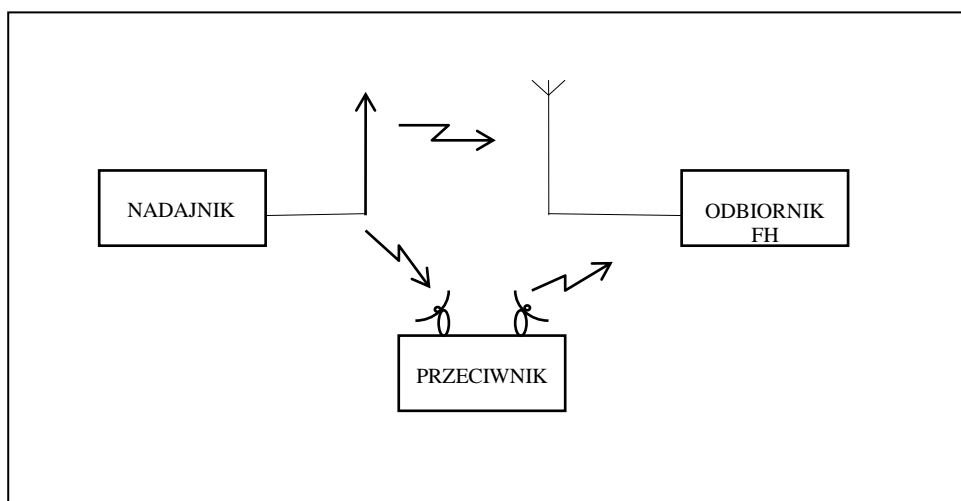
$J$  – liczba kanałów zakłóconych sygnałami o mocy co najmniej równej mocy sygnału transmitowanego

Czyli, jeśli  $J$  kanałów jest skutecznie zakłóconych, to nie ma możliwości poprawnego odtworzenia  $J$  sygnałów elementarnych z każdych  $L$  wysłanych. Jeżeli więc w systemie jest

np. 1000 kanałów i jeden z nich został skutecznie zakłócony, a każdy sygnał elementarny (bit informacji) przesyła się na innej, jednej z 1000 częstotliwości, to prawdopodobieństwo błędnego odtworzenia sygnału elementarnego wynosi  $P_b = 10^{-3}$ .

Stopę błędów można zmniejszyć przy danych  $L$  i  $J$ , zwiększając liczbę skoków częstotliwości przypadających na jeden sygnał elementarny. Systemy pracujące w ten sposób (z szybkim kluczowaniem częstotliwości) w skrócie oznaczają się FFH (ang. Fast frequency hopping).

Aby mieć pełny obraz odporności omawianych systemów na zakłócenia, można rozważyć przypadek odbioru dwu sygnałów, z których jeden jest przesunięty w fazie względem drugiego. Zjawisko takie może wystąpić w wyniku wielodrożności albo na skutek celowego zagłuszania. W pierwszym przypadku na ogół sygnał opóźniony jest znacznie słabszy od bezpośredniego, tak że praktycznie nie utrudnia odbioru. Istotne trudności natomiast mogą powstać w przypadku drugim pokazanym na rys.5.10.



Rys.5.10. Objaśnienie sytuacji powstającej w przypadku rozmyślnego zakłócania systemu FH

Przeciwnik odbierając sygnał z nadajnika FH, wzmacnia go, modulując szumem i następnie wysyłając w kierunku odbiorcy może doprowadzić do przerwania łączności. Aby temu zapobiec należy stosować tak dużą częstotliwość skokową, przy której częstotliwość sygnału zagłuszającego nie będzie nadążała za skokami częstotliwości sygnału pożądanego tzn. wykorzystywać fakt, że sygnał pożądaný przebywa krótszą drogą niż zagłuszający. W przypadku obiektów nieruchomych można oszacować wartość minimalnej bezpiecznej częstotliwości skokowej. Gdy np. odległość bezpośrednia pomiędzy odbiornikiem i nadajnikiem wynosi 16,09 km, a poprzez obiekt zagłuszający 25,74 km - to różnica czasów przejścia sygnału tymi dwiema drogami jest równa  $41\mu\text{s}$ , a minimalna bezpieczna częstotliwość skokowa 24,2kHz. W przypadku obiektów ruchomych

trudno jest przeprowadzić jakiegokolwiek obliczenia - należy stosować częstotliwość skokową największą, jaka jest możliwa.

Przykładem uruchomionego i eksploatowanego już systemu FH może być amerykański system taktyczny TATS. Jako pierwszą modulację stosuje się w nim 7- pozycyjną 8- wartościową PCM. Omawiany system jest przeznaczony do przekazywania 64 różnych danych. Spośród wszystkich możliwych  $8^7$  różnych siedmioelementowych ciągów, zbudowanych z ośmiowartościowych elementów, wybiera się do przesyłania informacji  $8^2 = 64$  ciągi różniące się pomiędzy sobą na jak największej liczbie pozycji. W ten sposób uzyskuje się znaczną odporność systemu na zakłócenia. Jako drugą modulację stosuje się modulację częstotliwości.

System matrycowy ze względu na jego trudną realizację techniczną jest stosowany rzadko.