



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

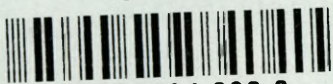
AON 5348/2001

Mjr dr inż. Piotr DANILUK

ANTENY STOSOWANE W WOJSKOWYCH SYSTEMACH TELEKOMUNIKACYJNYCH

Biblioteka Główna
Akademii Sztuki Wojennej

54264



09-054264-000-0



54264

WARSZAWA

2001

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

**WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
INSTYTUT DOWODZENIA**

AON 5348/2001



Mjr dr inż. Piotr Daniluk

**ANTENY
STOSOWANE W WOJSKOWYCH
SYSTEMACH TELEKOMUNIKACYJNYCH**

WARSZAWA

2001

Powielenie i oprawa: Akademia Obrony Narodowej – Wydział Wydawniczy, zam. nr 1250/2001

SPIS TREŚCI

	str.
WSTĘP	5
1. PODSTAWY TEORII ANTEN - PARAMETRY ANTEN	7
1.1. CHARAKTERYSTYKA PROMIENIOWANIA	7
1.2. KIERUNKOWOŚĆ I ZYSK	10
1.3. REZYSTANCJA ANTENY	12
1.4. OKREŚLENIE DŁUGOŚCI SKUTECZNEJ (l_{sk})	13
1.5. POWIERZCHNIA SKUTECZNA ANTENY	14
1.6. WSKAŹNIK PRZENIESIENIA MOCY	17
1.7. ZASADA WZAJEMNOŚCI	17
1.8. CHARAKTERYSTYKA KIERUNKOWOŚCI	18
1.9. WPŁYW EKRANU NA POLA WIBRATORA	19
1.10. ROZKŁAD PRĄDU I IMPEDANCJA W ANTENIE DIPOLOWEJ	22
1.11. SZERKOŚĆ PASMA ANTENY – DIPOL SZEROKOPASMOWY	23
2. PRZYKŁADY ROZWIĄZAŃ ANTEN	24
2.1. ANTENA FALI BIEŻĄCEJ	24
2.2. ANTENA TYPU „L”	26
2.3. ANTENA LONG-WIRE (LW)	27
2.4. ANTENA ZEPPELIN	29
2.5. ANTENA DOUBLET (PODWÓJNY ZEPPELIN)	31
2.6. ANTENA WINDOM	32
2.7. DIPOL POZIOMY	33
2.8. DIPOL PĘTLOWY	34
2.9. DIPOL POZIOMY SZEROKOPASMOWY	35
2.10. DIPOL POZIOMY SZEROKOPASMOWY PROMIENIOWANIA PIONOWEGO	36
2.11. ANTENA DIPOL POZIOMY DWUELEMENTOWY	37
2.12. DIPOL POZIOMY WIELOELEMENTOWY	38
2.13. DIPOL PIONOWY	39
2.14. DIPOLE PIONOWE SKRÓCONE	41
2.15. ANTENA GROUND PLANE - GP	43
2.16. ANTENA GP SKRÓCONA	45
2.17. PIONOWA ANTENA HELIKALNA	46
2.18. PIONOWA ANTENA KOLINEARNA	47
2.19. ANTENA ROMBOWA	48
2.20. ANTENA TYPU „V”	50
2.21. ANTENA TYPU „T”	52
2.22. ANTENA PIRAMIDOWA	54
2.23. ANTENA RAMOWA	55
2.24. ANTENA TRÓJKĄTNA	57
2.25. PĘTLOWA ANTENA MAGNETYCZNA – MAIN LOOP	59
2.26. ANTENA KRZYŻOWA	61
2.27. ANTENA PARABOLICZNA (SFERYCZNA)	62
2.28. ANTENA BACKFIRE	64
2.29. ANTENA KĄTOWA	66
2.30. ANTENA HELIKALNA	67
2.31. ANTENA ŚCIANOWA	68
2.32. ANTENA Z WIBRATOREM RAMOWYM	70
2.33. ANTENA LOGARYTMICZNO-PERIODYCZNA	71

WSTĘP

Anteny są konstrukcjami bezpośrednio wykorzystującymi propagację fal radiowych. Od ich efektywności zależy jakość łączności. Obecnie istnieje niezwykle duża różnorodność stosowanych anten

Rozpatrując zastosowanie anten w wojskowych sieciach telekomunikacyjnych w dobie niezwykłego rozwoju techniki mikrofalowej i satelitarnej należy zdawać sobie sprawę, iż u podstaw ich funkcjonowania stanęła cała gama konstrukcji długofalowych oraz krótkofalowych.

W niniejszym opracowaniu, które posiada formę mini-leksykonu, przedstawiono krótką prezentację kilkudziesięciu najbardziej popularnych anten radiokomunikacji wojskowej poprzedzoną krótkim wprowadzeniem z teorii anten.

Autor żywi nadzieje, podobnie jak w poprzednich opracowaniach serii publikacji poświęconych radiokomunikacji, iż prezentowany materiał będzie nie tylko przydatny studentom – inżynierom, ale zainteresuje również wszystkim tych, którzy chcą poznać lepiej zasady funkcjonowania wojskowych sieci telekomunikacyjnych.

...the first of these is the fact that the ...

...the second of these is the fact that the ...

...the third of these is the fact that the ...

...the fourth of these is the fact that the ...

...the fifth of these is the fact that the ...

...the sixth of these is the fact that the ...

...the seventh of these is the fact that the ...

...the eighth of these is the fact that the ...

...the ninth of these is the fact that the ...

1. PODSTAWY TEORII ANTEN – PARAMETRY ANTEN

Najważniejszymi parametrami anten są:

- impedancja;
- polaryzacja;
- zysk antenowy;
- szerokość pasmowa;
- sprawność anteny;
- wielkość falowa;
- charakterystyka promieniowania;
- stosunek mocy promieniowanej w przód-tył (w antenach kierunkowych);
- moc doprowadzana;
- wymiary, odporność na działanie wiatru itp.

W prezentowanym materiale w formie streszczenia zostaną przedstawione najważniejsze z nich z uwzględnieniem szczególnie specyfiki fal bardzo krótkich i ultrakrótkich (w tym mikrofal).

1.1. CHARAKTERYSTYKA PROMIENIOWANIA

Charakterystykę promieniowania w pewnej odległości od anteny określa:

- przestrzenny rozkład natężenia pola promieniowanej energii oraz
- jego polaryzacja

Rozkład tego pola można przedstawić w sposób trzywymiarowy. W tym celu podaje się wartość wektora mocy P w obranym punkcie 0 o współrzędnych r, Φ, Θ , albo tylko wartość wektora pola elektrycznego E . Do sporządzenia pełnej charakterystyki promieniowania anteny należy ponadto określić polaryzację wektora E w punkcie 0 , a także jego fazę.

Prowadząc z punktu N (punkt w którym znajduje się antena) odcinki o długości odpowiadające wartości wektora Poyntinga, otrzymuje się bryłę rozkładu strumienia energii promieniowanej przez antenę.

Taki rozkład strumienia energii jest właśnie charakterystyką kierunkowości anteny.

W charakterystyce promieniowania anteny wyróżnia się:

- wiązkę główną;
- wiązki boczne;
- wiązkę tylną

Przestrzenne charakterystyki kierunkowości są mało dogodne. Częściej stosuje się ich przekroje w odpowiednio dobranych płaszczyznach: XY, XZ .

Przekrój charakterystyki przedstawia się w postaci wykresu kierunkowości w układzie współrzędnych biegunowych lub prostokątnych. Na wykresach tych występują:

- listki główne;
- listki boczne;
- listki tylne;
- kąty zerowe (tj. wyznaczające kierunki zaniku promieniowania anteny);
- kąty listków bocznych.

Długość odcinka nachylonego pod kątem Θ odpowiada unormowanej wartości mocy promieniowanej pod tym kątem (P) w stosunku do kierunku, w którym jest promieniowana największa moc (P_{\max}) czyli ostatecznie - P/P_{\max}

Kąt zawarty między kierunkami promieniowania w wiązce głównej, dla których natężenie promieniowania maleje do połowy nazywamy szerokością wiązki głównej.

Czasami wykres kierunkowości opisuje się podając kąt między bliższymi kierunkami zerowymi $\alpha_0 = 2 \Theta_{0,1}$ lub spadkiem mocy do wartości $P/P_{\max} = 0,1$ (-10 dB) i wówczas oznacza się jego jako $\alpha_{0,1}$

Wykres kierunkowości można także przedstawić w postaci wykresu unormowanych natężeń pól elektrycznych E/E_{\max} (wartość w danym kierunku do maksymalnej).

Z zależności, że unormowana moc:

$$\frac{P}{P_{\max}} = \frac{E^2}{E_{\max}^2}$$

uzyskuje się wartość unormowanego pola elektrycznego:

$$\frac{E}{E_{\max}} = \sqrt{\frac{P}{P_{\max}}}$$

Szerokość wiązki głównej α określa się wartością względną:

$$P/P_{\max} = 0,5 \quad E/E_m = 0,707$$

Przy porównywaniu charakterystyk dwóch anten należy zwrócić uwagę na to w jakich jednostkach wykres jest przedstawiany, gdyż wykres kierunkowości w jednostkach natężenia pola E różni się kształtem od wykresu kierunkowości w jednostkach mocy zarówno we współrzędnych biegunowych, jak i prostokątnych.

Dokładniejszy wykres bocznych listków bocznych uzyskuje się przestawiając wykres kierunkowości w układzie współrzędnych prostokątnych w skali logarytmicznej.

W większości przypadków wykres kierunkowy jest symetryczny i w celu oszczędności miejsca przedstawia się jego jako jedną połowę.

Najczytelniejsze jest przedstawianie wykresu w zależności od unormowanego natężenia pola E/E_m .

Gdy wartość natężenia pola podaje się w dB, wtedy połowa mocy odpowiada poziomowi – 3 dB.

Charakterystykę promieniowania określa się w dwóch płaszczyznach:

- Równikowej – poziomej (prostopadłej do osi wibratora);
- Biegunowej – pionowej (przechodzącej przez oś długą wibratora).

Kartograficzna charakterystyka kierunkowości anteny wykonywana jest dla anten o bardzo złożonych charakterystykach, gdzie zamiast wykresów kierunkowości wykonuje się obrazy kartograficzne rozwinięcia powierzchni kuli, przez którą przenika fala elektromagnetyczna (uzupełniona informacją o polaryzacji i fazie fali).

Promieniowanie w wiązkach bocznych i tylnej uważa się za szkodliwe.

Poziom promieniowania listków bocznych F/S określa się zazwyczaj stosunkiem maksimum promieniowania w listku głównym E_{max} do maksymalnej wartości promieniowania największego listka bocznego $E_{b\ max}$:

$$F/S = E_{max} / E_{b\ max}$$

Podobnie określa się poziom promieniowania wiązki tylnej F/B jako stosunek E_{max} do promieniowania $E_{T\ max}$ wiązki tylnej:

$$F/B = E_{max} / E_{T\ max}$$

W antenach rzeczywistych (brak pełnej symetrii urządzenia) natężenie pola E w żadnym kierunku nie maleje do zera. Tłumienie anteny w kierunku zerowym określa się stosunkowo:

$$Z/F = E_0 / E_{max}$$

gdzie E_0 jest natężeniem pola w kierunku zerowym

Dobra antena pracująca w zakresie wojsk lądowych 20 – 87,5 MHz charakteryzuje się:

$$F/S > 30\ \text{dB}, \quad F/B > 20\ \text{dB}, \quad Z/F < -50\ \text{dB}$$

1.2. KIERUNKOWOŚĆ I ZYSK

Idealna antena promieniuje moc P we wszystkich kierunkach równomiernie. Taka hipotetyczna antena w odległości r wytwarza gęstość mocy (W/m^2) określoną wektorem Poytinga:

$$P_i = \frac{P_s}{4\pi r^2}$$

Liczebnik we wzorze to powierzchnia kuli o promieniu r otaczająca źródło promieniowania.

Inny istotny parametr, **współczynnik kierunkowy** pozwala scharakteryzować właściwości kierunkowe anteny, określając ile razy gęstość przestrzenna P w kierunku Θ wywołana przez antenę N jest większa od gęstości przestrzennej mocy anteny izotropowej przy tej samej mocy P_s obu anten. Zależność współczynnika kierunkowego D_Θ do kąta Θ opisywana jest wykresem kierunkowości:

$$D_{i\Theta} = \frac{P_{\Theta\Omega}}{P_{\Omega i}}$$

Przyjmując kierunek Θ zgodny z kierunkiem wiązki głównej, otrzymuje się największą wartość współczynnika kierunkowości określaną jako kierunkowość anteny lub zysk kierunkowy.

Dla innych kierunków Θ współczynnik kierunkowości $D_{i\Theta}$ jest mniejszy od D_i , a dla kątów Θ_0 maleje do zera.

Kierunkowość anteny D_i określa ile razy większą moc odbierze antena odbiorcza napromieniowana przez rzeczywistą antenę nadawczą w stosunku do mocy uzyskanej od napromieniowania anteną izotropową, przy założeniu nie występowania strat i stosowania jednakowej mocy P_s obu anten nadawczych (rzeczywistej i izotropowej).

W praktyce kierunkowość anteny określa się w dB:

$$d_i = 10 \lg D_i$$

W rzeczywistości jako antena odniesienia wykorzystywany jest dipol półfalowy, dla którego: $d_i = 2,15$ lub $D_i = 1,64$.

Znając kierunkowość anteny w stosunku do anteny izotropowej D_i można ustalić kierunkowość w stosunku do dipola półfalowego z zależności:

$$D = 0,61 D_i$$

oraz:

$$d = d_i - 2,15 \text{ dB}$$

Tab. 1.1. Kierunkowość podstawowych anten

Kierunkowość D_i i maksymalna apertura skuteczna A podstawowych anten

Typ anteny	Charakterystyka właściwości	D_i [W/W]	D [dB]	A
Izotropowa	Równomierne promieniowanie we wszystkich kierunkach	1,00	0	$0,08 \lambda^2$
Dipola Hertza	Krótki dipol z równomiernym rozkładem prądu na całej długości	1,5	1,76	$0,12 \lambda^2$
Dipol ćwierćfalowy	Dipol $\frac{1}{4} \lambda$ nad idealnym ekranem	3,28	5,15	$0,26 \lambda^2$
Dipol półfalowy	Rozkład prądu prawie sinusoidalny, zależny od smukłości	1,64	2,15	$0,13 \lambda^2$
Dipol całowalowy	Rozkład prądu zbliżony do sinusoidalnego, silnie zależny od smukłości i pojemności	2,40	3,81	$0,19 \lambda^2$
Dipol półfalowy	Dipol $\frac{1}{2} \lambda$ na wysokości $\frac{1}{2} \lambda$ nad idealnym ekranem	6,93	8,41	-

W literaturze operuje się wartością:

- amerykańskiej (USA) kierunkowości D_i ;
- europejskiej D odnoszącą się do dipola półfalowego.

Pamiętać należy więc o istotnej zależności: $D_i > D$ (i rewelacyjnych wynikach!)

Sprawnością anteny określanej jest stosunek mocy wypromieniowanej P_s do mocy doprowadzonej do zacisków anteny P_d :

$$\eta = \frac{P_s}{P_d}$$

Zysk energetyczny – G_i anteny nadawczej określa skuteczne zwiększanie gęstości mocy promieniowanej w porównaniu z bezstratną anteną izotropową:

$$G_i = \eta D_i$$

Zysk odnoszony jest najczęściej do dipola półfalowego:

$$G = 0,61 \eta D_i$$

1.3. REZYSTANCJA ANTENY

Promieniowanie energii przez dowolnie mały odcinek Δl anteny jest wywołane przepływającym przez niego prądem i różnym dla różnych Δl , a więc zależnym od położenia odcinka w antenie, natomiast przez zaciski A-A anteny płynie całkowity prąd zasilający I_A .

Dzieląc moc promieniowania P_s przez kwadrat tego prądu otrzymuje się impedancję promieniowania w punkcie A-A:

$$Z_{pA} = R_{pA} + jX_{pA} = \frac{P_s}{I_A^2}$$

Przyjęto określanie impedancji w odniesieniu do zacisków wejściowych anteny Z_{pA} , a w antenach uziemionych w odniesieniu do punktu uziemienia (Z_A).

W antenach rezonansowych impedancja promieniowania zwana charakterystyczną (Z_p) odnosi się do strzałki prądu (maksimum). Przy założeniu anteny nieskończenie cienkiej

$$Z_{pA} = \frac{Z_p}{\cos^2 kx}$$

występuje zależność:

gdzie:

Z_{pA} – impedancja promieniowania dipola sprowadzona do zacisków A

Z_p – impedancja promieniowania charakterystyczna

kx – odległość strzałki prądu od zacisków dipola A

Prąd płynący przez zaciski anteny wynosi:

$$I_A = I_s \cos kx$$

gdzie I_s – wartość prądu w strzałce

Zjawisko naskórkowości powoduje, iż płynący prąd I w antenie z materiału o pewnej konduktywności napotyka na pewną rezystancję przewodu. Powoduje to straty mocy P_{str} przekształcające się w ciepło:

$$P_{str} = I^2 R_s$$

gdzie:

I – całkowita prąd zasilania, lub prąd w punkcie odniesienia

R_s – zastępcza wartość rezystancji strat w antenie

Rezystancja strat zależy również od rozkładu prądu wzdłuż anteny. Wtedy rezystancja wejściowa wynosi (dotycząc również anteny odbiorczej):

$$R_A = R_p + R_s$$

Wykorzystując zależność:

$$Z_{pA} = R_{pA} + jX_{pA} = \frac{P_s}{I_A^2}$$

oraz:

$$\eta = \frac{P_s}{P_d}$$

Można uwzględnić również zależności dla anteny odbiorczej:

$$\eta = \frac{R_p}{R_A} = \frac{R_p}{R_p + R_s}$$

Oznacza to, iż anteny o dużej rezystancji promieniowania mają większą sprawność.

Dla źródła zasilania antena jest impedancją o wartości:

$$Z_A = R_A + jX_A$$

Interpretacja powyższej zależności są stwierdzenia, iż:

- jeśli antena znajduje się w rezonansie, stanowi ona rezystancję R_A ;
- przy zmianach częstotliwości lub długości anteny powoduje ona zmiany X_A przy niezmienniej rezystancji R_A

Typowe rezystancje wejściowe anten KF i UKF to smukłości $l/d = 70 - 10\ 000$:

- Dipol półfalowy: $60 - 75 \lambda$;
- Dipol całofalowy: $600 - 3\ 000 \lambda$;
- Dipol pętlowy: $250 - 300 \lambda$.

1.4. OKREŚLENIE DŁUGOŚCI SKUTECZNEJ l_{sk}

Długość skuteczna anteny (wyrażona w m) to stosunek siły elektromagnetycznej V (mV) wzbudzonej w antenie do natężenia pola w miejscu odbioru E (w mV/m).

Długość skuteczna anteny zależy od skutecznego zysku i rezystancji wejściowej anteny, tj.:

$$l_{sk} = \frac{V}{E}$$

$$l_{sk} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{G \frac{R_A}{73,1}}$$

gdzie G jest zyskiem anteny w danym kierunku przy uwzględnieniu wpływów otoczenia
Napięcie U_A na zaciskach anteny dopasowanej do odbiornika wynosi:

$$U_A = \frac{1}{2}V = \frac{I_{sk}}{2}E$$

Dla dipola półfalowego $R_A = 73,1 \Omega$ oraz $G = 1$ ($l_{sk} = \lambda/2$).

W sytuacji anten bardzo krótkich przyjmuje się za długość skuteczną jako połowę długości geometrycznej.

Długość skuteczna jest wielkością umowną i nie ma bezpośredniego związku z długością fizyczną anteny (wprowadzona została przy opisie średniofalowych anten w związku z wysokością skuteczną anteny).

W antenie rzeczywistej prąd I w różnych punktach anteny osiąga różne wartości, w strzałce posiadając wartość maksymalną I_m . Antena w głównym kierunku promieniowania wytwarza natężenie pola E . To samo natężenie pola wywołuje antena elementarna o długości l_{sk} , w której prąd na całej długości anteny jest taki sam i równy I_m .

W dipolu półfalowym w pasmach UKF indukuje się znacznie mniejsza siła elektromagnetyczna, niż na falach KF (przy założeniu, że natężenie pola jest takie same). Wymaga to większych wzmocnień sygnału i rozbudowania systemu antenowego w celu uzyskania większego zysku G , np. w paśmie 30 MHz dipol półfalowy ($G= 1$) posiada wysokość skuteczną $l_{sk} = 3,18$ m; natomiast dla 150 MHz dla tej samej wartości $l_{sk} = 3,18$ m, musi mieć zysk ok. 14 dB co odpowiada antenie L-yagi o długości 6 m.

1.5. POWIERZCHNIA SKUTECZNA ANTENY

Z energetyką anteny nadawczej związany jest jej zysk energetyczny G . W punkcie odbioru w odległości r gęstość mocy (wektor Poyntinga) wynosi:

$$P = G \cdot P_1 = \frac{GP_s}{4\pi r^2}$$

Moc przechwycona przez antenę odbiorczą zależy od jej powierzchni zwanej aperturą. Stosunek mocy dostarczonej do odbiornika P_0 do gęstości mocy P określonej wzorem:

$$A_{sk} = \frac{P_0}{P}$$

nazywa się aperturą skuteczną A_{sk}

Przyjmując antenę bez strat tj. $R_s = 0$ oraz $R_A = R_p + R_s$ uzyskać można $R_A = R_{pr}$ i przy pełnym dopasowaniu tj. $R_0 = R_{pr}$ uzyskuje się maksymalną wartość apertury skutecznej A_{skm} :

$$A_{skm} = \frac{V^2}{4PR_{pr}} = \frac{I_A^2 R_0}{P}$$

Rzeczywista antena w wyniku strat i niedopasowania posiada aperturę skuteczną $A_{sk} < A_{skm}$, dlatego wprowadzono współczynnik wykorzystania apertury. Współczynnik wykorzystania apertury anteny wynosi:

$$\alpha_s = \frac{A_{sk}}{A_{skm}}$$

W dobrych antenach rzeczywistych $\alpha_s = 0,7 - 0,8$, a w antenach zwartych $R_0 = 0$ oraz $\alpha_s = 0$, gdyż $A_{sk} = 0$ (w idealnej antenie $\alpha_s = 1$).

Zgodnie z zasadą Huyghensa prąd I_A płynący w antenie o rezystancji promieniowania R_{pr} jest źródłem nowej fali elektromagnetycznej wtórnie wypromieniowanej (rozproszonej) o mocy:

$$P_{pr} = I_A^2 R_{pr}$$

Stosunek mocy rozproszonej P_{pr} do gęstości mocy P określany jest aperturą rozproszenia A_{pr} i definiowany jest ze wzoru:

$$A_{pr} = \frac{P_{pr}}{P} = \frac{V^2 R_{pr}}{(R_A + R_0)^2 + (X_A + X_0)^2}$$

Przy pełnym dopasowaniu anteny do obciążenia w antenie bezstratnej: $R_0 = R_{pr}$ oraz $A_{pr} = A_{skm}$

Przy nie dopasowaniu wskaźnik rozproszenia α_{pr} określany zależnością $\alpha_{pr} = A_{pr}/A_{sk}$ jest różny od jedności.

W antenach aperturowych (gdzie występuje łatwo wyróżniająca się powierzchnia-apertura, w obrębie której następuje przekazywanie energii między linią zasilającą a nieograniczoną przestrzenią propagacji – wymiary obramowania apertury są znacznie większe od długości fali) stosuje się pojęcie apertury fizycznej A_f , będącej fizycznym przekrojem anteny (otwarcie reflektora parabolicznego) wyrażonym w m^2 lub λ^2 . Wskaźnik absorpcji anteny określa się:

$$\alpha_a = \frac{A_{skm}}{A_f}$$

Może przyjmować on wartości większe i mniejsze od jedności

W antenach z falą bieżącą i liniowych apertura skuteczna jest wielkością realną (mimo, że apertura fizyczna traci swój sens) i wynosi:

$$A_{skm} = \frac{\lambda^2 D_i}{4\pi}$$

Jest to związek między aperturą anteny A_{skm} używanej jako odbiorcza, a zyskiem kierunkowym D_i anteny stosowanej jako nadawcza.

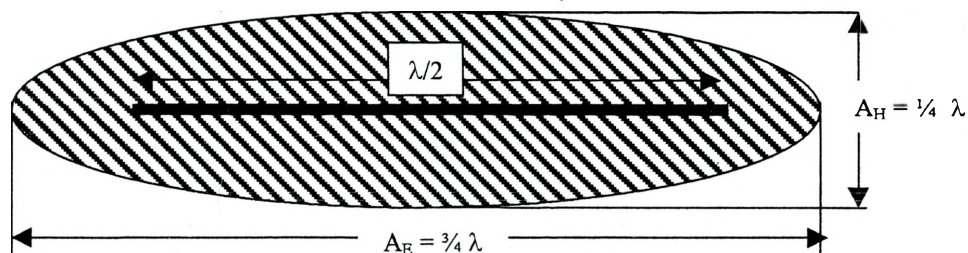
Antena odbiorcza, na którą pada fala elektromagnetyczna, pozostawia za sobą cień, który jest osłabieniem pola za anteną. Granica takiego cienia nie jest jednoznacznie określana.

Dla dipola półfalowego apertura posiada kształt elipsy o wymiarach $A_E = \frac{3}{4} \lambda$ i $A_H = \frac{1}{4} \lambda$. Dla anten strumieniowych wzdłużkierunkowych, jak np. L-Yagi o szerokości wiązki głównej α_E i α_H wymiary apertury wynoszą:

$$A_E = 2 \sqrt{\frac{A_{skm} \cdot \alpha_E^0}{\pi \alpha_H^0}}$$

$$A_H = 2 \sqrt{\frac{A_{skm} \cdot \alpha_H^0}{\pi \alpha_E^0}}$$

gdzie: A_E i A_H otrzymuje się w długościach fali przy czym należy przyjąć A_{skm} w λ^2 , natomiast α_E^0 oraz α_H^0 w stopniach.



Rys. 1.1. Powierzchnia oddziaływania dipola półfalowego – apertura anteny

Przy składaniu dwóch anten obok siebie lub nad sobą należy dążyć do tego, aby pola apertur były do siebie styczne. Przy zachodzeniu apertur na siebie zysk układu anten maleje.

W układach antenowych poprzecznokierunkowych, np. ściana dipoli, aperturę anteny określa się z zależności:

$$A_E = \sqrt{\frac{A_{skm} \cdot \alpha_E^0}{\alpha_H^0}}$$

$$A_H = \sqrt{\frac{A_{skm} \cdot \alpha_H^0}{\alpha_E^0}}$$

Z porównania ze wzorami dla anten strumieniowych wzdłużkierunkowych wynika, że wymiary elipsy są o około 12 % mniejsze niż dla anten wzdłużkierunkowych.

wzajemnie na tych antenach na tym samym poziomie (w praktyce występują odstępstwa od zasady z powodu niejednorodności ośrodka)

2. Charakterystyki kierunkowe anten i rezystancja promieniowania nie zależą od tego, czy antena jest badana jako nadawcza, czy jako odbiorcza
3. Sposób obciążenia anteny nie wpływa na jej charakterystykę kierunkową, nie zależy więc ona od tego, czy obciążenie jest dopasowane, czy nie. Pozwala to obserwować zmianę charakterystyki promieniowania w czasie modelowania anteny, bez potrzeby ciągłego dopasowywania obciążenia.

1.8. CHARAKTERYSTYKA KIERUNKOWOŚCI

Wykresy kierunkowości w płaszczyźnie równikowej H pojedynczych dipoli są okręgami. Dla wyznaczenia charakterystyki promieniowania wystarczy więc podać wykres kierunkowości w płaszczyźnie biegunowej E.

Wibrator posiada różną długość, różne zasilanie (symetrycznie i asymetrycznie).

Jeśli wzdłuż wibratora odkłada się pełna liczba półfal, wibrator taki nazywamy anteną harmoniczną, gdzie długość anteny harmoniczej wynosi:

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

gdzie – n – numer harmoniczej

Różne punkty wibratora posiadają różne odległości r_1, r_2 , a płynące w tych punktach prądy mają różne fazy. Oddziaływanie tych punktów sprowadza się do oddziaływania tzw. środka fazowego N odległego o r od punktu 0.

Analizując wykresy kierunkowości wibratorów harmoniczych, uwzględniając długość wibratora w wartościach λ , można dojść do wniosku, iż charakterystyka będzie jako:

- Dla λ - czterolistkowa, dwulistkowa
- Dla $\frac{1}{2} \lambda$ - dwie pętle symetryczne na osi prostopadłej do osi anteny
- Dla 3λ - cztery listki główne i dwa słabsze prostopadle do osi anteny
- Dla 2λ - cztery listki główne
- Dla $1,25 \lambda$ - dwa listki główne prostopadle do osi anteny i cztery mniejsze obejmujące os anteny
- Dla 4λ - cztery płaskie listki i kilka mniejszych przy osi anteny
- Dla 5λ - cztery płaskie listki i kilka jeszcze bardziej ukierunkowanych przy osi anteny

1.6. WSKAŹNIK PRZENIESIENIA MOCY

Wskaźnik przeniesienia mocy jest przykładem zastosowania pojęcia apertury. Jest on zwany również tłumieniem całkowitym trasy:

$$\delta = \frac{P_A}{P_S} = \frac{A_{skN} \cdot A_{skO}}{\lambda^2 \cdot r^2}$$

gdzie:

P_A – moc odebrana przez antenę o aperturze skutecznej A_{skO} w m^2

P_S – moc wypromieniowana przez antenę nadawczą o aperturze A_{skN} w m^2

r – odległość w m

λ - długość fali w m

Korzystając z powyższego wskaźnika zakłada się, iż anteny są bezstratne ($R_S = 0$) oraz, że są umieszczone w wolnej przestrzeni optymalnie, a ich odległość r spełnia warunek:

$$r \geq \frac{2d^2}{\lambda}$$

gdzie:

d - największy wymiar liniowy każdej z anten w m,

r – odległość między antenami

Jeśli propagacja odbywa się nad powierzchnią ziemi, w wyniku odbicia części promieniowania od ziemi, pojawiają się interferencje powodujące zmianę wskaźnika przeniesienia od 0 do 4-krotnej wartości wyliczonej w powyższym wzorze (dla δ).

1.7. ZASADA WZAJEMNOŚCI

Jeśli do zacisków wejściowych anteny A doprowadzona zostanie siła elektromotoryczna V , która wywoła w antenie B przepływ przez zaciski prądu I_B , to po doprowadzeniu tej samej siły elektromagnetycznej V do zacisków anteny B popłynie w antenie A prąd I_A taki sam pod względem amplitudy i fazy jak poprzednio w antenie B.

Zasada jest słuszna dla całej anteny jak i dla każdego jej odcinka pod warunkiem propagacji w ośrodku izotropowym, pasywnym i liniowym oraz nie zależy od odległości między antenami.

Konsekwencje tej zasady:

1. Dla dowolnych dwóch anten A i B wskaźnik przeniesienia mocy nie zależy od tego, która z dwóch anten A lub B jest anteną nadawczą, która odbiorczą. Obaj korespondenci dysponują tą samą mocą doprowadzoną z nadajników do anten będą się komunikowali

Powiększenie długości wibratora prowadzi do wzrost długości listków bocznych kosztem listka głównego. Przy $l = 2 \lambda$ zanika listek główny ($\Theta = 90^\circ$), listki boczne natomiast osiągają maksimum pod kątem $\Theta = 54^\circ$.

Przy rosnącej długości wibratora rośnie liczba listków bocznych. Na jednej połowce wykresu kierunkowości liczba listków bocznych równa się liczbie fal odłożonych na całej długości dipola. Dla dipola 3λ całkowita liczba listków wynosi $2 \times 3 = 6$, a dla dipola 5λ jest to 10 listków bocznych.

Przy parzystej liczbie fal $2 \lambda, 4 \lambda$ natężenie pola w płaszczyźnie równikowej $\Theta = 90^\circ$ maleje do zera.

W przypadku wibratora z niesymetrycznym zasilaniem lub dipoli nie rozciętych, pobudzonych w inny sposób, rozkład prądu jest taki, jak dla $l = \lambda$. Jest on identyczny z rozkładem dla wibratora symetrycznego $l = 2 \lambda$. Charakterystyki obu wibratorów są identyczne.

Wibratorom niesymetrycznym mającym długości $\lambda, 3\lambda, 5\lambda$ itd. odpowiadają charakterystyki wibratorów symetrycznych $2\lambda, 6\lambda, 10\lambda$ itd.

1.9. WPLYW EKRANU NA POLA WIBRATORA

Dla większości anten można wpływ ziemi pominąć (szczególnie dla tych zawieszonych nisko nad ziemią).

Oddziaływanie ziemi jest wynikiem płynących w niej prądów indukowanych przez antenę. Rozkład tych prądów zależy od rodzaju anteny, wysokości jej zawieszenia, częstotliwości oraz parametrów elektrycznych ziemi. Jednak dokładna analiza takiego wpływu jest złożona.

Najczęściej problem upraszcza się, analizując owe zjawiska dla idealnego ekranu – ziemi płaskiej, nieograniczonej i doskonale przewodzącej. Pole w dipolu półfalowym nad takim ekranem w punkcie P będzie sumą dwóch fal – bezpośredniej i odbitej od powierzchni ziemi.

Z właściwości doskonale przewodzącego ekranu płaskiego wynika, że na granicy ośrodków (warunek brzegowy) składowa styczna pola elektromagnetycznego musi być równa 0. Oznacza to, że fala odbita musi mieć fazę odwróconą o 180° w punkcie odbicia. Wpływ ziemi można zastąpić zwierciadlanym odbiciem anteny z prądem przesuniętym o 180° w stosunku do prądu w antenie.

Układy anten nad idealną ziemią (ekranem) może być więc rozpatrywany jako układ dwóch dipoli w odległości $2h$ zasilanych w przeciwfazie. Dipol ustawiony ukośnie nad ziemią ma obraz także ukośny względem powierzchni ziemi.

Dla analizy układu dipola wystarczy uwzględnić jego poziome i pionowe położenie.

1.9.1. DIPOL POZIOMY

Układ poziomego wibratora nad ekranem posiada następujące właściwości:

- Układ promieniuje falę biejącą kulistą ze środkiem fazowym w pkt. A_0 położonym w połowie odległości wibratora od jego lustrzanego odbicia;
- W każdym pkt. O odległym o r od środka fazowego A_0 faza jest stała, tj. nie zależy od współrzędnych;
- Amplituda natężenia pola wypadkowego E_m jest odwrotnie proporcjonalna do odległości r ;
- Amplituda pola wypadkowego E_{mw} określona jest wzorem:

$$E_{mw} = E_m \cdot f_r(\delta) = E_m \cdot 2 \sin(k \cdot h \cdot \sin \delta)$$

Jest ona iloczynem amplitudy pola wibratora E_m w wolnej przestrzeni i funkcji interferencji $f_r(\delta)$, gdzie kąt δ jest dopełnieniem do kąta Θ i jest nazywany kątem nachylenia promienia (kąt miejsca odbicia);

- Wypadkowe natężenie pola w płaszczyźnie ekranu jest równe zero niezależnie od h ;
- Przy założeniu odbicia od powierzchni idealnie przewodzącej, amplituda fali padającej E_{m1} i dobitej E_{m2} są sobie równe, a ponadto w kierunkach, gdzie te fale są synfazowe, amplituda wypadkowa $E_m = 2 \times E_{m1}$, a gdzie przeciwfazowe $E_m = 0$;
- Charakterystyka kierunkowości przedstawia się za pomocą wykresu kierunkowości w dwóch przekrojach: poziomym i pionowym. Przekrój biegunowy (w płaszczyźnie równoległej do ekranu) jest zbędny, gdyż natężenie pola w tej płaszczyźnie równa się zero. Z tego też powodu wykresy kierunkowości wykreśla się w płaszczyźnie przechodzącej przez maksimum pierwszego listka głównego.

Analiza poszczególnych wykresów kierunkowości wibratora poziomego znajdującego się na różnych wysokościach h nad doskonale przewodzącym ekranem prowadzi do następujących wniosków:

- Przy wzroście wysokości wibratora nad ekranem od $h = 0$ do $h = \frac{3}{4} \lambda$ charakterystyka staje się coraz bardziej płaska, a listek główny nachyla się ku ekranowi;
- Przy $h = \frac{3}{8} \lambda$ listek główny jest nachylony pod kątem $\delta_m = 40^\circ$;
- Przy $h = \frac{1}{2} \lambda$ listek główny jest nachylony $\delta_m = 30^\circ$ i pojawia się kąt $\delta_0 = 90^\circ$;

- Przy dalszym podnoszeniu wibratora $h = 5/8 \lambda$ pojawia się listek pionowy, przy czym $\delta_m = 25^\circ$, $\delta_0 = 50^\circ$;
- Przy $h = 3/4 \lambda$ pionowy listek uzyskuje pełną wartość $2E_{m1}$;
- Dalsze podnoszenie wibratora powoduje rozdwojenie listka pionowego, listki główne natomiast jeszcze bardziej zbliżają się do ekranu;
- Przy dalszym podnoszeniu wibratora pojawiają się nowe listki.

Ziemia nie jest idealnym ekranem. Cechują ją określona konduktywność σ oraz przenikalność elektryczna ϵ .

Fala odbita posiada $E_{m2} < E_{m1}$ i w związku z tym w listkach (δ_m) E_m nie osiąga podwójnej amplitudy E_{m1} , a w kierunkach zerowych (δ_0) $E_m > 0$.

Tłumienie odbicia fali od ziemi zależy od kąta padania δ . Mniejsze tłumienie posiadają listki o małym wznoszeniu δ , gdyż przy małym kącie padania δ tłumienie odbicia dla fali spolaryzowanej poziomo jest mniejsze.

1.9.2. DIPOL PIONOWY

Jest to przypadek, gdy oś wzdłużna wibratora jest prostopadła do ekranu. Posiada on następujące właściwości:

- Spełnione są pierwsze trzy właściwości jak dla wibratora poziomego;
- W wyniku zgodności faz prądu w wibratorze i lustrzanym odbiciu maksimum promieniowania występuje wzdłuż płaszczyzny ekranu;
- Wykres kierunkowości w płaszczyźnie poziomej jest kołem. W płaszczyźnie pionowej (biegunowej) występują listki lecz o różnych rozmiarach;
- Podnoszenie wibratora pionowego nad ekranem zwiększa liczbę listków bocznych;
- Amplituda natężenia pola wypadkowego E_{mw} jest iloczynem amplitudy pola wibratora E_m w wolnej przestrzeni i współczynnika interferencji;
- Tłumienie odbicia fali spolaryzowanej pionowo jest znaczne i zależy w dużym stopniu od σ oraz ϵ_r gruntu i rośnie przy małych δ . Z tych powodów fala przyziemna jest silnie osłabiona. Pierwsze maksimum jest mniejsze, niż w przypadku ekranu idealnego i jest nachylone pod kątem δ_m zależnym od σ i ϵ_r ziemi;

Pionowy dipol półfalowy jest rzadko w praktyce stosowany. Częściej spotykane są dipole jednostronnie uziemione (ground-plain), o długościach $l = 1/8 \lambda$ do $l = 2 \lambda$.

Anteny takie wymagają stosowania rozbudowanego układu uziemienia.

1.10. ROZKŁAD PRĄDU I IMPEDANCJA W ANTENIE DIPOŁOWEJ

Rozkład prądu i napięcia wzdłuż dipola zależy przede wszystkim od jego długości oraz od sposobu wzbudzenia.

W dipolach nieskończenie cienkich warunki brzegowe wymagają prądu na końcach zewnętrznych równego zero (otrzymuje się rozkład prądu i napięcia sinusoidalny).

W dipolach rzeczywistych, gdy stosunek długości do średnicy $l/d > 60$, można przyjmować, że rozkład jest także sinusoidalny.

Przy dużych średnicach przewodów, gdy $l/d < 60$, co jest charakterystyczne dla pasm UKF – a szczególnie mikrofal, nie można przyjmować, że na końcu dipola prąd jest równy zero, gdyż prąd płynie dalej po powierzchni przekroju wibratora (rozkład prądu zbliżony do sinusoidy i przesunięty w fazie). Takie zjawisko określa się jako wpływ pojemności końcowej. Czasami specjalnie zwiększa się pojemność końcową, w celu uzyskania większych wartości prądu w części promieniującej.

Zwiększanie pojemności końcowej wywołane jest na falach UKF zbliżeniem do masztów, co zmienia częstotliwość rezonansową dipola.

W dipolu półfalowym rezystancja wejściowa $R_A = R_{pr} + R_s$ jest równa rezystancji promieniowania $R_A = R_{pr}$ (przy pominięciu $R_s = 0$). Rezystancja wówczas wynosi:

$$Z_{pr} = R_{pr} + jX_{pr} = 73,13 + j \cdot 42,54$$

Sugeruje to, iż dipol o długości fizycznej $l = \frac{1}{2} \lambda$ nie znajduje się w rezonansie, gdyż jest on za długi. Dlatego, aby dipol ten doprowadzić do rezonansu należy go nieco skrócić, by skompensować $X = j \times 42,54$.

Odcinek, o który należy skrócić dipol, zależy od średnicy dipola d , od stosunku długości fali λ do średnicy d . Stosunek λ/d nazywany jest smukłością dipola. Skrócenie dipola powoduje zmniejszenie jego rezystancji promieniowania R_{pr} . Zależność R_{pr} od smukłości dla dipola półfalowego można odczytać z wykresów.

Rezonansową długość fizyczną dipola l , uzyskuje się:

$$L_r = k \times \frac{1}{2} \lambda$$

Istnieje kilka sposobów obliczania współczynnika k i dlatego otrzymuje się różne wyniki. Współczynnik ten jest różny dla dipoli cylindrycznych, stożkowych i o skokowo zmiennym przekroju.

1.11. SZEROKOŚĆ PASMA ANTENY - DIPOL SZEROKOPASMOWY

Dipol półfalowy w pobliżu częstotliwości rezonansowej zachowuje się jak szeregowy obwód rezonansowy. Przy zmianie częstotliwości ulegają jednocześnie zmianie impedancja wejściowa, charakterystyka promieniowania i zysk anteny.

Szerokość pasma obwodu rezonansowego określa się częstotliwościami granicznymi, przy których napięcie w obwodzie maleje o 3 dB (zmniejszenie zysku anteny o 3 dB).

Największy wpływ na dopasowanie anteny mają właściwości pasmowe wibratora.

Oznaczając przez Q dobroć anteny (jako obwód) a przez s dopuszczalny współczynnik fali stojącej, szerokość pasma dipola półfalowego B wyraża się wzorem:

$$B = \frac{s-1}{\sqrt{s}} \cdot \frac{f_r}{Q}$$

Przyjmując dopuszczalną wartość $s = 2,0$ otrzymuje się:

$$B = 0,71 \frac{f_r}{Q}$$

Dobroć Q dipola i pasmowości $b = B/f_r$ zależy od jego smukłości.

2. PRZYKŁADY ROZWIĄZAŃ ANTEN

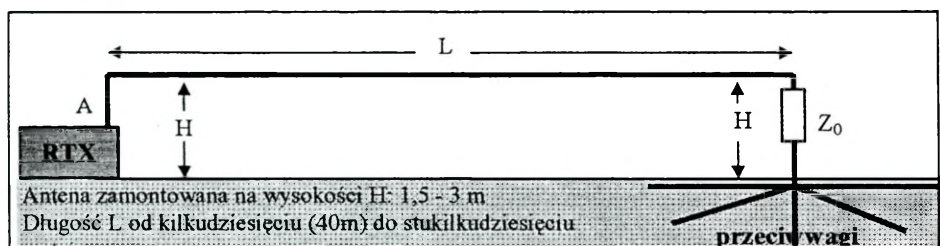
2.1. ANTENA FALI BIEŻĄCEJ

Jest to najprostszy typ anteny składającej się z linki o długości od $\lambda/2$ do 10λ . Stosowana jest ona do pracy na kilku podzakresach o znacznie różniących się częstotliwościach.

Antena tego typu szczególnie jest przydatna do pracy na fali przyziemnej KF i UKF. Ten rodzaj anteny jest stosowany przez stacje profesjonalne - przenośne i przewoźne do pracy na odległość kilkudziesięciu na UKF i do kilkuset kilometrów na KF.

Występuje ona w dwóch podstawowych układach - długiego i skośnego promienia.

a) Antena „długi promień”(promieniowa)

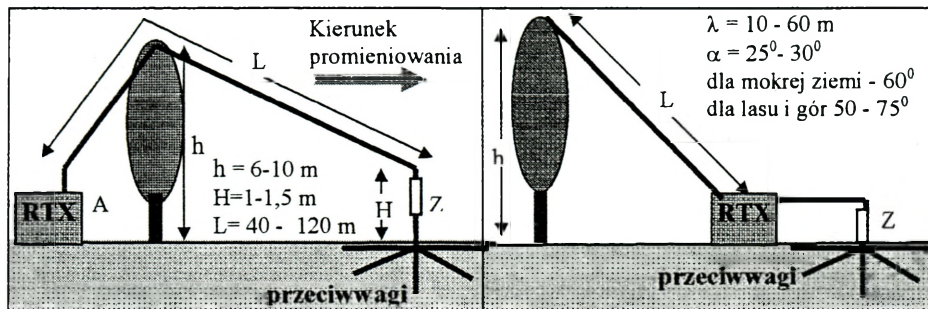


Rys. 2.1. Antena „długi promień” - zamontowana wzdłuż powierzchni ziemi

Antena typu równoległego stosowana jest tam, gdzie nie ma innych możliwości rozwinięcia anteny oraz, gdy nie jest wskazane zbytne wystawianie jej na duże wysokości. Jest więc ona bardzo wygodną w rozwinięciu i do pracy w ukryciu. W zakresie KF przydatna jest do łączności na fali przyziemnej, a więc w zakresie najmniejszych i największych częstotliwości (1 - 5 MHz i 16 - 40 MHz). Jest ona zawieszana na niskich wspornikach o wysokości 1 - 1,5 m lub krzewach i drzewach. Jeden koniec jest bezpośrednio podłączony do wyjścia radiostacji, drugi do rezystora z przeciwwagami. Przeciwwagi są rozłożone promieniście na przedłużeniu linii anteny.

Omawiana antena zapewnia, przy mocy wyjściowej nadajnika rzędu 1 wata, łączność na fali powierzchniowej na odległość kilku kilometrów na UKF i kilkudziesięciu kilometrów na KF.

b) Antena „skośny promień”



Rys. 2.2. Antena typu: a) „promieniowa” b) „skośny promień”

Antena typu ukośnego, zwana również „skośnym promieniem”, jest zainstalowana tak, żeby bliższa radiostacji część omawianej konstrukcji był podniesiona na wysokość kilku metrów (5 - 10 metrów). To czyni antenę bardzo prostą w budowie i łatwą w rozwinięciu, ponieważ wymaga tylko jednego niewysokiego drzewa lub prowizorycznie wykonanego masztu. Antena świetnie nadaje się do pracy terenowej w zakresach niskich i najwyższych częstotliwości KF. Zapewnia ona o połowę większy zasięg na fali przyziemnej niż antena równoległa. Przy mocy nadajnika rzędu 1 wata pozwala na łączności na odległość kilkunastu kilometrów na UKF i kilkudziesięciu na KF.

Antena promieniuje przede wszystkim w kierunku przeciwwagi. Najlepiej do pracy terenowej wykonać przeciwwagi w postaci pęku promieniście rozłożonych przewodów o długości 1,5 - 3 metrów. Są one połączone z linką anteny poprzez rezystor Z.

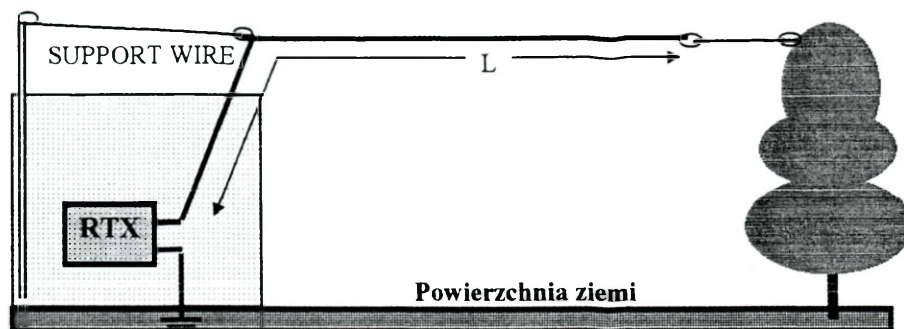
Antena najlepiej spisuje się w pracy w zakresie 1 - 7,5 MHz oraz 18 - 50 MHz. Pracuje ona również na fali jonosferycznej.

Na pracę anteny ma duży wpływ :

- wilgotność, skład i budowa gleby (przy mokrej glebie zauważa się wyraźne pogorszenie parametrów anteny);
- długość anteny (40 - 120 metrów),
- wartość rezystora końcowego anteny (równa impedancji anteny).

Charakterystyka promieniowania anteny jest kierunkowa. Stwierdzono, że czym dłuższa jest antena fali bieżącej, tym większa jest jej kierunkowość. W ukośnej antenie fali bieżącej wiązka promieniowania jest uniesiona lekko nad ziemią.

2.2. ANTENA TYPU „L”



Rys. 2.3. Przykład zamontowania (zawieszenia) anteny typu „L”

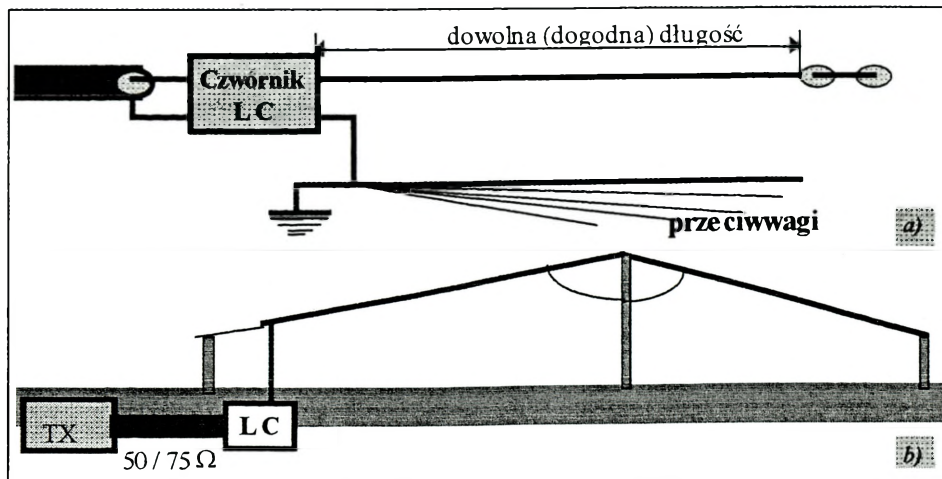
Jest to prosty typ anteny złożonej z linki antenowej oraz dwóch izolatorów do podwieszenia anteny. Za długość anteny uważa się cały odcinek przewodu od zacisków (wyjścia) z nadajnika do drugiego (końcowego) izolatora. Jest to więc antena bez specjalnego doprowadzenia, gdyż jest bezpośrednio podłączana do gniazda antenowego. Całkowita długość anteny najczęściej jest tak dobierana, aby dla najmniejszych częstotliwości pracy stanowiła $1/2 \lambda$, a dla pozostałych, wyższych częstotliwości, wielokrotną część długości stosowanej fali (np. $1/4 \lambda$, $1/8 \lambda$ itd.).

Z powodu bezpośredniego podłączenia anteny typu „L” do nadajnika występuje duża ilość przedostających się do niej z nadajnika częstotliwości harmonicznych, które z kolei są emitowane w eter.

W omawianej konstrukcji istnieje możliwość powstawania strzałki napięcia w.c.z. w miejscu podłączenia anteny do nadajnika, co z kolei jest powodem przenoszenia się zakłóceń do sieci zasilającej nadajnik. Jest to więc istotne źródło zakłóceń innych odbiorników zasilanych z tej sieci. Antena tego typu okazuje się być zupełnie nieprzydatna do odbioru na odbiornikach reakcyjnych (duży poziom wypromieniowanych przez tę antenę zakłóceń z generatora odbiornika !). Jest ona źródłem zakłóceń typu TVI oraz BCI.

Istotnymi zaletami tej anteny jest prostota budowy, wygoda użytkowania i dobre parametry. Antena typu „L” posiada niezbyt krytyczne warunki zainstalowania (w tym przypadku występuje wygodna współzależność wysokości zawieszenia i długości anteny).

2.3. ANTENA LONGWIRE /LW/



Rys. 2.4. Antena LW: a) schemat konstrukcji; b) przykład zamocowania wariantu anteny

Jest to pewnego rodzaju odmiana anteny typu „L” i „Fuscha”.

Charakteryzuje się ona tym, że może posiadać dowolną długość promieniującą. Jest ona zasilana linią doprowadzającą (koncentryczną - 75 lub 50 Ω) poprzez czwórnik LC.

W konstrukcji tej stosuje się bardzo istotne przeciwwagi.

Tego typu antena pracuje na dowolnej częstotliwości zakresu średniofalowego i krótkofalowego przy zastosowaniu tej samej długości własnej, ale przełączanych w zależności od pasma (podzakresu) elementach: L, C. Zależna od częstotliwości jest tylko długość przeciwwag.

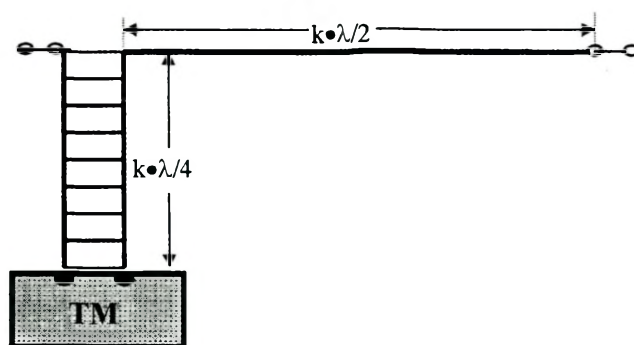
W antenie powinny znajdować się przynajmniej dwie przeciwwagi: jedna pod anteną, a druga po drugiej stronie zasilania. Jeśli zasilanie jest prowadzone na powierzchni ziemi lub pod nią, to może ono pełnić rolę drugiej przeciwwagi. W praktyce przeciwwagą może być linka lub drut poprowadzony nad powierzchnią ziemi, na niej lub kilkanaście cm w ziemi. Przeciwwagą może być, szczególnie w warunkach miejskich, przewód podłączony do sieci wodociągowej. Należy pamiętać o tym, że znaczna kierunkowość anteny występuje wzdłuż jej przewodu przy długości $L > 2 \lambda$. Wysokość zawieszenia anteny ma również wpływ na jej pracę, a dokładniej na kąt pod jakim promieniuje. Przy wysokości zawieszenia $h = 2 \lambda$ kąt ten wynosi 10° , a przy $h = \lambda/2$ około 35° . Należy jednak pamiętać o tym, że wraz ze zwiększeniem długości anteny rośnie jej oporność promieniowania. Dopasowanie linii o impedancji standardowej 50 lub 75 Ω do anteny realizowane jest poprzez czwórnik. Dopasowuje on impedancję anteny, jeżeli jest ona znacznie większa od wartości jaką posiada doprowadzenie. Antenę tę, ze względu na generowane zakłócenia, należy stosować w terenie niezabudowanym.

Tego typu antena używana jest przez stacje radiokomunikacyjne do łączności na średnie odległości.

Do wad tej anteny należą znaczne straty wypromieniowanej energii na dodatkowe, liczne listki boczne nie pokrywające się z głównym kierunkiem promieniowania, szczególnie przy mniejszych długościach anteny ($L < 2 \lambda$). Wynika z tego konieczność stosowania długich anten dla otrzymania znacznych zysków (małych strat). Kłopotliwe jest również stosowanie dodatkowych elementów, takich jak przeciwwagi.

Zaletami anten typu LW na pewno są: prostota i niski koszt budowy oraz kilka wariantów montowania w zależności od okoliczności terenowych.

2.4. ANTENA ZEPPELIN



Rys. 2.5. Przykład anteny Zeppelin jednoramiennej (pojedynczej)

W celu eliminacji szkodliwego promieniowania przewodu doprowadzającego energię z nadajnika do anteny stosuje się drugi, równoległy przewód z prądem o przeciwnej fazie, kompensujący pole wytwarzane przez przewód doprowadzający. **W taki sposób powstaje antena typu Zeppelin.**

Długość tej anteny równa się długości fali pracy lub jej parzystym częściom. Pracuje ona na kilku podzakresach będących wielokrotnościami „najniższego” pasma. Antena posiada dużą impedancję wejściową rzędu kilku tysięcy Ω , która zależy od jej apertury.

Zasilanie tej konstrukcji odbywa się za pomocą linii symetrycznej o impedancji dziesięciokrotnie mniejszej niż impedancja samej anteny - około 600 Ω . Linia symetryczna jest o długości $\lambda/4$ lub $3/4 \lambda$ i spełnia rolę transformatora obniżając impedancję z 600 Ω znów około dziesięciokrotnie do wartości 50 - 75 Ω . Tak więc, do drugiego końca linii symetrycznej można podłączyć już przewód koncentryczny. Długość linii symetrycznej jest ograniczona do 12,5 - 13,5 m dla fal z podzakresu 1,5 - 15 MHz z powodu powstających dodatkowych częstotliwości harmonicznych wynikających z przypadkowych długości tej linii.

Zamiast rozbudowanej „drabiny symetrycznej” można stosować zwykły przewód symetryczny TV z zastrzeżeniem stosowania małych mocy nadajnika i zmniejszenia długości tej linii symetrycznej do 11,5 - 12 metrów (dla linii o impedancji 240 - 300 Ω długość jej wynosi 11,9 m).

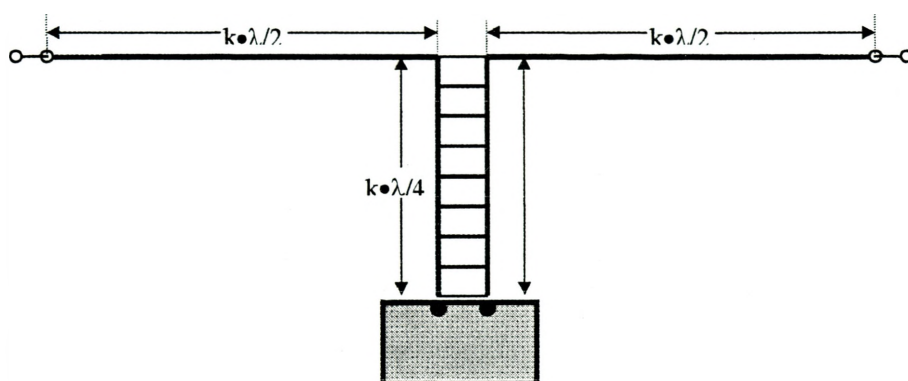
Anteny tego typu miały zastosowanie jako jedne z pierwszych anten komunikacyjnych na falach średnich i krótkich.

Do licznych wad tej anteny przyczyniało się to że:

- w obszarze na przedłużeniu anteny, z drugiej strony zasilania, jest wytwarzane pole będące jakby lustrzanym odbiciem pola promieniującego dipola. Jest to obszar bardzo niekorzystny powodujący zakłócenia odbioru typu BCI i TVI oraz zniekształcenie pola promieniowania anteny;
- posiada ona skłonność do wypromieniowania niepożądanych produktów (częstotliwości) nadajnika spoza podzakresów jego pracy,
- w celu eliminacji tych niekorzystnych zjawisk zazwyczaj potrzebne są rozbudowane układy symetryzująco - dopasowujące (USD - tzw. „skrzynki antenowe”)
- promieniuje ona dodatkowe wartości harmoniczne przez odcinki długości linii zasilającej;
- występują zbyt krytyczne wymiary doprowadzeń - nie zawsze możliwe do zrealizowania „w terenie”.

Do zalet tej anteny należy stosunkowo prosta budowa i uniwersalność zastosowania konstrukcji.

2.5. ANTENA DOUBLET /PODWÓJNY ZEPPELIN/



Rys. 2.6. Anteny podwójny Zeppelin:

Jest to antena, która powstała ze złożenia dwóch anten typu Zeppelin. Złożenie takie powoduje to, że istotna wada pojedynczej anteny Zeppelin - **promieniowanie szkodliwego pola lustrzanego** - zostaje usunięta. Konstrukcja taka dobrze pracuje w szerokim zakresie częstotliwości, oczywiście z nieodzowną „skrzynką antenową” czyli z ang. „transmatchem”.

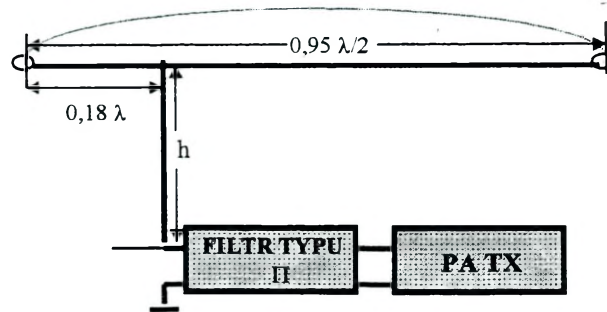
Anteny te miały liczne zastosowania jako jedne z pierwszych anten komunikacyjnych.

Do dziś z powodzeniem pracują one, mając zastosowanie przez niestacjonarne stacje profesjonalne do łączności na falach średnich i krótkich na odległości krajowe oraz europejskie rzędu 1500 - 2000 km.

Do wad anteny na pewno należy to, że ma ona skłonność do wypromieniowania niepożądanych produktów nadajnika spoza podzakresów częstotliwości jego pracy, a dla eliminacji tych niekorzystnych zjawisk potrzebne są zazwyczaj rozbudowane układy symetryzująco - dopasowujące. W doublecie występuje promieniowanie dodatkowych częstotliwości harmonicznych przez długości linii zasilającej.

Zaletą jej jest stosunkowo prosta budowa i uniwersalność wykorzystywanych podzakresów. Jest to najprostsza antena wielopasmowa. Przy starannym wykonaniu, a szczególnie stosowaniu dobrego urządzenia dopasowującego, wprowadzane są mniejsze zakłócenia niż w przypadku pojedynczej anteny Zeppelin. Zysk tej anteny - w stosunku do dipola półfalowego - jest rzędu kilku dB.

2.6. ANTENA WINDOM



Rys. 2.7. Antena Windom

Windom jest rozwiązaniem pośrednim między anteną zasilaną na końcu oraz w jej środku. Linia zasilająca będąca pojedynczym przewodem jest podłączona w takim punkcie tej anteny, w którym obie impedancje: anteny i doprowadzenia są sobie równe. Jest to wartość rzędu 400 - 800 Ω . Zaznaczyć należy, że **impedancja ta zależy od średnicy tego przewodu i wysokości zawieszenia anteny nad ziemią**. Czym większa jest ta wysokość, tym wyższa występuje wartość impedancji. Punkt podłączenia linii zasilania do anteny koryguje się tak, żeby w linii zasilającej wystąpiła fala bieżąca.

Doprowadzenie przynajmniej na długości $\lambda/4$ jest prostopadłe do przewodu anteny. Prąd w krótszym odcinku Windom ma charakter pojemnościowy, a w dłuższym - indukcyjny. Minimalna wysokość zawieszenia anteny wynosi $1/2 \lambda$. Windom najlepiej spisuje się w terenie otwartym. Wynika to z tego, że generuje on liczne zakłócenia typu BCI i TVI.

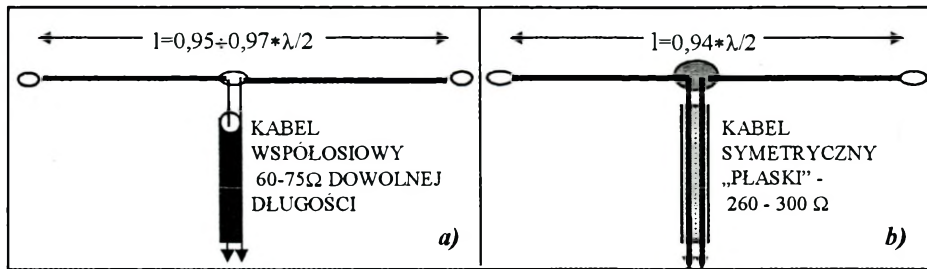
W antenie tej zbyt długie doprowadzenia promieniują energię w.cz., nadając antenie, przy zastosowaniu dobrego uziemienia, charakter anteny GP!

Do istotnych wad tej anteny należą:

- zbyt długie pionowe doprowadzenie intensywnie promieniujące energię w.cz.,
- trudności z filtracją częstotliwości harmonicznym wynikające ze znacznej impedancji anteny (rzędu 400 - 800 Ω) - występują w niej więc wysokie napięcia,
- płynące prądy pojemnościowe między anteną i ziemią będące źródłem BCI i TVI,
- przy bezpośrednim sprzężeniu linii zasilającej z obwodem nadajnika mogące przedostawać się w eter produkty mieszań i częstotliwości harmoniczne emitowane przez radiostację,
- występujące duże wpływy zmian gruntu (ziemi) na parametry i pracę anteny (istotne w pracy w terenie górskim i zalesionym).

Zaletami tej anteny zapewne jest niezwykle prosta budowa, jej niski koszt oraz odporność na warunki zewnętrzne.

2.7. DIPOL POZIOMY



Rys. 2.8. Dipole poziome zasilane kablem: a) koncentrycznym, b) symetrycznym

Jest to **jeden z najprostszych rodzajów anten**, których działanie opiera się na następujących zasadach:

- antena promieniuje dwukierunkowo szczególnie prostopadle do linii dipola;
- przy zwiększaniu wysokości zawieszenia anteny kąt promieniowania dipola zmniejsza się, co staje się korzystniejsze dla łączności dalekosiężnych jak również lokalnych;
- przy zwiększaniu wysokości zawieszenia anteny ilość listków promieniowania dipola rośnie i wynosi:

- jeden coraz bardziej szeroki dla wysokości - $1/8 \lambda$, $1/4 \lambda$ i $3/8 \lambda$,
- dwa dla wysokości - $1/2 \lambda$,
- trzy dla wysokości - $5/8 \lambda$ i $3/4 \lambda$,
- cztery dla wysokości równej λ ,
- więcej niż cztery dla większej wysokości niż λ .

d) jest on anteną symetryczną (złożoną z dwóch symetrycznie ułożonych ramion o jednakowej długości) - wymaga bezpośredniego symetrycznego zasilania lub symetryzatora z linią koncentryczną.

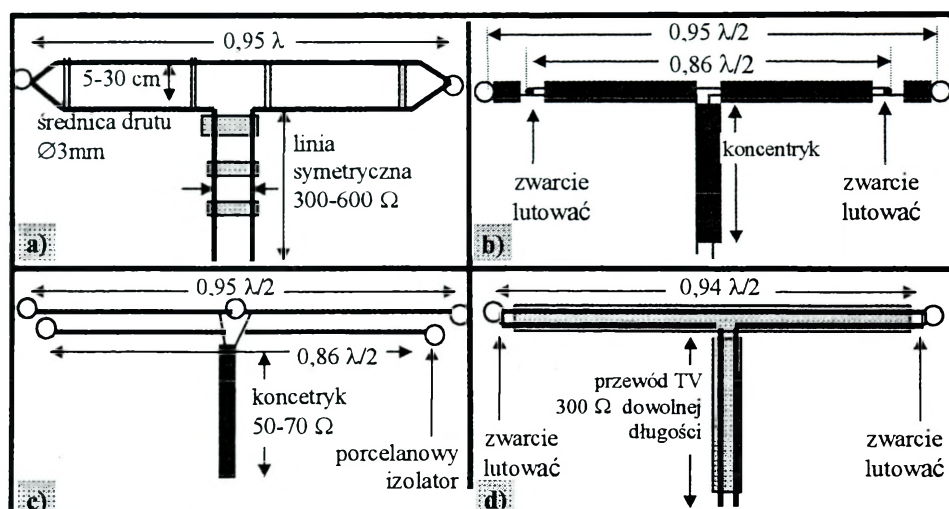
Wpływ ziemi na pracę anteny wynika z tego, że ziemia nie jest idealnym ekranem, ponieważ posiada określoną przenikalność i konduktywność.

Długość linii zasilającej nie powinna być krotnością $\lambda/4$, aby antena nie wpadała w rezonans powodując jej niepożądane promieniowanie. Dipol poziomy powinien pracować z transformatorem (np. typu Gamma).

Zazwyczaj dipol półfalowy ma długość trochę mniejszą niż $\lambda/2$ o współczynnik skrócenia anteny, który wynosi: $k = 0,94 - 0,97$. Ostatecznie dipol posiada długość $l = k \cdot \lambda$.

Antenę tę zazwyczaj zawieszają poziomo wykorzystując dwa drzewa (lub budynki) albo ukośnie z wykorzystaniem jednego drzewa lub dachu budynku. W różnych układach zawieszenia należy pamiętać o zachowaniu kąta prostego między anteną a linią zasilającą.

2.8 DIPOL PĘTLOWY



Rys. 2.9. Odmiiany dipola pętlowego wykonanego: a) z linki, b) kabla koncentrycznego, c) jako dwóch dipoli o częstotliwościach będących krańcami pasma pracy całej anteny d) kabla symetrycznego

Dipol pętlowy ma większą szerokość wstęgi częstotliwości pracy od dipola prostego (zwykłego). Antena taka oprócz możliwości zasilania wprost linią symetryczną $240-300 \Omega$ nie różni się parametrami od dipola zwykłego.

Dipol pętlowy pracuje w zakresie pewnych częstotliwości.

Parametry anteny -

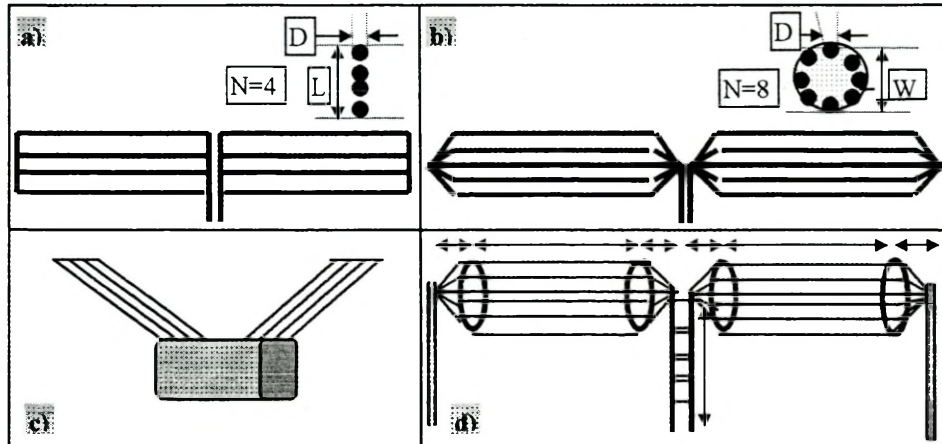
w przypadku jej odmiany dwudipolowej:

- długość dłuższego dipola - $0,95 \cdot \lambda/2$,
- długość krótszego dipola - $0,82 \div 0,86 \cdot \lambda/2$,

a w przypadku pozostałych dipoli pętlowych:

- odległość między obu dipolami pętli - $20 \div 30\text{ cm}$ dla pasm dolnych KF,
- odległość między obu dipolami pętli - $5 \div 10\text{ cm}$ dla pasm górnych KF,
- współczynnik skrócenia dla anteny wykonanej tylko z kabla płaskiego TV - $k = 0,82$,
- współczynnik skrócenia dla anteny wykonanej tylko z kabla koncentrycznego - $k = 0,86$.

2.9. DIPOL POZIOMY SZEROKOPASMOWY



Rys. 2.10. Rodzaje dipoli szerokopasmowych oraz ich zastosowanie: a) dipol płaski, b) dipol kołowy, c) zastosowanie dipola płaskiego d) zastosowanie dipola kołowego jako Dipola Nadienki do pracy szerokopasmowej KF

Dipole szerokopasmowe nie są antenami nowymi. Od kilkudziesięciu lat używane były przez służby profesjonalne, np. dipole Nadienki do łączności krajowej i międzynarodowej.

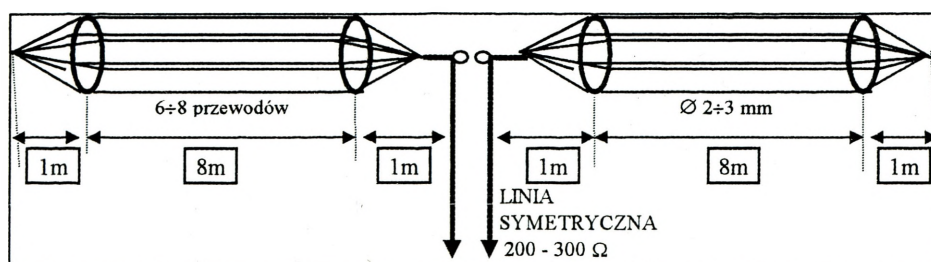
Dipol Nadienki określa średnica cylindra W ułożonego z N przewodów o średnicy D .

W celu zwiększenia pasmowości anteny stosuje się wiązki dipoli w wariacie jednej płaszczyzny lub koła. **Charakter pracy tej anteny wynika z tego, że dobroć i pasmowość anteny zależy od jej smukłości.**

W wariacie anteny płaskiej jest to popularna antena TV szerokopasmowa - pokojowa. Wiązka przewodów jest ułożona płasko w taśmie o szerokości L zachowując liczbę przewodów N . Stosunek L/D jest różny dla różnej liczby N przewodów.

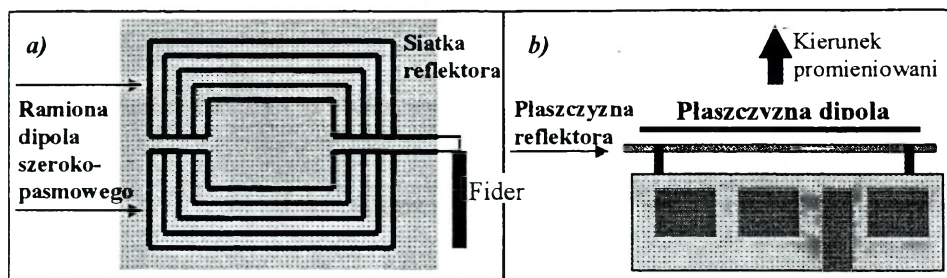
W układzie cylindrycznym jest to popularny dipol Nadienki. W przypadku anteny cylindrycznej zakończonej stożkiem występuje transformacja impedancji wejściowej przez część stożkową. Antena o skokowo malejącej średnicy ma jeszcze większą pasmowość niż antena z ramionami o jednakowej średnicy na całej długości.

Dipol Nadienki jest wielopasmowy i posiada charakterystykę taką jak zwykły dipol symetryczny (dwukierunkowość).



Rys. 2.11. Przykład dipola Nadienki na zakres krótkofalowy

2.10. DIPOL POZIOMY SZEROKOPASMOWY PROMIENIOWANIA PIONOWEGO



Rys. 2.12. Dipol szerokopasmowy promieniowania pionowego: a) schemat - rzut poziomy, b) montaż na dachu kabiny - rzut pionowy

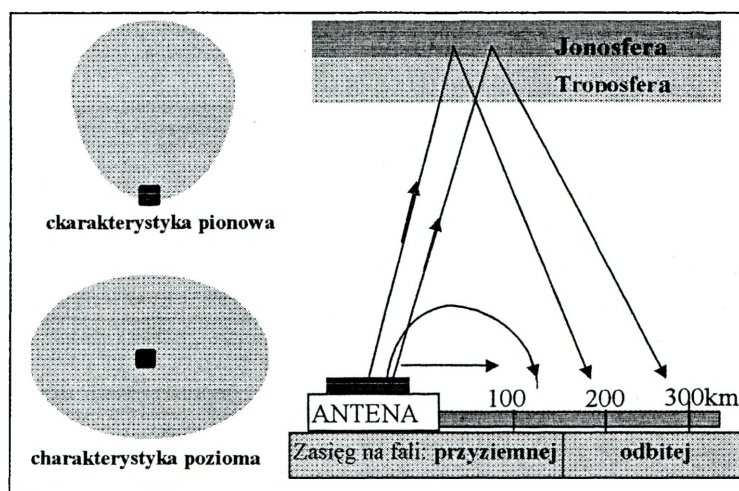
Antena tego typu wykorzystuje szerokopasmowość dipola pętlowego i pionowe promieniowanie dipola płaskiego ułożonego poziomo. Świetnie spisuje się ona w wypadku zamontowania na płaskim dachu domu lub na dachu pojazdu do pracy terenowej.

Konstrukcja tego typu szczególnie pozwala na prace w zakresie fal krótkich gdyż:

- promieniuje pionowo w górę zapewniając zasięg na fali przyziemnej, szczególnie dla małych częstotliwości KF, gdzie fala powierzchniowa osiąga duży zasięg rzędu 50-150 km;
- promieniuje pionowo w górę zapewniając odbicie od jonosfery niskich częstotliwości KF i powrót ich pod takim kątem, że znakomicie uzupełniają one zasięg fali przyziemnej do 300-400 km nie powodując jednocześnie zjawiska strefy martwej lub półmartwej.

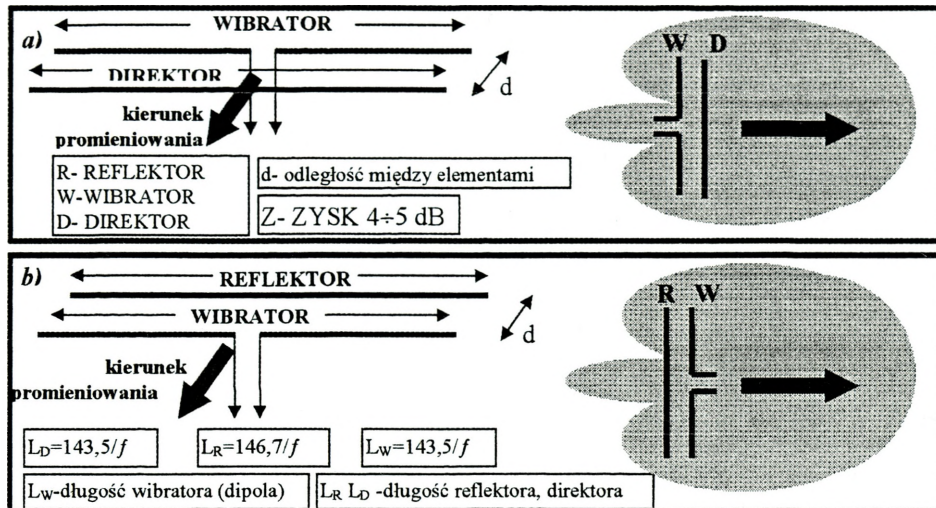
Antena taka doskonale spisuje się w pracy lokalnej i wewnątrz krajowej na KF zapewniając zasięg łączności na odległość 0÷350 km przy wykorzystaniu fali powierzchniowej i odbitej.

Konstrukcja tego typu zapewnia stały zasięg do kilkuset km w podzakresach odbicia nocnego i przejściowego tj. 7 MHz ÷ 11,5 MHz.



Rys. 2.13. Przykład spełnianej funkcji przez dipol promieniowania pionowego

2.11. ANTENA DIPOL POZIOMY DWUELEMENTOWY



Rys. 2.14. Dwuelementowa antena Yagi:
a) z wibratorem i direktorem, b) z wibratorem i reflektorem

Jest to antena z elementem czynnym - promieniującym (wibratorem) i jednym elementem biernym - direktorem lub reflektorem. Ogólnie, zasada pracy tej anteny polega na wypromieniowaniu energii przez dipol czynny (wibrator) i ukształtowaniu jednokierunkowej charakterystyki promieniowania tego dipola przez drugi element zwany biernym. Energia wytworzona w dipolu biernym powraca do wibratora indukując w nim pole podobne do jego pola pierwotnego. Jeśli oba pola mają zgodne fazy to się do siebie dodają powodując wzmocnienie wypromieniowanego sygnału.

Zasadą jest tutaj to, że im bliżej dipola czynnego znajduje się element bierny, tym bardziej ten drugi wpływa na prądy indukowane w wibratorze. Ten pozytywny wpływ elementu biernego na pracę elementu czynnego wyraża się w postaci dodatkowego zysku anteny względem dipola jednoelementowego rzędu 5÷6 dB względem dipola prostego. Jednak ze względu na różnego typu straty zysk ten jest o około 1 do 2 dB mniejszy.

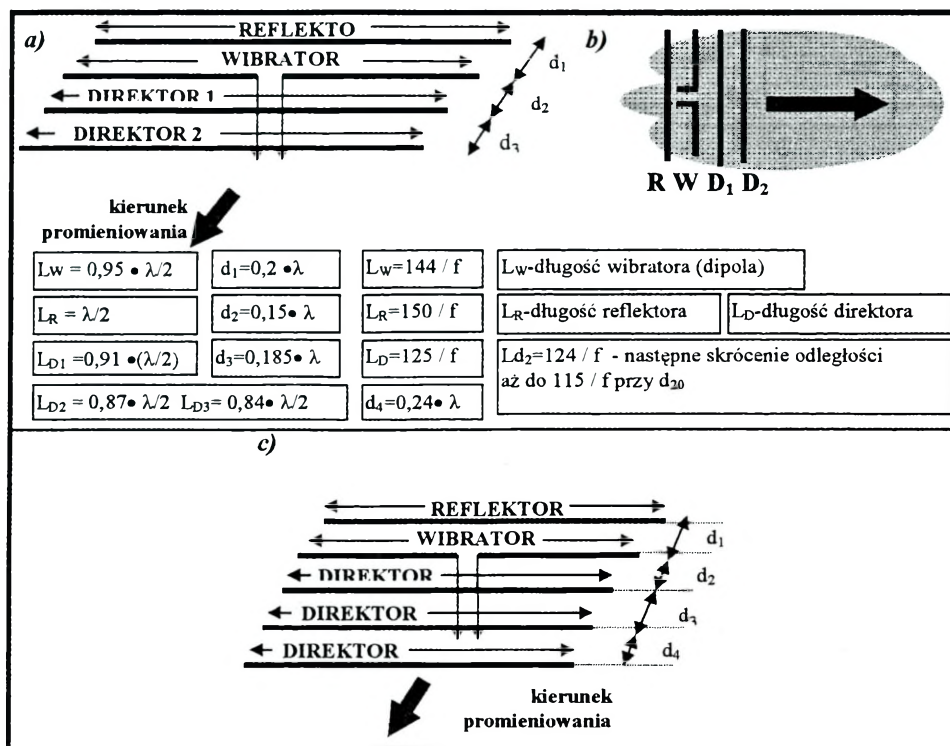
Biernym elementem w tej antenie może być:

- reflektor (ukierunkowanie drugiej wiązki w stronę pierwszej),
- direktor (ukształtowanie przez element bierny potrzebnej do pracy wiązki).

Antena dwuelementowa jest najczęściej wykorzystywana z reflektorem, ponieważ zapewnia to większy zysk kierunkowy niż z direktorem. W zakresie fal UKF stosuje się wibrator pętlowy co znacznie ułatwia dopasowanie całej anteny do linii zasilającej np. 50 lub 75 Ω .

Praktyka wskazuje, że optymalnym rozwiązaniem jest umocowanie anteny na wysokości $h = 1,25 \div 1,5 \lambda$ i zachowanie odległości między elementem czynnym i biernym około $1/4 \lambda$.

2.12. DIPOL POZIOMY WIELOELEMENTOWY



Rys. 2.15. Wieleelementowa antena Yagi: a) schemat anteny 4-ro elementowej, b) charakterystyka promieniowania anteny 4-ro elementowej, c) antena 5-cio elementowa

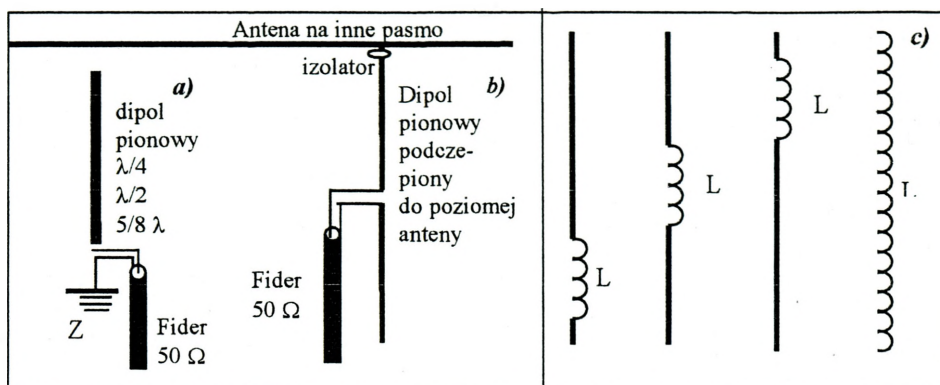
Anteny typu Yagi - wieleelementowe są popularne w radiokomunikacji profesjonalnej stacjonarnej KF i UKF

Występują one w zakresie KF w układzie czteroelementowym (dwa direktory) i pięcioelementowym (trzy direktory) jako dobre anteny do łączności kierunkowej (beam) dalekosiężnej. W zakresie UKF występują jako nawet dwudziestokilkuelementowe.

Dla łączności dalekosiężnej jonosferycznej KF tylko w jednym, określonym kierunku (bez potrzeby obracania anteny) stosuje się stacjonarne układy Yagi wieleelementowej wykonanej w postaci podwieszonych do dwóch lin - nośników linek: reflektora, wibratora i direktorów.

Antena Yagi / UKF wieleelementowa zapewnia w stosunku do dipola prostego zysk rzędu: 6 dB dla konstrukcji 4 elementowej - 18 dB dla konstrukcji 28 elementowej

2.13. DIPOL PIONOWY



Rys. 2.16. Różne dipole pionowe jako: a) antena standardowa, b) antena podwieszona do dipola poziomego; c) skrócone indukcyjnościami

Anteny dipolowe pionowe zwane są również antenami prętowymi lub teleskopowymi.

Każdy dipol pionowy posiada swoje lustrzane odbicie w postaci dipola pozornego. Dipol pozorny (lustrzany) znajduje się pod powierzchnią ziemi (ekranu) na głębokości równej wysokości dipola. Przyjmuje się, że ekranem jest ziemia. Pochłania ona znaczną część energii dipola i z tego powodu prądy płynące w dipolu pozornym są znacznie mniejsze (ziemia wpływa na charakterystykę promieniowania i sprawność anteny).

Stwierdzono, że:

- dla ziemi mokrej, wilgotnej występują lepsze warunki pracy dipola pionowego;
- dla ziemi suchej i podłoża skalistego następuje pogorszenie warunków pracy dipola pionowego.

Każdy bilans energetyczny anten tego typu (pionowych) powinien uwzględniać straty powodowane przez ziemię.

Charakterystyka dipola pionowego jest z reguły kołowa, choć występują odkształcenia jej w wyniku niejednorodności struktury ziemi.

Charakterystyka dipola pionowego zależy, przede wszystkim, od trzech czynników:

- wysokości zamontowania anteny,
- jej długości,
- właściwości (konduktywności) gruntu.

Największy wpływ ziemi na pracę tej konstrukcji występuje w antenach niskich w zakresie UKF i mikrofal. Pewne uniezależnienie od gruntu i poprawienie parametrów dipola pionowego wprowadza zastosowanie przeciwwag. Sens stosowania (odczuwalne skutki) przeciwwag pojawia się przy występowaniu przynajmniej trzech przeciwwag o długości $\lambda/4$, rozłożonych promieniście wokół dipola.

Długość dipola wpływa znacznie na charakterystykę promieniowania anteny.

Dla łączności lokalnych najlepszy jest dipol o długości $\lambda/4$, a dla łączności dalekosiężnej dipol $5/8 \lambda$

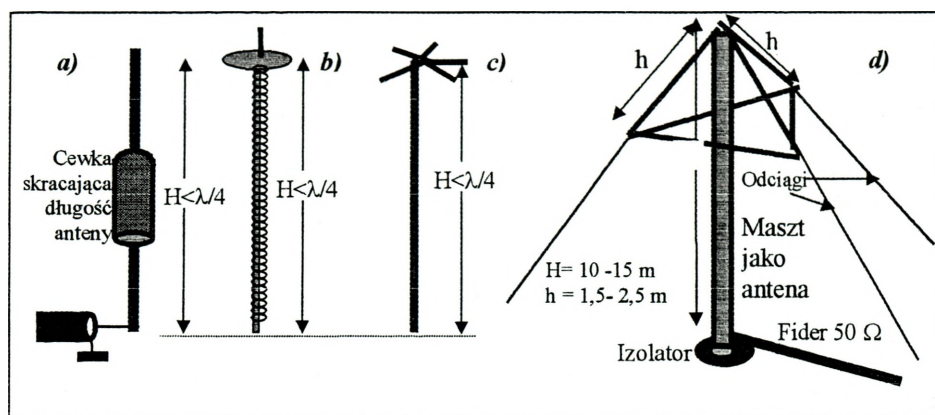
Zastosowanie:

- anteny stacjonarnych stacji długofalowych i średniofalowych,
- anteny stacji przewoźnych (pokładowych) i przenośnych różnych zakresów,
- anteny stacjonarnych stacji radiotelefonicznych pracujących w zakresie KF i UKF.

Wadą anteny jest brak kierunkowości promieniowania tak potrzebnego do efektywnych łączności dalekosiężnych oraz duża zależność od stanu ziemi (wilgotności i jej struktury).

Do zalet dipola pionowego należy prostota konstrukcji, jej niska cena, a przy dużych częstotliwościach pracy (UKF) wygodna eksploatacja w warunkach terenowych np. przy współpracy z radiostacjami przenośnymi i przewoźnymi.

2.14. DIPOLE PIONOWE SKRÓCONE



Rys.2.17. Przykłady skracania dipoli pionowych poprzez: a) indukcję w środku dipola; b) krążek blachy na końcu anteny; c) wiązkę drutów; d) parasol z drutu na szczycie dipola.

W dipolach pionowych dodaje się na wierzchołku elementy poziome, które zwiększają wysokość skuteczną anteny oraz oporność promieniowania. Są to wtedy skuteczne anteny do łączności na fali przyziemnej, a przy zmianie nachylenia anteny względem ziemi, również z wykorzystaniem przestrzennym.

a) Dipol skrócony indukcyjnością u podstawy lub w połowie długości anteny.

Jest to typ anteny stosowany w stacjach przenośnych i pokładowych (przenośnych) pracujących w zakresie 1 - 50 MHz, a szczególnie KF (np. niegdyś RBM), gdzie długość dipola pionowego jest zbyt duża. Poprzez zastosowanie indukcyjności skracających staje się możliwe wykorzystanie takiej anteny do pracy z pojazdu lub podczas przenoszenia. Często stosuje się cewkę nie w połowie długości, a u podstawy anteny (np. anteny komunikacyjne na pasmo 23 - 47,5 MHz). Do pracy kilkuzakresowej może to być indukcyjność zmienna lub wymienna.

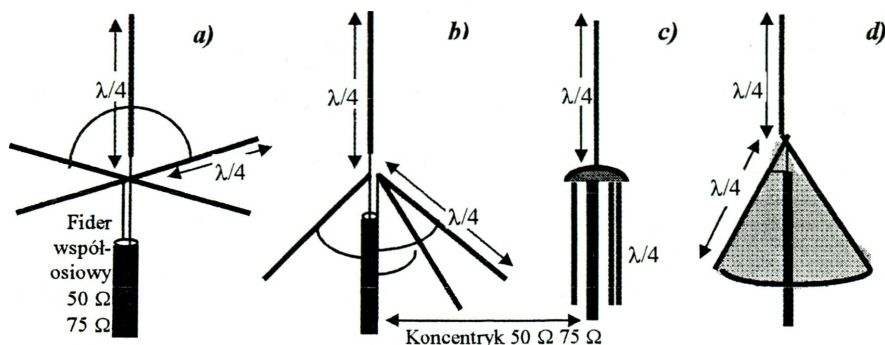
b) Dipole skracane innymi sposobami.

Drugim rodzajem popularnych sposobów skracania dipoli pionowych jest nawinięcie przewodu anteny o długości dipola ($1/2\lambda$ lub $1/4$ długości fali) na rurce izolującej o wysokości najlepiej jak największej, choć wygodnej do zastosowania (rzędu kilku metrów). Pewne polepszenie parametrów anteny powoduje umieszczenie na szczycie jej elementu skracającego w postaci promieniście rozłożonych przewodów lub koła z blachy i kilkudziesięciu cm pręta na przedłużeniu osi dipola. Anteny tego rodzaju szczególnie przydatne są do pracy w niskich zakresach KF (stosowały je mobilne stacje wojskowe KF).

c) Dipol skrócony „parasolowy”

Jest to typ dipola półfalowego skróconego przez dodanie do szczytu anteny „parasola” zbudowanego z promieni przyłączonych do odciągów. W taki sposób dipol może być skrócony nawet o 1/4 wymaganej wartości, np. dla pracy na częstotliwości 3 MHz dipol powinien mieć długość 1/4 długości fali 100 metrów, czyli 25 metrów wysokości pomniejszonej ze względu na skrócenie „parasolem” do 17,25 m. Antena jest stosowana jako terenowa do pracy z zastosowaniem jednego masztu pełniącego rolę dipola, do szczytu którego dołączone są odciągi poprzez ramiona promieni „parasola”. Maszt - antena jest oczywiście izolowana od ziemi. Podłączenie rury - anteny do linii zasilającej koncentrycznej odbywa się np. poprzez prostą, strojona indukcyjność o wartości rzędu kilku μH .

2.15. ANTENA GROUND PLANE - GP



Rys.2.18. Różne anteny GP: a) standardowa, b) tripleleg, c) „rękawowa” d) stożkowa. (VHF)

Anteny typu Ground Plane są antenami, w których poprzez zastosowanie płaszczyzny uziemiającej zmniejszono wpływ ziemi na rezystancję anteny. Antena tego typu składa się z elementu promieniującego (dipol - promiennik $1/4 \lambda$) i płaszczyzny uziemiającej w postaci układu przeciwwag (praktycznie przynajmniej trzech) podłączonych do „zimnego końca” przewodu doprowadzającego.

Ze względu na wielkość kąta stworzonego między promiennikiem a przeciwwagami rozróżniamy trzy podstawowe rodzaje anten GP:

a) GP z przynajmniej czterema przeciwwagami umocowanymi pod kątem prostym względem elementu promieniującego. Antena posiada rezystancję $R_A = 32 \div 35 \Omega$.

Dla standardowych linii zasilania 50Ω i 75Ω jest to trochę kłopotliwe i wymaga dopasowania:

- dla linii symetrycznej w postaci stroika, np. z linii symetrycznej 300Ω ,
- dla linii koncentrycznej w postaci transformatora, filtru złożonego z L i C.

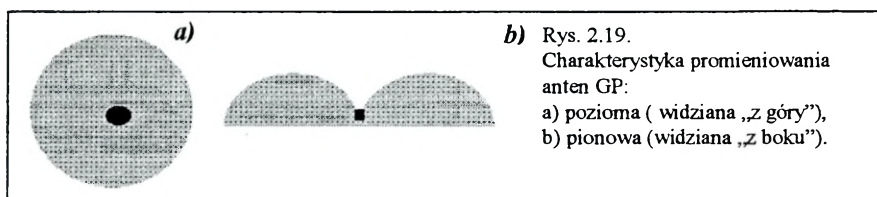
Charakterystyka promieniowania anteny jest dookólna.

b) GP z przynajmniej trzema przeciwwagami umocowanymi pod kątem 45° do masztu będącego na przedłużeniu elementu promieniującego (dipola). Ten typ GP posiada trzy przeciwwagi umieszczone pod kątem 135° względem siebie i nazywamy go Triplelegiem (trójnogiem). Antena taka przy kącie: przeciwwaga - maszt wynoszącym 45° , posiada impedancję około 50Ω . Do takiej anteny możemy bezpośrednio podłączyć linię zasilającą w postaci przewodu koncentrycznego 50Ω . Nie wymagane jest w takiej sytuacji stosowanie specjalnych układów dopasowania. Dzięki prostocie budowy antena taka bardzo chętnie jest stosowana jako prosta i szybka do montażu.

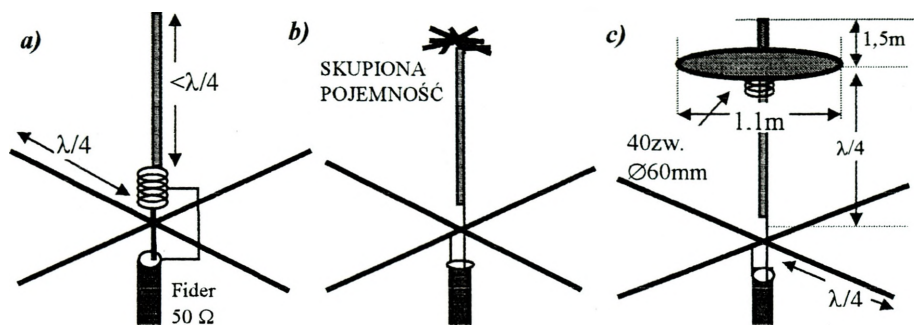
Charakterystyka promieniowania anteny jest trzypłatowa, przy czym każdy z nich pokrywa się (jest na przedłużeniu) z ramieniem przeciwwagi. Przy czterech przeciwwagach pod kątem 45 stopni rezystancja anteny wynosi kilka Ω mniej niż w trójnogu ($R_A = 44 \Omega$).

c) GP z przynajmniej trzema przeciwwagami umocowanymi pod kątem 180 stopni do promiennika. Praktycznie przebiegają one wzdłuż masztu, oczywiście, izolowane od niego. Jest to faktycznie dipol półfalowy. Antenę taką nazywa się często „rękawową” lub „grzybkiem”. Antena pracuje dobrze na wysokich masztach.

Charakterystyka promieniowania anteny GP jest dookólna - taka jak dipola półfalowego.



2.16. ANTENA GP SKRÓCONA



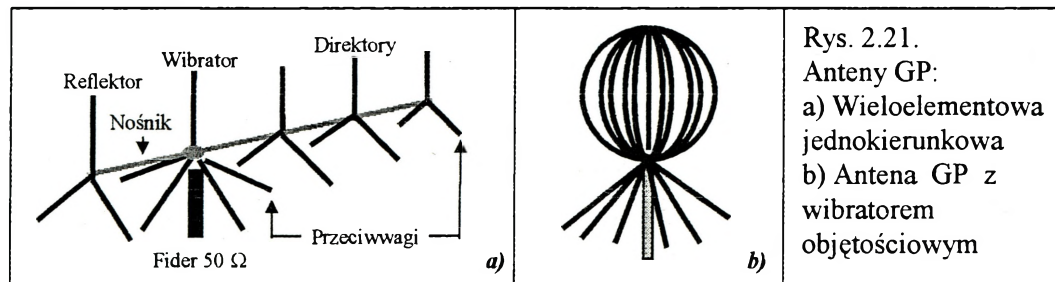
Rys. 2.20. Sposoby skrócenia wymiarów anteny GP: a) za pomocą indukcyjności, b) za pomocą wiązki prętów na szczycie anteny (tzw. „miotła”), c) krążka blachy i cewki blisko szczyciu anteny

Istnieje kilka sposobów skrócenia anteny GP podobnych do skracania dipola pionowego. Jest to więc zastosowanie indukcyjności lub elementów skupionej pojemności na szczycie elementu promieniującego w postaci wiązki promieni lub płata blachy.

W przykładzie z indukcyjnością dopasowanie impedancji anteny do impedancji linii zasilającej (koncentrycznej) dokonywane jest poprzez odpowiednie dobranie miejsca podłączenia kabla doprowadzającego do cewki, która z kolei podłączona jest do promiennika.

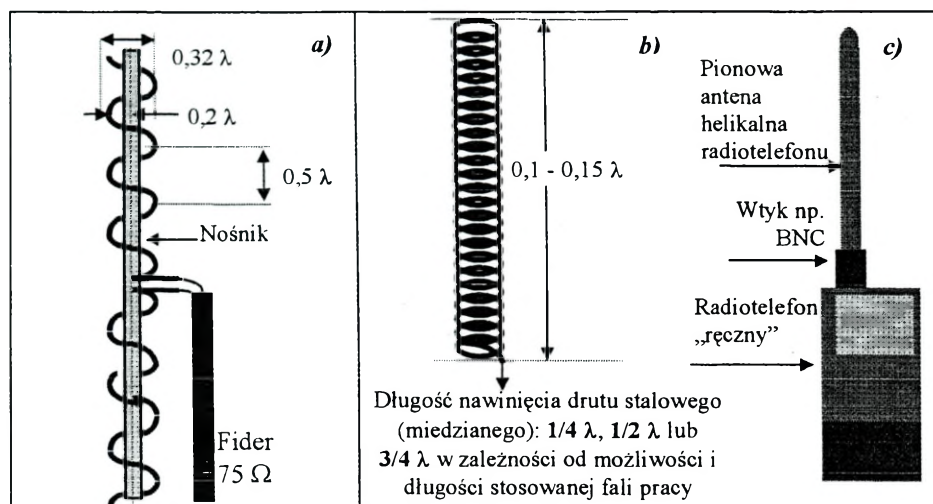
Przy małych częstotliwościach pracy, np. na falach pośrednich i krótkich stosuje się skracanie długości elementu promieniującego (znacznej, bo wynikającej z długości fali) poprzez znane nam już z anten „prętowych” dodanie na szczycie skupionej pojemności. Zastosowanie jej pozwala na mniejsze wymiary promiennika niż by to wynikało z długości fali, na której on pracuje. Skupiona pojemność nie tylko pozwala na mniejsze wymiary anteny GP, ale też na promieniowanie tej konstrukcji bardziej przy ziemi. Charakterystyka promieniowania takiej anteny jest dookólna i ułożona przy samej powierzchni ziemi. Jest to więc konstrukcja bardzo przydatna do łączności lokalnej na fali przyziemnej, szczególnie w terenie lesistym i górskich. W praktycznych rozwiązaniach skupioną pojemnością jest plik promieni prostopadłych do promiennika lub krążek blachy z ewentualnym prętem u góry.

Przy zastosowaniu tych anten należy pamiętać o wpływie wysokości zamontowania nad ziemią na wartości (wielkość) elementów skupionej pojemności.



Rys. 2.21. Anteny GP:
a) Wielelementowa jednokierunkowa
b) Antena GP z wibratorem objętościowym

2.17. PIONOWA ANTENA HELIKALNA



Rys. 2.22. Antena helikalna: a) montaż i schemat konstrukcji pionowej; b) sposób wykonania najprostszej anteny helikalnej, c) praktyczne zastosowanie w radiotelefonie „ręcznym”

Antena pionowa helikalna powstaje przez nawinięcie ramion dipola lub elementu pionowego promieniującego o długości $1/4 \lambda$, $1/2 \lambda$ lub $3/4 \lambda$ na określonej średnicy. Wysokość takiego nawinięcia jest znacznie mniejsza niż by to było w przypadku wymiarów pełnej anteny dipolowej czy wibratora pół lub ćwierćfalowego. Dla anteny helikalnej jest to $0,1 \div 0,2 \lambda$.

Ze względu na mniejsze wymiary omawiana konstrukcja jest mniej efektywna niż „zwykła” antena ćwierćfalowa czy półfalowa. Jest ona stosowana przez radiostacje mobilne, a szczególnie przenośne radiotelefoniczne pracujące lokalnie (na fali przyziemnej).

Rozróżniamy dwa podstawowe rodzaje helikalnych anten pionowych:

a) W wersji jednego elementu promiennika;

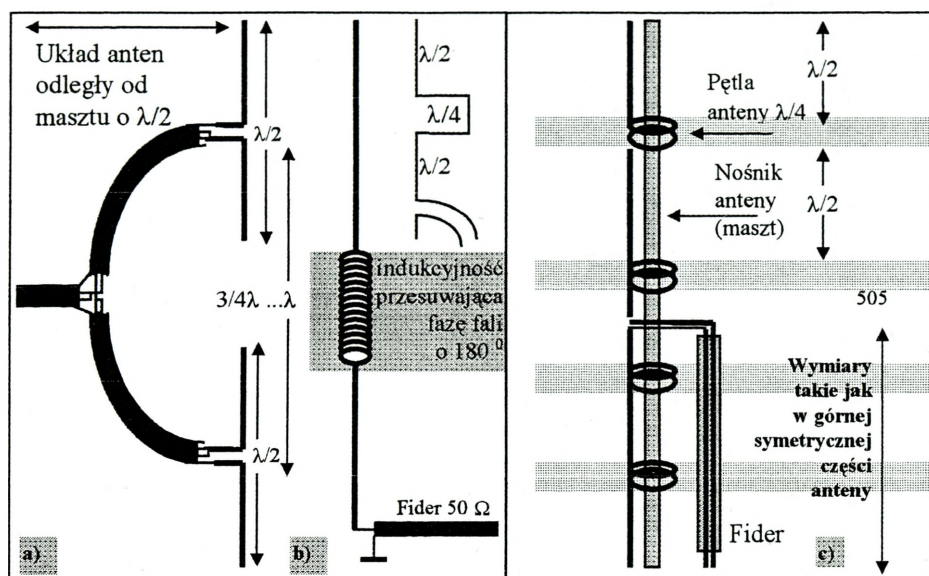
Stosowana jest ona do pracy w warunkach ekstremalnych - w pojazdach do łączności pomiędzy stacjami w kolumnie lub do pracy w terenie górskim (wysokogórskim), gdzie szczególnie w wypadku wspinaczki nie ma miejsca na dłuższą niż kilkunastocentymetrową antenę. Chętnie jest ona stosowana w służbach ratunkowych.

b) W wersji helikalnego dipola pionowego;

Montowana jest ona na szczycie masztu lub wykorzystuje się jego górną część. Służy wtedy ona do łączności stacjonarnej lub jest wykorzystywana do pracy „w terenie” na rozkładanym specjalnie do tego maszcie (np. pneumatycznym).

Zysk energetyczny takiej anteny względem dipola prostego to około 5- 8 dB.

2.18. PIONOWA ANTENA KOLINEARNA



Rys. 2.23. Pionowa antena kolinearna: a) wersja podstawowa, b) wersja z indukcyjnością przesuwającą fazę fali i jednym zasilaniem, c) jej montaż

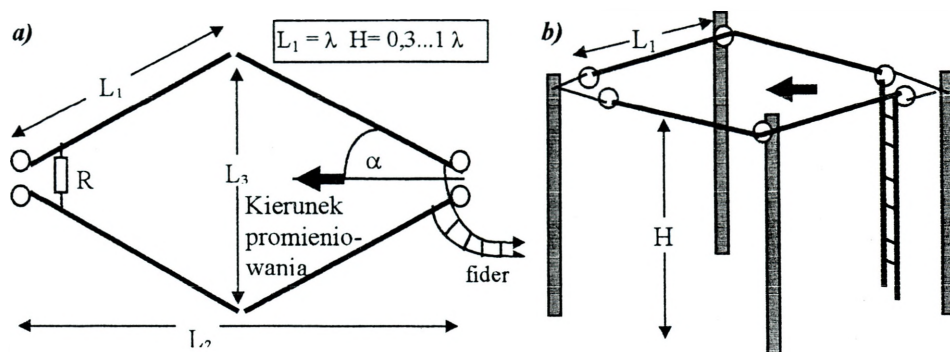
Jest to układ dwóch lub więcej dipoli ustawionych pionowo jeden nad drugim. Wymagane są w tym układzie odpowiednie odległości między poszczególnymi dipolami: od $3/4\lambda$ do prawie λ . Istotnym jest tutaj to, aby układ tych anten był w odpowiedniej odległości od masztu tj. $1/2 \lambda$. Antena kolinearna powoduje sumowanie prądów w.cz. z poszczególnych dipoli. W taki sposób powstaje znacznie efektywniejsza, o większym zysku, antena do pracy na fali przyziemnej. Promieniuje ona kilka stopni nad ziemią. Jest więc doskonałą anteną do pracy na fali przyziemnej.

Inną, bardziej praktyczną odmianą tej anteny, jest zamiast zastosowanego zespołu oddzielnych dipoli - układ odcinków pełniących rolę dipoli półfalowych połączonych indukcyjnością. Indukcyjność ta pełni rolę przesuwnika fazowego o 180° powodującego rozdzielanie anteny na odcinki o długości $1/2 \lambda$. Pozwala to na wygodne zasilanie tylko pierwszego dipola „u dołu”, a jedyną niedogodnością staje się właściwe wykonanie indukcyjności.

Zasadniczą wadą tej anteny jest konieczność właściwego obliczenia, wykonania i zamontowania indukcyjności, a jeśli one nie występują to krytyczność montowania oddzielnych dipoli na jednym maszcie.

Niewątpliwą zaletą jest jej stosunkowo duży zysk jako anteny dookólnej i mały, kilkustopniowy kąt promieniowania - optymalny do łączności na fali przyziemnej. Antena charakteryzuje się zwartą, smukłą budową (przy stosowaniu indukcyjności) - odporną na silne podmuchy wiatru - a więc szczególnie jest przydatna do pracy w górach.

2.19. ANTENA ROMBOWA



Rys. 2.24. Antena rombowa: a) schemat anteny, b) sposób zawieszenia i podłączenia zasilania

Jest to typ anteny stosowanej często przez służby profesjonalne, gdyż można manipulując wymiarami anteny, określać jej zasięg lub obszar docelowy. Chętnie jest ona używana do stałych trafików krótkofalowych z odległymi korespondentami.

Antene rombowa można planować według dwóch kryteriów:

a) Uzyskanie największego zysku przez antenę (rzędu 15 - 20 dB) bez określenia konkretnego obszaru docelowego emisji i wtedy:

- nie jest zawsze określona charakterystyka promieniowania,
- występują kłopotliwe, duże rozmiary: rzędu kilometra dla 3,2...4,995 MHz, rzędu kilkuset metrów dla 5,85...9,75 MHz, rzędu stu kilkudziesięciu metrów dla 11,5...18 MHz.

b) Uzyskanie konkretnego obiektu lub obszaru docelowego i wtedy:

- uzyskujemy mniejszy zysk niż w przypadku pierwszym, a więc istnieje potrzeba stosowania większych mocy nadajnika KF;
- mniejsze wymiary poszczególnych elementów anteny niż w poprzednim przypadku.

Poprzez zmniejszanie wysokości zawieszenia, długości i kąta rozwarcia ramion uzyskujemy anteny rombowe dogodniejsze rozmiarowo, ale o mniejszym zysku.

W celu zwiększenia zysku anten rombowych stosuje się często zespoły tych konstrukcji w układzie:

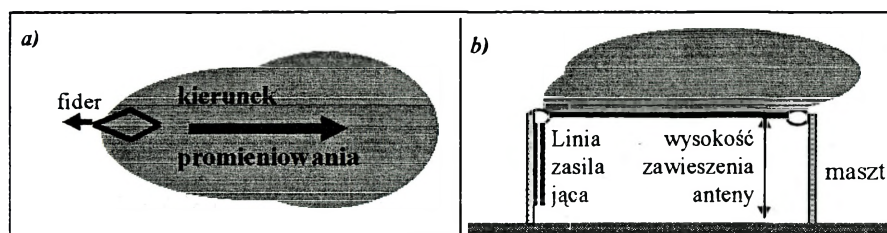
- obok siebie na większych częstotliwościach pracy KF (12,5...22,5 MHz),
- jedna nad drugą na mniejszych częstotliwościach pracy KF (5...12,5 MHz).

W antenie rombowej wpływ na jej charakterystykę promieniowania mają:

- długość ramion (od stu kilkudziesięciu do kilkunastu metrów dla fal o długości 75m...13m),
- kąt rozwarcia ramion α (40° dla odległości 300 km, 45° dla 500 km, 50° dla 1000 km);
- kąt płaszczyzny anteny,
- wysokość zawieszenia lub zamontowania ($h = \lambda$ jest optymalne).

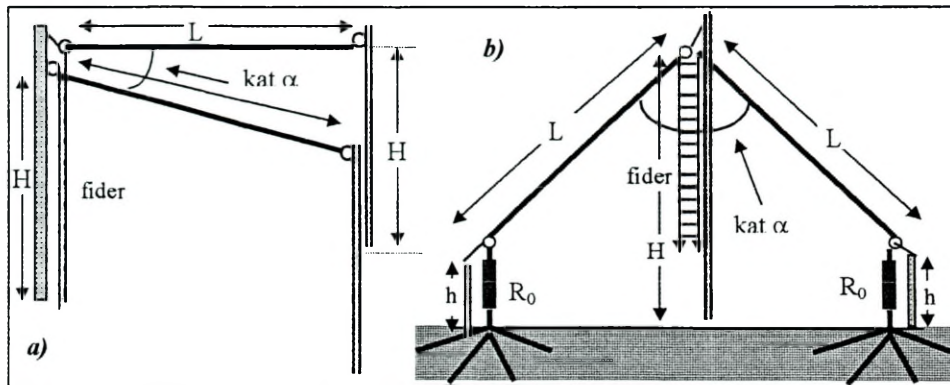
Charakterystyka promieniowania anteny

Charakterystyka promieniowania anteny jest wypadkową par listków promieniowania poszczególnych ramion. Z tego też względu, antena promieniuje w zasadniczym kierunku tylko niespełna w połowie emitowanej energii. Pozostała część energii przypada na listki boczne zupełnie nie związane z kierunkiem zasadniczym.



Rys. 2.25. Promieniowanie anteny rombowej:
a) charakterystyka pozioma; b) charakterystyka pionowa

2.20. ANTENA TYPU „V”



Rys. 2.26. Antena typu „V” w wersji konstrukcji: a) poziomej, b) pionowej - fali bieżącej

Antena typu „V” istnieje w wielu wariantach:

- jako odwrócona lub standardowa,
- z ramionami w jednej płaszczyźnie lub pod kątem mniejszym niż 180° ,
- jako standardowa lub z falą bieącą i z rezystorami falowymi na końcach ramion.

Antena wymaga tylko jednego masztu (lub drzewa), jest więc łatwa w eksploatacji i w budowie. Jest ona chętnie stosowana przez stacje profesjonalne mobilne (terenowe) do łączności na fali jonosferycznej na odległość od 1000 km do kilku tysięcy km. Antena posiada mały kąt promieniowania wiązki w stosunku do płaszczyzny ziemi, co jest korzystne dla prowadzenia łączności dalekosiężnych (promieniowanie tuż nad ziemią). Dokuczliwą w pracy anteny jest martwa strefa.

Najczęściej spotykanym wariantem tej anteny jest wersja chętnie stosowana przez stacje terenowe, tzw. pionowa, czyli z ramionami schodzącymi się u góry masztu. W rzucie poziomym posiada ona ramiona ustawione w kierunku korespondenta pod kątem mniejszym niż 180 stopni. Antena typu „V” jest więc anteną kierunkową, która w pożądaną stronę promieniuje ponad połowę swojej energii.

Dipol zainstalowany na jednym maszcie i antena typu „V” również z jednym punktem zawieszenia, różnią się między sobą tym, że:

- ramiona anteny typu „V” są dłuższe od ramion dipola pracującego w tym samym podzakresie,
- ramiona w antenie „V” są pod kątem mniejszym niż 180 stopni, w odróżnieniu od dipola, gdzie jedno ramię jest przedłużeniem drugiego;

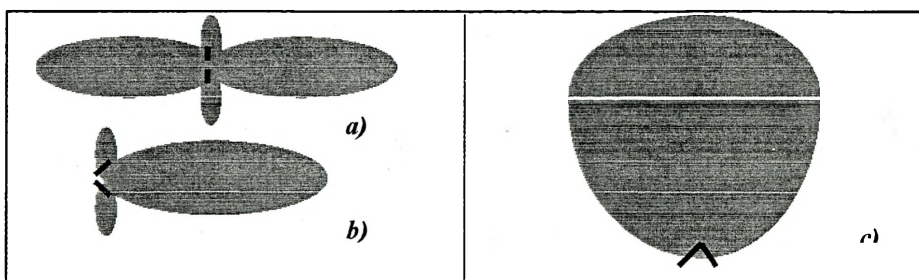
- przy antenach typu „V” z falą bieżącą na końcach ramion anteny znajdują się rezystory, które z kolei podłączone są do promieniście rozłożonych przeciwwag.

Spotykanym kątem rozwarcia ramion anteny są wartości 60° , 90° lub 120° , przy czym optymalnym do pracy dalekosiężnej jest kąt prosty. W pracy terenowej określają tę wartość możliwości obszarowe, szczególnie na niższych częstotliwościach KF (rzędu 3 - 12 MHz), gdzie długość fali jest znaczna.

Odwrócona antena „V” nazywana jest półrombową lub invertedem. Może to być skośna antena fali bieżące z drugim końcem opuszczonym w stronę ziemi i połączona z przeciwwagami poprzez rezystor, którego wartość jest równa impedancji falowej anteny. Taki wariant często jest spotykany w praktycznym zastosowaniu przez profesjonalne stacje terenowe. Gdy ramiona anteny nie są sobie równe, wtedy nazywamy ją anteną typu „lambda”.

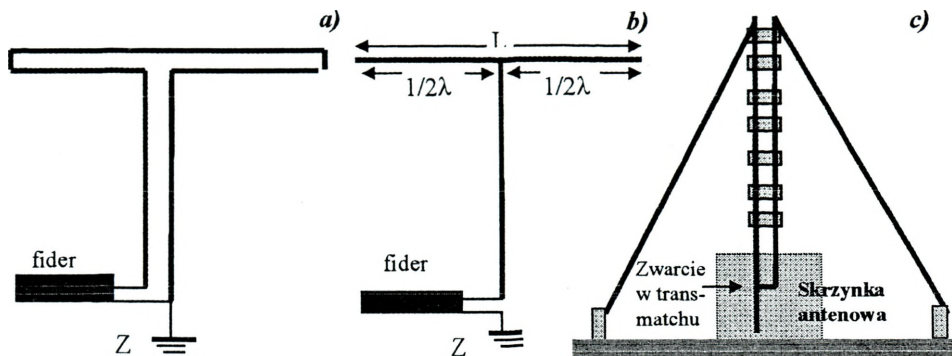
Antena typu „V” instalowana poziomo jest stosowana w łącznościach stałych profesjonalnych KF, jako półromb poziomy, a w łącznościach lokalnych KF/UKF w wersji półromb pionowy.

Antenę typu „V” z półpełnym kątem rozwarcia ramion można uważać za szczególny rodzaj dipola i wtedy ma ona charakterystykę promieniowania taką jak dipol.



Rys. 2.27. Pozioma charakterystyka promieniowania anteny „V”: a) z ramionami pod kątem 180° , b) z ramionami pod $\alpha < 180^{\circ}$, c) Pionowa charakterystyka promieniowania anteny „V”

2.21. ANTENA TYPU „T”



Rys. 2.28. Antena typu „T” wariantach: a) pętlowej, b) jednoprzewodowej, c) przekształconej z anteny V

Antena typu „T” jest anteną o zwięzłej budowie pozwalającej pracować w terenie z radiostacji przenośnych i przewoźnych. Jest to konstrukcja łatwa w rozwinięciu i eksploatacji.

Jest ona wykorzystywana przez służby profesjonalne do pracy na fali przyziemnej na odległości wewnątrz krajowe (sto kilkadziesiąt i kilkaset km) uzupełnianą w trudnych warunkach propagacyjnych pracą na fali jonosferycznej. Z tego też powodu antena jest stosowana na najniższych podzakresach KF, szczególnie na falach pośrednich o częstotliwości 2 - 3,5 MHz i krótkich do 5 - 7 MHz.

Omawiana konstrukcja zbudowana jest z części poziomej i dołączonej w połowie jej długości, pod kątem prostym, części pionowej. W trudnych warunkach terenowych antena tego typu, zamiast być zamocowana na dwóch masztach, może wykorzystywać tylko jeden z nich (np. drzewo).

Istnieje inna odmiana anteny typu „T” - jeszcze bardziej praktyczna. Otóż, w antenie takiej nie występuje pętla w części pionowej, a tylko pojedyncze ramiona jak w dipolu oraz jeden przewód linii zasilania od strony radiostacji łączy się z ziemią lub zwiera się z drugim przewodem.

W antenie typu „T” zasilanie jest podłączone do środka części poziomej. Jeżeli nie jest ono podłączone w połowie części poziomej to wtedy mamy do czynienia z anteną typu „Z”, a gdy w odległości 0,36 całej długości części poziomej od jednego z jej końców, to wtedy jest to antena zwana „Widom”. Antena typu „T” jest anteną ćwierćfalową lub, jeśli istnieje możliwość, półfalową.

a) Jako ćwierćfalowa - jest praktycznie dipolem pionowym o skupionej pojemności na szczycie w postaci części poziomej zbudowanej z dwóch ramion o długości $\lambda/8$. Konstrukcja

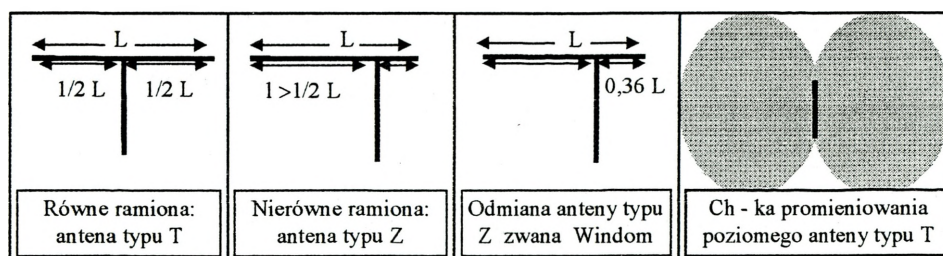
taka zachowuje się wtedy jak antena pionowa i posiada charakterystykę dookólną oraz promieniuje, przede wszystkim, na fali przyziemnej. Jest to wtedy charakterystyka promieniowania taka jak dla dipola pionowego o długości $\lambda/8$ (dipol krótki);

b) Jako półfalowa - jest praktycznie dipolem poziomym o długości $\lambda/4$ stworzonym przez dwa ramiona $\lambda/4$. Doprowadzenie stanowi transformator dopasowujący o długości $\lambda/4$.

Antena typu „T” jest więc konstrukcją promieniującą dookólnie dla fal dłuższych i dwukierunkowo dla fal krótszych. Do prawidłowej pracy antena ta wymaga skutecznego uziemienia, np. podłączenia do jednego z promieniście rozłożonych przewodów (linek lub prętów). Omawiana konstrukcja posiada dużą impedancję rzędu stu i kilkuset Ω . W pracy jako antena pionowa jest ona krótsza, a w pracy poziomej (na wyższych częstotliwościach) około dwa razy dłuższa.

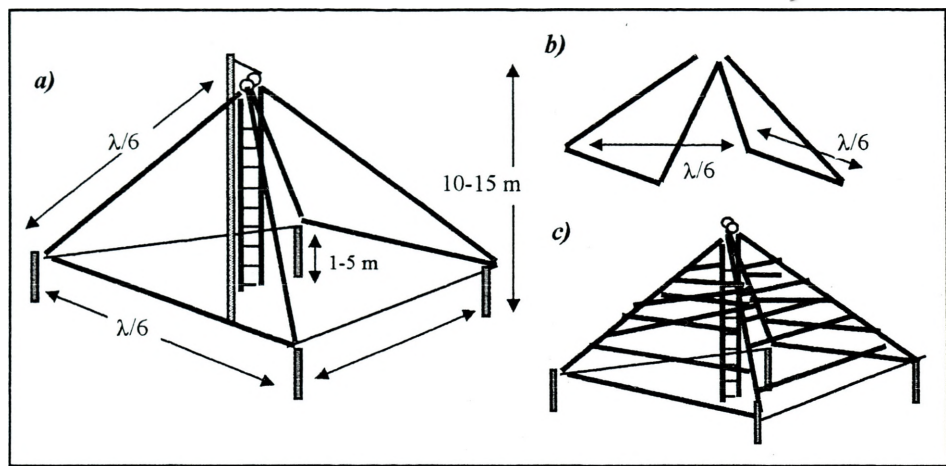
Do wad anteny należą:

- duża zależność od właściwości ziemi, najmniejsza przydatność do pracy w górach;
- mała tolerancja dla strefy bliskiej i pośredniej wokół anteny, tzn. w zasięgu kilku km dla pracy z polaryzacją pionową i kilkunastu dla pracy z polaryzacją poziomą;
- gorsze warunki pracy w terenie lesistym i podmokłym.



Rys. 2.29. Różne odmiany anteny typu „T”

2.22. ANTENA PIRAMIDOWA



Rys. 2.30. Antena typu „piramida”:

a) konstrukcja podstawowa b) sposób powstawania anteny c) odmiana wielopasmowa

Antena piramidowa jest anteną o zwężłej budowie, pozwalającej pracować na niskich podzakresach KF z wymiarami rzędu kilkunastu metrów. Są to anteny łatwe do rozwijania. Mają one zastosowanie w pracy na niższych podzakresach KF, rzędu 2 - 15 MHz.

Antena tego typu powstaje ze złożenia dipola półfalowego pętlowego do figury ostrosłupa. Pozwala to, w stosunku do zwykłego dipola, na zmniejszenie wymiarów anteny blisko czterokrotnie oraz znaczne zwiększenie szerokopasmowości anteny. Omawiana konstrukcja zasilana jest u góry linią koncentryczną $\lambda/2$ o impedancji 50 lub 75 Ω . Piramida drutowa wykazuje znaczną tolerancję, jeśli chodzi o wymiary, symetryzację i dopasowanie. Pozwala to stosować ją w szerokim zakresie częstotliwości z zadowalającą jakością pracy.

Antena piramidowa jest stosowana przede wszystkim:

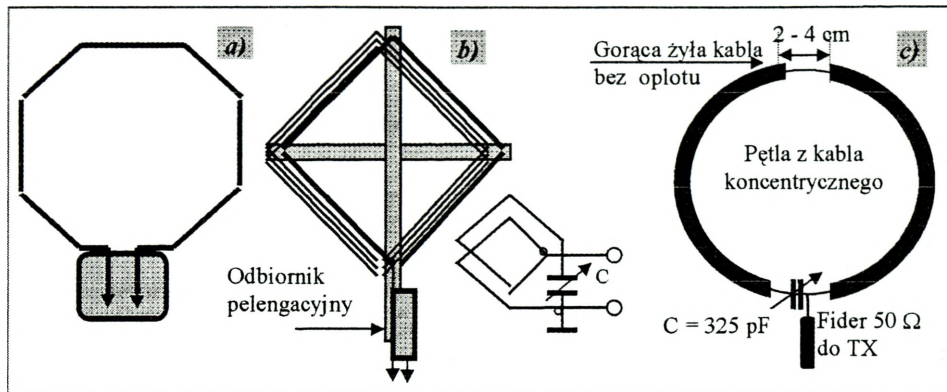
- do nasłuchu w szerokim zakresie częstotliwości sygnałów z różną polaryzacją (doskonała do skaneringu eterowego na falach średnich i krótkich),
- do nadawania, w szerokim zakresie, stałych sygnałów radiowych dużej mocy o szerokopasmowej emisji.

Omawiana konstrukcja posiada charakterystykę promieniowania z polaryzacją poziomą i pionową. Promieniuje ona dookólnie i to nie tylko nisko nad ziemią, ale również do jonosfery. Jest to antena przydatna do szerokopasmowej pracy dyfuzyjnej, ale z dużymi stratami mocy.

Antena rozwijana jest, z reguły, nisko nad ziemią - na wysokości 1,5 lub 3 metrów. Do pracy za pomocą jonosfery dolna część anteny powinna być przynajmniej na wysokości $\lambda/4$.

Antena posiada ona dużą tolerancję wymiarów, zasilania, symetryzacji, dopasowania i wysokości zainstalowania.

2.23. ANTENA RAMOWA



Rys. 2.31. Anteny ramowe: a) jednozwojowa o kształcie ośmiokąta, b) kilkozwojowa, o kształcie prostokąta c) jako pętla z kabla koncentrycznego

Antena ramowa jest charakterystycznym przykładem anteny pętlowej.

Jest to antena o małej sprawności, a największe straty występują na złączach tej konstrukcji. Posiada ona za to zwartą budowę. Jest więc wygodna w eksploatacji, gdyż daje się łatwo montować. Jest ona stosowana do pracy namiarowej (pelengacyjnej), jako antena kierunkowa. Jest nieoceniona w pracy w warunkach szczególnych, na małych wysokościach nad ziemią, gdzie inne anteny (np. dipole) „odmawiają” posłuszeństwa.

Antena ramowa jest niezastąpiona w warunkach odbioru kierunkowego, namiaru i to w obszarze o dużym poziomie zakłóceń. Wynika to z:

- małego wpływu ziemi na jej pracę,
- znacznie podniesionej głównej wiązki promieniowania,
- stosunkowo dużej szerokopasmowości,
- pracy szczególnie z wykorzystaniem składowej magnetycznej fali elektromagnetycznej.

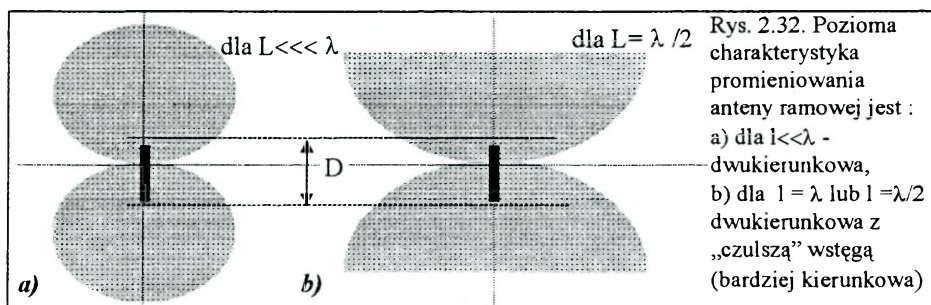
Antena posiada małą impedancję rzędu kilku Ω . Najmniejszą impedancję posiadają ramowe anteny jednozwojowe. Wraz ze zwiększeniem długości ramy tych anten, wartość ich impedancji szybko rośnie, przy czym w konstrukcjach wielozwojowych ten wzrost impedancji jest mniejszy. **Tak mała impedancja jest spowodowana:**

- dużymi stratami anten ramowych (małej jej sprawności),
- powstawaniem w omawianych konstrukcjach dużych napięć wymagających stosowania specjalnych kondensatorów,
- dużą dobrocią obwodów tych anten.

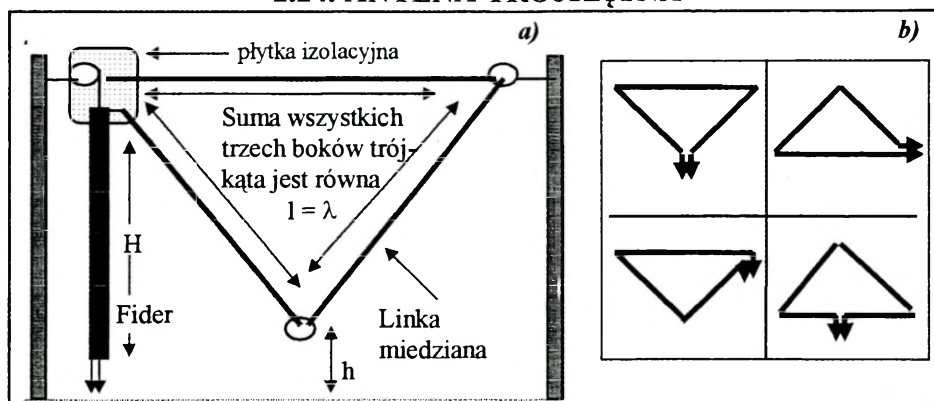
W celu zwiększenia sprawności anteny ramowej (czyli zmniejszenia strat) stosuje się pozłacanie złącz tej konstrukcji. W taki sposób sprawność anteny może osiągnąć nawet 50 %. Średnia sprawność zwykłej anteny ramowej wynosi około kilku procent.

Antena ramowa o długości $\lambda/3$ posiada rezystancję kilka Ω , a o długości λ osiąga wartość 100 - 200 Ω . Za to wysokość zainstalowania anteny ramowej, dla uzyskania tych samych parametrów odbioru co, np. dipola prostego, jest dziesięciokrotnie mniejsza.

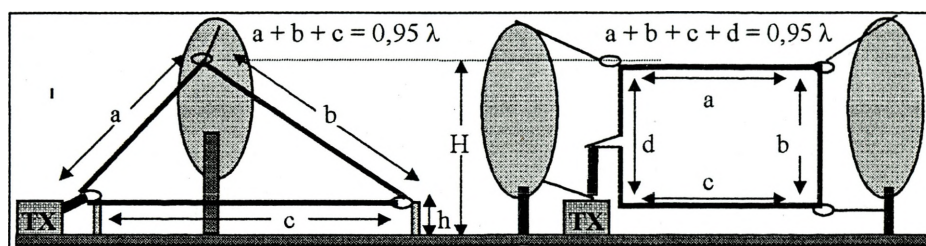
Okazuje się, że im większa jest średnica anteny ramowej oraz ilość jej zwojów, tym bardziej jest ona skuteczniejsza.



2.24. ANTENA TRÓJKĄTNA



Rys.2.33. Antena trójkątna: a) zamontowanie i wymiary, b) sposoby podłączenia i zorientowania.



Rys.2.34. Sposoby zawieszenia anteny trójkątnej i czworokątnej w pracy „terenowej”

Antena trójkątna i prostokątna są przykładami anteny pętlowej jednoelementowej.

Antena trójkątna (prostokątna), tak jak w przypadku konstrukcji Quad, może być zamontowana:

- poziomo, np. na dachu budynku lub pojazdu;
- pionowo, między budynkami lub drzewami, jako doskonała antena do pracy, np. w terenie.

Do łączności ze stacjami ruchomymi najlepsze jest zainstalowanie anteny pionowe (najwygodniejsze). Zainstalowanie poziome jest korzystne do łączności na duże odległości. Przy ukośnym zamontowaniu doskonale antena ta nadaje się do pracy na odległości od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów, z eliminacją sygnałów lokalnych. Dołączenie doprowadzenia z boku zamontowanej pionowo anteny realizuje pracę z polaryzacją pionową.

Charakterystyka promieniowania anteny trójkątnej i prostokątnej pionowej jest dookólna. Antena trójkątna powinna mieć wszystkie boki o tej samej długości i łączna ich długość powinna równać się długości fali na której pracuje (po uwzględnieniu współczynnika skrócenia konstrukcji $k = 0,95\lambda$). Antena taka może być wykonana z linki, np. miedzianej o średnicy 1,5 - 3 mm. Impedancja falowa anteny wynosi 100 - 150 Ω . Może być ona zasilana kablem koncentrycznym 75 Ω .

Stosunek boków anteny prostokątnej jest 1:2 przy czym bok dłuższy, ze względów praktycznych, jest równoległy do powierzchni ziemi. Istotnym jest jak najwyższe zawieszenie anteny nad powierzchnią ziemi.

Wymiary anteny pętlowej:

a) trójkątnej:

$$L = 0,95 \lambda, L = 3 \cdot L_B$$

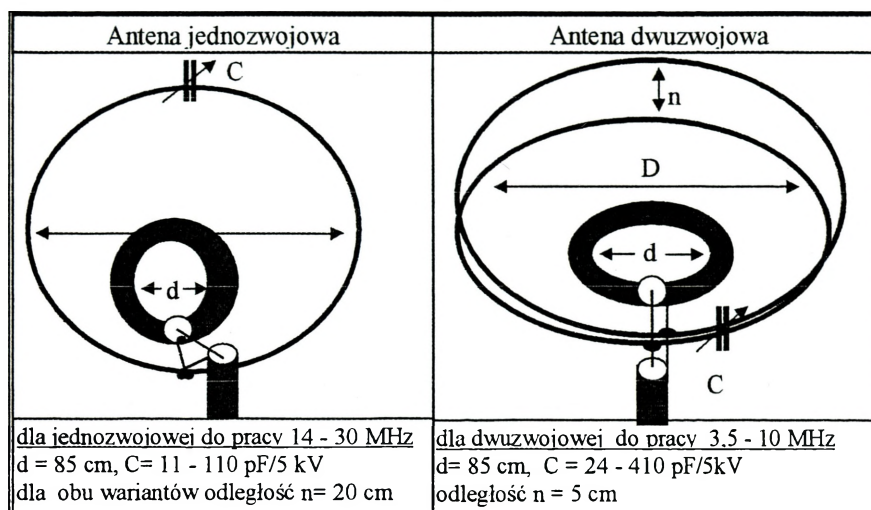
gdzie: L - długość anteny L_B - długość boku;

b) prostokątnej:

$$L = 0,95 \lambda, L = 2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2$$

gdzie: L - długość anteny L_1 i L_2 - długości boków ($L_1 = 2 \cdot L_2$).

2.25. PĘTLOWA ANTENA MAGNETYCZNA - MAIN LOOP



Rys. 2.35. Przykład dwóch zasadniczych typów anten magnetycznych:
 a) wymiary i konstrukcja jednozwojowej; b) wymiary i konstrukcja dwuzwojowej.

f [MHz]	4 - 9	8 - 18	18 - 26	20-29	Tab. 2.1. Wymiary anten magnetycznych dla różnych zakresów pracy
D [mm]	700	440	350	220	
d [mm]	140	105	80	850	
C_{MAX} pF	500	200	100	50	

Jest to antena typu pętlowego o zwartej budowie stosowana tam, gdzie jest niewiele miejsca na rozwinięcie obszernych anten (np. w służbach radiokomunikacyjnych ambasad).

Cechy charakterystyczne tej anteny:

- duża odporność na zakłócenia, gdyż pętle anteny stanowią zwoje indukcyjności, które nie są tak wrażliwe na, najczęściej występujące, zakłócenia pola elektrycznego. Z tego też względu jest anteną bezkonkurencyjną, np. w zastosowaniu w dużych kompleksach miejskich;
- możliwość stosowania, bez zauważalnego pogorszenia pracy, na różnych wysokościach (nawet nad samą powierzchnią ziemi!);
- zwartość budowy, a więc wygoda stosowania szczególnie tam, gdzie jest mało miejsca na instalowanie anten (teren zabudowany).

Bezsporne zalety anteny można zauważyć stosując ją w mieście.

Do wad anteny możemy zaliczyć:

- niedogodność strojenia anteny,
- stosunkowo dużą wąskopasmowość,
- znaczną szkodliwość przebywania w polu wypromieniowanym z anteny podczas nadawania (zły wpływ na organizm ludzki silnej składowej magnetycznej).

Antena istnieje w dwóch rodzajach jako:

- a) jednozwojowa, do pracy na wyższych częstotliwościach KF, a nawet dla UKF;
- b) dwuzwojowa, do pracy na niższych częstotliwościach KF (λ duża).

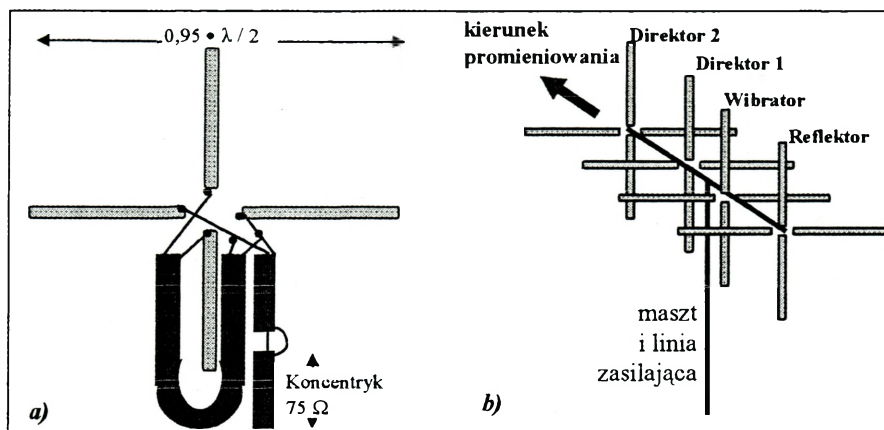
Antena składa się z:

- a) jednej lub dwóch pętli z małostratnego materiału (aluminium, miedź);
- b) kondensatora dostrojczego instalowanego w połowie zwoju, a w przypadku dwuzwojowej anteny, na połączeniu między poszczególnymi zwojami;
- c) małej pętli z przewodu koncentrycznego umocowanej w środku pętli zasadniczej.

Największe straty w tego typu antenie wprowadza pojemność. Dlatego też, zalecanym jest stosowanie kondensatora różnicowego. Ze względu na bardzo dużą dobroć obwodu anteny, na kondensatorze występują duże napięcia rzędu kV. Z drugiej strony, duża dobroć to wąskopasmowość anteny - rzędu kilkudziesięciu kHz, a na pograniczu KF/UKF jest to już ponad 100 kHz. Antena może mieć pętlę w postaci nie tylko koła, ale również kwadratu.

Pętla anteny stanowi $\lambda/4$, choć wartość $\lambda/16$ jest jeszcze wystarczająca do pracy tej anteny. Mała pętla jest pięć razy mniejsza od zasadniczej. Antena zasilana jest linią koncentryczną 50 lub 75 Ω . Z tego samego przewodu wykonana jest mała pętla. Antena promieniuje dookólnie w położeniu poziomym i dwukierunkowo w położeniu pionowym.

2.26. ANTENA KRZYŻOWA



Rys. 2.36. Antena krzyżowa: a) Układ jednoelementowy
b) Układ wieloelementowy np. do łączności radioliniowej

Antena krzyżowa składa się z dwóch dipoli znajdujących się w jednej płaszczyźnie pod kątem prostym i zasilanych z przesunięciem prądu o 90° .

Polaryzacja anteny jest kołowa co powoduje, że antena jest szczególnie wykorzystywana w relacjach łączności, gdzie polaryzacja korespondenta:

- jest nieznaną, np. łączy radioliniowe z różnymi typami stacji o różnych polaryzacjach (poziomej i pionowej),
- jest zmienna (obiekt łączności przemieszcza się - łączność satelitarna, kosmiczna).

Takie rozwiązanie pozwala jednocześnie odbierać sygnały od stacji nadających z polaryzacją poziomą i pionową oraz z polaryzacją kołową. Jest to więc antena umożliwiająca uniwersalną pracę, ale okupione jest to mniejszym zyskiem niż w antenie o jednej polaryzacji.

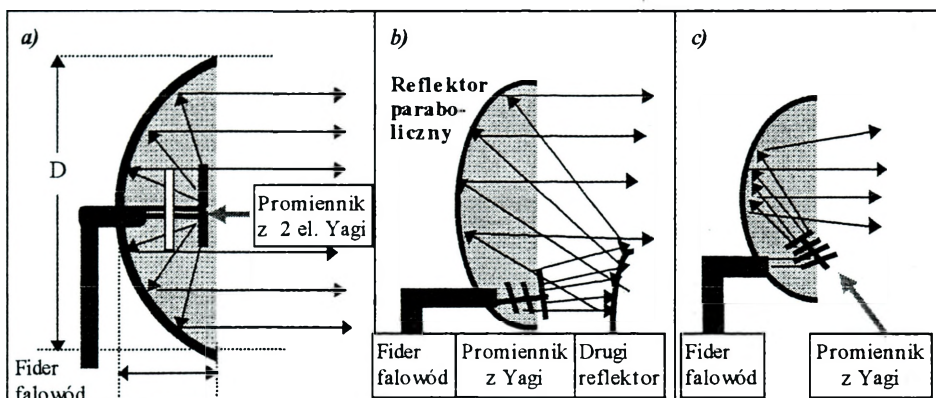
Antena składa się z dwóch par dipoli półfalowych umocowanych pod kątem prostym i zasilanych linią koncentryczną. W praktyce stosuje się kilka takich układów skrzyżowanych par dipoli, co pozwala zwiększyć zysk anteny oraz lepiej ukierunkować wiązkę promieniowania.

W łącznościach radioliniowych antena krzyżowa jest kilkuelementowa (od trzech do sześciu zespołów anten krzyżowych) i stosuje się obracanie jej w poziomie.

Zespoły anten krzyżowych znane są również w układach logarytmiczno - periodycznych, np. działających z jednoczesną polaryzacją pionową i poziomą w zakresie fal KF / VHF / UHF - dla częstotliwości pracy: 20 ... 1300 MHz.

Taka antena jako szerokopasmowa może mieć swoje zastosowanie jako konstrukcja stacjonarna lub mobilna charakteryzująca się krótkim czasem rozwinięcia i zwinięcia.

2.27. ANTENA PARABOLICZNA (SFERYCZNA)



Rys. 2.37. Anteny paraboliczne:

a) niepodświetlana, b) podświetlana dwurefleksorowa c) podświetlana jednorefleksorowa

Antena paraboliczna jest jedną z najbardziej charakterystycznych anten mikrofalowych.

Zasadniczym zastosowaniem anteny są:

- trakty radioliniowe mikrofalowe,
- satelitarna dyfuzja radiofoniczna i telewizyjna,
- radiolokacja i radioastronomia.

Popularność wykorzystania anteny parabolicznej w tym zakresie fal wynika z bardzo podobnego do fal optycznych rozchodzenia się fal radiowych o długości rzędu centymetrów i milimetrów (1 GHz - 100 GHz). Ta właściwość fal milimetrowych powoduje to, że anteny z reflektorem parabolicznym (anteny paraboliczne) pracują analogicznie do sztucznych źródeł światła, takich jak reflektory (np. samochodowe).

Analogia wynika z założenia, że oba typy fal rozchodzą się podobnie i polega to na tym, że:

- źródłem energii w antenie jest wibrator (np. dipol półfalowy z ewentualnymi dipolowymi reflektorami i direktorami), tak jak w źródłach optycznych żarówka;
- energia wypromieniowana przez źródło (żarówkę, wibrator) jest odbijana przez sferycznie obejmującą je powierzchnię zwaną właśnie reflektorem (odbijaczem).

Takie rozwiązanie pozwala na skupienie, w pożądanym kierunku, wypromieniowanej wiązki radiowej (światlnej).

Anteny paraboliczne zapewniają znaczny zysk rzędu nawet 20 - 50 dB przy wiązce promieniowania kilku lub ułamka procenta. Są to anteny lepsze od podobnie pracujących anten ścianowych (z reflektorem płaskim), gdyż pozwalają skupić i wypromieniować więcej energii (zapewniają mniejsze straty energii i większe jej wykorzystanie).

Są to konstrukcje eksploatacyjnie wygodne, ponieważ łatwo dają się rozwijać i składać oraz pozwalają na stosunkowo łatwe zmiany zakresu pracy. Najczęściej jest to wymiana elementu promiennika - wibratora lub całego konwertera z wibratorem.

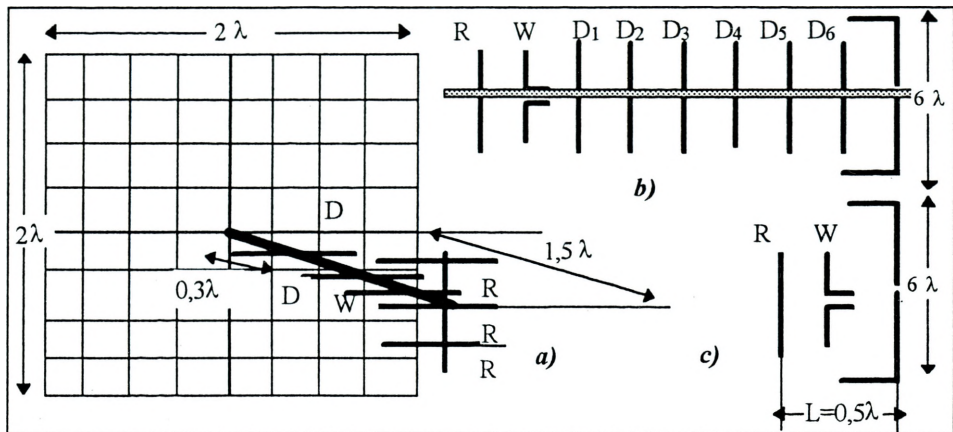
Anteny paraboliczne mają reflektory, w zależności od zakresu pracy, od kilkunastu centymetrów (radiolinie mikrofalowe) do kilku (stacje radiolokacyjne), a nawet kilkuset metrów (radioteleskopy kosmiczne, np. montowane z wykorzystaniem kraterów wygasłych wulkanów).

Zasadniczą zaletą anteny parabolicznej jest to, że emituje wiązkę promieni równoległych, która ma z reguły „płaskie czoło”.

Zasadniczą wadą anteny jest to, że następują pewne straty energii z powodu zasłaniania przez element promieniujący części sfery odbijającej. Problem ten rozwiązuje się poprzez przesunięcie wibratora poza „światło” reflektora parabolicznego albo poprzez wykorzystanie pośredniczącego drugiego, mniejszego reflektora.

Antena paraboliczna jest zasilana przewodem koncentrycznym wysokiej jakości o impedancji 50 - 75 Ω , falowodem prostokątnym lub kolistym (eliptycznym), w którym występują mniejsze straty energii w.cz.

2.28. ANTENA BACKFIRE



Rys. 2.38. Antena „Backfire”: a) konstrukcja, b) wersja z rozbudowanym wibratorem c) wariant z minimalnym wibratorem - „short-backfire”

Antena Backfire pracuje podobnie jak antena paraboliczna. Jediną różnicą jest tutaj kształt reflektora, który jest płaski i ma postać siatki prostokątnej. Elementem promieniującym w tej antenie jest Yaga kilkuelementowa z własnym reflektorem (określanym mianem reflektora wewnętrznego).

W rezultacie występują w tej antenie dwa reflektory - wewnętrzny dla anteny Yagi i zasadniczy, siatkowy anteny Backfire. Zasada pracy całej anteny jest prosta. Energia wypromieniowana i ukierunkowana przez elementy anteny Yagi, dociera do ściany reflektora całej anteny Backfire. Reflektor siatkowy anteny Backfire odbija i kieruje energię w odwrotnym kierunku niż wewnętrzna antena Yagi.

Reflektor anteny Yagi, ze względu na małe wymiary w stosunku do powierzchni odbicia reflektora całej anteny Backfire, nie stanowi praktycznie żadnej przeszkody dla wiązki głównej omawianej anteny.

Antena tego typu ma zastosowanie w urządzeniach radioastronomicznych, pomocniczych urządzeniach radiolokacyjnych oraz w stacjach przekaźnikowych pracujących w niższych zakresach częstotliwości traktów radioliniowych niż antena paraboliczna.

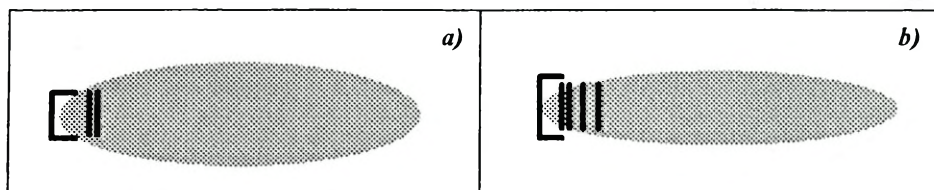
Zysk anteny jest zawiera się od kilkunastu do trzydziestu dB.

Backfire promieniuje jednokierunkowo z wąską wiązką, która jest szersza niż w antenie parabolicznej, ale węższa niż w antenie „śrubowej”.

Antena Backfire, podobnie jak antena paraboliczna, promieniuje listki boczne, choć poziom ich jest nieznaczny.

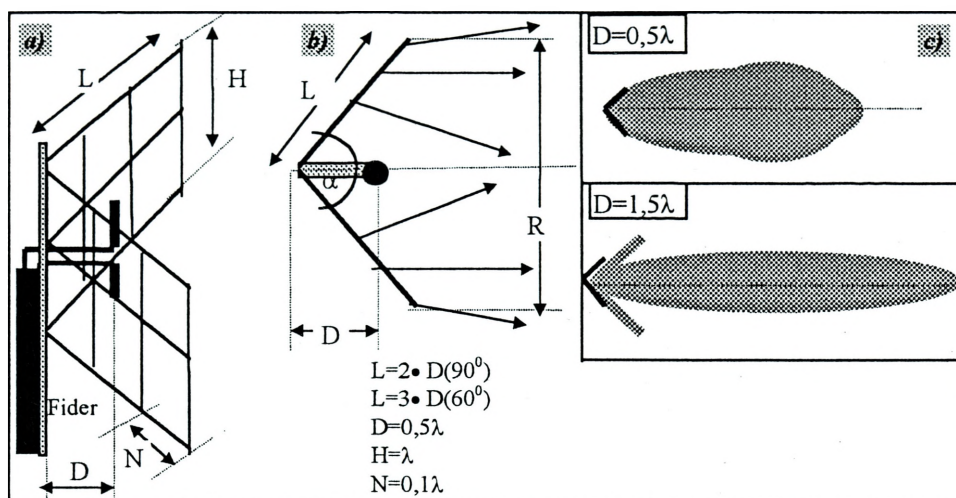
Elementem promieniującym w antenie Backfire może być Yagi jedno lub wieloelementowa z dyrektorami prostymi lub dyrektorami w kształcie litery „X”. Element ten może być umocowany pionowo lub poziomo w zależności od wymaganej polaryzacji anteny stacji korespondenta radiowego (radioliniowego). Dla polaryzacji kołowej stosowanej w łączności satelitarnej źródłem promieniowania może być antena krzyżowa.

Dla większych częstotliwości, zamiast kratowego reflektora, stosuje się płat blachy prostokątnej lub kolistej.



Rys. 2.39. Charakterystyka promieniowania anteny Backfire:
a) z wibratorem bez dyrektorów, b) z wibratorem i dyrektorami

2.29. ANTENA KĄTOWA (KSIĄŻKOWA)



Rys. 2.40. Antena kątowa: a) ogólny widok, b) widok z góry, c) charakterystyki promieniowania poziomego dla różnych odległości wibratora od reflektora (D)

Antena kątowa jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych anten służących do pracy stacji radioliniowych (przeładunkowych).

Popularność tej anteny wynika z prostoty budowy i łatwości montażu (rozwijania i zwijania), co pozwala nie tylko stosować ją do łączności stacjonarnej, ale również do tworzenia traktów radioliniowych mobilnych (terenowych).

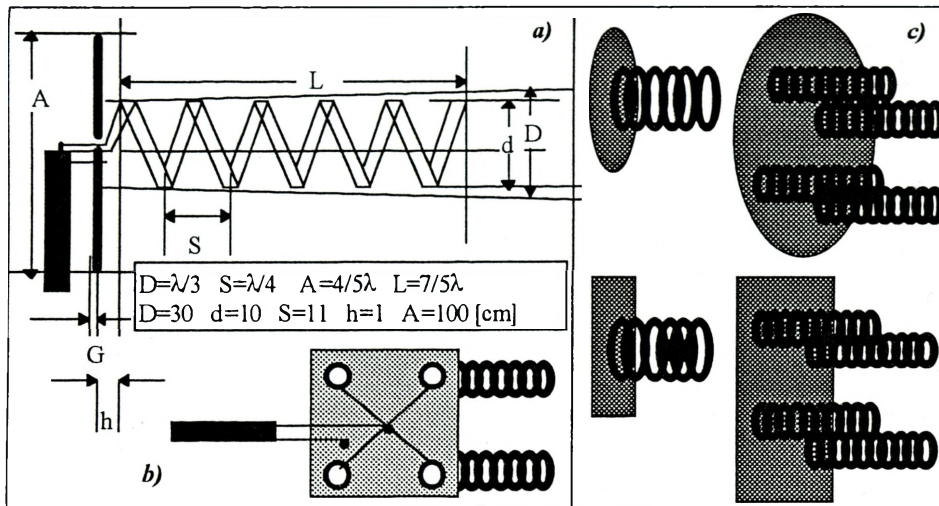
Działanie anteny polega na wypromieniowaniu przez dipol pionowy (lub poziomy) energii tak, że tylni listek jest przyjmowany przez reflektor anteny i emitowany w kierunku zasadniczego listka. Antena jest więc jednokierunkową z nielicznymi i niewielkimi listkami bocznymi.

Standardowym kątem rozwarcia reflektora tej anteny jest kąt:

- 60° dla dłuższych ramiona reflektora, które wynoszą $L = 3 \cdot D$;
- 90° dla krótszych ramiona reflektora, które wynoszą $L = 2 \cdot D$.

Wysokość zainstalowania anteny zazwyczaj jest podyktowana parametrami toru łączności i profilem terenu. Bardzo istotna w antenie kątowej jest odległość wibratora od reflektora. Odległość ta oraz wymiary ramion reflektora decydują o zysku i kierunkowości anteny. Za minimalne parametry zapewniające jeszcze znaczną skuteczność pracy anteny uważa się $L = 2/3 \lambda$ i $D = 1/3 \lambda$. Zmniejszenie odległości między elementami reflektora wpływa na pogorszenie zysku i kierunkowości anteny.

2.30. ANTENA HELIKALNA



Rys. 2.41. Antena spiralna: a) wymiary, b) podłączenie zasilania, c) konstrukcje anten pojedynczych i poczwórnych.

Antena helikalna, zwana również spiralną, zbudowana jest z elementu promieniującego w kształcie spirali z przewodu miedzianego (srebrzonego) oraz reflektora w kształcie prostokąta lub koła z blachy miedzianej. Element czynny anteny, czyli spirala, jest podłączony poprzez specjalny łącznik z „gorącym” przewodem linii zasilającej, a reflektor do „zimnego” przewodu linii zasilającej.

Antena spiralna jest zasilana przewodem koncentrycznym:

- 70 - 75 Ω , gdy spirala jest zasilana poprzez łącznik u jej podstawy;
- 60 - 65 Ω , gdy spirala jest zasilana ze szczytu spirali (z przeciwnego końca niż w poprzednio)

Antena charakteryzuje się następującymi wymiarami: średnicą zwoju spirali D i d , długością uzwojenia śruby - L , skokiem śruby - S , średnicą lub długością boku reflektora - A , grubością reflektora - G , długością łącznika - h .

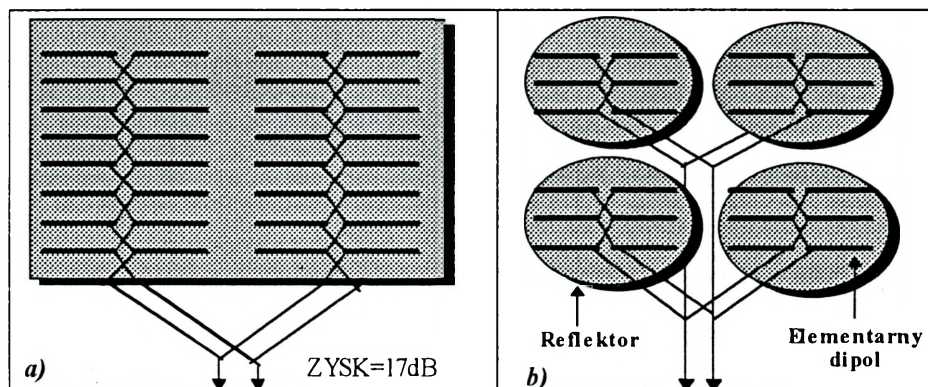
Antena promieniuje jednokierunkowo z małą wiązką i osiąga zysk rzędu 10 - 12 dB.

Mod, czyli sposób promieniowania fali elektromagnetycznej przez tę konstrukcję, jest zależny od skoku spirali i obwodu jednego uzwojenia.

W celu powiększenia zysku anteny spiralnej stosuje się układy tych anten. Najbardziej popularnym układem jest zespół czterech anten helikalnych z reflektorem kołowym lub kwadratowym. Szczególnie w służbach mobilnych stosuje się zamiast reflektora z blachy reflektor z drobnoziarnistej siatki. Poszczególne anteny zespołu mają takie same wymiary i wspólny reflektor.

Zysk takiego układu jest rzędu nawet 20 dB w stosunku do dipola prostego.

2.31. ANTENA ŚCIANOWA



Rys. 2.42. Antena ścianowa:
a) z jednym reflektorem czworokątnym, b) z czterema okrągłymi

Jest to rodzaj anteny dipolowej utworzonej w celu polepszenia zysku poprzez zwiększenie powierzchni nadawania (odbioru) anteny. Taką powierzchnię nazywamy aperturą anteny.

Występują dwa zasadnicze rodzaje ustawienia dipoli w antenie ścianowej:

- apertury poszczególnych dipoli nachodzą na siebie,
- apertury poszczególnych dipoli są w najlepszym przypadku styczne do siebie.

Dipole składowe mogą być półfalowe i ćwierćfalowe (częściej stosowane).

W antenie ścianowej istotnym jest dopasowanie fazowe poszczególnych dipoli. Ważna jest staranność wykonania anteny, która decyduje bezpośrednio o zysku anteny ścianowej i jej kierunkowości. Zysk takiej anteny rośnie nawet kilkakrotnie względem pojedynczych dipoli np. ćwierćfalowych. Jest on teoretycznie wprost proporcjonalny do wzrostu apertury anteny ścianowej.

Wariantem anteny ścianowej jest jej typ, tzw. dwuścianowy :

- ze ścianą „czynną”, tzn. ścianą anten dipolowych;
- i ze ścianą reflektora położonego za ścianą „czynną”.

Odległość między ścianą czynną i bierną jest taka jak w antenach wieloelementowych i wynosi $0,25 \lambda$.

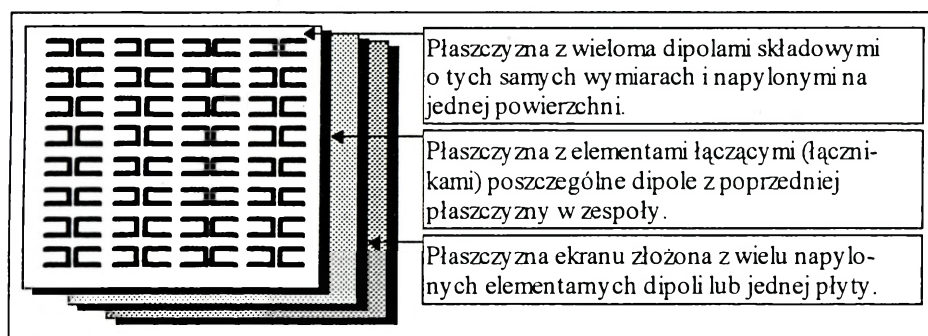
Anteny ścianowe najczęściej kojarzy się w :

- podstawowy zestaw sześciu dipoli,
- dwa zespoły po sześć dipoli,
- cztery zespoły szóstek dipoli.

Dwukrotnie zwiększona ilość dipoli zwiększa zysk o 1/4.

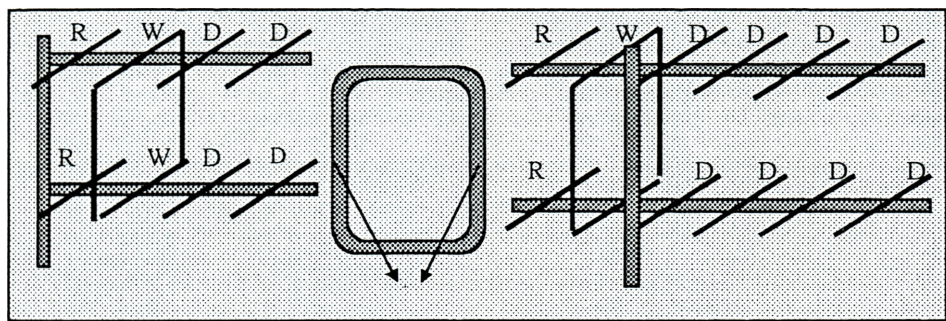
Anteny ścienne zapewniają zysk od kilkunastu do dwudziestu kilku dB w stosunku do dipola prostego. Nie jest więc opłacalne zbytnie rozbudowywanie anten ściennych.

Nowoczesnym rodzajem anten ściennych są anteny płaskie. Anteny takie są wykonywane techniką napyłania kształtek dipoli na jednej płycie, doprowadzeń na drugiej i reflektora na trzeciej. Oczywiście, taka technika budowy anteny wymusza zakresy pracy w paśmie mikrofalowym rzędu kilku GHz i więcej. Rozmiary takich anten są od kilkunastu do ponad stu cm. Zysk ich zawiera się między dwudziestoma a trzydziestoma dB przy ilości elementów od kilkunastu do kilkuset dla wyższych częstotliwości. Anteny takie, ze względu na swoją budowę, są bardzo wygodne w eksploatacji i mają wykorzystanie w stacjach radioliniowych mobilnych małej mocy. Zapewniają one łatwą obsługę i proste ustawianie kierunków anten współpracujących stacji w linii radiowej. Ostatnio popularnym wykorzystaniem tych anten jest ruchoma łączność za pomocą satelitów.



Rys. 2.43. Budowa nowoczesnej anteny ściennowej do pracy w systemie satelitarnym typu terenowego

2.32. ANTENA Z WIBRATOREM RAMOWYM



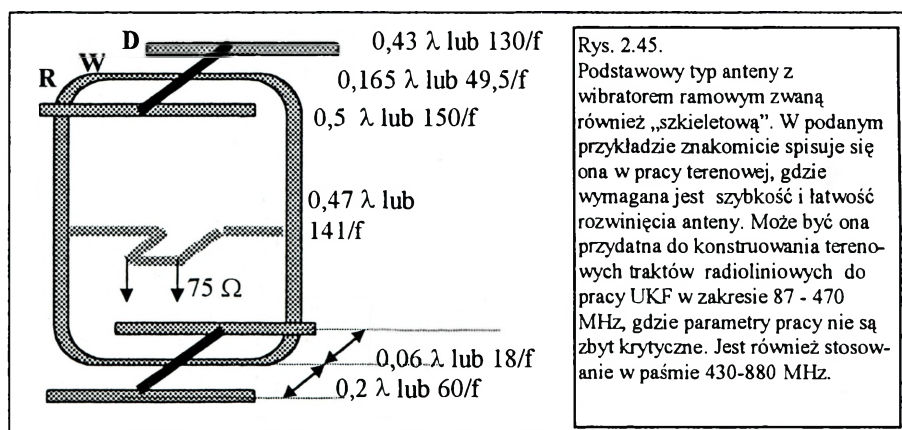
Rys. 2.44. Antena z wibratorem ramowym: a) czteroelementowa, b) sześcieelementowa.

Antena z wibratorem ramowym powstaje, gdy ramiona dipola nagniemy ku sobie i połączymy oba końce ze sobą. W antenie takiej elementami promieniującymi największą część energii są elementy poziome. Długość ramy wynosi $3/2 \lambda$.

Oprócz wersji podstawowej, występują wieloelementowe anteny z wibratorem ramowym zwane Slot - Yagą. Anteny Yagi dodaje się wtedy tylko na wysokości górnej i dolnej części ramy. W układach takich rama pełni rolę elementu czynnego - wibratora dla obu anten typu Yagi, które z kolei mogą posiadać jeszcze kilka dyrektorów z przodu ramy i reflektory z tyłu ramy. Dyrektory i reflektory obu anten Yagi leżą w tej samej odległości od wibratora (ramy). **Najczęściej spotykanymi antenami z wibratorem ramowym są:**

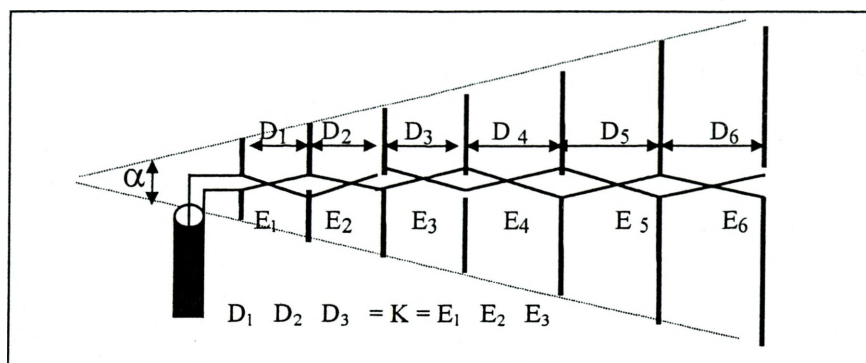
- czteroelementowe Yagi u góry i u dołu ramy,
- sześcieelementowe Yagi u dołu i u góry ramy,
- mobilne z trzejelementowymi Yagi.

Zysk anteny z wibratorem ramowym, zwanej również anteną szkieletową, wynosi od 6 dB dla anten z trzejelementowymi do kilkunastu dB z ośmioelementowymi Yagi. Zysk kierunkowy (F/B) tych anten wynosi od kilkunastu do dwudziestu kilku dB - odpowiednio do zastosowanej ilości elementów anteny Yagi. Omawiana konstrukcja pracuje szerokopasmowo.



Rys. 2.45. Podstawowy typ anteny z wibratorem ramowym zwaną również „szkieletową”. W podanym przykładzie znakomicie spisuje się ona w pracy terenowej, gdzie wymagana jest szybkość i łatwość rozwinięcia anteny. Może być ona przydatna do konstruowania terenowych traktów radioliniowych do pracy UKF w zakresie 87 - 470 MHz, gdzie parametry pracy nie są zbyt krytyczne. Jest również stosowanie w paśmie 430-880 MHz.

2.33. ANTENA LOGARYTMICZNO - PERIODYCZNA



Rys. 2.46. Schemat anteny logarytmiczno - periodycznej

Antena logarytmiczno - periodyczna jest anteną stosunkowo nową, stosowaną przede wszystkim przez służby profesjonalne do pracy szerokopasmowej w wielu, najlepiej wielokrotnych, pasmach KF, a wraz z intensywnym rozwojem radiokomunikacji również od lat siedemdziesiątych na UKF. Przedstawiony typ anteny logarytmiczno - periodycznej jest już uproszczoną wersją tej konstrukcji.

Nazwa anteny wynika bezpośrednio z tego, że zasadnicze parametry anteny, takie jak: zysk, impedancja wejściowa, szerokość wiązki głównej, są zależne okresowo (periodycznie) w sposób logarytmiczny (a nie wprost proporcjonalny) od częstotliwości pracy tej anteny.

Cała ta konstrukcja pracuje według następujących założeń:

- a) W antenie występują, tzw. aktywne obszary, w których określony dipol w rezonansie o długości $\lambda/2$ współpracuje w najbliższych elementach, tak jakby tworzył z nimi antenę Yagi dla swojej częstotliwości (pasma) pracy.
- b) Taki obszar aktywny składa się więc z:
 - elementu podstawowego - dipola półfalowego,
 - elementu dłuższego, pracujący jako reflektor,
 - elementów krótszych - pracujących jako direktory.
- c) Całkowity zakres pracy anteny jest determinowany ilością tych obszarów od kilku do dziesięciu, a dokładniej wartością minimalnego i maksymalnego obszaru aktywnego, czyli długością pierwszego i ostatniego dipola.
- d) Dla zadowalającej pracy kierunkowej anteny należy, dla skrajnych wymiarowo dipoli, zabezpieczyć minimum po jednym elemencie z przodu i tyłu, czyli po jednym elemencie dłuższym i krótszym.
- e) Antena promieniuje zasadniczo w kierunku krótszych elementów obszaru pracującego.

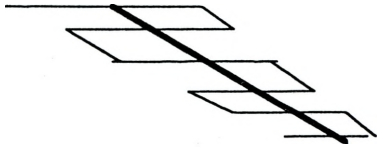
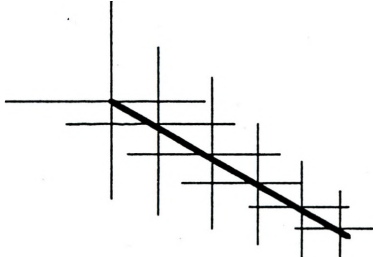
f) Stałymi w antenie są proporcje :

- długości sąsiadujących ze sobą kolejnych par elementów,
- odległości sąsiadujących ze sobą kolejnych par elementów,
- częstotliwości pracy.

W praktyce spotyka się anteny logarytmiczno - periodyczne z polaryzacją poziomą, szczególnie do pracy KF i z polaryzacją poziomo - pionową (krzyżowe) do pracy w górnych zakresach KF i z zakresie UKF. Impedancja anteny L/P jest dla jej kilkuelementowej wersji rzędu stu kilkudziesięciu Ω i dla kilkudziesięcioelementowej około 75 Ω .

Anteny takie zapewniają pracę w podzakresach o rozpiętości częstotliwości nawet dziesięciokrotnej i zysku rzędu 6 - 12 dB w stosunku do dipola prostego.

Przykładami takich anten są przedstawione poniżej konstrukcje profesjonalne

<p>ANTENA HF konstrukcja obracana - cały azymut; logarytmiczno - periodyczna; maksymalna moc doprowadzona - 500 kW; praca ruchoma; zakres pracy - 5 ... 26,1 MHz; praca na średnie odległości i DX; kąt obrotu elew. - 205°; krótki czas rozwijania i zwijania.</p> 	<p>ANTENA VHF / UKF konstrukcja półruchoma; logarytmiczno - periodyczna; moc doprowadzona - 50 kW; praca półruchoma; zakres pracy - 25 ... 1300 MHz; praca na średnie odległości; krótki czas rozwijania i zwijania.</p> 
--	--

Rys. 2.47. Przykład anteny LP: a) krótkofalowej b) ultrakrótkofalowej

LITERATURA:

1. J. Bem, Anteny i rozchodzenie się fal radiowych, WNT, Warszawa 1973
2. Z. Bieńkowski, E. Lipiński, Anteny KF i UKF, WKŁ, Warszawa 1978
3. Praca zbiorowa pod redakcją L. Knocha, Systemy radiokomunikacji satelitarnej, WKŁ, Warszawa 1980
4. W. Kołosowski, Anteny od pręta do szczeliny, MON, Warszawa 1962
5. W. Kołosowski, Anteny i rozchodzenie się fal radiowych, WKŁ, Warszawa 1990
6. W. Lisicki, Propagacja fal radiowych, WKŁ, Warszawa 1975
7. Materiały rozproszone firm i instytucji: Falcon, Harris, Racal, Reytheon, Rothe & Swarz, Thomson, WAT

