

Dla kierunkowości otwartego końca falowodu prostokątnego obowiązuje następująca zależność:

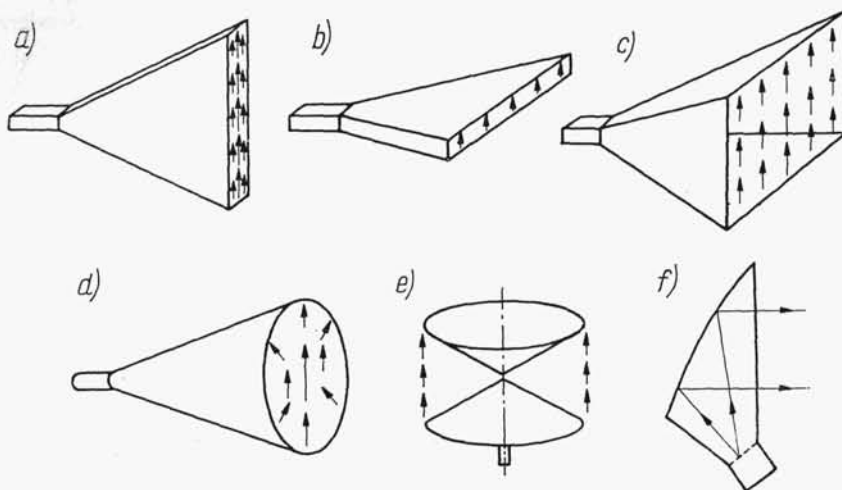
$$D = \frac{8}{\pi} \frac{ab}{\lambda^2} \frac{\lambda_f}{\lambda} \frac{\left| 1 + \frac{\lambda}{\lambda_f} + \varrho \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_f} \right) \right|^2}{1 - |\varrho|^2} \quad (6-16)$$

która dla dostatecznie dużych apertur przy założeniu $\lambda_f \approx \lambda$ i $\varrho \approx 0$ sprowadza się do postaci

$$D \approx 10,2 \frac{ab}{\lambda^2} \quad (6-17)$$

6.2. RODZAJE ANTEN TUBOWYCH

Antena tubowa powstaje wskutek stopniowego zwiększania rozmiarów falowodu. Jeśli rozszerzenie falowodu prostokątnego zachodzi w jednej płaszczyźnie, to mówimy o *tubach sektorowych* typu *E* (rys. 6-3a) lub *H* (rys. 6-3b) zależnie od



Rys. 6-3. Rodzaje anten tubowych: a) tuba sektorowa typu *E*; b) tuba sektorowa typu *H*; c) tuba piramidalna; d) tuba stożkowa; e) tuba dwustożkowa; f) antena tubowo-paraboliczna

płaszczyzny, w której występuje zwiększenie rozmiarów falowodu. Tuby sektorowe zapewniają skoncentrowanie promieniowania w tej płaszczyźnie, dla której nastąpił wzrost apertury. Charakterystyka promieniowania tuby sektorowej w drugiej płaszczyźnie jest taka sama jak charakterystyka promieniowania otwartego końca falowodu. Tuby sektorowe zapewniają więc wachlarzową charakterystykę promieniowania.

W celu skoncentrowania promieniowania w obu płaszczyznach stosujemy *tubę piramidalną*, która powstaje przy jednoczesnym zwiększaniu rozmiarów falowodu

prostokątnego w obu płaszczyznach (rys. 6-3c). Tuba piramidalna między innymi znajduje zastosowanie w miernictwie antenowym jako antena wzorcowa o znanym zysku energetycznym.

Przy zwiększaniu rozmiarów falowodu kołowego powstaje *tuba stożkowa* (rys. 6-3d). Charakterystyka promieniowania tuby stożkowej pobudzonej modem TE_{11} jest w przybliżeniu osiowo symetryczna; jest to właściwość bardzo korzystna przy stosowaniu tuby stożkowej jako źródła oświetlającego symetryczny reflektor paraboloidalny. Jednoczesne pobudzanie stożkowej tuby kilkoma modami pola umożliwia dalsze poprawienie symetrii charakterystyki promieniowania [145].

Tuba dwustożkowa jest utworzona przez dwa współosiowe ścięte stożki (rys. 6-3e). Tuba dwustożkowa ma dookólną charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie prostopadłej do osi stożków. Szerokość charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie przechodzącej przez oś zależy od kąta wierzchołkowego i wysokości stożków. Polaryzacja pola wytwarzanego przez tubę dwustożkową zależy od sposobu pobudzenia i może być zarówno pozioma jak i pionowa.

Oprócz wyżej wymienionych spotyka się w praktyce również specjalne anteny tubowe. Na szczególną uwagę zasługuje *antena tubowo-paraboliczna* (rys. 6-3f). Jest ona połączeniem tuby sektorowej lub piramidalnej i fragmentu powierzchni parabolicznej [84]. Cechą charakterystyczną anteny tubowo-parabolicznej jest brak odchyłń fazowych w aperturze.

6.2.1. TUBA SEKTOROWA

Analiza rozkładu pola w tubie sektorowej wykazuje, że jest on zbliżony do rozkładu pola w pobudzającym falowodzie. Czoło fali w tubie ma jednak kształt powierzchni cylindrycznej, której oś pokrywa się z linią przecięcia nachylonych ścianek tuby. W związku z tym w aperturze tuby występują kwadratowe odchylenia fazy. Maksymalne odchylenie fazy jest równe:

dla tuby typu H

$$\Psi_{max}^H \approx \frac{\pi}{4} \frac{a_p^2}{\lambda l_H} \quad (6-18a)$$

dla tuby typu E

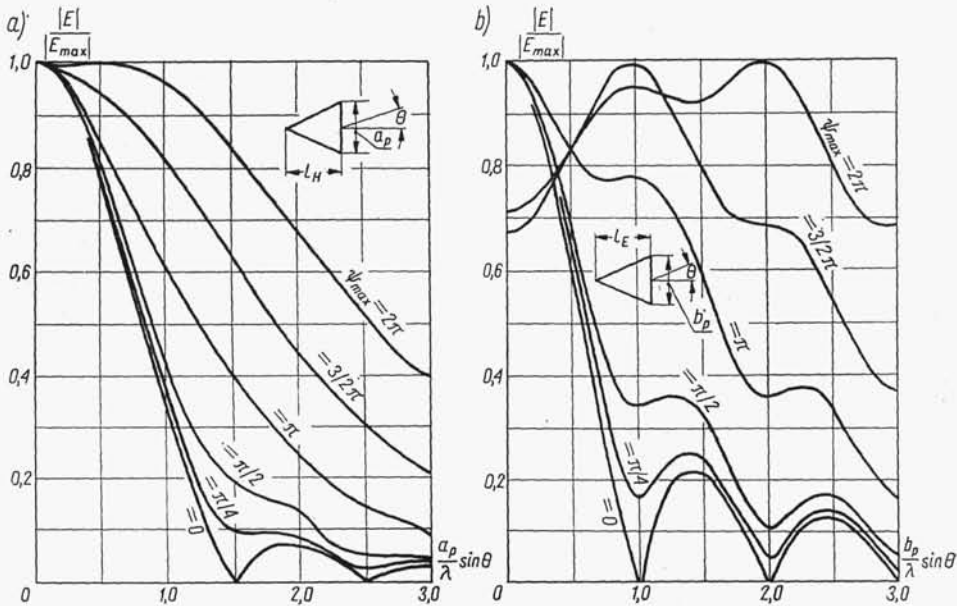
$$\Psi_{max}^E \approx \frac{\pi}{4} \frac{b_p^2}{\lambda l_E} \quad (6-18b)$$

Oznaczenia jak na rys. 6-4.

W przypadku tuby typu H zwiększaniu ulega szeroka ścianka falowodu i w związku z tym szybkość fazowa fali w tubie maleje przy zbliżaniu się do apertury dążąc do szybkości fazowej fali w swobodnej przestrzeni. W przypadku tuby typu E odległość między ściankami równoległymi do wektora pola elektrycznego jest stała i dlatego szybkość fazowa fali w tej tubie jest również stała. Prowadzi to do znacznie silniejszych odbić w płaszczyźnie apertury niż w przypadku tuby typu H .

Charakterystyki promieniowania anten tubowych można w przybliżeniu określić metodą opisaną w p. 2.3.7. Na rys. 6-4 przedstawiono uniwersalne charakterystyki promieniowania, które mogą być stosowane dla tub sektorowych, piramidalnych i dwustożkowych. Podane wykresy są słuszne dla apertur większych od kilku długości fali. Dla mniejszych apertur względne wartości natężenia pola należy pomnożyć przez $0,5(1 + \cos \Theta)$.

Kierunkowość anten tubowych można obliczyć w podobny sposób, jak to robiliśmy dla przypadku otwartego końca falowodu. Na rys. 6-5 przedstawiono zależność kierunkowości sektorowych anten tubowych od ich rozmiarów. Z podanych wykre-



Rys. 6-4. Uniwersalne charakterystyki promieniowania anten tubowych: a) przy zwiększeniu rozmiarów falowodu w płaszczyźnie H ; b) przy zwiększaniu rozmiarów falowodu w płaszczyźnie E (według H. Jasik: Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York 1961; zamieszczono za zgodą McGraw-Hill Book Company)

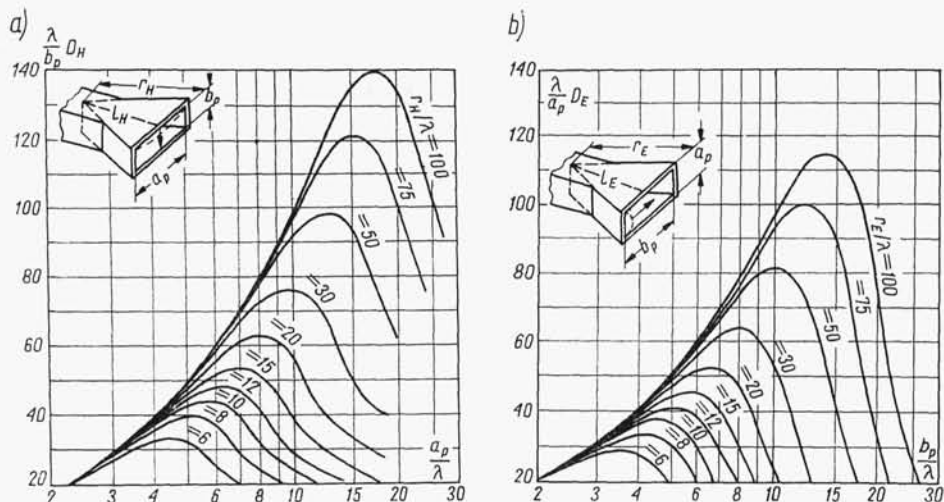
sów wynika, że przy zadanej długości tuby istnieje taki rozmiar apertury, dla którego kierunkowość tuby osiąga wartość maksymalną. Tubę, która przy zadanej długości ma maksymalną kierunkowość, nazywamy *tubą optymalną*. Maksymalne odchylenie fazy dla tuby optymalnej typu H wynosi

$$\Psi_{max}^H \approx \frac{3}{4} \pi \quad (6-19a)$$

dla tuby typu E

$$\Psi_{max}^E \approx \frac{\pi}{2} \quad (6-19b)$$

Należy podkreślić, że stosowanie tuby optymalnej jest celowe, tylko w tym przypadku, gdy tuba pracuje jako antena samodzielna. Jeśli tuba jest wykorzystywana jako źródło oświetlające, ważniejsze jest dobranie odpowiedniej charakterystyki promieniowania zapewniającej optymalne oświetlenie reflektora [109, 110].



Rys. 6-5. Zależność kierunkowości tub sektorowych od rozmiarów apertury: a) dla tub typu H ; b) dla tub typu E (według H. Jasik: *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York 1961; zamieszczono za zgodą McGraw-Hill Book Company)

6.2.2. TUBA PIRAMIDALNA

Nie potrafimy w sposób ścisły określić rozkładu pola w aperturze tuby piramidalnej; doświadczenie wykazuje jednak, że charakterystyki promieniowania tuby piramidalnej w płaszczyznach głównych nieznacznie tylko odbiegają od charakterystyk promieniowania odpowiednich tub sektorowych. W związku z tym wykresy podane na rys. 6-4 mogą być również stosowane dla tuby piramidalnej. Kierunkowość tuby piramidalnej można określić z zależności

$$D = \frac{\pi}{32} \left(\frac{\lambda}{a_p} D_E \right) \left(\frac{\lambda}{b_p} D_H \right) \quad (6-20)$$

przy czym D_E i D_H — kierunkowość odpowiednich tub sektorowych.

Jeśli odpowiadające tubie piramidalnej tuby sektorowe typu E i H są tubami optymalnymi, to tuba piramidalna jest również tubą optymalną. Wyrażając maksymalne odchylenia fazy przez rozmiary tuby otrzymujemy następujące związki dla piramidalnej tuby optymalnej:

$$a_p^2 = 3l_H\lambda, \quad b_p^2 = 2l_E\lambda \quad (6-21)$$

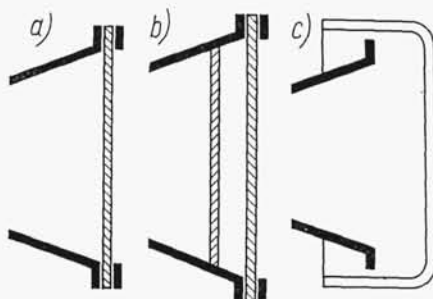
Przy doborze rozmiarów tuby należy pamiętać o zapewnieniu odpowiedniego przejścia od tuby do falowodu. Prawidłowe połączenie tuby z falowodem będzie zapewnione przy spełnieniu następującego równania:

$$l_H \left(1 - \frac{a}{a_p} \right) = l_E \left(1 - \frac{b}{b_p} \right) \quad (6-22)$$

6.3. DOPASOWANIE ANTEN TUBOWYCH

Dopasowanie anten tubowych do falowodu przy poprawnie dobranych rozmiarach tuby jest na ogół dobre (WFS ok. 1,3). Głównymi źródłami odbić są: apertura i wejście tuby. W tych samych warunkach tuba sektorowa typu *E* ma nieco mniejszy WFS niż tuba typu *H*. Wynika to stąd, że w tubie typu *E* odbicia w płaszczyźnie apertury i na wejściu częściowo wzajemnie się kompensują. W tubie typu *H* odbicie w płaszczyźnie apertury jest znacznie większe niż na wejściu i kompensacja nie zachodzi.

Szerokopasmowe dopasowanie uzyskuje się przez niezależne skompensowanie obu nieciągłości. Niedopasowanie w punkcie połączenia anteny z falowodem kompensuje się za pomocą przesłon reaktancyjnych (zwykle indukcyjnych) umieszczo-



Rys. 6-6. Zmniejszenie odbicia w aperturze anteny tubowej za pomocą płytek dielektrycznych (a, b) lub osłony dielektrycznej (c)

nych w pobliżu połączenia. Dopasowanie apertury do swobodnej przestrzeni można uzyskać za pomocą płytki dielektrycznej o odpowiednio dobranej grubości i przenikalności elektrycznej (rys. 6-6a). Płytką tą stanowi jednocześnie zabezpieczenie przed wpływami atmosferycznymi. Jeszcze lepsze rezultaty uzyskuje się przez zastosowanie dwóch płytek umieszczonych w pewnej odległości od siebie (rys. 6-6b). Jako element dopasowujący można również wykorzystać osłonę dielektryczną (rys. 6-6c). Anteny tubowe charakteryzują się dużą szerokością pasma, jeśli chodzi o przebieg impedancji wejściowej. Jednakże szerokość głównej wiązki promieniowania zmienia się w przybliżeniu proporcjonalnie do długości fali. Zwykle więc o szerokości pasma roboczego decydują dopuszczalne zmiany charakterystyki promieniowania.