Mikroşerit Hatlar

Etkin Dielektrik Sabiti (Ere)

$$\varepsilon_{re} = \frac{1}{2}\left[(\varepsilon_r+1)+(\varepsilon_r-1)\frac{1}{\sqrt{1+12(h/w)}}\right]$$

} Etkin Bağıl Dielektrik Sabiti

$1 < \varepsilon_{re} < \varepsilon_r$

$\lambda_0 = \dfrac{c}{f}$

Faz hızı $v_P = \dfrac{c}{\sqrt{\varepsilon_{re}}}$

dalga boyu $\lambda = \dfrac{v_P}{f} = \dfrac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{re}}}$

substrate

ground plane

Karakteristik Empedans

$$Z_0 = \begin{cases} \dfrac{60}{\sqrt{\varepsilon_{re}}}\ln\left[\dfrac{8h}{w}+\dfrac{w}{4h}\right] & , \dfrac{w}{h} < 1 \\[4mm] \dfrac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{re}}\left[\dfrac{w}{h}+1{,}393+0{,}667\ln\left(\dfrac{w}{h}+1{,}444\right)\right]} & , \dfrac{w}{h} > 1 \end{cases}$$

$$\frac{w}{h} = \begin{cases} \dfrac{8e^A}{e^{2A}-1} & , \dfrac{w}{h} < 2 \\[4mm] \dfrac{2}{\pi}\left[B-1-\ln(2B-1)+\dfrac{\varepsilon_r-1}{2\varepsilon_r}\left(\ln(B-1)+0{,}39-\dfrac{0{,}61}{\varepsilon_r}\right)\right] & , \dfrac{w}{h} > 2 \quad Ⓐ \end{cases}$$

$$A = \frac{Z_0}{60}\sqrt{\frac{\varepsilon_r+1}{2}}+\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+1}\left(0{,}23+\frac{0{,}11}{\varepsilon_r}\right) \qquad B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\varepsilon_r}}$$

Zayıflama

→ iletken kayıplarından

$$\alpha_d = \frac{\pi(\varepsilon_{re}-1)\varepsilon_r\tan\delta}{(\varepsilon_r-1)\varepsilon_{re}\lambda} \quad Np/m$$

$$\alpha_c = \frac{R_s}{wZ_0} \quad Np/m$$

$$\tan\delta = \frac{\sigma_d}{w\varepsilon}$$

Toplam Zayıflama : $\alpha = \alpha_c + \alpha_d \quad Np/m$

↗ yüzey direnci

$$R_s = \sqrt{\frac{w\mu_0}{\sigma}} \quad \Omega$$

→ iletkenin özdirenci

Taban malzemeleri için iletken kybı dielektrik kaybından çok daha önemlidir.

TEM dalgaları yayılım yapamaz
EZ ve HZ bileşenlerinin ikisi birden sıfır olamaz

/ / /

DALGA KILAVUZLARI

→ enyaygın kullanılan y

Dikdörtgen Kesitli Dalga Kılavuzu

kısa kenar b

dielektrik bölge (ε)

uzun kenar

$\mu_r = 1$ $\varepsilon_r = 1$ → pratikte iç &ogun hlukla boş kuru havadır

Vektörel dalga denklemleri

$$\begin{cases} \vec{\nabla}^2\vec{E} = -\omega^2\mu\varepsilon\vec{E} \\ \vec{\nabla}^2\vec{H} = -\omega^2\mu\varepsilon\vec{H} \end{cases}$$

*Eksenel manyetik ve elektrik alanları

$E_z = 0$ → Enine Elektrik Modları → TE

$H_z = 0$ → Enine Manyetik Modları → TM

TE modları → H modları
TM modları → E modları

Enine Elektrik (TE) Modları

Faz ifadesi:

$$H_z = -jA_{mn}\frac{\beta c^2}{\omega\mu\varepsilon}\cos(\beta_x X)\cos(\beta_y y)e^{-j\beta_0 z}\ (A/m) \quad (A_{mn}\ sabit)$$

$$\beta_b = \frac{2\pi}{\lambda_b} = \sqrt{\omega^2\mu\varepsilon - \beta_c^2} = \sqrt{\beta^2 - \beta_c^2}\ (rad/m)$$

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ $\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$

(sınırsız ortamda yayılan dalganın faz sabiti)

$$\beta_c = \frac{2\pi}{\lambda_c} = \sqrt{\beta_x^2 + \beta_y^2}\ (rad/m)$$

TE modunun kesim faz sabiti olarak tanımlanır

$$\beta_x = \frac{m\pi}{a}\ ;\ m=0,1,2... \qquad \beta_y = \frac{n\pi}{b}\ ;\ n=0,1,2,2...$$

TE$_{mn}$ modlarında m ve n aynı anda 0 olamaz yani TE$_{00}$ yoktur.

$$\frac{2\pi}{\lambda_c} = \frac{2\pi f_c}{v} = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \rightarrow$$

y

b

n=0

a

M=1

x

(TE$_{10}$ modu)

$$f_{c,mn} = \frac{v}{2}\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$
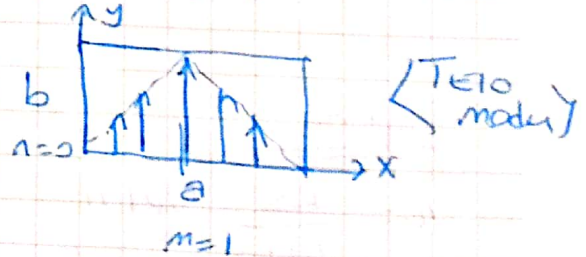
TE modunda kesim dalga boyu $\lambda_{c,mn} = \dfrac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$

$(f > f_{c,mn})$ $\quad (\lambda_{c,mn} > \lambda)$

Kılavuz dalga boyu $\lambda_b \cong \dfrac{2\pi}{\beta} = \dfrac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}} = \dfrac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$

⊛ f her zaman f_c'den büyük olmalıdır.

⊘ $f = f_c$ olursa sonsuz olur kesim frekansında durur ve dalga kılavuzunda yayılım yapamaz.

TE Dalga Empedansı

$Z_{TE} = \dfrac{\omega \mu}{\beta b} \rightarrow \eta \cdot \dfrac{\lambda_b}{\lambda} = \dfrac{\eta}{\sqrt{1 - (f_c/f)^2}}$ (Ω) ⊛

→ Kılavuzun dalga boyu kesimden büyük olmalı

$\eta = \sqrt{\dfrac{\mu}{\epsilon}}$ } sınırsız ortamın dalga empedansı

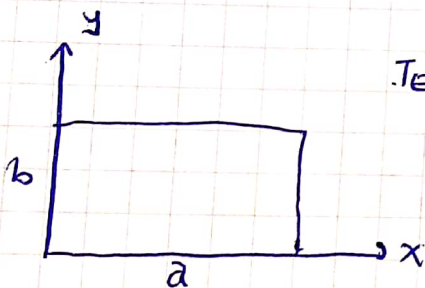## TE modu faz hızı $\quad V_g \cdot V_p = v^2 \quad$ (grup hızı)

$V_p = \dfrac{\omega}{\beta b} = f \lambda b \qquad V_p = \dfrac{v}{\sqrt{1 - (f_c/f)^2}}$ Ⓐ $\qquad V_g = \dfrac{d\omega}{d\beta b} = v \sqrt{1 - (f_c/f)^2}$ ⊛

$f \to \infty \quad V_g = V_p = v$

X bandı
(cihazca bakın)
TE10 yayılım yapar mı?
TE10 i baskın mod

$\boxed{\text{WR-90 adgan kılavuzu} \quad a = 2,286\,cm \quad b = 1,010\,cm \quad a > 2b}$

$f_{c,10} = \dfrac{v}{2a} \qquad \lambda_{c,10} = 2a$

frekans aralığı
$8,20 - 12,6\,GV$ $\quad f > f_{c,mn}$ a > b

$f_{c,10} = \dfrac{c}{2a}$; içi boş $\qquad f > f_{c,10},\ f < f_{c,20}$

$E_x = 0 \quad E_y = -A_{10}\dfrac{\pi}{\epsilon}\dfrac{\pi}{a}\sin\left(\dfrac{\pi}{a}x\right)e^{-j\beta b z} \quad E_z = 0$

$f_{c,20} = \dfrac{c}{a}$

$H_x = A_{10}\dfrac{\beta b}{\omega\mu\epsilon}\dfrac{\pi}{a}\sin\left(\dfrac{\pi}{a}x\right)e^{-j\beta b z} \quad H_y = 0$
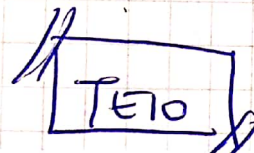
$f_{c,10} = \dfrac{c}{2a}$

$H_z = j\dfrac{A_{10}}{\omega\mu\epsilon}\left(\dfrac{\pi}{a}\right)^2\cos\left(\dfrac{\pi}{a}x\right)e^{-j\beta b z}$

$\boxed{TE_{10}}$

$f_{c,10} = \dfrac{c}{12} = \dfrac{30}{2a} = \dfrac{15}{2} = 6,566\,GHz \qquad f_{c,20} = 13,2\,GHz$

$f_L = 1,25\, f_{c,10} \quad , \quad f_u = 0,95\, f_{c,20}$

Dalgalanlar

$$E_x = A_{mn} \frac{n\pi}{b\varepsilon} \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-j\beta b z} \quad (V/m) \qquad E_z = 0$$

$$E_y = -A_{mn} \frac{m\pi}{a\varepsilon} \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-j\beta b z} \quad (V/m)$$

$$H_x = A_{mn} \frac{m\pi \beta b}{a\omega\mu\varepsilon} \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-j\beta b z} \quad (A/m)$$

$$H_y = A_{mn} \frac{n\pi \beta b}{b\omega\mu\varepsilon} \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-j\beta b z} \quad (A/m)$$

Enine Manyetik (TM) Modlar → $H_z = 0 \quad E_z \neq 0$

$$E_z = -j B_{mn} \frac{\beta c^2}{\omega\mu\varepsilon} \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-j\beta b z} \quad (V/m)$$

↓ Sabit

$$Z_{TM} = \frac{\beta b}{\omega\mu} \quad ② \Rightarrow \quad Z_{TM} = \eta \frac{\lambda}{\lambda b} = \eta \sqrt{1-(f_c/f)^2} \quad (\Omega)$$

④ $\boxed{Z_{TE} \cdot Z_{TM} = \eta^2}$

$$\infty \to 0$$

$T_{E0n} , \ n \neq 1,2,3$
$T_{Em0} , \ m = 1,2,3$

$$\eta = \frac{\eta_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

$$Z_{TE} = \frac{\eta}{\sqrt{1-(f_c/f)^2}}$$

$Tm \to \boxed{\beta b}, \ \lambda_c, \lambda b, f_c, v_p, v_g$ \qquad $T_{E10} ; \ a > b$

$a > b$

Güç Hesabı $\oint_S \vec{S} \cdot \vec{n} \, ds$

Ortalama Güç Yoğunluğu $\Big\}$ $\vec{S}_{or} = \frac{1}{2} Re\left[\vec{E} \times \vec{H}^*\right]$

→ En çok kullanılan mod
→ Dikdörtgen dalga kılavuzu için baskın modlar yani endüstel kesim frekansı modlardır.

TE_{10} modu ortalama güç yoğunluğu

$(S_z)_{or} = \frac{1}{2} Re\left[E_x H_y^* - E_y H_x^*\right]$ $\qquad (S_z)_{10} = \frac{1}{2} Re\left[-E_y H_x^*\right]$

Ortalama güç:

$(S_z)_{10} = \frac{|A_{10}|^2 \beta g}{2\omega\mu\varepsilon^2}\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right)$

$P_{or,10} = \frac{|A_{10}|^2 \beta g}{2\omega\mu\varepsilon^2}\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 \int_0^a \int_0^b \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx \, dy$

↳ Elektrik alanın sadece y modu var.
↳ Manyetik alanın sadece x bileşeni var.

$P_{or,10} = \frac{|A_{10}|^2}{2\omega\mu\varepsilon^2}\beta\sqrt{1-\left|\frac{f_{c,10}}{f}\right|^2}\left(\frac{\pi}{a}\right)^2\left(\frac{ab}{2}\right) \rightarrow \frac{|A_{10}|^2}{2(2f_{c,10})\varepsilon^2}\left(\frac{\pi}{a}\right)^2\left(\frac{ab}{2}\right) W$

Zayıflama → Kesim etkisi
→ malzeme kayıpları

⇒ Pratikte yeterli derine iletlerin öziletkenliği sonludur

'gibisse (hava)
$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r, \varepsilon_0 = \varepsilon$

→ Yalıtkan malz. öziletkenliği $\sigma_d = 0$ $\qquad$ → iletken malz. öziletkenliği $\sigma_i = \infty$

→ Girişte ⇒ $z=0$ güç → P_0 → herhangi bir z uzaklıkta $\boxed{P = P_0 e^{-2\alpha z}}$ $\Big\{ \begin{array}{l} PL \\ kayıp\,güç \end{array}$

Malzeme kayıplarının neden olduğu zayıflama: $\boxed{\alpha = \frac{PL}{2P} = \alpha_i + \alpha_d \; Np/m}$

→ Dielektrik kayıpları gösteren zayıflama sabiti

$\alpha_d = \frac{\alpha d}{2}\frac{1}{\sqrt{1-(f_c/f)^2}} \; Np/m \qquad \eta = \frac{\eta_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad R_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu}{\sigma_i}} \; \Omega$

→ yüzey direnci

TE_{10} modunda; $\alpha_i(TE_{10}) = \frac{2R_s}{b\eta\sqrt{1-(f_c/f)^2}}\left[\frac{1}{2} + \frac{b}{a}\left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right] Np/m$

$\Big\{$ genellikle baskın modda çalıştırılır $\Big\rangle$

⇓

$\Big\langle$ Dikdörtgen dalga kılavuzları $\Big\rangle$

o Kılavuzda; yalnızca baskın modun yayılması için a'nın, $a \geq 2b$ olarak seçilmelidir.

o Çalışma frekansı TE_{10} modunun kesim frekansından daha yüksek

o TE_{20} den daha düşüktür.

WR-90 $(8.2V - 12.4V)$

$f_u = 0.95 f_{c,20}$
$f_a = (1.25 - 1.30) f_{c,10}$

o Üst frekans sınırı TE 1de $f_{c,20}$ aşağısında
o Alt frekansını TE_{10} 'de $f_0 25-30$ yukarıda

Kılavuzun b kenarı → düşük zayıflama
↳ yüksek güç iletimi

Daire Kesitli Dalga Kılavuzları → dual polarizasyon → hem yatay / hem düşey } aynı anda

○ Sonsuz sayıda TE ve TM modları üretebilir.
○ Silindirik yapısından dalgı eksen takımı olarak silindirik koordinatlar seçilir

r, ϕ, z
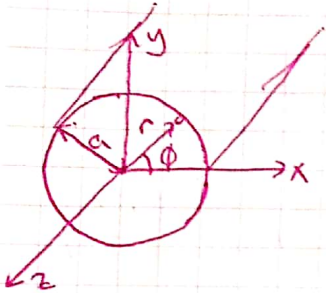
Elektriksel → $\dfrac{1}{r}\dfrac{d}{dr}\left(r\dfrac{\partial E_z}{\partial r}\right) + \dfrac{1}{r^2}\dfrac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2} = -\beta_c^2 E_z$

Manyetik Alan → $\dfrac{1}{r}\dfrac{d}{dr}\left(r\dfrac{\partial H_z}{\partial r}\right) + \dfrac{1}{r^2}\dfrac{\partial^2 H_z}{\partial \phi^2} = -\beta_c^2 H_z$

Enine Elektrik (TE) Modları
$E_z = 0 \quad H_z \neq 0$

$J_n'(\alpha) = 0$

$\boxed{H_z = H_0 \, J_n(\beta_c r)\cos n\phi}$

$r = a$ 'da $\dfrac{dH_z}{dr} = 0$ sınır koşulundan

$J_n'(\beta_c a) = 0$

$\downarrow$

$J_n(x)$ → n. mertebeden
1. cins Bessel fonk.

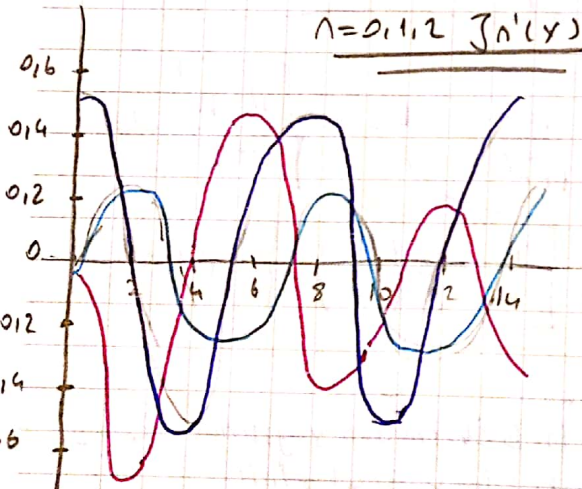$(n.$ mertebeden $n.$ kök $p'_{nm})$

TE'nm 'in kesim frekansı

$f_{c,nm} = \dfrac{V p'_{nm}}{2\pi a}$

$p'_{nm} = \beta_c a = \dfrac{2\pi}{\lambda_c} a$

$n = 0,1,2 \quad J_n'(y)$

TE nm modları için p'_{nm} değerleri

n	M		
	1	2	3
0	3,832	7,016	10,173
1	1,841	5,331	8,536
2	3,054	6,706	9,970

en küçük p'_{nm} değeri $n=1, m=1$ $\quad p'_{11} = 1,841$ ⟨baskın mod⟩

Enine Manyetik (TM) Modlar: $\rightarrow E_z \neq 0 \quad H_z = 0$

$$\boxed{E_z = E_0 J_n(\beta_c r) \cos n\phi}$$

$$r = a$$
$$\underline{E_z = 0} \qquad J_n(\beta_c a) = 0$$
sınır koşulundan

n. mertebesinin m. kökü p_{nm}

$p_{nm} = \beta_c a = \dfrac{2\pi}{\lambda_c} a$

TM$_{nm}$ modunun kesim frekansı $\boxed{f_{c,nm} = \dfrac{v p_{nm}}{2\pi a}}$

$n = 0, 1, 2 \quad J_n(x) = 0$

m. kökler (p_{nm}) değerler

$p_{nm} \longrightarrow n = 0, m = 1$

TM nm modları için p_{nm} değerleri

$p_{01} = 2,405$, Endüsük TM$_{01}$ dir.

	m		
n	1	2	3
0	2,405	5,520	8,654
1	3,832	7,016	10,174
2	5,135	8,417	11,620

Mod Uyarımı

○ Orta iletkenler genellikle prob olarak kullanılır.

○ Dikdörtgen kesitli dalga kılavuzunda TE$_{10}$ modunu uyarmak için prob elektrik alanın max olduğu geniş kenarın ortasına konur. $x = a/2$

TM ○ Prob yayılma doğrultusuna paralel,
TE ○ prob " " dikeltir.

Zayıflama $\rightarrow$ Daire Kesitli dalga kılavuzları

TE nm modları için;

$$a_i = \dfrac{R_s}{a\eta} \dfrac{\left[\left(\dfrac{f_c}{f}\right)^2 + \dfrac{n^2}{(p'_{nm})^2 - n^2}\right]}{\sqrt{1 - \left(\dfrac{f_c}{f}\right)^2}} \; Np/m$$

TM nm modları için;

$$a_i' = \dfrac{R_s}{a\eta} \dfrac{1}{\sqrt{1 - \left(\dfrac{f_c}{f}\right)^2}} \; Np/m$$