



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Anteny i Propagacja Fal

Seminarium Dyplomowe – 26.11.2012

Bartosz Nizioł
Grzegorz Kapusta

1. Charakterystyka promieniowania anteny określa:

P: unormowany do wartości maksymalnej przestrzenny rozkład natężenia pola

„Charakterystyka promieniowania anteny jest graficznym odzwierciedleniem zdolności promieniowania energii przez antenę w różnych kierunkach. Jest ona definiowana jako rozkład pola elektrycznego na powierzchni kuli o bardzo dużym promieniu, której środek pokrywa się ze środkiem anteny. (...) Charakterystyka jest trójwymiarowa (...) zwykle przedstawia się ją w jednej lub dwóch odpowiednio dobranych płaszczyznach”(Szóstka, str. 144)

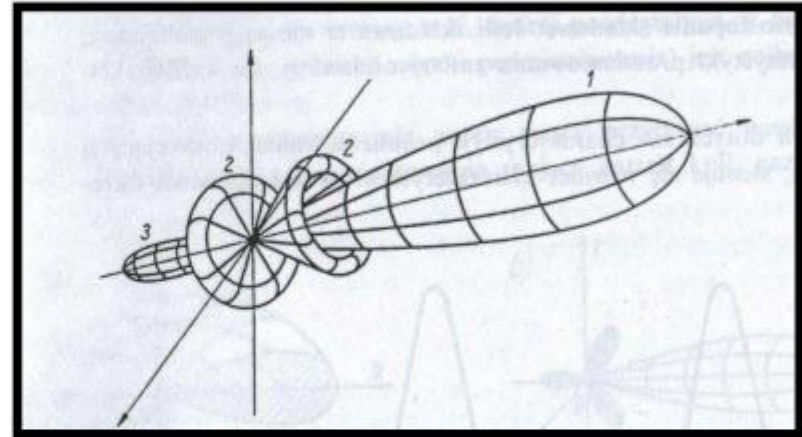
N: unormowany do wartości maksymalnej rozkład natężenia pola w jednej płaszczyźnie

N: unormowany do wartości maksymalnej rozkład natężenia pola w dwóch płaszczyznach prostopadłych

N: nienormowany trójwymiarowy rozkład natężenia pola

Parametry anten

Przestrzenna charakterystyka promieniowania anteny



Charakterystyka promieniowania określa unormowany do wartości maksymalnej przestrzenny rozkład natężenia pola.

Jest ona określona dla **strefy dalekiej !!!**

$$F(\theta, \phi) = \frac{E_{\theta}(\theta, \phi)}{E_{\theta \max}} \quad \begin{array}{l} r \gg D \\ r \gg \lambda \end{array}$$

2. Charakterystyka promieniowania określa właściwości anteny w:

N: strefie pośredniej

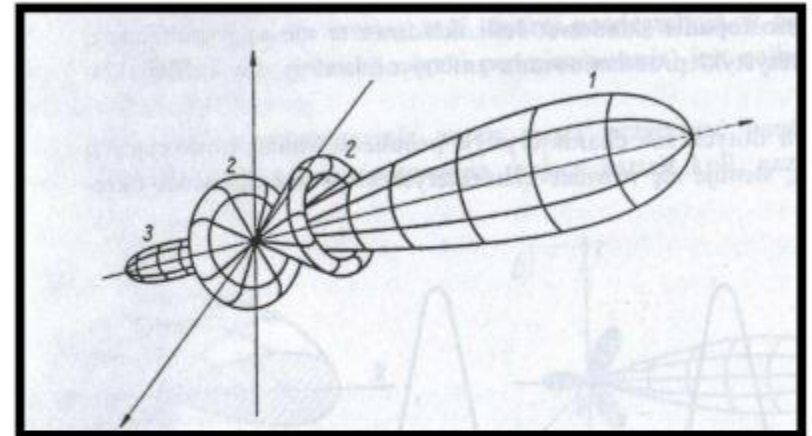
P: strefie dalekiej (Szóstka, str. 144)

N: strefie bliskiej

N: strefie bliskiej i pośredniej.

Parametry anten

Przestrzenna charakterystyka promieniowania anteny



Charakterystyka promieniowania określa unormowany do wartości maksymalnej przestrzenny rozkład natężenia pola.
Jest ona określona dla **strefy dalekiej !!!**

$$F(\theta, \phi) = \frac{E_{\theta}(\theta, \phi)}{E_{\theta \max}} \quad \begin{array}{l} r \gg D \\ r \gg \lambda \end{array}$$

3. Zysk kierunkowy to:

- N:** **stosunek natężenia pola określonego w polu dalekim dla kierunku maksymalnego promieniowania do natężenia pola promieniowanego przez listek wsteczny.**
- P:** stosunek gęstości kątovej mocy promieniowanej do gęstości mocy promieniowanej przez antenę odniesienia (izotropową), przy warunku, że obie anteny promieniają takie same wartości średnie mocy. (wykład 1)
- P:** stosunek gęstości promieniowania w danym kierunku do uśrednionej gęstości promieniowania. (Szóstka str. 151)
- N:** **stosunek natężenia pola określonego w polu dalekim dla kierunku maksymalnego promieniowania do natężenia pola promieniowanego przez listki boczne**
- N:** **rozkład gęstości mocy**

Parametry anten

Zysk kierunkowy

Zysk kierunkowy – stosunek gęstości kątovej mocy promieniowanej do gęstości mocy promieniowanej $U(\theta, \phi)$ przez antenę odniesienia przy warunku, że obie anteny promieniują takie same wartości średnie mocy P_{prom}

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0}$$

U_0 - gęstość kątovej mocy promieniowanej przez **antenę izotropową**

Zdefiniujmy teraz *zysk kierunkowy* (lub *funkcję kierunkowości*) jako stosunek gęstości promieniowania w danym kierunku do uśrednionej gęstości promieniowania:

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{\text{ave}}} \quad (7.91)$$

Jeśli podzielimy licznik i mianownik przez r^2 , to otrzymamy gęstości powierzchniowe mocy. Zysk kierunkowy jest więc stosunkiem powierzchniowej gęstości mocy w pewnym kierunku w ustalonej odległości r do uśrednionej powierzchniowej gęstości mocy w tej odległości:

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)/r^2}{U_{\text{ave}}/r^2} = \frac{1/2\text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) \cdot \hat{r}}{P_{\text{pr}}/4\pi r^2} \quad (7.92)$$

4. Antena izotropowa to:

- N:** antena, której zysk energetyczny jest taki sam jak zysk dipola półfalowego.
- P:** jest to antena, która wysyła energię jednakowo we wszystkich kierunkach (Szóstka, str. 150)
- P:** nie jest realizowalna fizycznie
- N:** najczęściej wykorzystywana antena do odbioru telewizji
- N:** antena kierunkowa o wąskiej wiązce promieniowania

Przy definiowaniu kierunkowości i zysku energetycznego użyteczne jest pojęcie *anteny izotropowej*. Jest to antena, która wysyła energię jednakowo we wszystkich kierunkach. Ponieważ każde rzeczywiste źródło promieniowania jest rozciągnięte w przestrzeni, zatem antena izotropowa nie jest realizowalna fizycznie. Charakterystyka promieniowania anteny izotropowej ma postać powierzchni kuli. Gęstość promieniowania we wszystkich kierunkach jest jednakowa i wynosi U_{ave} . Moc promieniowana przez antenę izotropową wynosi $P_{pr} = \iint U_{ave} d\Omega = U_{ave} \iint d\Omega = 4\pi U_{ave}$. Dla anten innych niż izotropowa gęstość promieniowania zależy od kierunku, ale możemy zdefiniować *średnią gęstość promieniowania* jako

$$U_{ave} = \frac{1}{4\pi} \iint U(\theta, \phi) d\Omega = \frac{P_{pr}}{4\pi} \quad (7.86)$$

5. Zysk energetyczny to:

- N: stosunek gęstości mocy promieniowanej na kierunku maksymalnego promieniowania do gęstości mocy promieniowanej przez listek tylny**
- P: wielokrotność stosunku gęstości promieniowania w danym kierunku do mocy doprowadzonej do zacisków anteny (Szóstka, str. 154)**
- P: jest wyrażany w dB ze względu na wygodę projektowania**
- N: stosunek gęstości mocy promieniowanej na kierunku maksymalnego promieniowania do gęstości mocy promieniowanej przez listki boczne**

promieniowania). Kierunkowość nie jest więc najlepszym parametrem do projektowania bilansu energetycznego systemu. Lepszym parametrem jest *zysk energetyczny* (w skrócie często mówimy zysk anteny), definiowany jako wielokrotność stosunku gęstości promieniowania w danym kierunku do mocy doprowadzonej do zacisków anteny (mocy wchodzącej do zacisków wejściowych w przypadku niedopasowania impedancyjnego):

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{we}} \quad (7.102)$$

$U(\theta, \phi)$ jest gęstością promieniowania anteny, która jest również zależna od strat w antenie. Definicja zysku nie obejmuje strat wynikających z powodu niedopasowania impedancyjnego lub polaryzacyjnego. Zwróćmy uwagę, że w ogólności zysk anteny jest funkcją kątów (θ, ϕ) . W praktyce określa się go zwykle dla kierunku maksymalnego promieniowania:

$$G = \frac{4\pi U_m}{P_{we}} \quad (7.103)$$

Zysk energetyczny wyraża się w dB ze względu na wygodę przy projektowaniu łącza radiowego:

$$G_{dB} = 10 \log G \quad (7.104)$$

Zdefiniowany równaniem (7.103) zysk jest wyrażony względem zysku bezstratnej anteny izotropowej. W wielu katalogach podaje się czasami zysk anteny względem innych anten, najczęściej dipola półfalowego. W takim przypadku zysk anteny względem źródła izotropowego wyraża się wzorem

$$G_{dB} = G_{\lambda/2} + 2,15 \quad (7.105)$$

6. Sprawność anteny:

N: to wartość zysku energetycznego odniesiona do mocy doprowadzonej do anteny

P: jest to stosunek mocy wypromieniowanej przez antenę do mocy doprowadzonej do wejścia anteny (Szóstka, str. 155)

$$\eta = \frac{P_{pr}}{P_{we}}$$

N: to wartość zysku kierunkowego odniesiona do mocy doprowadzonej do anteny

Sprawność anteny

Sprawność anteny – stosunek mocy wypromieniowanej do mocy na wejściu anteny

$$\eta = \frac{P_{prom}}{P_{we}}$$

Uwzględniając zależności określające zysk energetyczny i zysk kierunkowy:

$$\eta = \frac{G(\theta, \phi)|_{\max}}{D(\theta, \phi)|_{\max}} = \frac{G_0}{D_0}$$

7. Źródłami strat w antenie są:

N: straty odbiciowe, przewodzenia, dielektryczne oraz straty związane z promieniowaniem.

Straty związane z promieniowaniem są ja najbardziej chciane – antena ma promieniować jak największą moc.

P: straty odbiciowe, przewodzenia, dielektryczne (wykł. 1)

N: Tylko straty odbiciowe

N: Tylko straty przewodzenia

N: Straty związane z promieniowaniem

Źródła strat w antenie:

- straty odbiciowe związane z niedopasowaniem toru odbiorczego
- straty przewodzenia związane ze skończoną przewodnością przewodnika
 - straty dielektryczne

$$1 - |\Gamma|^2$$

straty odbiciowe

8. Powierzchnia skuteczna anteny to:

- N:** **pole powierzchni anteny odniesione do częstotliwości środkowej**
- P:** **jest to stosunek mocy wydzielonej w dopasowanym obciążeniu anteny do gęstości mocy pola w miejscu umieszczenia anteny (1 wykład)**
- N:** **stosunek mocy wypromieniowanej przez antenę do mocy dostarczonej do jej zacisków**
- N:** **jest to pole powierzchni anteny**

Powierzchnia skuteczna – jest stosunkiem mocy wydzielonej w dopasowanym obciążeniu anteny do gęstości mocy pola w miejscu umieszczenia anteny.

$$P_0 = A_{sk} \left| \vec{S}_0 \right|$$

Istnieje ścisły związek pomiędzy powierzchnią skuteczną i kierunkowością anteny

$$A_{sk} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_0$$

Po uwzględnieniu strat

$$A_{sk} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \eta \cdot L_{pol} \cdot D_0$$

$$A_{sk} = \frac{\lambda^2}{4\pi} L_{pol} \cdot G_0$$

9. Impedancja wejściowa anteny jest sumą:

N: rezystancji promieniowania i reaktancji wejściowej anteny

Impedancję anteny definiuje się jako impedancję widzianą na zaciskach wejściowych anteny ($Z_{we} = R_{we} + jX_{we}$),
gdzie:

$R_{we} = R \text{ promieniowania} + R \text{ strat}$ (wykład 1)

P: rezystancji promieniowania, rezystancji strat i reaktancji wejściowej anteny.

N: wyłącznie rezystancja promieniowania

N: wyłącznie rezystancja wejściowa anteny

Impedancję anteny definiuje się jako impedancję widzianą na zaciskach wejściowych anteny, czyli jako stosunek napięcia do prądu na w/w zaciskach.

$$Z_{we} = R_{we} + jX_{we}$$

Rezystancja wejściowa

$$R_{we} = R_{prom} + R_{str}$$

10. Tłumienie polaryzacji ortogonalnej to:

- N:** **wyrażony w dB stosunek mocy odbieranej na polaryzacji poziomej do mocy odbieranej na polaryzacji kołowej prawoskrętnej**
- P:** XP (crosspolar) – tłumienie polaryzacji ortogonalnej to stosunek mocy odbieranej na polaryzacji pożądanej do mocy odbieranej na polaryzacji ortogonalnej (wykład 1)
- P:** jest wyrażany w decybelach [db]

Parametry anten

Polaryzacja anteny

XP [dB] (ang. crosspolar) – tłumienie polaryzacji ortogonalnej – stosunek mocy odbieranej na polaryzacji pożądaney do mocy odbieranej na polaryzacji ortogonalnej

AR [dB] (ang. axial ratio) – Stosunek amplitudy wektora E wzdłuż dużej półosi elipsy do amplitudy natężenia pola wzdłuż małej półosi elipsy

11. Z równania zasięgu dla propagacji w wolnej przestrzeni wynika, że:

N: podwojenie zasięgu wymaga dwukrotnego zwiększenia mocy nadawanej

Równanie: (Szóstka str. 173)

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi r)^2}$$

P: podwojenie zasięgu wymaga czworokrotnego zwiększenia mocy nadawanej

N: podwojenie zasięgu wymaga dwukrotnego zmniejszenia mocy nadawanej

Zastępując kierunkowości zyskami energetycznymi dostajemy wzór Friisa uwzględniający straty w antenach:

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi r)^2} \quad (7.174)$$

Wzór ten jest niezmiernie użyteczny przy obliczaniu bilansu energetycznego mikrofalowych łączy radiowych. Zakłada on, że istnieje dopasowanie impedancyjne i polaryzacyjne anteny nadawczej i odbiorczej. Anteny muszą być skierowane tak, aby ich kierunki maksymalnego promieniowania pokrywały się. Jeśli jeden z tych warunków nie jest spełniony, należy wprowadzić współczynniki korygujące odpowiednio niedopasowanie impedancyjne $(1 - |\Gamma|^2)$, polaryzacyjne oraz kierunku. Ponieważ przy obliczaniu bilansu operujemy zwykle na skali logarytmicznej, wygodnie jest zapisać (7.174) w następującej postaci:

$$P_R[\text{dBm}] = P_T[\text{dBm}] + G_T[\text{dB}] + G_R[\text{dB}] - 20 \log r[\text{km}] - \\ - 20 \log f[\text{MHz}] - 32,44 \quad (7.175)$$

12. Z radarowego równania zasięgu dla propagacji w wolnej przestrzeni wynika, że:

N: podwojenie zasięgu wymaga dwukrotnego zwiększenia mocy nadawanej

Równanie: (Szóstka str. 174)

$$P_R = P_T \frac{\lambda^2 G_R G_T \sigma}{(4\pi)^3 r^4}$$

P: podwojenie zasięgu wymaga szesnastokrotnego zwiększenia mocy nadawanej

N: podwojenie zasięgu wymaga dwukrotnego zmniejszenia mocy nadawanej

Wielkość σ ma wymiar m^2 i nosi nazwę *skutecznej powierzchni odbicia*. Jest to zastępcza powierzchnia przekroju metalowej kuli, która odbija izotropowo padającą na nią energię w takiej samej ilości jak obiekt rzeczywisty. Chociaż w rzeczywistości moc P_{inc} nie jest rozpraszana izotropowo, jednak odbiornik ma antenę skierowaną tylko w jedną stronę i zakładamy, że właśnie na tym kierunku rozpraszanie jest izotropowe. Do odbiornika dociera wtedy fala o powierzchniowej gęstości mocy wynoszącej

$$\bar{S}_{scat} = \frac{P_{inc}}{4\pi r^2} \quad (7.178)$$

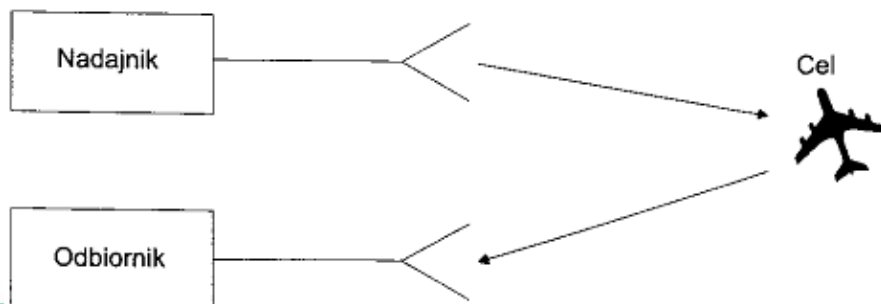
W odbiorniku wydziela się moc

$$P_R = A_{eR} \bar{S}_{scat} = A_{eR} \frac{\sigma \bar{S}_{inc}}{4\pi r^2} = P_T \frac{A_{eR} A_{eT} \sigma}{4\pi r^4 \lambda^2} \quad (7.179)$$

Jest to tzw. *równanie radarowe* określające moc sygnału na dopasowanym obciążeniu anteny odbiorczej, które często zapisuje się w postaci

$$P_R = P_T \frac{\lambda^2 G_R G_T \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (7.180)$$

Moc w odbiorniku przy ustalonych zyskach anten jest wprost proporcjonalna do kwadratu długości fali i odwrotnie proporcjonalna do czwartej potęgi z odległości.



13. Polaryzacjami ortogonalnymi są:

N: polaryzacja pozioma i kołowa prawoskrętna

P: Polaryzacja pozioma i pionowa

P: polaryzacja lewoskrętna i prawoskrętna

N: polaryzacja pozioma i prawoskrętna

Polaryzacja

Drgania fal elektromagnetycznych odbywają się w ściśle określonych płaszczyznach. Fale elektromagnetyczne mogą drgać zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej. W przypadku gdy drgają tylko w jednej płaszczyźnie – mówimy o polaryzacji liniowej – pionowej lub poziomej. Gdy drgają w obu płaszczyznach – mówimy o polaryzacji kołowej lub eliptycznej – prawoskrętnej i lewoskrętnej. Dość często spotykane jest pojęcie polaryzacji ortogonalnej, oznacza ono polaryzację przeciwną do danej. Np. polaryzacje ortogonalne to pionowa i pozioma czy prawoskrętna i lewoskrętna. Warto pamiętać, że choć antena nadaje w jednej polaryzacji to na skutek odbić i przejść przez obiekty sferyczne następują zmiany polaryzacji, wskutek czego do anteny odbiorczej dochodzą fale w obu polaryzacjach. To zjawisko ogranicza możliwość niezależnej pracy dwóch systemów w jednym kanale, nadających na polaryzacji ortogonalnej.

14. Polaryzacja anteny mikropaskowej:

N: nie zależy od kształtu elementu promieniującego

P: polaryzacja zależy od kształtu elementu promieniującego

P: polaryzacja zależy od sposobu wzbudzenia (wykład 5)

N: polaryzacja nie zależy od sposobu wzbudzenia ani kształtu elementu promieniującego

Metody wzbudzania polaryzacji kołowej

Anteny spolaryzowane kołowo (CP) można podzielić na dwie główne kategorie ze względu na sposób wzbudzania polaryzacji:

- anteny o polaryzacji kołowej wynikającej bezpośrednio z kształtu anteny, która głównie ma kształt spiralny lub linii śrubowej,
- anteny o podwójnej polaryzacji (z ortogonalnie spolaryzowanymi elementami o polaryzacji liniowej), w których doprowadzono sygnały w kwadraturze do dwóch ortogonalnych portów.

15. Procentowa szerokość pasma pracy anteny mikropaskowej:

P: zależy od rodzaju elementów promieniujących

P: zależy od sposobu pobudzenia

P: zależy od rodzaju podłoża

N: zależy od częstotliwości środkowej

16. Pasma pracy promiennika mikropaskowego poszerzyć można poprzez:

N: zmniejszenie grubości podłoża dielektrycznego

P: zwiększenie grubości podłoża dielektrycznego (Wykład 5)

N: zmniejszenie grubości podłoża elektrycznego

P: zastosowanie podłoża o mniejszej przenikalności elektrycznej

Sposoby poszerzania pasma

Porównanie parametrów poszczególnych modeli anten

	Pasmo [MHz] (RL<-20 dB)	Izolacja [dB] (RL<- 20dB)	Pasmo [MHz] (RL<-15dB)	Izolacja [dB] (RL<- 15dB)	G [dBi]	XP [dB]	AR [dB]
rh_th_5	45	<-24	80	<-23	9,1	-27,7	0,71
rh_th_8	110	<-18	220	<-17	8,2	-20	1,72
rh_th_10	210	<-20	310	<-18	8,6	-19	1,91

rh_th_5 – antena wykonana na podłożu dielektrycznym Rohacell HF 71 o grubości 5 mm,

rh_th_8 – antena wykonana na podłożu dielektrycznym Rohacell HF 71 o grubości 8 mm,

rh_th_10 – antena wykonana na podłożu dielektrycznym Rohacell HF 71 o grubości 10 mm.

17. Polaryzację kołową w promienniku mikropaskowym:

- P: można wzbudzić poprzez zastosowanie elementu promieniującego o odpowiednim kształcie**
- P: można wzbudzić poprzez pobudzenie promiennika w dwóch ortogonalnie umieszczonych punktach sygnałami o odpowiednim rozkładzie amplitudowo-fazowym**
- P: można wzbudzić poprzez pobudzenie promiennika w jednym punkcie jeśli jest odpowiednio umieszczony (wykład 5)**

Metody wzbudzania polaryzacji kołowej

Anteny spolaryzowane kołowo (CP) można podzielić na dwie główne kategorie ze względu na sposób wzbudzania polaryzacji:

- anteny o polaryzacji kołowej wynikającej bezpośrednio z kształtu anteny, która głównie ma kształt spiralny lub linii śrubowej,
- anteny o podwójnej polaryzacji (z ortogonalnie spolaryzowanymi elementami o polaryzacji liniowej), w których doprowadzono sygnały w kwadraturze do dwóch ortogonalnych portów.

18. Współczynnik osiowy polaryzacji kołowej:

N: rośnie wraz ze wzrostem izolacji pomiędzy portami promiennika mikropaskowego przy wzbudzaniu dwuportowym

P: maleje wraz ze wzrostem izolacji pomiędzy portami promiennika mikropaskowego przy wzbudzaniu dwuportowym (Szóstka 165)

N: nie zależy od izolacji pomiędzy portami promiennika mikropaskowego przy wzbudzaniu dwuportowym

N: nie zależy od sposobu wzbudzania polaryzacji kołowej

pożądana) i E_ϕ (polaryzacja ortogonalna). Dobra antena nie powinna nadawać lub odbierać składowych o polaryzacji ortogonalnej (poziom co najmniej 20 dB poniżej maksimum w wiązce głównej). Maksimum mocy wydziela się na obciążeniu anteny wtedy, gdy jej polaryzacja jest dopasowana do polaryzacji padającej na nią fali. W przypadku polaryzacji eliptycznej główne osie elipsy dla fali padającej muszą pokrywać się z osiami fali wytwarzanej przez antenę. Fala o polaryzacji kołowej może być odebrana przez antenę o polaryzacji liniowej, będzie się to jednak wiązać ze spadkiem mocy na zaciskach o 3 dB w porównaniu z anteną przystosowaną do odbioru fal o polaryzacji kołowej. Własności polaryzacyjne anten są czasami określane poprzez podanie *współczynnika osiowego polaryzacji* AR, który jest definiowany jako stosunek wzajemnie prostopadłych składowych pola elektrycznego. Zawiera się on w przedziale od 1 (polaryzacja kołowa) do ∞ (polaryzacja liniowa).

19. Do anten pozwalających na pozyskiwanie bardzo szerokich wielooktawowych pasm pracy należą:

N: anteny yagi-uda trójelementowe

N: anteny yagi-uda wieloelementowe

P: anteny logarytmiczno periodyczne

N: anteny mikropaskowe wykonane na cienkim podłożu dielektrycznym

Anteny szerokopasmowe

Anteny logarytmicznie periodyczne – zastosowanie w wojskowych systemach namiaru kierunku promieniowania



20. Charakterystyka promieniowania układu antenowego:

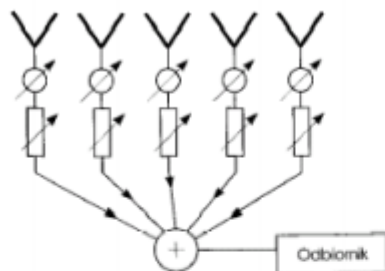
P: zależy od amplitud przebiegów pobudzających elementy promieniujące

P: zależy od ilości elementów promieniujących (wykład 8)

N: **nie zależy od odległości pomiędzy elementami promieniującymi**

N: **nie zależy od faz przebiegów pobudzających elementy promieniujące**

N: **jest taka sama jak charakterystyka promieniowania pojedynczego elementy układu**



Charakterystyka promieniowania układu antenowego zależy od rozmieszczenia elementów w przestrzeni, ich orientacji, typu elementu promieniującego, a także amplitud i faz przebiegów zasilających poszczególne elementy.

Dla uproszczenia rozważań będziemy rozpatrywać układy złożone ze źródeł izotropowych.

Charakterystykę promieniowania układu źródeł izotropowych nazywamy *współczynnikiem układu*.

21. Współczynnikiem układu antenowego nazywamy:

P: charakterystykę promieniowania układu złożonego ze źródeł izotropowych (Szóstka, s.225)

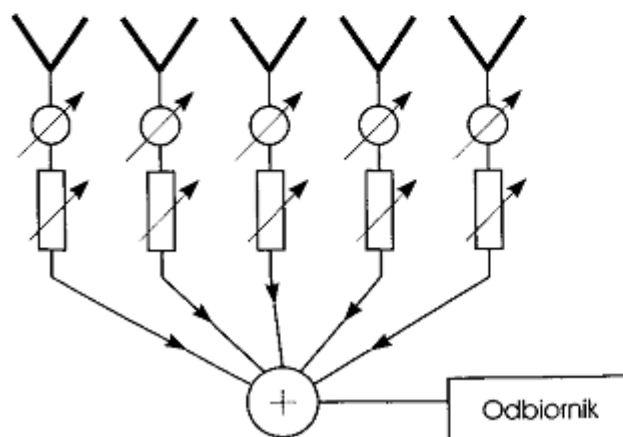
N: ilość elementów promieniujących

N: odniesioną do długości fali odległość pomiędzy elementami promieniującymi

N: charakterystykę promieniowania pojedynczego elementu promieniującego zastosowanego w układzie antenowym

N: odległość pomiędzy promiennikami wyrażona w długościach fali

Najczęściej wykorzystuje się *układy liniowe*, w których środki anten tworzących układ leżą na jednej prostej. Popularne są też *układy planarne*, kiedy środki anten leżą na płaszczyźnie (układy prostokątne lub pierścieniowe). Osobną klasę tworzą *układy niepłaskie*, w których środki leżą na powierzchniach nie będących płaszczyznami (powierzchnia kuli, pobocznica walca itp.). Charakterystyka promieniowania układu zależy od rozmieszczenia elementów w przestrzeni i ich orientacji, typu elementu promieniującego, a także amplitud i faz przebiegów zasilających poszczególne elementy. Aby uprościć rozważania, będziemy rozpatrywać układy złożone ze źródeł izotropowych. Charakterystykę promieniowania takiego układu będziemy nazywać *współczynnikiem układu*.



Rys. 10.1. Układ antenowy

22. Elektroniczne sterowanie wiązką w układzie antenowym odbywa się poprzez:

- N: Zmianę rozkładu amplitud sygnałów pobudzających poszczególne elementy promieniujące**

- P: zmianę wzajemnych faz pomiędzy sygnałami pobudzającymi poszczególne elementy promieniujące (Szóstka s.236)**

- N: dołączanie i odłączanie kolejnych elementów promieniujących**

- N: zmianę mocy doprowadzonej do zacisków anteny**

dla układu jednorodnego o identycznych amplitudach i odległościach. Dla układów z promieniowaniem poprzecznym ($\theta_0 = 90^\circ$) $\alpha = 0$, natomiast dla układów z promieniowaniem wzdłużnym ($\theta_0 = 0$ lub 180°) $\alpha = -\beta d$ lub βd . Dla przykładu z rys. 10.12 mamy $\alpha = \pi/2$, $d = \lambda/2$ i $\theta_0 = \arccos(-\alpha/\beta d) = 120^\circ$. Układy antenowe, w których zmianę kąta wiązki głównej osiąga się wyłącznie poprzez zmianę faz prądów zasilających, nazywamy *układami fazowanymi*. Są one bardzo

(a) \bullet \bullet \bullet \bullet $\longrightarrow z$
 1 $1e^{j(\pi/2)}$ $1e^{j\pi}$ $1e^{j(3\pi/2)}$

rozpowszechnione w radiolokacji, gdzie wymagana jest duża szybkość przemieszczania wiązki fal przestrzeni, a ponadto w układach ustalających kierunek nadchodzącej fali radiowej i w antenach używanych w radiokomunikacji ruchomej (układy adaptacyjne). Zadanie polegające na dobraniu takiego rozkładu elementów

23. Zasilanie równoległe układu antenowego charakteryzuje się:

- P:** tym, że faza sygnałów doprowadzonych do poszczególnych elementów promieniujących jest stała w szerokim zakresie częstotliwości (wykład 8)

- N:** tym, że faza sygnałów doprowadzonych do poszczególnych elementów promieniujących silnie zależy od częstotliwości

- N:** mniejszymi stratami w sieci zasilania niż w przypadku zasilania szeregowego

- N:** tym, że kierunek maksymalnego promieniowania jest zależny od częstotliwości

Znane są trzy podstawowe techniki zasilania układów fazowanych. Pierwsza z nich to *zasilanie równoległe* (rys. 10.13a), w którym doprowadzenia do wszystkich elementów mają jednakową długość, co oznacza równość faz i amplitud. W razie potrzeby można zastosować zmienne tłumiki lub przesuwniki fazy w celu modyfikacji tych parametrów. Drugi sposób, *szeregowy* (rys. 10.13b), jest łatwy w wykonaniu, lecz trudny w projektowaniu. W miarę rozchodzenia się fali wzdłuż

24. Zasilanie szeregowo układu antenowego charakteryzuje się:

- N: tym, że faza sygnałów doprowadzonych do poszczególnych elementów promieniujących jest stała w szerokim zakresie częstotliwości**
- P: tym, że faza sygnałów doprowadzonych do poszczególnych elementów promieniujących silnie zależy od częstotliwości**
- N: większymi stratami w sieci zasilania niż w przypadku zasilania równoległego**
- N: tym, że kierunek maksymalnego promieniowania nie jest zależny od częstotliwości**

modyfikacji tych parametrów. Drugi sposób, *szeregowy* (rys. 10.13b), jest łatwy w wykonaniu, lecz trudny w projektowaniu. W miarę rozchodzenia się fali wzdłuż linii transmisyjnej jest ona tłumiona z powodu promieniowania energii przez poszczególne elementy układu. Musimy uwzględnić ten fakt w fazie projektowania. Impedancja obciążenia jest zwykle dopasowana ze względu na odbicia. Względne przesunięcie fazy między sąsiednimi elementami jest określone długością elektryczną łączącej linii i wzajemnym sprzężeniem między nimi. Zmieniając częstotliwość zmieniamy długość elektryczną linii, i co za tym idzie, różnicę faz między elementami. Ten sposób kontroli położenia wiązki poprzez zmianę częstotliwości nazywamy *sterowaniem częstotliwościowym* układu antenowego. Trzecim sposobem

25. Obniżenie listków bocznych układu antenowego uzyskuje się poprzez:

- N: zastosowanie rozkładu amplitudowego, w którym elementy skrajne zasilane są sygnałem o największej amplitudzie**

- P: zastosowanie rozkładu amplitudowego w którym elementy skrajne zasilane są sygnałem o najmniejszej amplitudzie**

- N: zastosowanie rozkładu fazowego, w którym elementy skrajne zasilane są sygnałem o największej odchyłce fazy w stosunku do sygnałów zasilających środkowe elementy**

- N: zastosowanie rozkładu fazowego, w którym elementy skrajne zasilane są ze stałym narostem fazy**

26. Szerokość wiązki głównej układu antenowego:

P: zależy od rodzaju elementu promieniującego

N: **nie zależy od odległości pomiędzy elementami promieniującymi**

N: **nie zależy od rodzaju elementu promieniującego**

N: **jest mniejsza dla układów o obniżonym poziomie listków bocznych w stosunku do takiego samego układu, w którym nie zastosowano techniki obniżania listków bocznych**

27. Listek dyfrakcyjny:

- P:** może być zminimalizowany poprzez zmniejszenie odległości pomiędzy elementami promieniującymi

- P:** listek, który powstaje poprzez pojawienie się kolejnego maksimum współczynnika układu antenowego w zakresie widzialnym

- N:** **nie może być zminimalizowany poprzez zmniejszenie odległości pomiędzy elementami promieniującymi**

- N:** **może być zminimalizowany poprzez zastosowanie odpowiedniego rozkładu amplitudowego**

28. Antena wielowiązkowa jest to:

- P:** antena wieloportowa, w której poprzez wybór odpowiedniego portu zasilającego uzyskuje się inną charakterystykę promieniowania
- N:** antena jednoportowa, w której charakterystyka promieniowania posiada co najmniej dwa listki główne
- N:** antena, w której charakterystyka promieniowania zależy od mocy sygnału doprowadzonego do jej wrót
- N:** antena, w której kierunek maksymalnego promieniowania zależy od częstotliwości

29. Zasada przemnażania charakterystyk:

- P:** mówi o tym, że charakterystyka promieniowania układu antenowego jest iloczynem współczynnika układu i charakterystyki elementu promieniującego zastosowanego w układzie antenowym (Szóstka, s.240)
- N:** mówi o tym, że charakterystyka promieniowania układu antenowego jest iloczynem charakterystyk poszczególnych elementów promieniujących zastosowanych w układzie antenowym
- N:** może być stosowana jedynie do układów antenowych o parzystej liczbie elementów
- N:** może być stosowana jeżeli w układzie antenowym zastosowano różne elementy promieniujące

10.4. Zasada przemnażania charakterystyk

Założmy, że mamy do czynienia z układem antenowym, w którym elementami promieniującymi są identyczne anteny (np. dipole półfalowe) o unormowanej charakterystyce promieniowania $g_a(\theta, \phi)$. Aby określić wypadkową charakterystykę całego układu posługujemy się *zasadą przemnażania charakterystyk*:

Charakterystyka promieniowania układu antenowego złożonego z takich samych elementów jest równa iloczynowi charakterystyki promieniowania pojedynczego elementu oraz charakterystyki układu źródeł izotropowych mających takie samo położenie i prądy zasilające, jak rzeczywiste elementy promieniujące.

30. Zasada wzajemności:

P: obowiązuje dla wszystkich anten pasywnych
(Szóstka, s.168)

P: stwierdza, że właściwości anteny są niezależne od tego czy antena pracuje w trybie nadawczym czy odbiorczym

N: **nie obowiązuje dla układów wąskopasmowych**

N: **stwierdza, że właściwości anteny są zależne od tego czy antena pracuje w trybie nadawczym czy odbiorczym**

Zasada wzajemności ma bardzo ważne implikacje praktyczne. Mówi ona, że *parametry anteny traktowanej jako nadawcza są identyczne z parametrami tej samej anteny traktowanej jako odbiorcza*. Wykażemy, że charakterystyka promieniowania anteny nadawczej jest identyczna z charakterystyką promieniowania tej samej anteny użytej jako odbiorcza. Niech pobudzana będzie najpierw antena **a** (nadajnik), a napięcie mierzymy na otwartych zaciskach anteny **b**. Jeśli anteny znajdują się wzajemnie w swoich strefach promieniowania, to impedancja Z_{ba} jest w rzeczywistości charakterystyką promieniowania anteny **a**, jeśli antena **b** porusza się wokół **a** po okręgu (rys. 7.29). Zakładamy przy tym, że antena **b** jest podczas ruchu utrzymywana w takiej samej orientacji przestrzennej i polaryzacji względem anteny **a**. Napięcie na zaciskach **b** w funkcji kąta daje nam charakterystykę promieniowania anteny **a** (wg definicji (7.162) jest to Z_{ba}). Jeśli teraz pobudzimy