

3.1. Informacje wstępne – wprowadzenie do tematu

Zanim przystąpimy do omówienia bardziej szczegółowych wymagań stawianych radiostacjom lotniczych oraz zasady działania poszczególnych członów tych radiostacji, przypomnimy kilka podstawowych pojęć i symboli z podstaw elektro i radiotechniki.

3.1.1 Jednostki, skróty i symbole stosowane w elektro i radiotechnice

Tabela nr 3.1.

Jednostka	Skrót	Symbol	Objaśnienia
Kulomb	C	Q	Jednostka ładunku elektrycznego (jednostka podstawowa) około $6,24 \times 10^{18}$ ładunków elementarnych - elektronów lub protonów .
Wolt	V	V, E	Jednostka potencjału elektrycznego, różnica potencjałów, napięcia
Amper	A	I	Jednostka prądu elektrycznego, prąd 1 A płynący w przewodniku elektrycznym przenosi ładunek 1 C w czasie 1 sekundy.
Om	Ω	R	Jednostka rezystancji (jednostka podstawowa)
Watt	W	P	Jednostka mocy równa energii 1J zużytej w ciągu 1 sekundy
Ampero-godzina	Ah	Ah	Jednostka pojemności elektrycznej źródła prądu stałego (ogniwa, akumulatora, baterii)
Henr	H	L	Jednostka indukcyjności – cewka ma indukcyjność 1H, jeżeli zmiana natężenia prądu z prędkością 1 A/s wytworzy na jej końcówkach różnicę potencjałów 1V
Farad	F	C	Jednostka pojemności – kondensator ma pojemność 1F, jeżeli między jego okładzinami występuje napięcie 1 V, gdy na nich znajdują się ładunki różnoimienne o wartości 1 kulomba (C).
Hertz	Hz	F	Jednostka częstotliwości – sygnał ma częstotliwości 1 Hz, jeżeli jego pełna zmiana okresu następuje w przeciągu 1 sekundy
Sekunda	s	t	Jednostka czasu (jednostka podstawowa)

Ponieważ jednostki stosowane praktycznie są dla niektórych celów za duże lub za małe, dlatego używa się często jednostek krotnych (wielokrotnych lub podwielokrotnych). Aby trzymać jednostkę krotną, wprowadzono do jednostek mnożnik 10 w odpowiedniej potęgze całkowitej, dodatniej lub ujemnej oraz przedrostki przed skrótami.

3.1.2. Przedrostki i odpowiadające im mnożniki

Tabela nr 3. 2

Przedrostek	Skrót	Mnożnik
tera	T	10^{12} (= 1 000 000 000 000)
giga	G	10^9 (= 1 000 000 000)
mega	M	10^6 (= 1 000 000)
kilo	K	10^3 (1 000)
(brak)	(brak)	10^0 (= 1)
mili	m	10^{-3} (= 0,001)
mikro	μ	10^{-6} (= 0,000 001)
nano	n	10^{-9} (= 0,000 000 001)
piko	p	10^{-12} (0,000 000 000 001)

Przykłady:

8 500V = 8,5 kV; 0,25V = 250 mV

0,000 003V = 3 μ V

118 000 000 Hz = 118 MHz

3 900 000 Ω = 3,9 M Ω

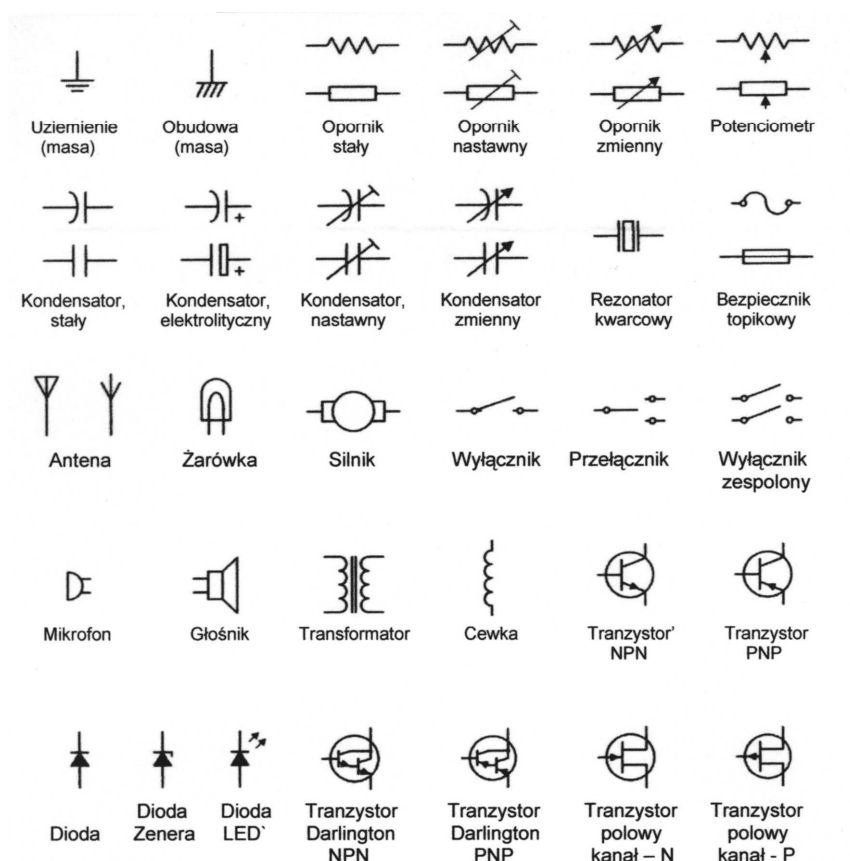
0,005A = 5 mA

0,275 W = 0,275 mW

1 000 nH = 1 μ H; 270 nH = 0,27 μ H

1 000 pF = 1 nF; 0,56 nF = 560 pF

Oprócz symboli literowych tak w elektrotechnice jak i w radiotechnice stosowane są, zwłaszcza na schematach instalacji i urządzeń, symbole graficzne. Znajomość tych symboli pozwala na łatwiejsze zrozumienie zasad działania poszczególnych instalacji i urządzeń.

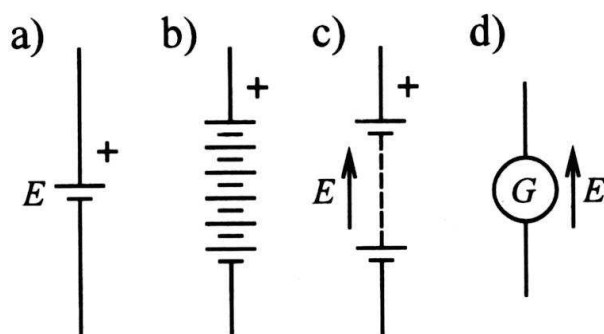


Rys. 3.1 Symbole graficzne stosowane w elektro i radiotechnice

3.1.3 Obwód elektryczny i jego elementy

Obwód elektryczny jest to zespół elementów tworzących zamkniętą drogę dla przepływu prądu elektrycznego. Najprostszymi elementami obwodu elektrycznego są:

- **źródło napięcia** jako źródło energii elektrycznej
- **odbiornik** jako element pobierający energię elektryczną
- **przewody łączące**, które też pobierają część przekazywanej przez źródło energii.



Rys.

3. 2.

Symbole graficzne źródeł napięcia:

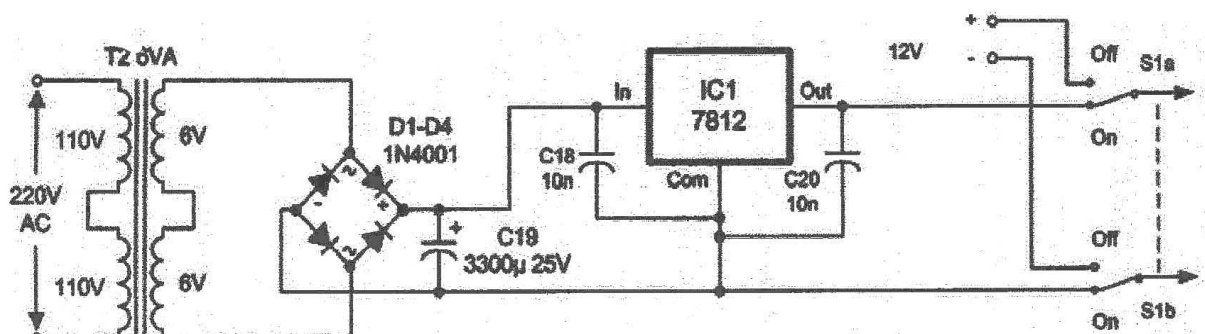
- a) ogniwo elektrochemiczne,
- b), c) bateria ogniw,
- d) prądnicą elektryczną (generator),

3.1.4. Źródła napięcia stałego

Do najprostszych źródeł energii elektrycznej należą źródła elektrochemiczne, w których następuje przemiana energii chemicznej w energię elektryczną. Rozróżniamy dwa rodzaje elektrochemicznych źródeł energii (źródeł napięcia stałego): źródła pierwotne czyli **ogniwa** i źródła wtórne czyli **akumulatory**. Ogniwa są źródłami jednorazowego użytku, po wyczerpaniu energii elektrycznej w nich zawartej nie nadają się do dalszego użytku. Dla tego też ich zastosowanie jest ograniczone, względami ekonomicznymi, do zasilania najprostszycch urządzeń powszechnego użytku, wykorzystywanych sporadycznie. Natomiast akumulatory, po wyczerpaniu energii elektrycznej w nich zawartej, można ponownie naładować z zewnętrznego źródła prądu stałego. Proces ten jest zamianą energii elektrycznej, z zewnętrznego źródła, w energię chemiczną, która zostaje zmagazynowana w akumulatorze. W lotnictwie elektrochemiczne źródła energii, w postaci połączonych w odpowiednie baterie ogniwa (akumulatory), są stosowane do zasilania urządzeń przenośnych oraz jako zasilanie rezerwowe lub awaryjne.

Jako źródło napięcia stałego dla radiokomunikacyjnych urządzeń stacjonarnych są wykorzystywane zasilacze, o potrzebnym napięciu i mocy, zasilane z sieci prądu przemiennego (230V, 50 Hz).

W zasilaczach tych, dzięki zastosowanym transformatorom, można uzyskać pożądane napięcie, niższe lub wyższe od napięcia sieci, które po wyprostowaniu przez układ diodowy i odfiltrowaniu resztek napięcia przemiennego przez kondensatory elektrolityczne o dużej pojemności, poddawane jest stabilizacji przez elektroniczny stabilizator. (na rys 3.3. obwód scalony IC1 – 7812 stabilizator napięcia 12 V)



Rys. 3.3. Przykład sieciowego zasilacza prądu stałego o stabilizowanym napięciu 12V, który w przypadku zaniku sieci prądu przemiennego, lub awarii może być zastąpiony zasilaniem awaryjnym z baterii akumulatorów 12V

Do celów energetycznych tak w skali przemysłowej jak i na samolotach są używane źródła elektromaszynowe, powszechnie zwane prądnicami, w których odbywa się przemiana energii mechanicznej w energię elektryczną.

3.1.5. Elektrochemiczne źródła napięcia stałego

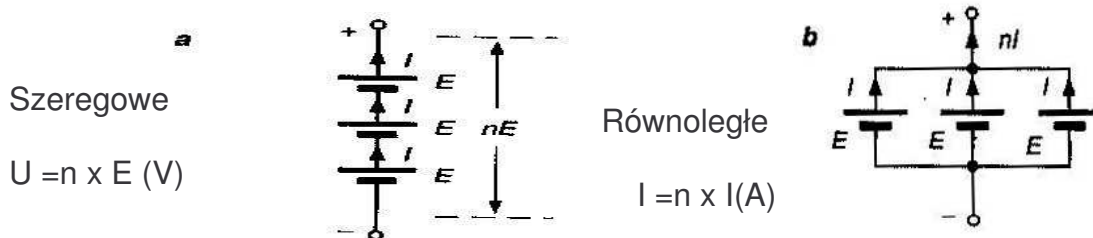
Tabela nr 3.3.

Ogniwo	Pierwotne lub wtórne	Mokre suche	Elektrolit	Napięcie (nominalne)	Opis-uwagi
Leclancha Cynk - węgiel	Pierwotne	suche	Chlorek amonowy	1,5 V	W wykonaniu AA, A, B i C (teraz rzadko stosowane)
Alkaliczne ogniwa suche	Pierwotne	suche	Wodorotlenek potasu	1,5 V	Używane w wykonaniu AA, A, B i C
Kwasowo - ołowiane	Wtórne	mokre	Kwas siarkowy	2,2 V	Baterie 6V, 12V i 24V
Żelazo - niklowe	Wtórne	mokre	Wodorotlenek potasu i litu	1,4 V	Mocne konstrukcje do użytku przemysłowego
Niklowo – kadmowe (NiCd)	Wtórne	suche	Wodorotlenek potasu	1,2 V	Używane w wykonaniu, AA, A, B i C, możliwość ładowania około 400 razy, mają pamięć ładowania
Niklowo – Metalowo wodorowe (NiMH)	Wtórne	suche	Wodorotlenek potasu	1,2 V	Używane w wykonaniu AA, A, B i C, możliwość ładowania ponad 500 razy, mają niewielką pamięć ładowania
Litowo-jonowe (Li-I)	Wtórne	suche	Sole litowe w rozpuszczalnikach organicznych	3,7 V max 4,2 V min 3 V	Możliwość ładowania 600 razy, całkowity brak pamięci ładowania
Litowo-polimerowe (Li-Poly)	Wtórne	suche	Stały polimerowy w postaci gąbki na bazie poliakrylonitrylu	3,7 V max 4,2 V min 3 V	Możliwość ładowania 600 razy, całkowity brak pamięci ładowania

3.1.6. Łączenie elektrochemicznych źródeł napięcia i prądu stałego

W celu uzyskania napięcia stanowiącego krotność napięcia nominalnego, stosowanego ogniwa np. 12 V, należy połączyć szeregowo 10 ogniw o napięciu nominalnym 1,2 V.

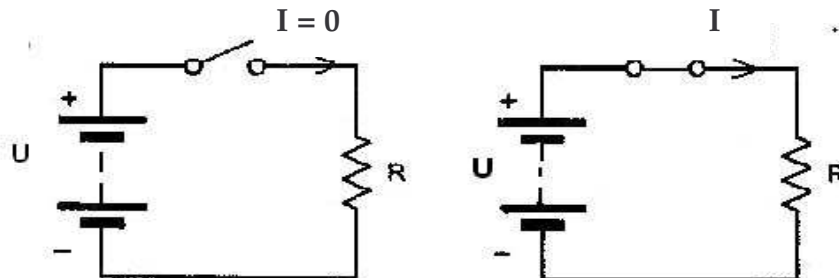
W przypadku konieczności poboru z ogniwa większego prądu niż na to pozwala jego pojemność, ogniwa należy połączyć równolegle.



Rys. 3.4. Łączenie ogniw: a) szeregowo, b) równoległe

3.1.7. Obwód prądu stałego

Obwód prądu stałego składający się z źródła napięcia U , odbiornika R oraz elementów połączeniowych, takich jak : przewody, wyłącznik oraz, przy bardziej złożonych obwodach, bezpiecznika, przeważnie topikowego (pominięty na rysunku), podlega prawu Ohma.



Rys. 3.5. Obwód prądu stałego z rezystorem

Prawo Ohma dla obwodu prądu stałego można przedstawić w następującej postaci:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{stąd} \quad U = I \times R \quad \text{oraz} \quad R = \frac{U}{I}$$

(Prąd płynący w obwodzie jest wprost proporcjonalny do napięcia a odwrotnie proporcjonalny do rezystancji obwodu)

Ponieważ moc wydzielana w odbiorniku $P = U \times I$ to po podstawieniu otrzymamy :

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{lub} \quad P = I^2 \times R$$

Gdzie:

I – prąd w amperach (A)

U – napięcie w woltach (V)

R – oporność w omach (Ω)

P - moc w watach (W)

3.1.8. Źródło napięcia przemiennego

Podstawowym źródłem napięcia przemiennego jest prądnica (generator), w której następuje zamiana energii mechanicznej w energię elektryczną. W wyniku ruchu prętów uzwojenia w polu magnetycznym indukuje się siła elektromotoryczna. W energetyce powszechnego użytku napięcie przemiennie zmienia się sinusoidalnie z częstotliwością 50 Hz i maksymalną amplitudą $U_m = 325 \text{ V}$, co odpowiada wartości skutecznej napięcia 230V.

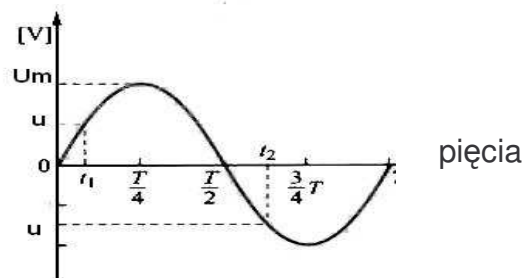
$$u = U_m \sin \omega t$$

gdzie:

u - wartość chwilowa napięcia

U_m - wartość maksymalna (amplituda) na-

ω - pulsacja ($2\pi f$)



Rys. 3.6. Przebieg sinusoidalny napięcia przemiennego

Wartość skuteczna sinusoidalnego napięcia przemiennego jest równa jego amplitudzie U_m podzielonej przez $\sqrt{2}$.

Analogicznie, wartość skuteczna prądu sinusoidalnego jest równa jego amplitudzie podzielonej przez $\sqrt{2}$.

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m \qquad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

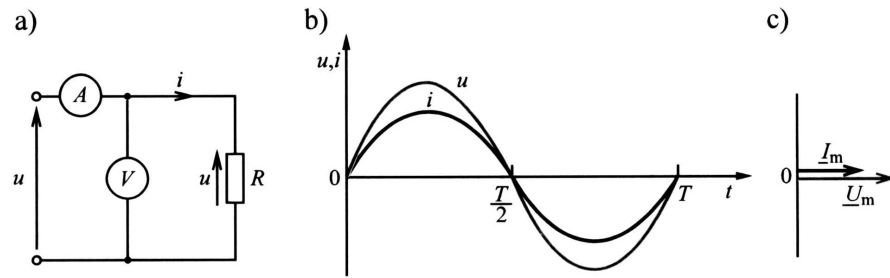
Wartość skuteczna prądu przemiennego jest to taka wartość równoważnego prądu stałego, który by w tym samym czasie, równym jednemu okresowi, wydzielił w tym samym rezystorze taką samą ilość ciepła.

Innym źródłem napięcia przemiennego, stosowanym zwłaszcza w radiotechnice, są generatory elektroniczne, w których napięcie stałe jest zamieniana na napięcie przemiennie o żądanej amplitudzie i częstotliwości i mocy.

3.1.9. Obwody prądu przemiennego

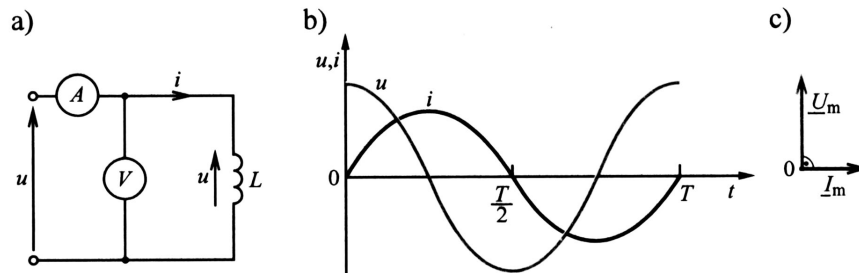
Dla uproszczenia, w obwodach prądu przemiennego, elementy R, L, C będziemy traktowali jako **elementy idealne**, tj. takie, które mają tylko jedną z wymienionych cech : rezy-

stancję, indukcyjność lub pojemność. Pominiemy w ten sposób indukcyjność rezystorów, oporność uzwojenia cewki, stratność w kondensatorach.



Rys. 3.7. Rezystor zasilany sinusoidalnym prądem przemiennym

Ponieważ, jak wynika z Rys.3.7 b) i c) prąd w obwodzie jest w zgodnej fazie z napięciem, dla rezystora R , ma zastosowanie Prawo Ohma, tak dla wartości chwilowej jak i skutecznej napięcia i prądu.



Rys. 3.8. Cewka indukcyjna) zasilana sinusoidalnym prądem przemiennym

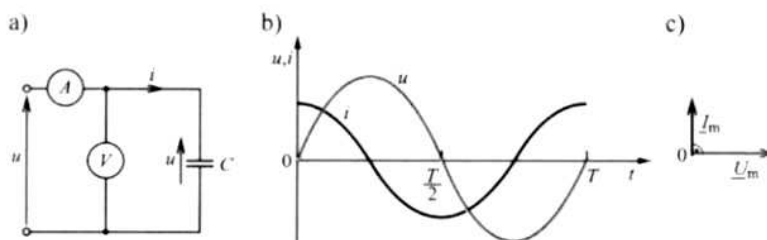
W obwodzie prądu przemiennego **opór indukcyjny cewki – reaktancję indukcyjną** oznaczamy literą X_L i wyrażamy w omach (Ω)

$$X_L = \omega L$$

Stąd wartość skuteczna prądu w obwodzie z indukcyjnością:

$$I = \frac{U}{\omega L}$$

Pomijając wywód teoretyczny, jak wynika z Rys. 3.8. b) i c) **faza napięcia w obwodzie z indukcyjnością wyprzedza o 90° fazę prądu** lub inaczej **prąd w cewce opóźnia się w fazie o 90° względem napięcia**.



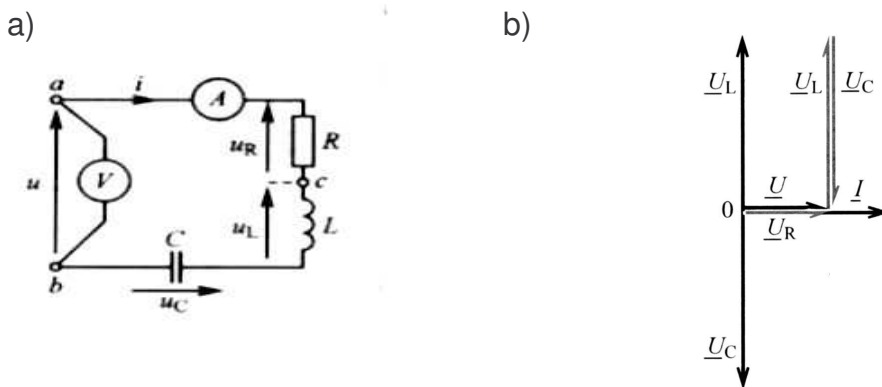
Rys. 3.9. Kondensator (idealny) zasilany sinusoidalnym napięciem przemiennym

W obwodzie prądu przemiennego **opór pojemnościowy kondensatora – reaktancję pojemnościową** oznaczamy literą X_C i wyrażamy w omach (Ω)

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Pomijając wywód teoretyczny, jak wynika z Rys. 3.9. b) i c) **faza prądu w obwodzie z pojemnością wyprzedza o 90° fazę napięcia** lub inaczej **przebieg napięcia na kondensatorze opóźnia się w fazie o 90° względem prądu**.

3.1.10. Rezonans napięć

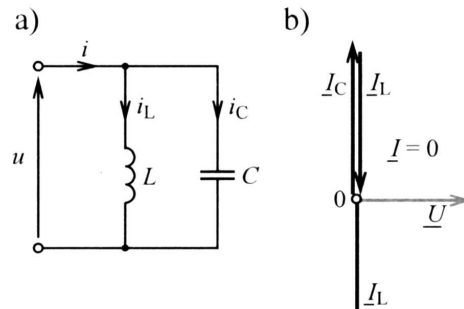


Rys. 3.10. Rezonans napięć – a) schemat połączeń, b) wykres wektorowy

Jeżeli połączymy szeregowo kondensator C o reaktancji pojemnościowej $X_C = 1/\omega C$ cewkę L o reaktancji indukcyjnej $X_L = \omega L$ oraz rezystor R , stanowiący rezystancję uzwojenia cewki i dołączymy ten układ do źródła napięcia przemiennego o pulsacji $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ to przy spełnieniu warunku że: $X_L - X_C = 0$ nastąpi zjawisko rezonansu napięć.

Podczas rezonansu napięć w obwodzie tym popłynie znaczny prąd, ograniczony jedynie rezystancją uzwojenia cewki R , co stanowi praktycznie zwarcie dla źródła napięcia o pulsacji $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$.

Charakterystyczną cechą rezonansu napięć jest całkowite kompensowanie się spadków napięć na cewce i kondensatorze tak, że ich suma jest w każdej chwili równa zero (patrz Rys. 3.10 b). wykres wektorowy). Napięcia na elementach reaktancyjnych układu szeregowego mogą podczas rezonansu osiągać wartości znacznie większe niż napięcie zasilające. W radiotechnice rezonans napięć jest wykorzystywany w budowie eliminatorów sygnałów o niepożądanym częstotliwości.

3.1.9. Rezonans prądów

3.11. Rezonans prądów; idealna cewka (bez uwzględnienia rezystancji uzwojenia) i kondensator: a) schemat połączeń, b) wykres wektorowy

Jeżeli połączymy równolegle kondensator o reaktancji pojemnościowej $X_C = 1/\omega C$ z idealną cewką L o reaktancji indukcyjnej $X_L = \omega L$ i dołączymy ten układ do źródła napięcia przemiennego o pulsacji $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ to przy spełnieniu warunku że: $X_L - X_C = 0$ nastąpi zjawisko **rezonansu prądów**.

Podczas rezonansu, idealny, równoległy obwód rezonansowy przedstawia w rezonansie, dla źródła prądu o pulsacji $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, oporność nieskończenie wielką a więc przerwę. W rzeczywistości, w obwodzie rezonansowym cewka indukcyjna ma określoną rezystancję uzwojenia R , która ma wpływ na dobroć obwodu Q , określoną jako stosunek reaktancji indukcyjnej X_L do rezystancji uzwojenia R .

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

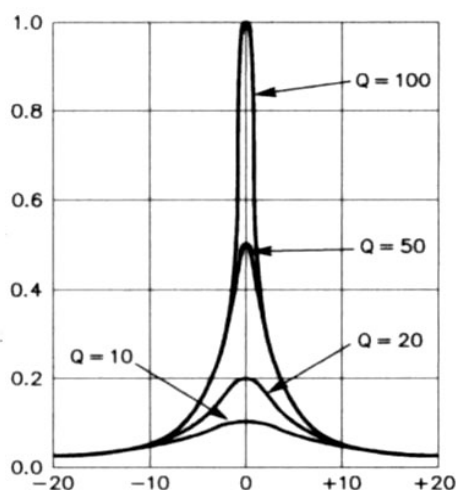
Równoległe obwody rezonansowe mają szerokie zastosowanie w radiokomunikacji do selekcji częstotliwości odbieranych sygnałów. Im większa jest dobroć obwodu tym węższa jest krzywa rezonansu obwodu a tym samym lepsza selekcja częstotliwości odbieranego sygnału.

W urządzeniach radiokomunikacyjnych stosowane są przeważnie równoległe obwody rezonansowe ze stałą indukcyjnością i zmienną pojemnością, która umożliwia dostrojenie obwodu do żądanej częstotliwości. Postęp w rozwoju technologii półprzewodników spowodował, że zamiast kondensatorów zmiennych (mechanicznych) stosowane są diody pojemnościowe, których pojemność zmienia się w funkcji wielkości napięcia stałego do nich przyłożonego. Pozwala to na bardzo precyzyjne dostrajanie obwodów do rezonansu, nawet w sposób automatyczny i na odległość.

Częstotliwość rezonansu obwodu LC

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

gdzie: f_0 - w Hertzach
 L - w Henrach
 C - w Faradach



Rys. 3.12. Krzywe rezonansu obwodu LC i procentowa zmiana szerokości pasma przepuszczania – selektywności obwodu względem częstotliwości rezonansowej dla dobroci obwodu Q od 100 do 10

Pytania sprawdzające:

1. Podstawowa jednostka rezystancji – skrót i symbol
2. Podstawowa jednostka indukcyjności – skrót i symbol
3. Podstawowa jednostka pojemności – skrót i symbol
4. Podstawowa jednostka napięcia – skrót i symbol
5. Podstawowa jednostka prądu – skrót i symbol
6. Wymień kilka źródeł napięcia stałego
7. Jaka jest różnica między pierwotnymi i wtórnymi źródłami napięcia stałego?
8. Narysuj i opisz obwód prądu stałego
9. Podaj wzór na prawo Ohma dla obwodu prądu stałego
10. Podaj wzór na moc wydzielaną na oporniku w obwodzie prądu stałego
11. Na jakiej zasadzie działa elektromaszynowy generator prądu przemiennego?
12. Wymień możliwe źródła napięcia przemiennego
13. Podaj zależność między amplitudą a wartością skuteczną napięcia przemiennego
14. Czemu się równa reaktancja indukcyjna i pojemnościowa?
15. Jaki jest warunek rezonansu w obwodzie prądu przemiennego?
16. Co to jest i od czego zależy dobroć obwodu rezonansowego?

3.2. System radiotelefonicznej łączności lotniczej

System łączności lotniczej służy do prowadzenia łączności w relacjach ziemia - samolot - ziemia, samolot - samolot lub ziemia-ziemia. Podstawą tej łączności są radiostacje naziemne lub pokładowe ultrakrótkofalowe (VHF) pracujące w zakresie **117,975 MHz do 137 MHz** lub krótkofalowe (HF) pracujące w paśmie fal krótkich od 3 MHz do 30 MHz.

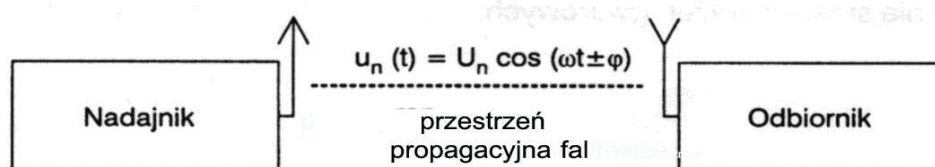
Obowiązkowym wyposażeniem statków powietrznych w lotach kontrolowanych i nadzorowanych są radiostacje VHF. Radiostacje HF stosowane są dla statków powietrznych dalekiego zasięgu (loty nad morzem i terenami niezamieszkałymi) a przedsiębiorstwa lotnicze wykonujące takie loty mają obowiązek wyposażenia swoich samolotów w radiostacje HF. Regulują to dokładnie przepisy ICAO (International Civil Aviation Organisation - Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego).

3.2.1. Podstawowy układ łączności

Każda radiostacja lotnicza składa się z:

- nadajnika,
- odbiornika,
- manipulatora,
- anteny,
- urządzeń elektroakustycznych,
- zasilania i okablowania.

W celu zrozumienia działania systemu łączności lotniczej należy prześledzić podstawowy układ składający się z nadajnika, przestrzeni propagacyjnej fal i odbiornika (rys. 3.13.)



Na Rys. 3.13. pomiędzy nadajnikiem, który emituje falę nośną z informacją pochodzącą z mikrofonu, zawartą w fali modulującej małej częstotliwości a odbiornikiem, który informację tę przekształca w drgania akustyczne w słuchawkach zachodzi proces opisany równaniem:

$$(1) \quad u_n(t) = U_n \cos(\omega t \pm \varphi)$$

gdzie:

- | | |
|-------------------|---|
| $u_n(t)$ | - wartość chwilowa fali nośnej w czasie |
| U_n | - amplituda fali nośnej |
| $\omega = 2\pi f$ | - pulsacja (lub f częstotliwość) |
| t | - czas |
| φ | - faza fali nośnej. |

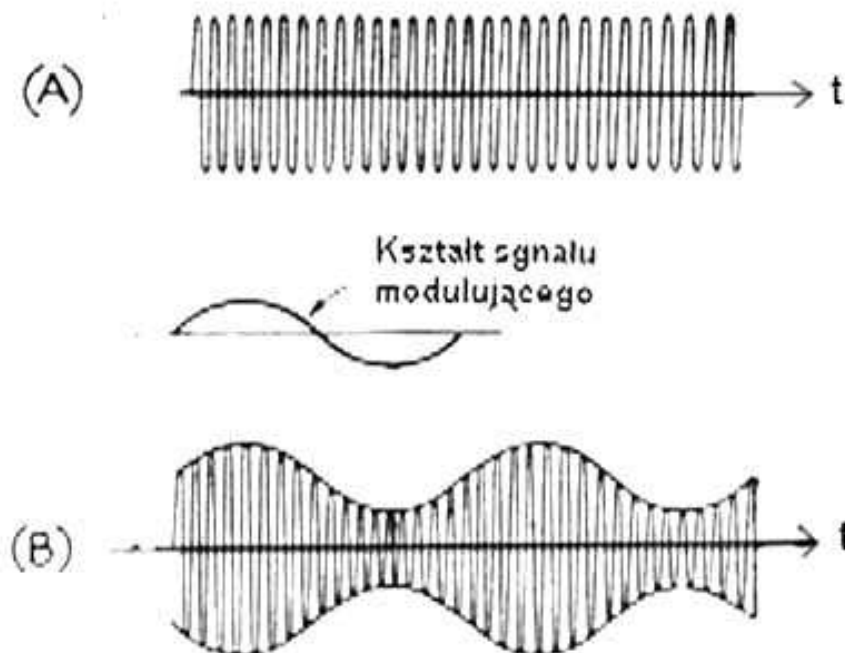
Jest to analityczne przedstawianie drgań wielkiej częstotliwości w antenie nadawczej, odbiorczej i w wolnej przestrzeni (propagacja). Równanie to opisuje każdą falę zmienną sinusoidalnie lub cosinusoidalnie.

Równanie to jest podstawowym „obrazem” systemu łączności (*radiowej*) lotniczej.

Aby przenosić informacje (zmiana $u_n(t)$) należy zmienić jedną z czterech wielkości po prawej stronie równania (1).

3.2.2. Modulacja amplitudy (AM – Amplitude Modulation)

Jeżeli w równaniu (1) poddamy zmianom tylko amplitudę fali nośnej (A) U_n to $u_n(t)$ będzie się zmieniała pod wpływem zmian sygnału modulującego U_m i będzie to modulacja amplitudy (B).



Rys. 3.14. Modulacja amplitudy

3.2.2.1. Modulacja dwuwstęgowa

Klasyczna modulacja amplitudy jest najstarszym sposobem przekazywania informacji fonicznych przy pomocy fal radiowych. Modulacja ta występuje w radiofonii powszechnego użytku na falach długich (LF), średnich (MF) i krótkich (HF) oraz na falach ultrakrótkich (VHF) w systemach lotniczej łączności kontroli ruchu ATS (Air Traffic System) oraz informacji lotniczej.

W modulacji amplitudowej (Rys 3.14) należy jeszcze zwrócić uwagę na ważny parametr - głębokość modulacji.

$$(2) \quad m = \frac{U_m}{U_n} \cdot 100\%$$

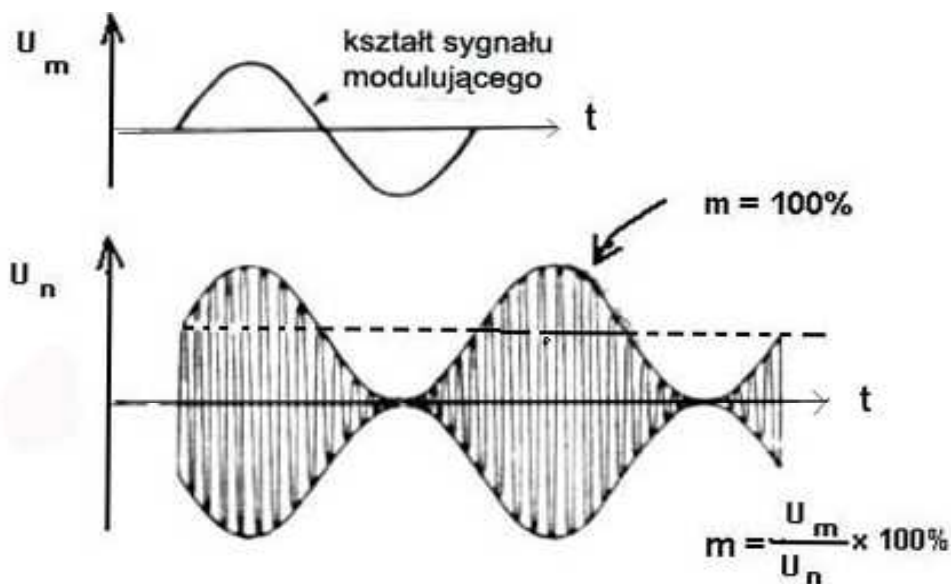
gdzie:

U_m - amplituda napięcia modulującego małej częstotliwości

U_n - amplituda fali nośnej

Gdy brak jest napięcia modulującego, $U_m = 0$ (brak przenoszonej informacji), to wystąpi tylko fala nośna Rys.3.14.A wtedy $m = 0$.

Gdy $U_m = U_n$, to głębokość modulacji $m = 100\%$



Rys. 3.15. Modulacja amplitudy gdy $m = 100\%$

Jak widać na Rys. 3.15, amplituda sygnału zmodulowanego odwzorowuje dokładnie kształt sygnału modulującego.

W lotniczej praktyce radiokomunikacyjnej, aby nie dopuścić do przemodulowania fali nośnej (gdy U_m jest większe od U_n), a tym samym do znacznego zniekształcenia przekazywanej informacji, głębokość modulacji jest utrzymywana automatycznie, na poziomie $m = 80 - 90\%$. Takiego poziomu głębokości modulacji nie można przekroczyć nawet przy znacznym wzroście natężenia dźwięku dochodzącego do mikrofonu. Uzyskuje się to przy pomocy specjalnego układu kompresji, który znajduje się w wzmacniaczu m.cz. sygnału modulującego.,

Przebiegi przedstawione na Rys. 3.14 i 3.15, są przebiegami czasowymi (na osi poziomej jest czas t). Aby dojść do przebiegów widmowych, gdzie na osi poziomej jest pulsacja, niezbędnych do zrozumienia odmian modulacji amplitudy stosowanych w radiostacjach pracujących na falach krótkich (HF), należy jeszcze raz przeanalizować równanie (1).

W równaniu tym możemy pominąć fazę, bo faza sygnału nie odgrywa roli w modulacji amplitudowej, przy systemie łączności lotniczej ATS wtedy:

$$(3) \quad u_n(t) = U_n \cos \omega t.$$

Modulacja amplitudowa polega na dodaniu do fali nośnej U_n fali modulującej małej częstotliwości U_m .

$$(4) \quad U_m \cos \Omega t$$

gdzie: U_m - amplituda fali m.cz.

Ω - pulsacja akustyczna (częstotliwość sygnału modulującego)

Wówczas równanie (3) będzie:

$$(5) \quad u_n(t) = (U_n + U_m \cos \Omega t) \cos \omega t.$$

Stosując wzór na iloczyn cosinusów, po kolejnych przekształceniach i wprowadzeniu z równania (2) współczynnika głębokości modulacji otrzymamy:

$$(6) \quad u_n(t) = U_n \cos \omega t + \frac{1}{2}m U_n \cos (\omega + \Omega)t + \frac{1}{2}m U_n \cos (\omega - \Omega)t.$$

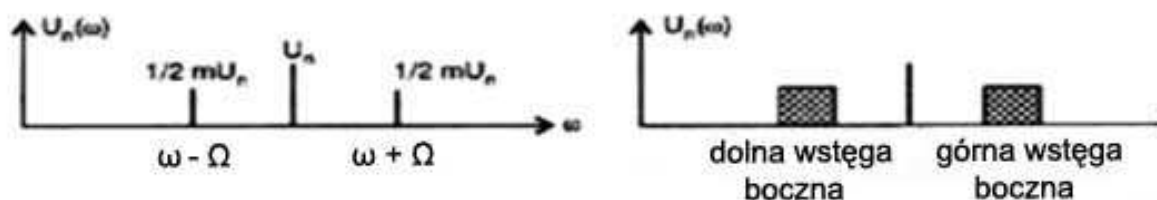
W równaniu (6) występują następujące składniki:

$U_n \cos \omega t$ - określający falę nośną,

$\frac{1}{2}m U_n \cos (\omega - \Omega)t$ - jest to dolna wstęga boczna,

$\frac{1}{2}m U_n \cos (\omega + \Omega)t$ - jest to górna wstęga boczna.

Na rysunku można to przedstawić jako przebieg widmowy:



jedną częstotliwością

pasmem akustycznym

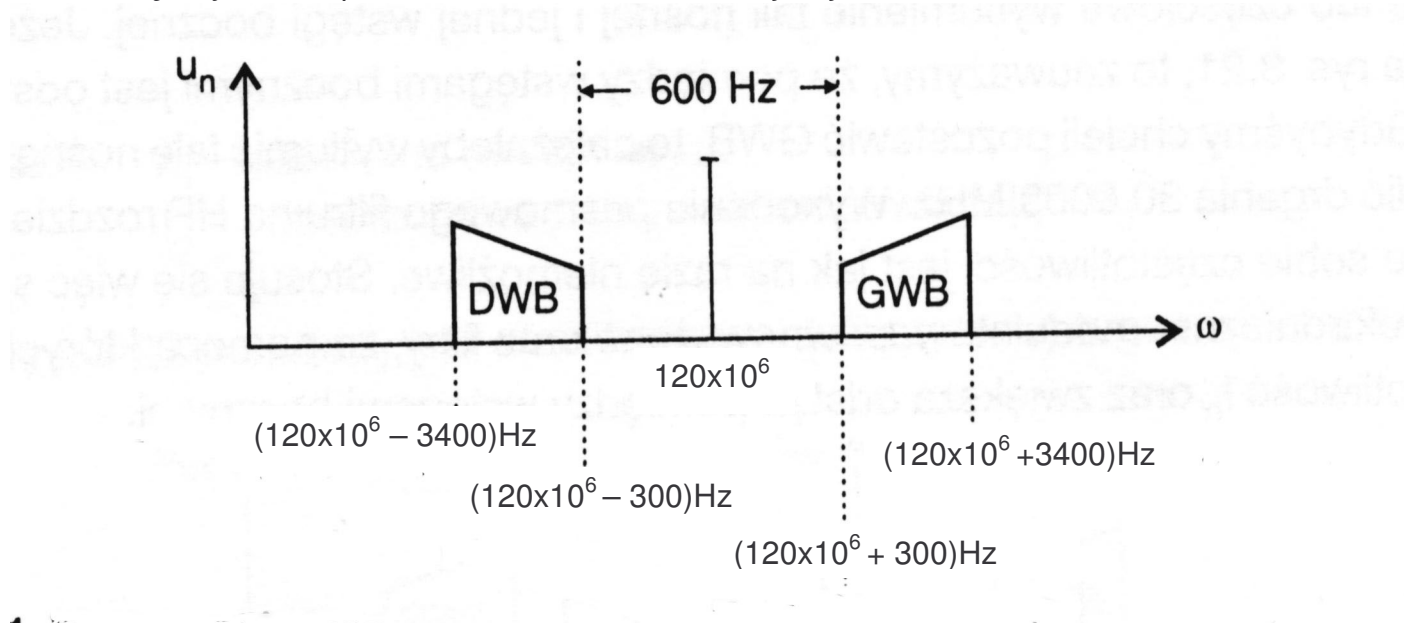
lacji

Na rysunku 3.16. przedstawiony jest przebieg widmowy przy zmodulowaniu fali nośnej tylko jedną częstotliwością akustyczną Ω . Jeżeli modulujemy falę nośną pasmem akustycznym (stosowane w lotnictwie pasmo akustyczne - od 300 do 3400 Hz), to przebieg z Rys. 3.16. przekształci się w przebieg z Rys. 3.17.

W przebiegu widmowym rys. 3.16. i 3.17. występują fala nośna i dwie wstęgi boczne (dolna DWB i górna GDB). Jeżeli pasmo akustyczne zawarte jest w granicach od 300 Hz do 3400 Hz a fala nośna np. $f_n = 120$ MHz to widmo będzie w zakresie:

$$\text{od } (120 \times 10^6 - 3400) \text{ Hz do } (120 \times 10^6 + 3400) \text{ Hz}$$

Można więc Rys. 3.17. przedstawić w nieco dokładniejszej formie:



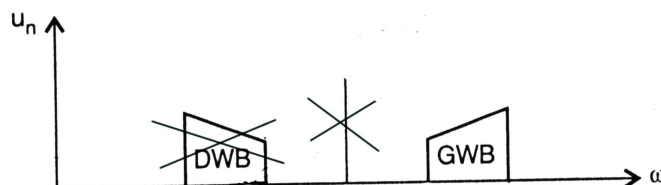
Rys. 3.18. Wykres widmowy przy dwuwstęgowej modulacji (emisja A3E)

Z rys. 3.18. wynika, że:

- Kształt DWB jest identyczny jak GWB.
- GWB jest zwierciadlanym odbiciem DWB.
- Poziom fali nośnej nie zależy od głębokości modulacji m .
- Tak przedstawiona fala nośna nie zawiera przekazywanej informacji.
- Informacja jest zawarta w DWB i GWB a więc jest przekazywana podwójnie.
- Na częstotliwościach odpowiadającym wyższym częstotliwościom pasma akustycznego (np. dla 3400 Hz), występuje większe napięcie, a więc te częstotliwości są bardziej wzmacniane.

3.2.2.2. Modulacja jednowstęgowa

Dla przeniesienia informacji na odległość wystarczy wyemitować tylko jedną wstęgę boczną. Sama fala nośna nie przenosi informacji a druga wstęga boczna powtarza informację. Stąd też jeżeli wytłumimy jedną wstęgę boczną i fale nośną to będziemy mieli modulację jednowstęgową (SSB Single Side Band).



Rys. 3.19. Wykres widmowy przy jednowstęgowej modulacji (emisja J3E)

Wypromieniowując z anteny nadawczej tylko jedną wstęgę boczną musimy się liczyć z tym, że w odbiorniku należy odtworzyć falę nośną i tak ją ulokować względem odebranej wstęgi bocznej, aby uzyskać połowę czasowego przebiegu klasycznej modulacji amplitudy pokazanego na rys.3.14.(B).

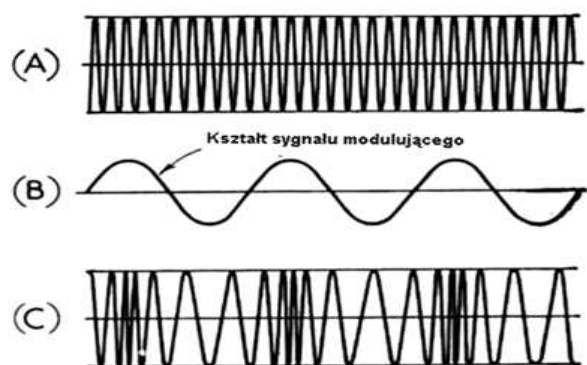
Zaletą emisji SSB jest :

- Zmniejszenie pasma częstotliwości przy emisji jednowstęgowej w stosunku do emisji dwuwstęgowej, co jest bardzo istotne dla przeciążonego pasma HF
- Sześciokrotny zysk energetyczny emisji SSB w stosunku do emisji dwuwstęgowej. Nie trzeba tracić energii na emisję fali nośnej oraz jednej z wstęg bocznych a całą moc nadajnika jest wykorzystana do emisji informacji zawartej w jednej wstędze bocznej.

Zysk energetyczny przy rozpatrywaniu mocy szczytowej nadajnika wzrasta do szesnastu. Na zakresie krótkofalowym (HF) użytkownicy unikają stosowania emisji dwuwstęgowej i stosują, ze względu na zysk energetyczny, emisję jednowstęgową. Z technicznego punktu widzenia korzyści ze stosowania modulacji jednowstęgowej są okupione znacznie bardziej skomplikowanym układem elektronicznym, tak nadajnika jak i odbiornika.

3.2.3. Modulacja częstotliwości (FM – Frequency Modulation)

Jeżeli w równaniu (1) będziemy, w takt sygnału modulującego zmieniać tylko częstotliwość f ($\omega = 2\pi f$), to otrzymamy modulację częstotliwości. Przy modulacji częstotliwości amplituda fali nośnej Rys. 3.20. (A) jest stała, a informacja jest zawarta w postaci zmiany częstotliwości fali nośnej Rys. 3.20 (C) w takt zmian amplitudy i częstotliwości sygnału modulującego Rys. 3.20 (B).



Rys. 3. 20. Modulacja częstotliwości (FM – Frequency Modulation)

Zakres tych zmian nazywa się dewiacją częstotliwości. Taki rodzaj modulacji stosujemy w lotnictwie w urządzeniach radiowych służących do łączności operacyjnej na płycie lotniska,

w radiostacjach lotnictwa sanitarnego, przeciwpożarowego, dyspozycyjnego) oraz w radiowysokościomierzach (RW).

Zaletą modulacji częstotliwości jest mały pobór mocy ze źródła zasilania (brak wzmacniacza mocy sygnału modulującego), bardzo duża odporność na zakłócenia, prostota układu modulacyjnego w nadajniku. Ten rodzaj modulacji jednak nie bardzo nadaje się do łączności radiotelefonicznej z szybko poruszającymi się obiektami ze względu na efekt Doplera mogący wprowadzać dodatkowe zniekształcenia przekazywanych informacji.

Dla dociekliwych:

Jeżeli w równaniu (1) zmienimy t (jest fala nośna lub jej nie ma) to otrzymamy modulację impulsową stosowaną w radiotelegrafii, radarach pokładowych i naziemnych (radary meteorologiczne, odległościomierze DME –Distance Measuring Equipment, transpondery SSR - Secondary Surveillance Radar, RW impulsowe).

Jeżeli zmieniamy fazę φ , to otrzymamy modulację fazową stosowaną w urządzeniach VOR - V H F Omnidirectional Range.

Jeżeli w równaniu (1) zmienimy kilka parametrów, np. U_n i φ lub U_n i t itp., to będą to modulacje wieloparametrowe lub emisje opisane szczegółowo w rozdziale: rodzaje emisji.

Pytania sprawdzające:

1. *Jakie zakresy częstotliwości są wykorzystywane do pracy lotniczych urządzeń radiotelefonicznych?*
2. *Z czego składa się radiostacja lotnicza?*
3. *Podaj analityczną postać przebiegów zachodzących w łączu radiowym.*
4. *Na czym polega modulacja amplitudy?*
5. *Widmowa charakterystyka klasycznej modulacji amplitudy.*
6. *Co rozumiesz przez głębokość modulacji.*
7. *Jaka wielkość głębokości modulacji jest praktycznie stosowana w radiostacjach lotniczych*
8. *Jakie pasmo częstotliwości akustycznej (m.cz.) jest wykorzystywane w radiostacjach lotniczych?*
9. *Czym się charakteryzuje modulacja jednowstęgowa?*
10. *Wymień zalety modulacji jednowstęgowej.*
11. *Czym się charakteryzuje modulacja częstotliwości?*
12. *W jakich urządzeniach w lotnictwie stosuje się modulację częstotliwości?*
13. *O jaką wartość zmienia się częstotliwość fali nośnej przy modulacji częstotliwości?*
14. *W jakich urządzeniach radiowych w lotnictwie stosuje się modulację fazy?*
15. *W jakich urządzeniach radiowych w lotnictwie stosuje się modulację impulsową?*

3.3. Selekcja kanałów częstotliwości

Występujące wokół anteny odbiorczej pole elektromagnetyczne składa się z sygnałów o bardzo wielu częstotliwościach. Pole to indukuje w antenie napięcia rzędu mikrowoltów (μV) lub miliwoltów (mV) o wielu częstotliwościach. Indukowane w antenie napięcia są doprowadzane, kablem antenowym, na wejście odbiornika. Selekcja kanałów częstotliwości polega na wybraniu tej jednej częstotliwości, którą wysyła nadajnik naszego korespondenta. Wstępna selekcja częstotliwości odbywa się na wejściu odbiornika, we wzmacniaczu w.cz. gdzie znajdują się równoległe obwody rezonansowe o dużej dobroci (Q) dostrojone do częstotliwości naszego korespondenta. Selekcja kanałów częstotliwości w paśmie VHF, tak w nadajniku jak i w odbiorniku, odbywa się skokowo, zgodnie z odstępem międzykanałowym danej radiostacji. Aktualnie obowiązuje, w paśmie częstotliwości, **od 118 do 136,975 MHz**, odstęp międzykanałowy **25 kHz**. Odstęp międzykanałowy 25 kHz pozwalający na ulokowanie w tym paśmie **759** kanałów łączności.

Jednak z uwagi na natężenie ruchu lotniczego, zwłaszcza w Europie Zachodniej, ta ilość kanałów jest już niewystarczająca. Dla tego od 1999 roku na niektórych obszarach ruchu lotniczego Europy, przy przelotach powyżej 7.000m (od poziomu lotu FL 245 – Flight Level 245), na części pasma VHF, obowiązuje odstęp międzykanałowy **8,33 kHz**. Wprowadzenie, w niedalekiej przyszłości, obligatoryjnie w całym paśmie odstepu międzykanałowego 8,33 kHz pozwoli zmieścić w tym paśmie nie **759** **lecz 2278** kanałów łączności.

Przykład identyfikacji kanałów częstotliwości w radiostacjach z odstępem międzykanałowym:

8,33/25 kHz

Tabela 3.4

Częstotliwość robocza (MHz)	Odstęp międzykanałowy (kHz)	Identyfikacja kanału (wyświetlana częstotliwość)
118,0000	25	118,000
118,0000	8,33	118,005
118,0083	8,33	118,010
118,0167	8,33	118,015
118,0250	25	118,020
118,0250	8,33	118,030
118,0333	8,33	118,035
118,0417	8,33	118,040
118,0500	25	118,050
118,0500	8,33	118,055
118,0583	8,33	118,060
118,0667	8,33	118,065
118,0750	25	118,070
118,0750	8,33	118,080
118,0833	8,33	118,085
118,0917	8,33	118,090
118,1000	25	118,100
118,1000	8,33	118,105
ltd.		

8,33 kHz

Tabela 3.5

Częstotliwość robocza (MHz)	Odstęp międzykanałowy (kHz)	Identyfikacja kanału (wyświetlana częstotliwość)
118,0000	8,33	118,005
118,0083	8,33	118,010
118,0167	8,33	118,015
118,0250	8,33	118,030
118,0333	8,33	118,035
118,0417	8,33	118,040
118,0500	8,33	118,055
118,0583	8,33	118,060
118,0667	8,33	118,065
118,0750	8,33	118,080
118,0833	8,33	118,085
118,0917	8,33	118,090
118,1000	8,33	118,105
ltd.		

Wybór odpowiedniego kanału łączności odbywa się przy pomocy specjalnych przełączników obrotowych lub klawiatury numerycznych. Identyfikacja wybranego kanału następuje na wyświetlaczu diodowym (LED) lub ciekłokrystalicznym (LCD).

Trzykrotnie mniejszy odstęp międzykanałowy jest okupiony znacznym zaostreniem wymagań odnośnie stabilności częstotliwości ($\Delta f/f$) nadajnika oraz heterodyny odbiornika, która ostatecznie decyduje o selekcji kanału łączności (patrz pkt.3.7), jak również pasma przepuszczania odbiornika - selektywności odbiornika (patrz pkt 3.4.6.). Producenci sprzętu profesjonalnego aktualnie oferuje już tylko radiostacje z odstępem międzykanałowy **25 i 8,33 kHz**. Należy się spodziewać, że w najbliższej przyszłości będą oferowane tylko radiostacje z odstępem **8,33 kHz**.

3.4. Podstawowe parametry lotniczych urządzeń radiokomunikacyjnych

Według przepisów ICAO (International Civil Aviation Organisation) niezawodna łączność jest wtedy, gdy prawdopodobieństwo jej utraty będzie nie gorsze niż 10^{-5} .

(8) $P_{\text{utraty}} \leq 10^{-5}$, stąd: $P_{\text{niezawod. łączności}} = 1 - 10^{-5}$

Aby to osiągnąć, parametry stacji radiowych prowadzących taką łączność muszą być kompatybilne (odpowiadać sobie). Wielkości parametrów **RADIOSTACJI LOTNICZYCH** określają przepisy międzynarodowe ICAO i ITU (Aneks 10 do Konwencji Chicagowskiej i Regulamin Radiokomunikacyjny) oraz krajowe (PL, JAR – Europejskie Wymagania Bezpieczeństwa Lotniczego), FAR - Amerykańskie przepisy budowy statków powietrznych), , BCAR – Brytyjskie przepisy budowy statków powietrznych i inne).

Do najważniejszych parametrów lotniczych urządzeń radiokomunikacyjnych należy zaliczyć: zakres i stabilność częstotliwości urządzeń nadawczych, moc w antenie, rodzaje emisji, stabilność częstotliwości heterodyny odbiornika czułość i selektywność - szerokość pasma przepuszczania – selektywności odbiornika oraz niezawodność tak nadajnika jak i odbiornika.

3.4.1. Zakresy częstotliwości

Tabela 3.6

Dekadowy podział widma fal radiowych wg ITU					Tradycyjny podział zakresów fal
Lp.	Oznaczenie	Częstotliwości	Fale	Skrót	Fale bardzo długie, poniżej 15 kHz (powyżej 20 km) Fale długie 15 – 100 kHz (20 km – 3 km) Fale średnie 100 – 1500 kHz (3000 m – 200 m) Fale pośrednie 1500 – 3000 kHz (200 m – 100 m) Fale krótkie 3 – 30 MHz (100 m – 10 m) Fale ultrakrótkie 3 – 300 MHz (10 m – 1 m) Mikrofale powyżej 300 MHz Poniżej 1 m
1	VLF	3 - 30 kHz	myriametrowe	mam	
2	LF	30 - 300 kHz	kilometrowe	km	
3	MF	300 - 3000 kHz	hektometrowe	hm	
4	HF	3 - 30 MHz	dekametrowe	dam	
5	VHF	30 - 300 MHz	metrowe	m	
6	UHF	300 -3000 MHz	decymetrowe	dm	
7	SHF	3 - 30 GHz	centymetrowe	cm	
8	EHF	30 - 300 GHz	milimetrowe	mm	
9		300-3000 GHz	decymilimetrowe	dmm	

Szczegółowy przydział pasm częstotliwości radiokomunikacyjnych dla lotnictwa :

Tabela 3.7

Lp.	Pasmo radiokomunikacyjne	Służba	Wykorzystanie
1	2850 do 22000 kHz	ruchoma służba lotnicza na drogach lotniczych	radiokomunikacja ziemia-powietrze (głos i transmisja danych)
2	3023 i 5680 kHz	jak w pkt.1	poszukiwanie i ratownictwo
3.	117,975 do 137 MHz	jak w pkt.1	łączność ziemia-powietrze i powietrze-powietrze (głos i transmisja danych)
4.	121,5 MHz, 123,1 MHz 243 MHz	ruchoma służba lotnicza	częstotliwości w niebezpieczeństwie
5.	406 do 406,1 MHz	ruchoma służba satelitarna	poszukiwanie i ratownictwo
6.	1525 do 1559 MHz 1626,5 do 1660,5 MHz	ruchoma służba satelitarna	radiokomunikacja satelitarna

3.4.2. Stabilność częstotliwości

Jest to parametr podstawowy określający jakość i niezawodność łączności. Definiowany jest jako stosunek Δf do f_n , gdzie Δf jest całkowitym odchyleniem częstotliwości nadajnika od nominalnej wartości częstotliwości fali nośnej f_n wywołany działaniem wszystkich czynników destabilizujących, takich jak: temperatura, wilgotność, wibracje itp.

Stabilność częstotliwości $\Delta f/f$ określona jest w aneksie 7 Regulaminu Radiokomunikacyjnego i podawana w częściach fali nośnej, w hercach lub procentach. Dla zakresu HF wszystkie radiostacje pokładowe w lotnictwie międzynarodowym powinny mieć stabilność nie gorszą niż 200 Hz, a dla zakresu VHF:

- przy odstępnie międzykanałowy **25 kHz**, nie gorszą niż **35×10^{-6} (35 ppm)**,
- przy odstępnie międzykanałowym **8,33 kHz**, nie gorszą niż **5×10^{-6} (5 ppm)**.

*Ostatnio w literaturze technicznej jak również w warunkach technicznych sprzętu radiokomunikacyjnego, do określenia stabilności częstotliwości, używa się jednostki **ppm** (part per milion = części na milion).*

Stabilność częstotliwości na tym poziomie można uzyskać jedynie w generatorach stabilizowanych rezonatorami kwarcowymi. Jeżeli radiostacja ma być używana w ekstremalnie dużym zakresie temperatur (od - 60°C do + 50 °C) to rezonatory kwarcowe muszą być umieszczone w termostacie.

Przykłady dla dociekliwych:

- gdy wymagana stabilność wynosi **35×10^{-6}** , a $f_n = 120 \text{ MHz}$,
to maksymalna dopuszczalna $\Delta f = 35 \times 10^{-6} \times 120 \times 10^6 = 4200 \text{ Hz}$*
- gdy wymagana stabilność wynosi 0,0035%, a $f_n = 120 \text{ MHz}$,
to maksymalna dopuszczalna $\Delta f = 120 \times 10^6 \times 0,0035/100 = 4200 \text{ Hz}$*
- gdy wymagana stabilność wynosi **5×10^{-6}** , a $f_n = 120 \text{ MHz}$,
to maksymalna dopuszczalna $\Delta f = 5 \times 10^{-6} \times 120 \times 10^6 = 600 \text{ Hz}$*

3.4.3. Moc w antenie (moc sygnału w.cz doprowadzona do anteny nadawczej)

Dla niezawodnej łączności ($P_{\text{utrąty}} \leq 10^{-5}$) trzeba, aby :

- naziemne nadajniki wytwarzały taką moc, aby w otoczeniu anteny odbiorczej na pokładzie samolotu natężenie pola elektromagnetycznego było $\geq 75 \mu\text{V/m}$
- pokładowe nadajniki wytwarzały taką moc, aby w otoczeniu anteny odbiorczej na ziemi natężenie pola elektromagnetycznego było $\geq 20 \mu\text{V/m}$.

Ograniczenia dla radiostacji pokładowych wynikają stąd, że:

- nie ma możliwości stosowania, nawet na dużych samolotach komunikacyjnych, dużych i wydajnych systemów antenowych,
- występuje wzajemne oddziaływanie na siebie pokładowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych,
- ograniczona jest możliwość separacji przestrzennych anten nadawczych i radionawigacyjnych,
- nie ma możliwości stosowania dużych napięć w stopniach mocy nadajników.

Praktycznie moc wyjściowa (moc w antenie) zależy od przeznaczenia radiostacji oraz od zakresu częstotliwości.

Dla zakresu HF(fale krótkie) moc ta wynosi do 400 W dla radiostacji dalekodystansowych, a dla średnich zasięgów 10 do 50 W. Moc radiostacji VHF zawarta jest od kilku watów do 20 watów.

Ostatnio w literaturze technicznej jak również w warunkach technicznych sprzętu radiokomunikacyjnego, do określenia mocy, używa się jednostki **dBm** (jednostka miary mocy odniesiona do 1 mW, mierzona na oporności np. 50 Ω).

Dla dociekliwych:

$$P_{(\text{dBm})} = 10 \log \frac{P (\text{W})}{0.001 (\text{W})}$$

Przykładowo konwersja mocy w Watach na **dBm**

	Moc w Watach	Moc w dBm
	320 mW	25,05
	1,28 W	31,07
	2,0 W	33,01
	8,0 W	39,03
	32,0 W	45,05
	128,0 W	51,07

Moc wyrażona w dBm mówi o ile decybeli moc ta jest większa (lub mniejsza) od mocy 1 mW. Poziom 1mW odpowiada 0 dBm

Przykład przeliczenia: 100mW przeliczona na dBm wynosi:

$$10 \times \log_{10}(100\text{mW}/1\text{mW}) = 10 \times \log_{10}(100) = 10 \times 2 = 20 \text{ dBm}$$

3.4.4. Rodzaje emisji

W nawiązaniu do analizy równania (1) podanego w p. 3.2. „System łączności lotniczej” definiowane są rodzaje emisji z nadajnika radiowego przy pomocy trzech symboli :

- 1 symbol - duże litery alfabetu łacińskiego,
- 2 symbol - cyfry arabskie,
- 3 symbol - duże litery alfabetu łacińskiego.

Pierwszy symbol - rodzaj modulacji głównej fali nośnej

N Emisja niemodulowanej fali nośnej.

Emisje w których podstawowa fala nośna jest modulowana w amplitudzie (włączając przypadki, gdy podnośne są modulowane kątowno)

A Dwie wstęgi boczne

H Jedna wstęga boczna, pełna fala nośna

R Jedna wstęga boczna, zredukowana lub regulowana fala nośna

J Jedna wstęga boczna, wytłumiona fala nośna

B Niezależne wstęgi boczne

C Szczątkowa wstęga boczna

Emisje, w których podstawowa fala nośna jest modulowana kątowno

F Modulacja częstotliwości

G Modulacja fazy

D Emisja, w której podstawowa fala nośna jest modulowana w amplitudzie i fazie zarówno jednocześnie, jak i w ustalonej sekwencji.

Emisje impulsowe :

P Niemodulowana sekwencja impulsów

K Sekwencja impulsów modulowanych w amplitudzie

L Sekwencja impulsów z modulacją szerokości/czasu trwania

M Sekwencja impulsów z modulacją położenia/fazy

Q Sekwencja impulsów, w których fala nośna jest modulowana kątowno w czasie trwania impulsu

V Sekwencja impulsów będących kombinacją powyższych lub wytworzonych w inny sposób

W Przypadki nie ujęte powyżej, w których emisja składa się z podstawowej fali nośnej modulowanej zarówno jednocześnie lub w ustalonej sekwencji przez dwa lub więcej sposobów modulacji: amplitudy, kąta, impulsów

X Inne przypadki nie ujęte powyżej.

Drugi symbol - natura sygnału(ów) modulującego podstawową falę nośną

0 Brak sygnału modulującego

1 Pojedynczy kanał modulujący zawierający skwantowaną lub cyfrową informację bez użycia modulującej podnośnej (z wyłączeniem multipleksowania z podziałem czasowym - TDM)

2 Pojedynczy kanał modulujący zawierający skwantowaną lub cyfrową informację z użyciem modulującej podnośnej (z wyłączeniem multipleksowania z podziałem czasowym - TDM) ,

3 Pojedynczy kanał modulujący zawierający informację analogową

4 Dwa lub więcej kanałów modulujących zawierających informację skwantowaną lub cyfrową

- 5 Dwa lub więcej kanałów modulujących zawierających informację analogową
- 6 System złożony z jednym lub więcej kanałów modulujących zawierających informację skwantowaną lub cyfrową oraz z jednym lub więcej kanałów modulujących zawierających informację analogową
- X Przypadki nie ujęte powyżej.

Trzeci symbol - rodzaj nadawanej informacji

- N Brak nadawanej informacji
- A Telegrafia dla odbioru słuchowego
- B Telegrafia dla odbioru automatycznego
- C Faksymile
- D Transmisja danych, telemetria, zdalne sterowania
- E Telefonía (włączając radiofonię)**
- F Telewizja (sygnał wizji)
- W Kombinacja powyższych
- X Przypadki nie ujęte powyżej.

W przypadkach łączności lotniczej na zakresie VHF – jest stosowana emisja **A3E**, przy łączności na zakresie HF (fale krótkie) - jest stosowana: **A3E, H3E, R3E lub J3E**.

3.4.5. Czułość odbiornika

Czułość użytkowa odbiornika określa najmniejszy sygnał wejściowy, przy którym na wyjściu odbiornika otrzymuje się określoną moc wyjściową przy określonym stosunku sygnału do szumu. Czułość ta jest definiowana przy częstotliwości modulującej równej 1000 Hz, głębokość modulacji równej 30% oraz SINAD = 6dB (SINAD jest to stosunek sygnału + szumy + zakłócenia do szumu + zakłócenia). Parametr ten ilościowo opisuje jakość sygnału akustycznego przy którym przeprowadzano pomiar czułości odbiornika.

Na pokładzie samolotu nie można stosować odbiornika o zbyt dużej czułości ponieważ przeskadza temu zwiększony poziom szumów – zakłóceń, pochodzący od pokładowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Praktycznie, dla radiotelefonicznych odbiorników pokładowych czułość użytkowa jest regulowana przez ustawienie progu blokady szumów i zawarta jest w zakresie od 3 do 15 μV . Czułość odbiornika np. w radiostacjach szybowcowych, gdzie takie zakłócenia nie występują, może być nawet na poziomie 1 μV .

*Czułość odbiornika może być wyrażana nie tylko w μV , ale podobnie jak moc w nadajnikach, również w jednostce niemianowanej **dBmV** (jednostka miary napięcia w odniesienia do 1 mV, zmierzonego na oporności np. 50 Ω).*

Konwersja czułości w μV na dBmV

$$U_{(\text{dBmV})} = 20 \log \frac{U_{(\text{V})}}{0.001_{(\text{V})}}$$

czułość w μV	czułość w dBmV
1,0	- 60,00
2,0	- 53,98
4,0	- 47,96
8,0	- 41,94
10,0	- 40,00

Napięcie wyrażone dBmV mówi o ile decybeli napięcie to jest mniejsze (lub większe) od napięcia 1 mV. Poziom 1 mV odpowiada 0 dBmV

3.4.6. Selektywność - szerokość pasma przepuszczania (przenoszenia) odbiornika Δf_{odb}

Parametr ten zależy i jest ściśle związany z odstępem międzykanałowym danego odbiornika. Im odstęp międzykanałowy jest mniejszy tym wymagania odnośnie pasma przepuszczania odbiornika są ostrzejsze. Co za tym idzie zaostwiają się dopuszczalne tolerancje takich parametrów jak::

- niestabilności częstotliwości fali nośnej f_n nadajnika,
- niestabilności heterodyny odbiornika,
- niestabilności dostrojenia obwodów pośredniej częstotliwości w odbiorniku,

Dla zakresu VHF szerokość pasma przepuszczania odbiornika definiuje się na poziomach

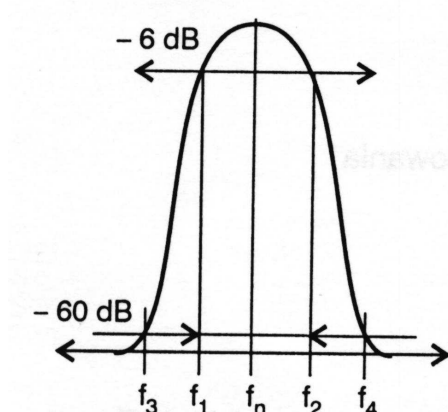
- 6 dB - poziom przepuszczania sygnału i - 60 dB - tłumienie sygnału sąsiedniego kanału.

Przykładowo dla radiostacji firmy ICOM Inc. typu **IC-A110** o odstępem międzykanałowym 25/8,33 kHz producent oferuje przy odstępem międzykanałowym :

- **25 kHz pasmo przepuszczania odbiornika ± 8 kHz** przy spadku wzmacnienia - 6 dB
- **8,33 kHz pasmo przepuszczania $\pm 2,78$ kHz** przy spadku wzmacnienia - 6 dB.

Tłumienie sąsiedniego kanału ≥ -60 dB odpowiednio 25 kHz i $\geq 7,37$ kHz.

O stabilności częstotliwości generatora nadajnika i heterodyny odbiornika była mowa w pkt.3.4.2. Natomiast spełnienie wymagań odnośnie stabilności dostrojenia obwodów pośredniej częstotliwości oraz pasma przepuszczania na poziomie - 6 dB i tłumienia sygnałów sąsiednich kanałów na poziomie co najmniej - 60 dB uzyskano w wyniku zastosowania, we wzmacniaczu pośredniej częstotliwości **filtrów kwarcowych**, których stabilność dostrojenia jest porównywalna ze stabilnością stosowanych w radiostacjach generatorów kwarcowych przy bardzo stromych zboczach krzywej rezonansu.



- na poziomie - 6 dB pasmo przepuszczania powinno być **nie węższe** niż pasmo przepuszczania f_1, f_2 , gdzie:

$$f_1 = f_n - \Delta f_{\text{nad.}} - \Delta f_{\text{odb.}} (+)$$

$$f_2 = f_n + \Delta f_{\text{nad.}} + \Delta f_{\text{odb.}} (-).$$

- na poziomie - 60 dB pasmo przepuszczania powinno być **nie szersze** niż pasmo ograniczone f_3, f_4 , gdzie:

$$f_3 = f_n - \Delta f_{\text{nad.}} - \Delta f_{\text{odb.}} (+)$$

$$f_4 = f_n + \Delta f_{\text{nad.}} + \Delta f_{\text{odb.}} (-).$$

Rys. 3.21. Określenie szerokości pasma przepuszczania odbiornika

3.4.7. Niezawodność

3.4.7.1. Pojęcia podstawowe

W technice niezawodności rozróżniamy definicję ogólną i normatywną.

Definicja ogólna

Niezawodność urządzenia (systemu) jest to właściwość urządzenia (systemu) polegająca na spełnieniu swoich funkcji (przy utrzymywaniu założonych parametrów) w określonym czasie t .

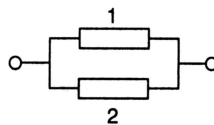
Definicja normatywna - pozwala obliczyć niezawodność.

Niezawodność urządzenia (systemu) jest to prawdopodobieństwo, że urządzenie (system) będzie spełniało swoje funkcje (przy utrzymywaniu założonych parametrów) w określonym czasie t .

Stopień niezawodności urządzeń radiokomunikacyjnych używanych w lotnictwie zależy od klasy ich wykonania. Niektóre firmy produkujące lotniczy sprzęt radiokomunikacyjny, radiostacje o takich samych parametrach technicznych wykonują w różnych klasach niezawodności. Im oferowana niezawodność jest wyższa tym cena sprzętu jest wyższa. Wynika to z tego, że do wykonanie radiostacji o podwyższonej niezawodności wymaga bardzo starannej selekcji detali z których jest ona zmontowana, szczegółowych kontroli międzyoperacyjnych w procesie produkcji oraz kontroli ostatecznej w warunkach zbliżonych do tych w jakich radiostacja będzie pracować (temperatura, wilgotność, wibracje).

Względy ekonomiczne powodują, że na statkach powietrznych (samoloty sportowe, szybowce), wykonujących loty tylko w warunkach VFR (loty z widocznością ziemi) można spotkać radiostację o niższej klasie niezawodności. Niezawodność łączności na tego rodzaju statkach ma ograniczony wpływ na bezpieczeństwo wykonywania lotów.

Samoloty komunikacyjne i dyspozycyjne, dopuszczone do wykonywania lotów w warunkach IFR (lot według przyrządów - bez widoczności ziemi) oraz naziemne stacje kontroli ruchu lotniczego, muszą być wyposażone w systemy łączności o najwyższym stopniu niezawodności, ze względu na możliwość wykonywania lotów w trudnych warunkach meteorologicznych. Ponieważ w trakcie użytkowania, nawet teoretycznie, najbardziej niezawodnego sprzętu nie można pomijać występowania zdarzeń losowych, dla tego tak na samolotach tego rodzaju jak i stacjach naziemnych kontroli ruchu lotniczego, w celu nie przekraczania prawdopodobieństwa utraty łączności $\leq 10^{-5}$ stosowana jest redundancja czyli rezerwowanie urządzeń.



Rys. 3.22. Układ redundancyjny

W przypadku awarii, funkcję urządzenia uszkodzonego automatycznie przejmuje urządzenie rezerwowe.

Matematycznie można dowieść, że stosując rezerwację radiostacji zwiększamy niezawodność łączności nawet 100 razy!

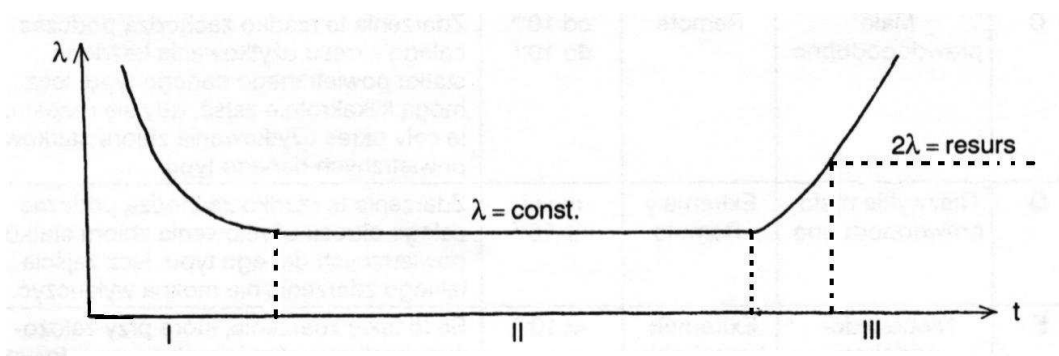
3.4.7.2. Klasyfikacja lotniczych zdarzeń losowych

Tabela 3.8.

Klasa	Określenie polskie	Określenie angielskie	Określenie ilościowe	Charakterystyka
A	Częste	Frequent	$\leq 10^{-3}$	Zdarzenia często zachodzące w czasie użytkowania każdego statku powietrznego danego typu
B	Dość prawdopodobne	Reasonably Probable	od 10^{-3} do 10^{-5}	Zdarzenia rzadko zachodzące w czasie użytkowania każdego statku powietrznego danego typu, lecz mogą kilkakrotnie zajść w ciągu całego okresu użytkowania każdego statku powietrznego danego typu
C	Mało Prawdopodobne	Remote	od 10^{-5} do 10^{-7}	Zdarzenia te rzadko zachodzą podczas całego okresu użytkowania każdego statku powietrznego danego typu, lecz mogą kilkakrotnie zajść, gdy się rozpatruje cały okres użytkowania zbioru statków powietrznych danego typu.
D	Niezwykłe mało Prawdopodobne	Extremely Remote	mniej niż 10^{-7}	Zdarzenia te rzadko zachodzą podczas całego okresu użytkowania zbioru statków powietrznych danego typu, lecz zajścia takiego zdarzenia nie można wykluczyć.
E	Nieprawdopodobne	Extremely Improbable	$\ll 10^{-7}$	Są to takie zdarzenia, które przy założonym poziomie ufności należy rozpatrywać jako nieprawdopodobne.

Jak wynika z tablicy 3.8 dla spełnienia międzynarodowych wymagań dotyczących niezawodności łączności ($P_{\text{utraty}} \leq 10^{-5}$), zdarzenie jest na pograniczu klasy B i C.

3.4.7.3. Okresy użytkowania urządzenia (systemu)



Rys. 3.23. Życie urządzenia (systemu)

Życie każdego urządzenia (systemu) można podzielić na 3 okresy (rys. 3.23)

- W pierwszym okresie (I) obserwujemy spadek intensywności usterkowania. Jest to okres tzw. chorób niemowlęcych - docierania się wszystkich elementów w urządzeniu i ujawniania się usterek powstałych w procesie produkcji (np. zimne połączenia lutownicze) Markowe urządzenia większą część tego okresu spędzają jeszcze u producenta podczas kontroli i „wyrzewania - starzenia urządzenia”.

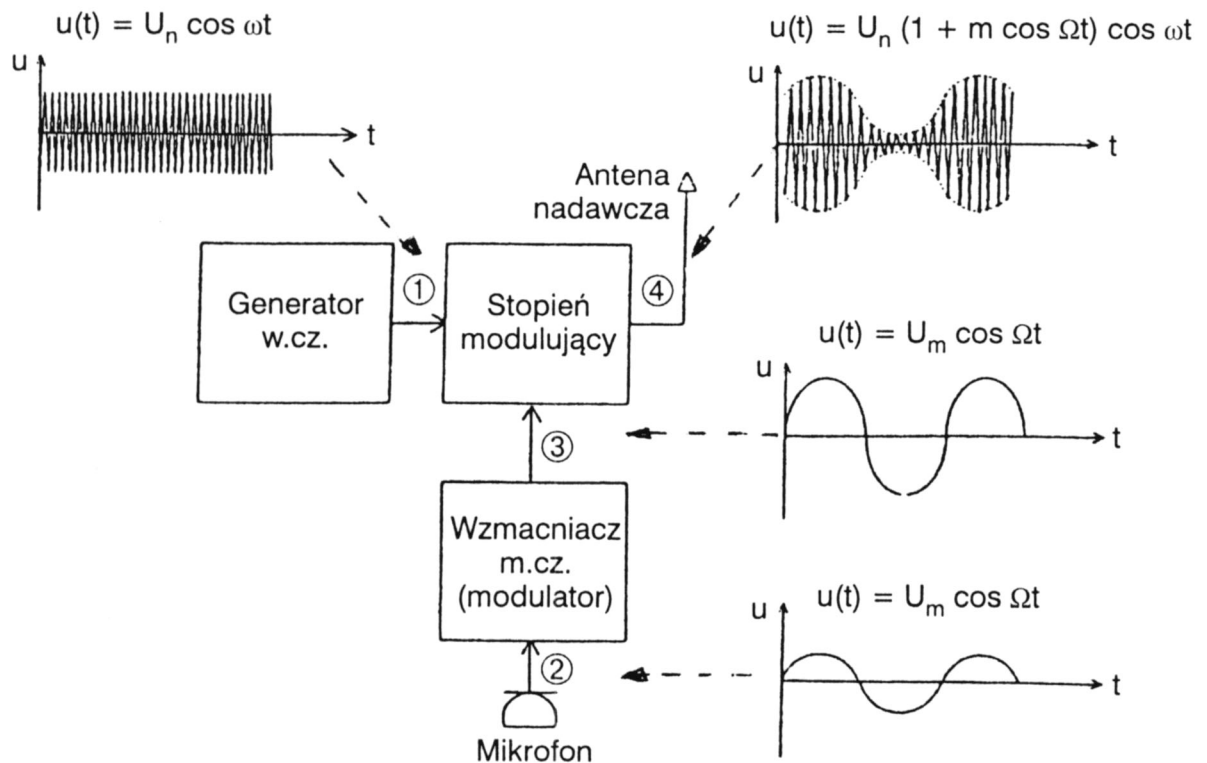
- W drugim okresie (II) funkcja ryzyka powstania usterki λ jest stała. Jest to czas właściwego użytkowania urządzenia (systemu). Im czas ten jest dłuższy tym urządzenie jest doskonalsze.
- Trzeci okres (III) występuje wtedy gdy λ rośnie, jest to okres starzenia się urządzenia. Na tak przedstawionym modelu (rys.3.23) można też określić techniczną żywotność urządzenia (okres użytkowania – resurs). Występuje on wtedy gdy intensywność usterkowania λ zwiększa się do dwukrotnej wartości $\lambda_{constans}$.

Pytania sprawdzające :

1. Jakie jest dopuszczalne prawdopodobieństwo utraty lotniczej łączności radiowej?
2. Wymień najważniejsze parametry radiostacji lotniczej.
3. Jak jest definiowana stabilność częstotliwości?
4. Jaką powinna być, stabilność częstotliwości radiostacji z odstępem międzykanałowym 25 kHz?
5. Jaką powinna być, stabilność częstotliwości radiostacji z odstępem międzykanałowym 8,33 kHz?
6. Jaka maksymalna moc jest stosowana w radiostacjach używanych w lotnictwie na paśmie HF a jaką na paśmie VHF?
7. W jakich jednostkach może być wyrażana moc nadajnika?
8. Jakie rodzaje emisji są używane w łączności lotniczej?
9. Jaki rodzaj emisji jest używany w łączności lotniczej na paśmie VHF?
10. Co to jest czułość odbiornika i jak jest definiowana?
11. Co ogranicza czułość odbiornika w radiostacjach instalowanych na samolotach?
12. W jakich jednostkach może być wyrażana czułość odbiornika?
13. Jaki wpływ ma stabilność częstotliwości nadajnika na szerokość pasma przepuszczania odbiornika, który ma dobierać korespondencję wysyłaną z tego nadajnika ?
14. Jaki powinien być pasmo przepuszczania odbiornika na poziomie - 6dB przy odstępem międzykanałowym 8,33 kHz?
15. Jaki powinien być pasmo przepuszczania odbiornika na poziomie - 6dB przy odstępem międzykanałowym 25 kHz?
16. W jaki sposób osiąga się wysoką stabilność dostrojenia wzmacniacza pośredniej częstotliwości odbiornika i wymagane pasmo przepuszczania odbiornika?
17. Kiedy uważa się łączność za niezawodną?
18. Jak można poprawić niezawodność łączności?
19. Co to jest redundancja?
20. Kiedy urządzenie (system) powinien być wycofany z eksploatacji?

3.5 Uproszczony schemat blokowy nadajnika radiotelefonicznego

Zadaniem nadajnika jest wysyłanie w przestrzeń, za pomocą anteny, fal radiowych wielkiej częstotliwości zawierających informacje jakie chcemy przesłać do odbiornika korespondenta. Proces ten jest realizowany w nadajniku przez zastosowanie układów elektronicznych oraz przetwornika elektroakustycznego przetwarzającego głos operatora w przebieg elektryczny małej częstotliwości (mikrofon), przedstawionych na Rys. 3.24. na którym przy każdym z układów podane są przebiegi fizyczne omówione w opisie modulacji amplitudy.



Rys. 3.24. Uproszczony schemat blokowy nadajnika

3.5.1. Generator wielkiej częstotliwości (1)

Generator wielkiej częstotliwości wytwarza falę nośną o częstotliwości f_n , którą emituje nadajnik. Jakość generatora wielkiej częstotliwości (powszechnie zwanego generatorem w.cz) jest bardzo istotna dla parametrów całego łącza radiowego. Stabilność częstotliwości generatora w czasie i granicach dopuszczalnych zmian, temperatury otoczenia, powinna mieścić się w dopuszczalnej tolerancji Δf dla danej klasy radiostacji.

Generatory w.cz współczesnych radiostacji lotniczych są stabilizowane rezonatorami kwarcowymi. Pojedynczy rezonator kwarcowy może stabilizować tylko jedną częstotliwość, dla której został wykonany. W nadajnikach przestrajanych są stosowane dwa rozwiązania. Jeżeli ilość kanałów łączności nie przekracza 12 stosuje się przełączanie rezonatorów – jeden rezonator na jeden kanał łączności np. popularna

w lotnictwie sportowym radiostacja RS-6101 ma 9 kanałów w paśmie VHF przełączanych przełącznikiem klawiszowym.

W nadajnikach przestrajanych w całym paśmie VHF obejmującym wiele kanałów łączności stosuje się **syntezę częstotliwości** pozwalającą uzyskać punktowo częstotliwości w całym paśmie w odstępach międzykanałowych co 25 lub 8,33 kHz. Wybieranie potrzebnej, w danej chwili, częstotliwości odbywa się, na pulpicie radiostacji, przy pomocy specjalnych przełączników lub klawiaturą numeryczną.

Synteza częstotliwości jest złożonym procesem, który jest realizowany w układzie elektronicznym, w skład którego wchodzi rezonatory kwarcowe o podwyższonej stabilności, obwody rezonansowe z diodami pojemnościowymi, powielacze, dzielniki, separatory i inne układy służące do wytwarzania częstotliwości nośnej o wymaganych parametrach (stabilność częstotliwości, drgania pasożytnicze itp.).

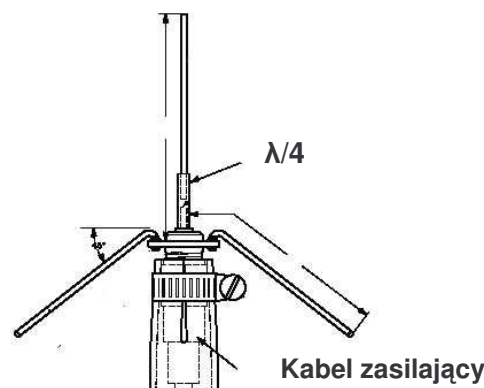
3.5.2. Mikrofon (2) jest przetwornikiem elektroakustycznym przetwarzającym drgania akustyczne na drgania elektryczne. Hałas, który w kabinach niektórych samolotów może przekraczać nawet 100 dB, uniemożliwia stosowanie mikrofonów powszechnego użytku. Pierwotnie stosowano w lotniczych radiostacjach pokładowych mikrofony węglowe o bardzo małej czułości. Mikrofony te, popularnie zwane laryngofonami, były umieszczone w obroży na szyi pilota. Laryngofon przyjmuje drgania bezpośrednio z krtani operatora i nie jest wrażliwy na zewnętrzne hałasy. W miarę postępu w rozwoju mikrofonów, w lotnictwie stosowane teraz są znacznie wygodniejsze mikrofony różnicowe. Zasada działania różnicowego mikrofonu elektromagnetycznego, w najprostszym rozwiązaniu, polega na tym, że dwa mikrofony miniaturowe o takiej samej charakterystyce są sklejona „plecami” do siebie i tak elektrycznie połączone, że sygnały akustyczne zakłócające (hałas w kabinie) dochodzące do obydwu mikrofonów o takim samym natężeniu, znoszą się. Ponieważ mikrofon różnicowy znajduje się zaledwie kilka centymetrów od ust operatora (pilota) sygnał użyteczny od strony ust operatora jest większy niż ze strony odwrotnej. Poziom tej różnicy jest wystarczający, aby po odpowiednim wzmocnieniu wysteroować stopień modulujący nadajnika.

3.5.3. Wzmacniacz małej częstotliwości (3), zwany również modulatorem, wzmacnia drgania elektryczne z mikrofonu do niezbędnego poziomu (napięcia i mocy) w celu przeprowadzania modulacji fali nośnej (czyli nałożenia informacji na falę nośną). Istotnymi parametrami wzmacniacza m.cz jest pasmo przenoszenia, które nie powinno być większe niż 300 – 3400 Hz oraz współczynnik zniekształceń nieliniowych, który nie powinien przekraczać 15 %.

3.5.4. Stopień modulujący (4), którego istotę opisuje równanie (5) służy do nałożenia na falę nośną sygnału małej częstotliwości odzwierciedlającego informacje,

którą fala nośna ma przenieść do odbiornika. Pomiedzy stopniem modulującym a anteną mogą jeszcze występować wzmacniacze zmodulowanej fali nośnej, które tu dla uproszczenia są pominięte. Wzmacniacze zmodulowanej fali nośnej są stosowane w celu uzyskania takiej mocy wyjściowej nadajnika jaka wynika z wymagań dla danej klasy urządzenia.

3.5.5. Antena nadawcza wypromieniowuje w przestrzeń energię elektromagnetyczną (falę nośną zmodulowaną). Antena jest wspólna dla nadajnika oraz odbiornika. Antena przełączana jest przełącznikiem sterowanym przyciskiem umieszczonym na wolancie (drażku sterowniczym) lub na mikrofonie radiostacji naziemnej. Naciśnięcie na przycisk powoduje włączenie nadajnika i przełączenie anteny z wejścia odbiornika na wyjście nadajnika. Anteny pokładowe na statkach powietrznym mają różnorodne konstrukcje i miejsce zamontowania, zależnie od typu i rodzaju statku. Począwszy od prostej, ćwierćfalowej ($\lambda/4$) pionowej, anteny prętowej z przeciwwagą, montowanej na drewnianych sztybowcach i samolotach sportowych, poprzez anteny mieczowe, które były montowane na samolotach odrzutowych starszego typu, do bardzo skomplikowanych wymiarowo i geometrycznie anten szczelinowych wbudowanych w poszycie szybkich samolotów odrzutowych. Konstrukcja i wymiary anteny, stacjonarnej radiostacji naziemnej, zamontowanej przeważnie na wysokim maszcie, jest pokazana przykładowo na rys. 3.25



Rys. 3.25. Przykład ćwierćfalowej anteny stacjonarnej o pionowej polaryzacji.

Konstrukcja anteny i jej wymiary są ściśle związane z długością fali λ na jakiej antena będzie miała maksymalną sprawność. Na paśmie VHF w lotnictwie przeważnie stosowane są anteny ćwierćfalowe ($\lambda/4$) gdzie.

$$\lambda \text{ (w metrach)} = \frac{300}{f \text{ (w MHz)}}$$

Dla lotniczego pasma VHF (118 – 136,975 MHz) Długość fali wynosi od 2,18 do 2,54 metra. Dla środka tego pasma długość anteny $\lambda/4 = \sim 60 \text{ cm}$.

Dla dociekliwych:

Dlaczego w lotnictwie używamy anten o polaryzacji pionowej?:

Falę nośną zmodulowaną można przedstawić w postaci:

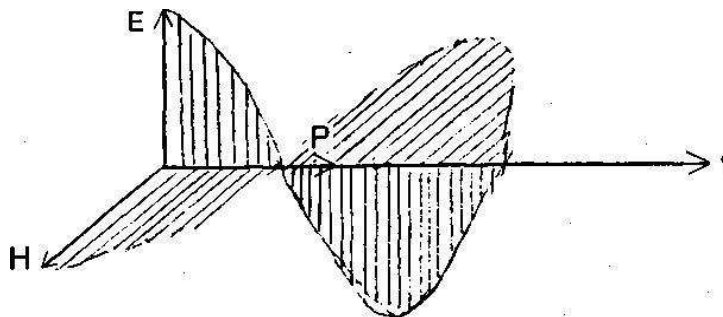
- a.** wyrażenia analitycznego - równanie (1),
- b.** wykresu czasowego - rys. 3.13.i 3.14
- c.** wykresu widmowego - rys.3.15., 3.16.i 3.17.,
- d.** wykresu wektorowego - rys.3.25.

*Postać **a** - jest najogólniejszym przedstawieniem fali nośnej zmodulowanej stosowanej do wszelkich analiz.*

*Postać **b** - pozwala nam wyjaśnić głębokość modulacji.*

*Postać **c** - daje nam obraz fali nośnej i wstęg bocznych stosowany do analiz emisji jednowstęgowych.*

*Postać **d** - pozwala nam określić polaryzację fali.*



Rys.
3.26.
Wekto-
rowy
wykres fali nośnej

Wykres wektorowy jest przestrzennym układem 3 prostopadłych wektorów:

- wektora elektrycznego E ,
- wektora magnetycznego H ,
- wektora mocy (wektora Poyntinga) P ,

przy czym częstotliwość jest częstotliwością fali nośnej f_n .

Polaryzacja fali elektromagnetycznej określa położenie wektora E .

*Na rys. 3.26. przedstawiono falę **spolaryzowaną pionowo** - taką jaką stosujemy w radiokomunikacji lotniczej. Dlatego też anteny w nadajnikach (i odbiornik-*

kach) radiokomunikacji lotniczej są pionowe, w odróżnieniu od anten poziomych dla fal spolaryzowanych poziomo (wektor E - poziomy). Anteny takie stosujemy w lotnictwie w systemach ILS i w innych służbach, np. w TV.

Pytania sprawdzające:

1. Do czego służy generator w.cz ?
2. Jaką funkcję spełnia mikrofon ?
3. W jaki sposób w mikrofonie eliminuje się hałas ?
4. Jakie mikrofony były pierwotnie stosowane w lotnictwie ?
5. Do czego służy antena nadawcza ?
6. W jaki sposób jest stabilizowana częstotliwość w generatorze w.cz ?
7. W jaki sposób uzyskuje się w nadajniku widmo punktowych częstotliwości np. co 25 kHz w całym paśmie częstotliwości VHF ?
8. W jakim stopniu nadajnika następuje nałożenie sygnału m.cz. na falę nośną?
9. Dla czego w lotnictwie stosuje się anteny z polaryzacją pionową.
10. Z jakich wektorów składa się wektorowy wykres fali nośnej ?

3.6. Propagacja fal radiowych

Z nadajnika, zmodulowany sygnał, o mocy niezbędnej do uzyskania odpowiedniego komfortu odbioru w granicach zasięgu, doprowadzany jest, przy pomocy kabla koncentrycznego do anteny. Z anteny sygnał w postaci energii fal elektromagnetycznych rozchodzi się (jest propagowany) we wszystkich kierunkach i ulega rozproszeniu oraz pochłanianiu.

Pochłaniana jest szczególnie energia fal przyziemnych P_z (rys. 3.28. tym więcej, im ziemia jest suchsza. Woda morska pochłania fale najmniej. Wilgotna ziemia jest nieco gorszym przewodnikiem elektrycznym, a więc pochłanianie fal radiowych jest większe niż wody morskiej. Najbardziej pochłania falę przyziemną ziemia sucha.

Ośrodkiem propagacji fal radiowych jest atmosfera. Jej budowa i zjawiska w niej zachodzące mają zasadniczy wpływ na rozchodzenie się fal radiowych. W znacznym uproszczeniu w atmosferze można wyróżnić dwie istotne, dla propagacji fal radiowych, warstwy: troposferę i jonosferę, które są przedzielone dość obojętną stratosferą.

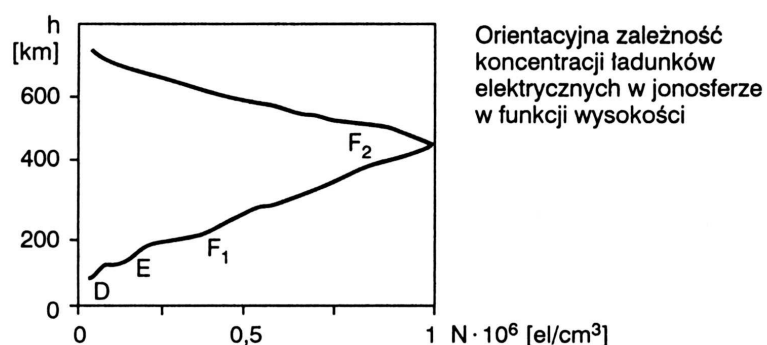
Troposfera rozciąga się od powierzchni ziemi do wysokości kilkunastu kilometrów. Charakteryzuje się ona stałym składem powietrza i spadkiem temperatury z wysokością.

Użyteczna propagacja fal ultrakrótkich (VHF) odbywa się właśnie w troposferze, gdzie podlegają one tłumieniu, rozproszeniu oraz refrakcji, czyli odchyleniu toru fali od linii prostej.

Jonosfera jest strukturą znacznie bardziej złożoną. Rozciągającą się między 60-tym a 400-tym kilometrem nad powierzchnią ziemi i jest częścią atmosfery w znacznym stopniu zjonizowaną przez promienie słoneczne oraz promieniowanie kosmiczne.

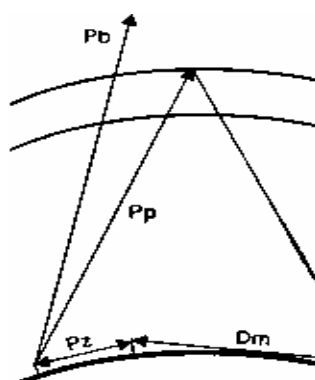
Jonosfera ma zasadniczy wpływ na rozchodzenie się fal przestrzennych P_p (rys. 3.28).

W jonosferze wyróżniono kilka warstw o różnych właściwościach. Ich grubość zmienia się w zależności od dobowej zmiany czynnika jonizującego a tym samym ma zmienny wpływ na odbicie fal radiowych.



Rys. 3.27. Układ warstw jonosfery w zależności od wysokości

Ponieważ w radiotelefonii lotniczej mają zastosowanie, w zasadzie tylko zakresy fal krótkich (HF) oraz ultrakrótkich (VHF), dlatego tylko dla tych zakresów będzie pokrótce omówiona propagacja fal.



- P_z - fala przyziemna
- P_b - fala bezpośrednia przenikająca jonosferę
- P_p - fala przestrzenna podlegająca odbiciu od jonosfery
- F_1, F_2 - warstwy jonosfery
- D_m - martwa strefa łączności

Rys. 3.28. Schemat propagacji fal

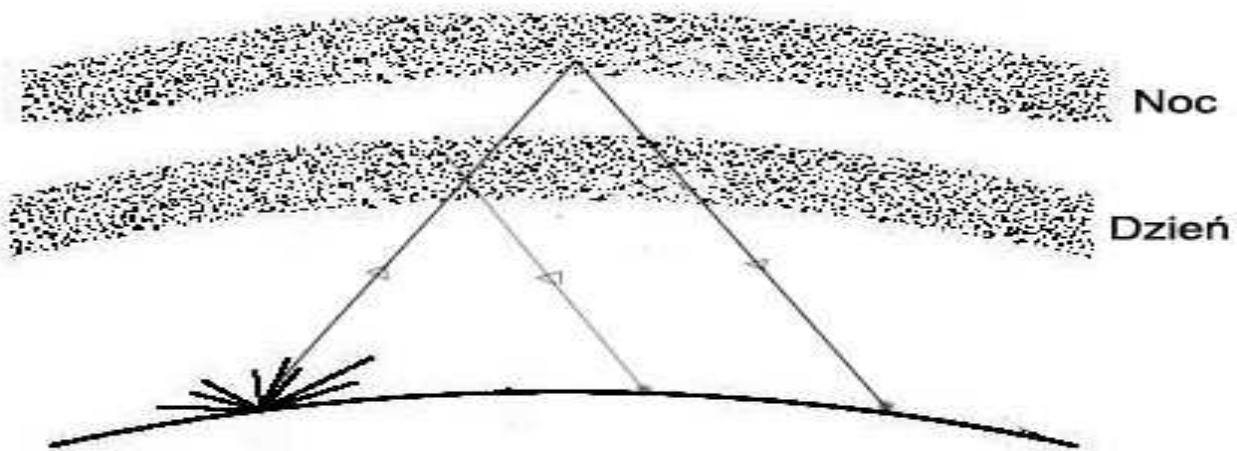
Fale krótkie - HF

Fale krótkie obejmują zakres od 3 do 30 MHz. Ze względu na krzywiznę ziemi i tłumienie tego zakresu przez powierzchnię terenu, zasięg fali przyziemnej P_z jest bardzo mały: od kilkudziesięciu kilometrów dla fali o długości 100 m (3 MHz) do kilku kilometrów dla fali o długości 10 m (30 MHz). Fala przestrzenna P_p przy określonym kącie promieniowania,

zależnym od pory doby, odbija się od warstw F1 i F2 i wraca na powierzchnię Ziemi, od której odbija się ponownie i wraca do jonosfery. Odbicia takie mogą się powtarzać wielokrotnie i dzięki temu na falach krótkich (HF) jest możliwość łączności o zasięgu światowym.

Niedogodnością łączności na falach krótkich (HF) jest to, że stan jonosfery zależy od kąta padania promieni słonecznych oraz od aktywności słońca, dlatego o różnej porze doby

warunki propagacji na obydwu końcach zakresu fal krótkich są różne i mogą ulegać zasadniczym zmianom. Okresowo zaburzenie łączności na falach krótkich mogą powodować również burze jonosferyczne związane z jedenastoletnim cyklem aktywności słonecznej.



Rys. 3.29. Dobowa zmiana zasięgu łączności na falach krótkich

Charakterystyczną cechą fal krótkich jest martwa strefa łączności D_m . Martwa strefa zwiększa się wraz ze wzrostem częstotliwości. Również podczas łączności na falach krótkich można czasami zaobserwować zakłócenia w postaci zjawiska echa. Źródłem echa jest zaleta tego zakresu fal, czyli ogólnoświatowy zasięg. Fala z nadajnika do odbiornika może docierać najkrótszą drogą jako sygnał bezpośredni, albo jako sygnał pośredni po okrążeniu ziemi.

Fala przestrzenna P_p , przy dużym kącie promieniowania przebija jonosferę, staje się tym samym falą bezpośrednią P_b i niknie w przestrzeni.

Fale ultrakrótkie – VHF

Łączność na zakresie VHF jest możliwa tylko na fali przyziemnej P_z . Fala przyziemna jest silnie tłumiona przez glebę oraz przeszkody terenowe, zwłaszcza góry. Każda fala przestrzenna P_p przebija jonosferę i staje się falą bezpośrednią P_b ($P_p = P_b$). Zasięg fal ultrakrótkich, ze względu na zjawisko refrakcji, jest nieco większy niż zasięg optyczny.

gdzie:

D - zasięg [km]

h_1, h_2 - wysokości anten radiostacji w metrach n.p.m



Rys. 3.30. Zasięg łączności w paśmie VHF

W praktyce lotniczej często jest stosowany wzór przybliżony:

$$D = 4\sqrt{h}$$

gdzie: D - zasięg w kilometrach

h - wysokość lotu statku powietrznego w metrach (n.p.m.)

Równanie to jest ważne wtedy, gdy do pominięcia jest wysokość anteny radiostacji na ziemi, co ma miejsce wtedy, gdy radiostacja ta nie jest położona w terenie górzystym. Musi być również spełniony warunek niezawodnej łączności (prawdopodobieństwo utraty $\leq 10^{-5}$) podany w pkt. 3.4.3. podstawowych parametrów lotniczych urządzeń radiokomunikacyjnych.

Sporadycznie przy dużej refrakcji możliwe jest rozchodzenie się fali jak w falowodzie.

W paśmie VHF zakłócenia są o wiele mniejsze niż na zakresie HF.

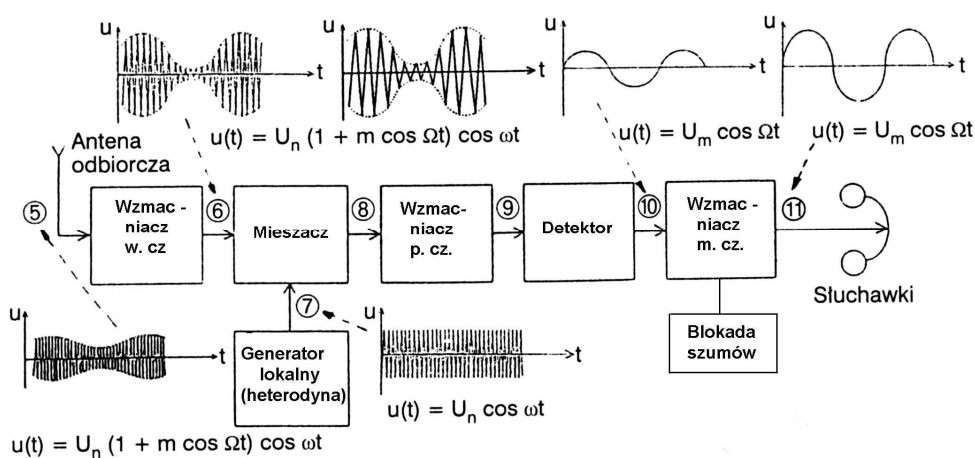
Pytania sprawdzające:

1. Jakie zakresy fal są używane w lotnictwie do łączności radiotelefonicznej?
2. Jakie zjawisko jest wykorzystywane przy dalekosiężnej łączności w paśmie HF ?
3. Od czego zależy w pierwszym rzędzie zasięg łączności w paśmie VHF?
4. Jaki wpływ ma moc nadajnika na łączność w paśmie VHF?
5. Jakie podłoże najbardziej tłumi falę przyziemną?
6. Na czym polega niedogodność łączności na falach krótkich (HF)?
7. Jaka jest charakterystyczna cecha fal krótkich (HF)?
8. Jaki jest wzór na zasięg łączności w paśmie VHF?
9. Co ma wpływ na aktywność jonosfery?
10. W jakiej postaci jest wypromieniowany sygnał z anteny ?

3.7. Uproszczony schemat blokowy odbiornika radiotelefonicznego

Zadaniem odbiornika jest odebranie, za pomocą anteny, fali radiowej (zmodulowanej fali nośnej f_n) tylko tego korespondenta, z którym chcemy utrzymać łączność, wzmacnienie jej i odzyskanie przenoszonej informacji (częstotliwości akustycznej) oraz przekazania tej in

formacji do słuchawek lub do głośnika. Osiągane jest to przez zastosowanie układów elektrycznych przedstawionych na rys. 3.31., na którym przy każdym z układów: **antena odbiorcza**, **heterodyna**, **mieszacz**, **wzmacniacz pośredniej częstotliwości**, **detektor**, **wzmacniacz małej częstotliwości**, **słuchawki**, podane są przebiegi fizyczne $u = f(t)$ oraz równania opisujące te przebiegi.



Rys. 3.31. Uproszczony schemat blokowy odbiornika

3.7.1. Antena odbiorcza (5) jest anteną wspólną dla nadajnika i odbiornika. Zwolnienie przycisku na wolancie, drążku sterowniczym lub przycisku na mikrofonie nadajnika, powoduje przełączenie anteny z nadajnika na odbiornik, przy równoczesnym włączeniu obwodów odbiornika, które podczas pracy nadajnika były wyłączone (przełączenie zasilania z nadajnika na odbiornik). Łączność tego typu (albo nadaję albo odbieram) jest łącznością **simplex**, w odróżnieniu od łączności **duplex** (nadaję i odbieram jednocześnie) - np. telefon komórkowy.

Sygnały wypromieniowane przez wiele nadajników będących w zasięgu anteny odbiorczej indukują w niej wiele napięć, rzędu mikrowoltów, z tym, że sygnał o częstotliwości, na jaką jest zaprojektowana antena, jest indukowany z największą sprawnością. Indukowane w antenie sygnały są doprowadzane do wzmacniacza w.cz.

3.7.2. Wzmacniacz wielkiej częstotliwości (6) umożliwia wstępne wyselekcjonowanie, spośród wielu sygnałów uzyskanych z anteny, sygnału korespondenta oraz wzmocnienie tego sygnału. Obwody rezonansowe, o dużej dobroci, na wejściu i wyjściu tego wzmacniacza, są dostrajane, automatycznie przy pomocy diod pojemnościowych, do rezonansu na częstotliwości wybranego kanału łączności. W wyniku tego, zostaje wstępnie wzmocniony tylko sygnał korespondenta i tym samym poprawiony stosunek sygnału do szumu

dla sygnału użytecznego. Po wzmocnieniu sygnał ze wzmacniacza w.cz. podawany jest do mieszacza.

3.7.3. Mieszacz (8) zmienia częstotliwości fal nośnych f_n , które są różne w zależności od tego z jakim korespondentem (na jakim kanale) prowadzimy łączność, na stałą częstotliwość pośrednią f_p . Proces ten zachodzi w mieszaczu po podaniu z lokalnego Generатора w.cz (heterodyny) sygnału o częstotliwości f_h niższej (lub wyższej), o częstotliwość pośredniej f_p , od sygnału fali nośnej f_n . Częstotliwość sygnału o częstotliwości pośredniej, wydzielanego w obwodzie rezonansowym na wyjściu mieszacza, stanowi różnicę między częstotliwością fali nośnej f_n o częstotliwością heterodyny f_h .

$$f_p = f_n - f_h$$

Ponieważ częstotliwość heterodyny f_h zmienia się współbieżnie z częstotliwością f_n wybranego kanału łączności i jest zawsze różna od f_n o częstotliwość pośredniej f_p , **wydzielany na wyjściu mieszacz sygnał ma stałą częstotliwości f_p , niezależnie od zmian częstotliwości odbieranej fali nośnej f_n .**

W odbiornikach radiokomunikacyjnych pracujących na zakresie VHF częstotliwość pośrednia wynosi zwykle 10 lub 10,7 MHz.

3.7.4. Generator lokalny (heterodyna) (7) układowo w zasadzie nie różni się od generatora w.cz. nadajnika. Ponieważ radiostacje wielokanałowe, z syntezą częstotliwości, na pasmo VHF, są budowane przeważnie w postaci tzw. transceivera (transmitter - receiver, nadajnik - odbiornik), obydwa generatory mają wiele elementów wspólnych wykorzystywanych tak podczas nadawania jak i odbioru. Różnią się jedynie finalną częstotliwością f_h , która w przypadku generatora lokalnego odbiornika jest zawsze mniejsza (lub większa) od częstotliwości aktualnie odbieranego sygnału o częstotliwość pośrednią f_p .

Syntetyzer w radiostacjach lotniczych jest integralną częścią radiostacji, co jednak dla uproszczenia wykładu nie jest uwzględnione w rys. 3.24 i rys. 3.31.

3.7.5. Wzmacniacz pośredniej częstotliwości (9), w nim następuje właściwe wzmocnienie zmodulowanego sygnału o częstotliwości f_p . Wzmacniacz ten jest z reguły wielostopniowy (we współczesnych radiostacjach z wykorzystaniem obwodów scalonych) i dokładnie dostrojony do częstotliwości pośredniej, dzięki czemu sygnał modulowany f_p jest wzmacniany, bez zniekształceń, do poziomu niezbędnego do prowadzenia demodulacji - detekcji.

W celu zapewnienia właściwej selekcji kanałów łączności i niedopuszczenia do przesłuchów międzykanałowych we wzmacniaczach p.cz. zamiast obwodów rezonansowych są stosowane filtry kwarcowe o częstotliwości znamionowej $f_0 = f_p$. Przykładowe parametry filtrów kwarcowych pośredniej częstotliwości dla odstępu międzykanałowego 25 kHz i 8,33 kHz zostały podane w pkt. 3.4.6. (Szerokość pasma przepuszczania odbiornika radiostacji IC-A110).

3.7.6. Detektor (demodulator) (10) W detektorze zachodzi demodulacja - oddzielenie informacji (drgań akustycznych) od częstotliwości nośnej przekształconej w mieszaczu w częstotliwość pośrednią.

3.7.7. Wzmacniacz małej częstotliwości, który też jest kilkustopniowy, w nim następuje wzmocnienie, możliwie bez zniekształceń, częstotliwości akustycznych (tych, których źródłem był mikrofon w nadajniku) do poziomu niezbędnego do wysterowania słuchawek lub głośników.

3.7.8. Słuchawki - głośnik zamieniają drgania elektryczne na drgania akustyczne, co pozwala pilotowi na odebranie informacji. Wystarczające do zrozumienia mowy ludzkiej, bez zniekształceń, jest pasmo częstotliwości **od 300 Hz do 3400 Hz** i na takie pasmo są projektowane wzmacniacze małej częstotliwości w nadajniku i odbiorniku. Należy tu jeszcze nadmienić, że słuchawki są o różnych opornościach (wysoko i niskoomowe). Ponieważ słuchawki, zwykle dla dwóch członków załogi, są połączone równolegle, istotne jest, **aby obydwie pary słuchawek miały taką samą oporność** i ich oporność odpowiadała oporności wyjściowej wzmacniacza małej częstotliwości w odbiorniku.

3.7.9. Blokada szumów – Squelch (SQ), służy do samoczynnego wyłączenia wzmacniacza m.cz. na czas, kiedy do odbiornika nie dociera sygnał fali nośnej o częstotliwości na jaką jest nastrojony odbiornik. Po pojawieniu się fali nośnej korespondenta, układ blokady włącza automatycznie wzmacniacz m.cz. i sygnał dociera do słuchawek. Jeżeli blokada (SQ) jest wyłączona, przy braku sygnału korespondenta w słuchawkach słychać szum, co w znacznym stopniu pogarsza komfort pracy pilota - operatora radiostacji.

Na granicy zasięgu łączności, włączona blokada nie pozwala na czytelny odbiór korespondencji, ponieważ tylko szczyty amplitudy fali nośnej powodują włączanie wzmacniacza m.cz. W tej sytuacji ręczne wyłączenie blokady pozwala, co prawda na tle szumów, na czytelny odbiór korespondencji.

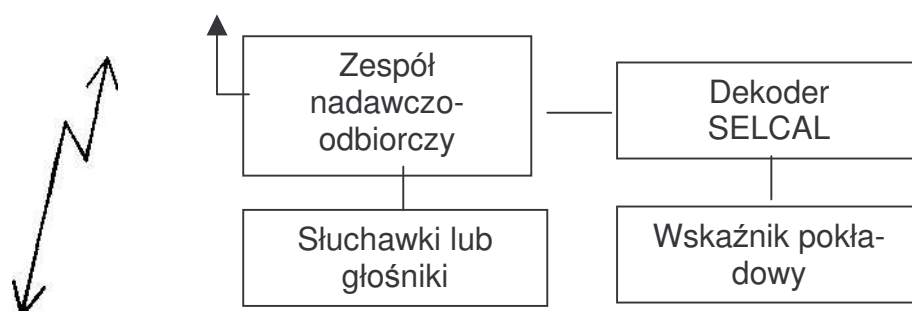
Pytania sprawdzające:

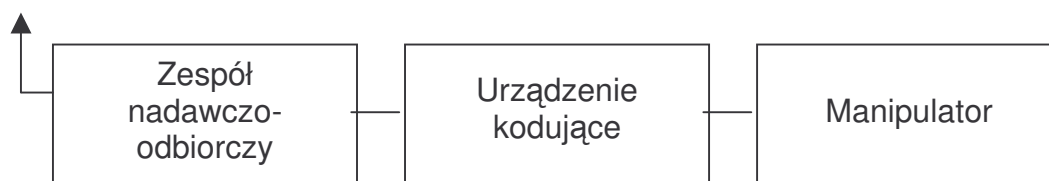
1. Jaką rolę spełnia antena odbiorcza?
2. Jak jest zależność między częstotliwością a długością fali?
3. Jaką rolę spełnia wzmacniacz w.cz.?
4. Na czym polega przemiana częstotliwości w odbiorniku?
5. Jaką jest zależność między częstotliwością odbieranej fali nośnej f_n a częstotliwością heterodyny odbiornika?
6. W jakim stopniu odbiornika następuje oddzieleni częstotliwości modulacji od sygnału zmodulowanego?
7. Który stopień odbiornika decyduje o tłumieniu przesłuchów sąsiedniego kanału łączności?
8. Jaką rolę spełnia w odbiorniku wzmacniacz m.cz.?
9. Jaką rolę spełnia blokada szumów w odbiorniku?
10. Jaki wpływ na czytelny zasięg łączności ma blokada szumów?

3.8. SELCAL

SElective **C**ALLing = selektywne wywołanie

W czasie lotów dalekodystansowych, szczególnie przez oceany, aby uniknąć niepotrzebnego obciążenia załogi ciągłym odbiorem całej korespondencji, na danej częstotliwości, stosowane są systemy selektywnego wywołania SELCAL.

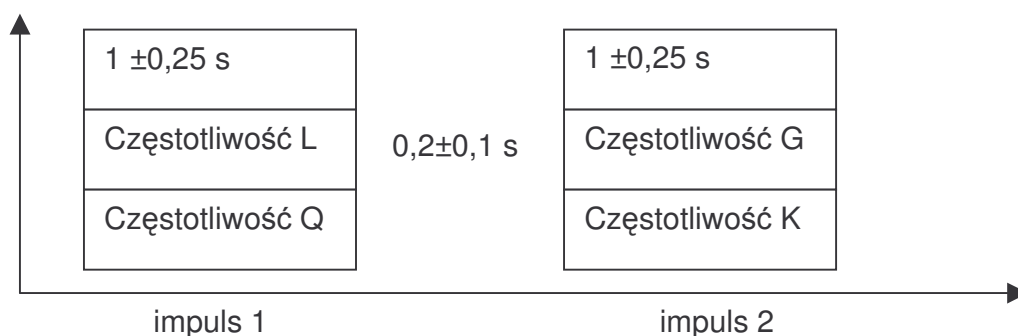




Rys. 3.32. Schemat blokowy systemu SELCAL

System ten jest stosowany w połączeniu z radiostacją nadawczo-odbiorczą HF lub VHF i umożliwia naziemnemu operatorowi wywołanie pojedynczego samolotu lub ich grupę, bez konieczności prowadzenia stałego nasłuchu przez załogę na częstotliwości stacji naziemnej.

Każdy samolot wyposażony w SELCAL ma przydzielony unikalny kod, nadawany tonowo (na fonii) przed każdym komunikatem do konkretnego samolotu. SELCAL włącza wzmacniacz m.cz. tylko w odbiorniku radiostacji pokładowej samolotu wybranego przez operatora stacji naziemnej i generuje sygnał na wskaźniku i w słuchawkach – na innych samolotach wzmacniacze m.cz. w odbiornikach pozostają zablokowane. Korespondencja bez kodu jest dostępna, na tej częstotliwości, dla wszystkich.



Rys. 3.33. Kład impulsów kodujących systemu SELCAL

Jeżeli operator radiostacji naziemnej chce prowadzić łączność np. z samolotem SP -LPA, to wybiera na manipulatorze kod LQ - GK (tablica 3.10), co odpowiada częstotliwościom 881,0 Hz ; 1202,3 Hz ; 582,1 Hz ; 794,3 Hz (tablica 3.9).

Na pokładzie SP-LPA odbiornik przyjmuje sygnał w.cz. zmodulowany LQ - GK i przesyła go do dekodera, po czym wskaźnik informuje o tym, że załoga jest wzywana do łączności (jednocześnie – pojawia się sygnał akustyczny w słuchawkach). Po odbiorze tych sygnałów, pilot lub radiooperator zgłasza gotowość włączenia się do łączności nadając „GO AHEAD” (nadawaj).

Częstotliwości w funkcji kodu

Tabela 3.9.

A	B	C	D	E	F	G	H
312,6	346,7	384,6	426,6	473,2	524,8	582,1	645,7
J	K	L	M	P	Q	R	S
716,1	794,3	881,0	977,2	1083,9	1202,3	1333,5	1479,1

Kod w funkcji znaków rejestracyjnych niektórych samolotów PLL „LOT” S.A.

Tabela 3.10.

SP-LOA	LOB	LPA	ŁKA	LKB	LKC	LKD	LKE	LLA	LLB	LLC
BO-CL	BO-CM	LO-GK	CJ-QS	CJ-RS	CJ-PR	CK-AR	CK-AS	CK-BR	CK-BS	CK-DR

Pytania sprawdzające:

- 1. Co to jest SELCAL?*
- 2. Do czego służy system SELCAL?*
- 3. Na jakiej zasadzie działa system SELCAL?*
- 4. Z czego składa się kod systemu SELCAL?*
- 5. Jak odbywa się wywołanie określonego samolotu w systemie SELCAL?*