ELEKTROMANYETİK TEORİ 2

SORU KİTABI

ÖRNEK SAYFALAR

9 ünite · 140 soru · adım adım çözümler



Ertan Sinan Şahin

ertansinansahin.com

Bu kitap nasıl kullanılır?

- Her ünite, soruların dayandığı tanım ve formülleri özetleyen bir hatırlatma kutusuyla açılır.
- Zorluk: ★☆☆ temel ★★☆ orta ★★★ ileri. Her ünitede birkaç çoktan seçmeli kavram sorusu vardır; her ünite sınav tipi bir ya da birkaç karma soruyla biter.
- Her sorunun altındaki noktalı alan sizin çözümünüz içindir. Önce kendiniz çözün; takıldığınızda hatırlatma kutusuna ve ders notuna dönün, çözüme en son bakın.
- Bütün çözümler kitabın sonundadır. Sorunun yanındaki Çözüm → bağlantısı çözüme, çözümdeki ← Soru bağlantısı soruya götürür. Kısa cevaplar **CEVAP** kutusundadır.
- **Gösterim:** SI birimleri kullanılır; $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m. Vektörler kalın ($\mathbf{E}$), birim vektörler şapkalıdır ($\hat{\mathbf{x}}$). Zaman-harmonik alanlar $e^{j\omega t}$ ile ve kosinüs referanslı yazılır: $\mathbf{E}(z,t) = \mathrm{Re}[\mathbf{E}(z)\,e^{j\omega t}]$; fazörün büyüklüğü tepe değerdir, ortalama güç yoğunluğu $\frac{1}{2}\mathrm{Re}(\mathbf{E}\times\mathbf{H}^*)$'dır. Kutuplanma yönü IEEE kuralına göredir. Şekillerde elektrik alanı turuncu, manyetik alan turkuazdır.
- **Ortak ünite:** Ünite 11 (Faraday yasası ve Maxwell denklemleri) *Elektromanyetik Teori 1* kitabındakiyle aynıdır. Bu konuyu ikinci derste işleyen ya da dalgalardan önce tekrar eden okullar için bu kitapta da yer alır. Ünite 1–10'dan gereken sonuçlar (sınır koşulları, kapasite ve endüktans formülleri) sorularda ve hatırlatma kutularında kısaca verilir.
- **Vize ve final:** Elektromanyetik Teori 2 (elektromanyetik dalgalar) çoğunlukla 3. sınıfın güz döneminde okutulur. Vize genellikle Maxwell denklemlerini, düzlem dalgaları ve kayıplı ortamı (Ünite 11–14), final yansımayı, iletim hatlarını, Smith abağını ve dalga kılavuzlarını da (Ünite 15–19) kapsar. Ünite 17–18 yalnız devre bilgisine dayanır; iletim hatlarını ayrı bir derste ya da dalgalardan önce işleyen okullar bu üniteleri doğrudan kullanabilir. Kendi dersinizin izlencesine göre çalışacağınız üniteleri seçin.

İçindekiler

Sayfa numaraları tam kitaba aittir. Renkli üniteler bu örnekte vardır; tıklayınca o üniteye gidersiniz.

11 Faraday Yasası ve Maxwell Denklemleri ..... 18 soru 4

12 Zaman-Harmonik Alanlar ve Dalga Denklemi ..... 14 soru 15

13 **Kayıpsız Ortamda Düzlem Dalgalar ve Kutuplanma** ..... 16 soru 27

14 Kayıplı Ortam ve Poynting Vektörü ..... 16 soru 38

15 **Dik Gelişte Yansıma ve İletim** ..... 16 soru 49

16 Eğik Geliş ..... 14 soru 61

17 İletim Hatları ..... 18 soru 72

18 **Smith Abağı ve Empedans Eşleme** ..... 14 soru 85

19 Dalga Kılavuzları ..... 14 soru 94

Çözümler 104

13. ÜNİTE

KAYIPSIZ ORTAMDA DÜZLEM DALGALAR VE KUTUPLANMA

faz sabiti $\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} = \dfrac{2\pi}{\lambda}, \quad u_p = \dfrac{\omega}{\beta} = \dfrac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$

öz empedans $\eta = \sqrt{\dfrac{\mu}{\varepsilon}} = \eta_0\sqrt{\dfrac{\mu_r}{\varepsilon_r}}$

düzlem dalga $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0\, e^{-j\mathbf{k}\cdot\mathbf{R}}, \quad \mathbf{k} = \beta\,\hat{\mathbf{k}}, \quad \hat{\mathbf{k}}\cdot\mathbf{E}_0 = 0$

TEM ilişkisi $\mathbf{H} = \frac{1}{\eta}\,\hat{\mathbf{k}}\times\mathbf{E}, \quad \mathbf{E} = -\eta\,\hat{\mathbf{k}}\times\mathbf{H}$

güç yoğunluğu $\mathbf{S} = \mathbf{E}\times\mathbf{H}, \quad \mathbf{S}_{\text{ort}} = \dfrac{|\mathbf{E}_0|^2}{2\eta}\,\hat{\mathbf{k}}$

kutuplanma $\mathbf{E} = \left(a_x\hat{\mathbf{x}} + a_y e^{j\delta}\hat{\mathbf{y}}\right)e^{-j\beta z}$

dairesel ($a_x = a_y$)
$\delta = -90°$: sağ el, $\quad \delta = +90°$: sol el

elips $\tan\psi_0 = \dfrac{a_y}{a_x}, \quad \tan 2\zeta = \tan 2\psi_0 \cos\delta$

$\sin 2\chi = \sin 2\psi_0 \sin\delta, \quad$ eksen oranı $\dfrac{1}{|\tan\chi|}$

Doppler $f' \approx f\left(1 + \dfrac{u}{c}\cos\theta\right)$

Alanlar zaman-harmoniktir ($e^{j\omega t}$, kosinüs referansı); fazörün büyüklüğü tepe değerdir. Ortam kayıpsız, doğrusal, izotrop ve homojendir; aksi söylenmedikçe manyetik değildir. Sabitler: $c = 3\times10^8$ m/s, $\eta_0 = 120\pi \approx 377\ \Omega$. $\hat{\mathbf{k}}$ yayılma yönündeki birim vektördür; $\mathbf{R} = x\hat{\mathbf{x}} + y\hat{\mathbf{y}} + z\hat{\mathbf{z}}$. Kutuplanma IEEE kuralına göredir: sağ elin başparmağı yayılma yönünü gösterirken öbür parmaklar $\mathbf{E}$'nin sabit bir noktada zamanla döndüğü yönü gösteriyorsa kutuplanma sağ el, aksi hâlde sol eldir. $+z$ yönünde yayılan dalgada δ, E_y'nin E_x'e göre faz farkıdır; $\sin\delta < 0$ ise sağ el, $\sin\delta > 0$ ise sol eldir. Elipste ζ büyük eksenin x ekseniyle yaptığı açı ($\cos\delta$ ile aynı işaretli), χ eliptiklik açısıdır ($\sin\delta$ ile aynı işaretli).

Düzgün düzlem dalga ve dalga parametreleri

13.1 ★☆☆ Çözüm →

Kayıpsız, manyetik olmayan bir ortamda $+z$ yönünde ilerleyen düzgün bir düzlem dalga için aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) Frekans iki katına çıkarılırsa faz hızı da iki katına çıkar; dalga boyu ise değişmeden kalır.

B) $\varepsilon_r = 4$ olan bir ortamda dalga boyu, aynı frekansta boşluktakinin dörtte biridir.

C) $\mathbf{E}$ ile $\mathbf{H}$ aynı fazdadır; genliklerinin oranı η'dır ve frekansa bağlı değildir.

D) $\mathbf{E}$'nin yayılma yönünde bir bileşeni olabilir; yalnız $\mathbf{H}$ yayılma yönüne diktir.

E) Öz empedans $\sqrt{\mu/\varepsilon}$ olduğundan ε_r büyüdükçe öz empedans da büyür.

Kutuplanma

13.8 ★★☆ Çözüm →

Kayıpsız bir ortamda aşağıdaki dalgalardan hangisi IEEE kuralına göre sağ el dairesel kutuplanmalıdır?

A) $\mathbf{E} = \hat{\mathbf{x}}\cos(\omega t - \beta z) - \hat{\mathbf{y}}\sin(\omega t - \beta z)$

B) $\mathbf{E} = \hat{\mathbf{x}}\cos(\omega t + \beta z) + \hat{\mathbf{y}}\sin(\omega t + \beta z)$

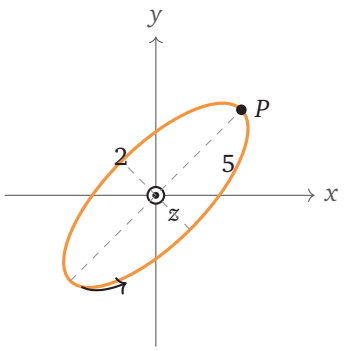
C) $\mathbf{E} = 2\,\hat{\mathbf{x}}\cos(\omega t - \beta z) + \hat{\mathbf{y}}\sin(\omega t - \beta z)$

D) $\mathbf{E} = \hat{\mathbf{y}}\sin(\omega t - \beta x) + \hat{\mathbf{z}}\cos(\omega t - \beta x)$

E) $\mathbf{E} = \hat{\mathbf{x}}\sin(\omega t + \beta z) + \hat{\mathbf{y}}\cos(\omega t + \beta z)$

13.10 ★★★ Çözüm →

Havada $+z$ yönünde (sayfadan dışarı) ilerleyen bir düzlem dalganın $z = 0$'daki $\mathbf{E}$ vektörünün ucu şekildeki elipsi çiziyor. Büyük yarı eksen 5 V/m'dir ve x ekseniyle 45° yapar; küçük yarı eksen 2 V/m'dir. Ok dönüş yönünü, P noktası $t = 0$'daki $\mathbf{E}$'nin ucunu gösteriyor.



a. Kutuplanmanın dönüş yönünü (IEEE) ve eksen oranını belirleyiniz.

b. $\mathbf{E}$ fazörünü $\hat{\mathbf{x}}$ ve $\hat{\mathbf{y}}$ bileşenleriyle yazınız; a_x, a_y ve δ'yı bulunuz.

c. $\mathbf{E}$'yi sağ el ve sol el dairesel bileşenlere ayırınız.

d. Ortalama güç yoğunluğunu bulunuz.

15. ÜNİTE

DİK GELİŞTE YANSIMA VE İLETİM

düzlem dalga

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}, \quad \eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}, \quad \mathbf{H} = \tfrac{1}{\eta}\hat{\mathbf{k}} \times \mathbf{E}$$

kayıplı ortam

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)}, \quad \eta_c = \frac{j\omega\mu}{\gamma}$$

iyi iletken

$$\alpha = \beta = \frac{1}{\delta} = \sqrt{\pi f \mu\sigma}, \quad \eta_c = (1+j)R_s, \quad R_s = \frac{1}{\sigma\delta}$$

sınır koşulları $E_{1t} = E_{2t}, \quad H_{1t} = H_{2t} \quad (\mathbf{J}_s = 0)$

mükemmel iletken $E_{1t} = 0, \quad \mathbf{J}_s = \hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{H}_1$

ortalama güç $\mathbf{S}_{\text{ort}} = \tfrac{1}{2}\text{Re}(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*)$

yansıma, iletim $\Gamma = \dfrac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}, \quad \tau = 1 + \Gamma = \dfrac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$

ortam 1 $E_1(z) = E_0\left(e^{-j\beta_1 z} + \Gamma e^{j\beta_1 z}\right)$

duran dalga oranı $S = \dfrac{|E_1|_{\text{maks}}}{|E_1|_{\text{min}}} = \dfrac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$

güç (kayıpsız) $|\Gamma|^2 + \dfrac{\eta_1}{\eta_2}|\tau|^2 = 1$

dalga empedansı

$$Z(-l) = \eta_1 \frac{\eta_2 \cos\beta_1 l + j\eta_1 \sin\beta_1 l}{\eta_1 \cos\beta_1 l + j\eta_2 \sin\beta_1 l}$$

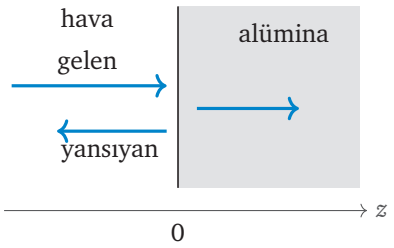
katmanın girişi $\Gamma_0 = \dfrac{Z - \eta_1}{Z + \eta_1}$

Alanlar zaman-harmoniktir: $\mathbf{E}(z,t) = \text{Re}[\mathbf{E}(z)\,e^{j\omega t}]$; fazörün büyüklüğü tepe değerdir. Sınır $z = 0$ düzlemidir; ortam 1 ($z < 0$) gelen ve yansıyan dalgayı, ortam 2 ($z > 0$) iletilen dalgayı taşır. Gelen dalga $+z$ yönünde yayılır, $\mathbf{E} = E\,\hat{\mathbf{x}}$ ve $\mathbf{H} = H\,\hat{\mathbf{y}}$'dir. Γ ve τ, sınırda yansıyan ve iletilen elektrik alanının gelen elektrik alanına oranlarıdır. Ortamlar doğrusal, izotrop ve homojendir; aksi söylenmedikçe manyetik değildir ($\mu = \mu_0$) ve kırılma indisi $n = \sqrt{\varepsilon_r}$'dir. Sabitler: $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m, $c = 3 \times 10^8$ m/s, $\eta_0 = 120\pi \approx 377\ \Omega$. Kayıp tanjantı $\sigma/(\omega\varepsilon)$, iletim akımının yer değiştirme akımına oranıdır. Oran $\ll 1$ ise ortam düşük kayıplı dielektriktir (oran 0.1'in altındayken yaklaşıklığın bağıl hatası $(\sigma/\omega\varepsilon)^2/8$ mertebesindedir, yani yaklaşık binde bir); oran $\gg 1$ ise ortam iyi iletkendir (pratikte 100'ün üstü). İkisinin arasında ise ortam ara bölgededir. Kalın bir katmanın arkasındaki ikinci sınır, aksi söylenmedikçe hesaba katılmaz. Dalga empedansı $Z(z) = E_x(z)/H_y(z)$, toplam alanların oranıdır; $Z(-l)$ formülü, sınırdan l uzaklıktaki bir düzlemde geçerlidir ve katmanlı ortamda adım adım uygulanır.

Dik gelişte yansıma ve iletim katsayıları

15.2 ★☆☆ Çözüm →

Bir mikrodalga mercek anteni için alümina seramik ($\varepsilon_r = 9.8$, $\mu_r = 1$, kayıpsız) inceleniyor. Havadan gelen düzlem dalga kalın bir alümina bloğun düz yüzeyine dik olarak çarpıyor.



a. Γ ve τ'yu bulunuz.

b. Gelen gücün yüzde kaçı yansır, yüzde kaçı bloğa geçer?

c. Havadaki duran dalga oranını bulunuz; dB cinsinden yazınız. Sonucu ε_r ile karşılaştırınız.

Çok katmanlı ortam

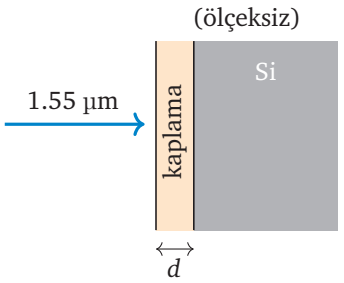
15.11 ★☆☆ Çözüm →

Bir silisyum fotodedektör $\lambda_0 = 1.55$ µm'lik ışığı algılıyor; bu dalga boyunda silisyumun kırılma indisi 3.48'dir. Yüzeye tek katmanlı, kayıpsız bir yansıma önleyici kaplama yapılacak.

a. Kaplamasız yüzeyde dik gelen ışığın yüzde kaçı yansır?

b. Yansımayı sıfırlayan kaplamanın kırılma indisini ve en küçük kalınlığını bulunuz.

c. Bir sonraki uygun kalınlık nedir?



15.14 ★★★ Çözüm →

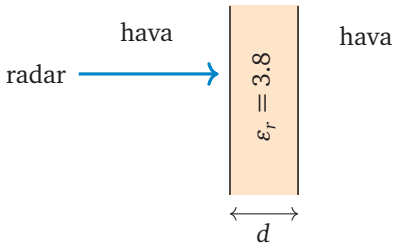
5.6 GHz'te çalışan bir hava radarının radomu, kayıpsız bir kompozitten ($\varepsilon_r = 3.8$, $\mu_r = 1$) yapılacak. Radom düz bir levha gibi ele alınıyor: iki yanında da hava vardır ve dalga levhaya dik geliyor. Dayanım için kalınlık en az 2 cm olmalıdır.

a. 5.6 GHz'te yansımasız kalınlıkları bulup uygun olanı seçiniz.

b. Radar 5.3 GHz'te de kullanılıyor. Seçilen kalınlıkta yansıyan güç oranı nedir?

c. Dayanım koşulu olmasaydı en ince yansımasız levha 5.3 GHz'te ne kadar yansıtırdı? Sonucu yorumlayınız.

d. Yanlışlıkla çeyrek dalga kalınlığında yapılan bir levha 5.6 GHz'te ne kadar yansıtır?



18. ÜNİTE

SMITH ABAĞI VE EMPEDANS EŞLEME

normalize empedans
$z = \dfrac{Z}{Z_0} = r + jx, \quad \Gamma = \dfrac{z-1}{z+1}, \quad z = \dfrac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$

sabit r çemberi merkez $\left(\dfrac{r}{1+r}, 0\right)$, yarıçap $\dfrac{1}{1+r}$

sabit x yayı merkez $\left(1, \dfrac{1}{x}\right)$, yarıçap $\dfrac{1}{|x|}$

hat boyunca
$\Gamma(d) = \Gamma_L e^{-j2\beta d}$: saat yönünde $720^\circ\, d/\lambda$

admitans
$y = \dfrac{1}{z} = g + jb$: merkeze göre simetrik nokta

duran dalga oranı
$S = r$ (çemberin pozitif gerçel ekseni kestiği yer)

gerilim maksimumu, minimumu
$\Gamma(d)$ açısı $0^\circ : z = S; \quad 180^\circ : z = 1/S$

saplamalar $y_{\text{kd}} = -j\cot\beta l, \quad y_{\text{ad}} = j\tan\beta l$

çeyrek dalga dönüştürücü $Z_T = \sqrt{R_a R_b}$

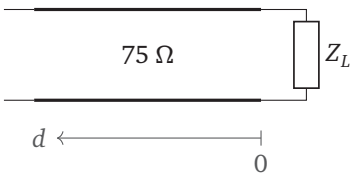
toplu elemanlar $Z_{\text{bobin}} = j\omega L, \quad Z_{\text{kond}} = \dfrac{1}{j\omega C}$

Hatlar kayıpsızdır ve Z_0 gerçeldir. Konum d yükten kaynağa doğru ölçülür; uzunluklar çoğunlukla dalga boyu cinsinden verilir. Smith abağı, Γ'nın karmaşık düzleminde birim çemberdir: noktanın merkeze uzaklığı $|\Gamma|$, açısı Γ'nın açısıdır. Abakta yükten kaynağa doğru ilerlemek saat yönünde dönmektir; tam tur $\lambda/2$'dir. Normalize admitans $y = 1/z$ de aynı abakta okunabilir. Bu durumda abak bir admitans abağıdır; eğrileri g çemberleri ve b yaylarıdır. Saplamalar, aksi söylenmedikçe ana hatla aynı Z_0'lı, ana hatta paralel bağlı, kısa devre uçlu hat parçalarıdır. Toplu elemanlar idealdir. Kısaltmalar: kd kısa devre, ad açık devre. Her abak okuması formülle de doğrulanır; sonuçlar 3 anlamlı rakamla verilir.

Abağın yapısı: empedans ve admitans

18.3 ★★☆ Çözüm →

75 Ω'luk kayıpsız bir hat, 200 MHz'te $Z_L = 27 + j54$ Ω'luk bir yükle sonlanıyor.



a. z_L'yi abağa yerleştirip Γ'yı bulunuz.

b. y_L'yi abakta merkeze göre simetrik noktadan bulup formülle doğrulayınız; Y_L'yi milisiemens (mS) olarak yazınız.

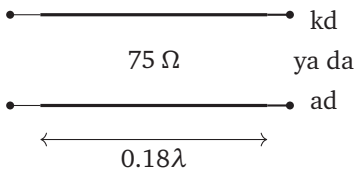
c. Yük, bir direnç ile bir reaktif elemanın paralel bağlanmasıyla modellenirse eleman değerleri nedir?

d. Yükten 0.1λ uzaktaki noktada hattın normalize admitansını bulunuz.

Abakta hat boyunca ilerleme

18.6 ★☆☆ Çözüm →

75 Ω'luk kayıpsız bir hat parçasının boyu 0.18λ'dır.



a. Ucu kısa devreyken giriş empedansını Smith abağıyla bulup formülle doğrulayınız.

b. Ucu açıkken giriş empedansını bulunuz.

c. Hangisi endüktiftir?

Tek saplamayla eşleme

18.8 ★★☆ Çözüm →

Paralel bağlı, kısa devre uçlu tek bir saplamayla empedans eşlemeyle ilgili aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) Saplama yükün hemen üzerine konursa, uygun boyla her yük eşlenebilir.

B) Saplama paralel bağlandığı için hesap empedans abağında yapılır; admitansa geçmek hiçbir kolaylık sağlamaz.

C) Saplama, hattın normalize admitansının gerçel kısmının 1 olduğu noktaya konur.

D) Saplamanın boyu $\lambda/4$'ten kısaysa saplama kapasitif suseptans verir.

E) Her yük için tek bir saplama konumu vardır; yüke $\lambda/2$'den yakın ikinci bir çözüm yoktur.

ÇÖZÜMLER

13 KAYIPSIZ ORTAMDA DÜZLEM DALGALAR VE KUTUPLANMA

13.1

← Soru

Kayıpsız ortamda $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$ gerçeldir ve frekans içermez; $\mathbf{H} = \frac{1}{\eta}\hat{\mathbf{z}} \times \mathbf{E}$ olduğundan $\mathbf{E}$ ile $\mathbf{H}$ aynı fazdadır. (C) doğrudur.

- (A): $u_p = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$ frekanstan bağımsızdır; frekans iki katına çıkınca dalga boyu yarıya iner.
- (B): $\lambda = \lambda_0/\sqrt{\varepsilon_r} = \lambda_0/2$; dörtte bir değil.
- (D): $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$, $\mathbf{E}$'nin de yayılma yönünde bileşeni olmamasını gerektirir: dalga TEM'dir.
- (E): $\eta = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$; ε_r büyüdükçe küçülür.

CEVAP C

13.8

← Soru

Yöntem: sabit bir noktada $\mathbf{E}(\omega t = 0)$ ile $\mathbf{E}(\omega t = 90°)$'nin vektörel çarpımı dönüş eksenini verir. Bu eksen yayılma yönündeyse kutuplanma sağ eldir.

- (A): $+z$; $z = 0$'da $\hat{\mathbf{x}}$'ten $-\hat{\mathbf{y}}$'ye döner, $\hat{\mathbf{x}} \times (-\hat{\mathbf{y}}) = -\hat{\mathbf{z}}$: sol el.
- (B): $-z$; $\hat{\mathbf{x}}$'ten $\hat{\mathbf{y}}$'ye döner, $\hat{\mathbf{x}} \times \hat{\mathbf{y}} = +\hat{\mathbf{z}}$, yayılmaya zıt: sol el.
- (C): Bileşen genlikleri farklı (2 ve 1): sağ el ama eliptik, dairesel değil.
- (D): $+x$; $x = 0$'da $\hat{\mathbf{z}}$'den $\hat{\mathbf{y}}$'ye döner, $\hat{\mathbf{z}} \times \hat{\mathbf{y}} = -\hat{\mathbf{x}}$: sol el.

(E): $-z$; $z = 0$'da $\omega t = 0$'da $\hat{\mathbf{y}}$, $\omega t = 90°$'de $\hat{\mathbf{x}}$: $\hat{\mathbf{y}} \times \hat{\mathbf{x}} = -\hat{\mathbf{z}}$, yayılma yönüyle aynıdır. Genlikler eşit: sağ el dairesel. (E) doğrudur.

CEVAP E

13.10

← Soru

a. Ok, büyük eksenden küçük eksene doğru, $+z$'den (dalga gözlemciye gelirken) bakınca saat yönünün tersinedir. Başparmak $+z$'deyken sağ elin parmakları bu yönde kıvrılır: sağ el. Eksen oranı $5/2 = 2.5$.

b. Büyük eksen yönü $\hat{\mathbf{u}}_\xi = (\hat{\mathbf{x}} + \hat{\mathbf{y}})/\sqrt{2}$, küçük eksen $\hat{\mathbf{u}}_\eta = (-\hat{\mathbf{x}} + \hat{\mathbf{y}})/\sqrt{2}$. $t = 0$'da $\mathbf{E}$, P'de (büyük eksen ucunda), sonra $\hat{\mathbf{u}}_\eta$'ya döner:

$$\mathbf{E}(0, t) = 5\cos\omega t\,\hat{\mathbf{u}}_\xi + 2\sin\omega t\,\hat{\mathbf{u}}_\eta.$$

$\sin\omega t$'nin fazörü $-j$'dir; $\mathbf{E} = 5\,\hat{\mathbf{u}}_\xi - j2\,\hat{\mathbf{u}}_\eta$:

$$\mathbf{E} = \tfrac{1}{\sqrt{2}}\big[(5 + j2)\hat{\mathbf{x}} + (5 - j2)\hat{\mathbf{y}}\big]e^{-j\beta z},$$

yani $3.81\,e^{j21.8°}\hat{\mathbf{x}} + 3.81\,e^{-j21.8°}\hat{\mathbf{y}}$ V/m: $a_x = a_y = 3.81$ V/m, $\delta = -43.6°$.

Denetim: $\psi_0 = 45°$; $\tan 2\zeta = \tan 90° \cos\delta$ sonsuz ve $\cos\delta > 0$: $\zeta = 45°$. $\sin 2\chi = \sin(-43.6°)$, $\chi = -21.8°$, $\tan\chi = -0.4 = -2/5$: sağ el, oran 2.5.

c. $\mathbf{E} = a_R(\hat{\mathbf{x}} - j\hat{\mathbf{y}}) + a_L(\hat{\mathbf{x}} + j\hat{\mathbf{y}})$; $a_R = (E_x + jE_y)/2$, $a_L = (E_x - jE_y)/2$:

$$a_R = \frac{(5 + j2) + j(5 - j2)}{2\sqrt{2}} = \frac{7(1 + j)}{2\sqrt{2}},$$

yani $|a_R| = 3.50$ V/m. Benzer biçimde $|a_L| = |(5+j2) - j(5-j2)|/(2\sqrt{2})$, yani $|a_L| = 1.50$ V/m. Oran $(3.50 + 1.50)/(3.50 - 1.50) = 2.5$, eksen oranıyla aynıdır.

d. Elipsin yarı eksenleri $a_\xi = 5$ V/m ve $a_\eta = 2$ V/m'dir; $a_x^2 + a_y^2 = a_\xi^2 + a_\eta^2$ olduğundan

$$S_{\text{ort}} = \frac{a_\xi^2 + a_\eta^2}{2\eta_0} = \frac{29}{754} = 38.5\ \text{mW/m}^2.$$

CEVAP a. sağ el; 2.5
b. $\frac{1}{\sqrt{2}}[(5 + j2)\hat{\mathbf{x}} + (5 - j2)\hat{\mathbf{y}}]e^{-j\beta z}$; 3.81 V/m, 3.81 V/m, $\delta = -43.6°$ c. $|a_R| = 3.50$ V/m, $|a_L| = 1.50$ V/m d. 38.5 mW/m^2

ertansinansahin.com

15 DİK GELİŞTE YANSIMA VE İLETİM

15.2

← Soru

a. Manyetik olmayan ortamlarda $\eta = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$; $\sqrt{9.8} = 3.13$:

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon_r}}{1 + \sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{1 - 3.130}{1 + 3.130} = -0.516,$$

$\tau = 1 + \Gamma = 0.484$.

b. Yansıyan güç oranı $|\Gamma|^2 = 0.266$, yani %26.6. Geçen güç oranı $(\eta_1/\eta_2)|\tau|^2 = 3.130(0.484)^2 = 0.734$, yani %73.4. Toplam 1'dir.

c. Duran dalga oranı:

$$S = \frac{1 + 0.516}{1 - 0.516} = 3.13, \qquad 20\log_{10} S = 9.91 \text{ dB}.$$

$S = \sqrt{\varepsilon_r}$ çıkar: $\Gamma = (1-n)/(1+n)$ ise $(1+|\Gamma|)/(1-|\Gamma|) = n$. Havadan kayıpsız, manyetik olmayan bir ortama dik gelişte S, ortamın kırılma indisine eşittir.

Kontrol: Sınır koşullarından ($E_0 + E_r = E_t$, $(E_0 - E_r)/\eta_1 = E_t/\eta_2$) doğrudan çözüm de $E_r/E_0 = -0.516$, $E_t/E_0 = 0.484$ verir.

CEVAP a. $\Gamma = -0.516$, $\tau = 0.484$ b. %26.6 yansır, %73.4 geçer c. $S = 3.13$ (9.91 dB) $= \sqrt{\varepsilon_r}$

15.11

← Soru

a. $\Gamma = (1 - 3.48)/(1 + 3.48) = -0.554$; yansıyan güç $|\Gamma|^2 = 0.306$, yani %30.6.

b. Çeyrek dalga katmanında $\eta_2 = \sqrt{\eta_1 \eta_3}$ olmalıdır; $\eta = \eta_0/n$ olduğundan $n_k = \sqrt{n_1 n_3} = \sqrt{3.48} = 1.87$. Kalınlık kaplamadaki dalga boyunun dörtte biridir:

$$d = \frac{\lambda_0}{4 n_k} = \frac{1.55}{4(1.865)} = 0.208 \text{ µm}.$$

Bu kalınlıkta $\beta_k d = \pi/2$ ve dalga empedansı formülü $Z = \eta_k^2/\eta_3 = \eta_0$ verir (η_k: kaplamanın öz empedansı): hava tarafı sanki sınırsız bir hava görür.

c. Kalınlık $\lambda_k/4$'ün tek katları olabilir: $d = 3\lambda_0/(4n_k) = 0.623$ µm. (Kalın kaplama daha dar bantlıdır.)

Kontrol: Hava, kaplama ve silisyumdaki dalgaların genlikleri dört sınır koşulundan doğrudan çözüldüğünde $d = 0.208$ µm için yansıyan genlik sıfır çıkar.

CEVAP a. %30.6 b. $n_k = 1.87$, $d = 0.208$ µm c. 0.623 µm

15.14

← Soru

a. $\eta_1 = \eta_3 = \eta_0$ olduğunda yansımasızlık için $\beta_2 d = m\pi$, yani $d = m\lambda_2/2$ gerekir (yarım dalga pencere). $\lambda_0 = c/f = 5.36$ cm, $\lambda_2 = 5.357/\sqrt{3.8} = 2.75$ cm:

$$d = m(1.37 \text{ cm}): \ 1.37,\ 2.75,\ 4.12 \text{ cm}, \ \ldots$$

2 cm'yi aşan en ince değer $d = \lambda_2 = 2.75$ cm'dir.

b. 5.3 GHz'te faz kalınlığı

$$\beta_2 d = \frac{2\pi(5.3 \times 10^9)\sqrt{3.8}\,(0.02748)}{3 \times 10^8} = 340.7°,$$

$\eta_2 = 377/\sqrt{3.8} = 193.4\ \Omega$:

$$Z = \eta_2 \frac{\eta_0 \cos\beta_2 d + j\eta_2 \sin\beta_2 d}{\eta_2 \cos\beta_2 d + j\eta_0 \sin\beta_2 d} = 289 + j129\ \Omega,$$

$$|\Gamma|^2 = \left|\frac{Z - 377}{Z + 377}\right|^2 = 0.0533 \ (\%5.33).$$

c. $d = 1.37$ cm için $\beta_2 d = 170.4°$; aynı formül $|\Gamma|^2 = 0.0143$, yani %1.43 verir. Faz hatası kalınlıkla orantılıdır: λ_2 kalınlığındaki levhada 360°'den sapma 19.3°, yarısında 9.6°'dir. Yarım dalga pencere dar bantlıdır; ince olan daha geniş bantlıdır.

d. $d = \lambda_2/4$'te $\beta_2 d = \pi/2$ ve $Z = \eta_2^2/\eta_0 = \eta_0/3.8$:

$$\Gamma = \frac{1/3.8 - 1}{1/3.8 + 1} = -0.583, \qquad |\Gamma|^2 = \%34.0.$$

Çeyrek dalga levha iki yüzeyin yansımalarını toplar; havadan havaya bir pencerede en kötü kalınlıktır.

Kontrol: Üç bölgedeki genlikler dört sınır koşulundan doğrudan çözülünce 5.3 GHz'te %5.33 ve %1.43 aynen çıkar; 5.6 GHz'te iki kalınlıkta da yansıma sıfırdır.

CEVAP a. $d = m(1.37$ cm); $d = 2.75$ cm b. %5.33 c. %1.43; ince levha daha geniş bantlı d. $\Gamma = -0.583$, %34.0

ertansinansahin.com

18 SMITH ABAĞI VE EMPEDANS EŞLEME

18.3

← Soru

a. $z_L = (27 + j54)/75 = 0.36 + j0.72$; nokta üst yarıdadır (endüktif):

$$\Gamma = \frac{-0.64 + j0.72}{1.36 + j0.72} = 0.626\angle 104^\circ.$$

b. z'nin merkeze göre simetriği $-\Gamma$'dır; $(1-\Gamma)/(1+\Gamma) = 1/z$ olduğundan bu nokta abakta doğrudan y olarak okunur. Simetrik noktanın açısı $103.7^\circ - 180^\circ = -76.3^\circ$'dir:

$$y_L = \frac{1}{0.36 + j0.72} = 0.556 - j1.11.$$

$Y_L = y_L/Z_0 = 7.41 - j14.8$ mS. Simetrik nokta, hat üzerinde $\lambda/4$ (180°) dönmeye karşılık gelir: $\lambda/4$ hat empedansı terse çevirir.

c. Paralel modelde $Y_L = G + jB$: $R = 1/G = 135\ \Omega$. B negatiftir, yani eleman bobindir: $B = -1/(\omega L)$,

$$L = \frac{1}{2\pi(2\times 10^8)(0.0148)} = 53.7\text{ nH}.$$

d. Admitans noktası da hat boyunca saat yönünde döner; 0.1λ için 72°. Açı -76.3°'den -148°'ye iner ve

$$y(0.1\lambda) = \frac{y_L + j\tan 36^\circ}{1 + j y_L \tan 36^\circ} = 0.248 - j0.268.$$

Kontrol: Önce $z(0.1\lambda)$ giriş empedansı formülüyle bulunup terslenirse yine $0.248 - j0.268$ çıkar.

CEVAP a. $0.626\angle 104^\circ$ b. $y_L = 0.556 - j1.11$; $Y_L = 7.41 - j14.8$ mS c. $135\ \Omega$ paralel 53.7 nH d. $0.248 - j0.268$

18.6

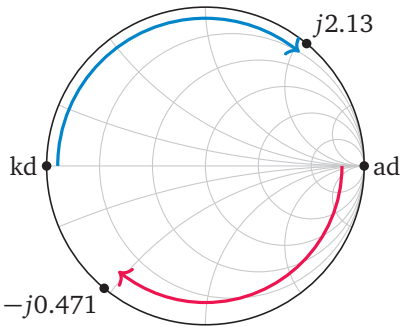
← Soru

0.18λ için saat yönünde $720^\circ(0.18) = 129.6^\circ$ dönülür; $\beta l = 64.8^\circ$. Saf reaktif yükte $|\Gamma| = 1$; nokta birim çemberde kalır.

a. Kısa devre $\Gamma = -1$ (sol uç, açı 180°). 129.6° dönünce açı 50.4° olur; bu nokta üst yarıda $x = 2.13$ yayındadır: $z = j2.13$, $Z = j159\ \Omega$. Formülle $jZ_0 \tan 64.8^\circ = j75(2.13) = j159\ \Omega$.

b. Açık devre $\Gamma = +1$ (sağ uç, açı 0). Dönünce açı -129.6° olur; alt yarıda $x = -0.471$: $Z = -j35.3\ \Omega$. Formülle $-jZ_0 \cot 64.8^\circ = -j35.3\ \Omega$.

c. Kısa devre ucu olan parça endüktiftir ($+j159\ \Omega$); $l < \lambda/4$ olduğu için. Açık uçlu olan kapasitiftir.



CEVAP a. $j159\ \Omega$ b. $-j35.3\ \Omega$ c. kısa devre uçlu parça

18.8

← Soru

Paralel bağlı elemanların admitansları toplanır. Saplama yalnız sanal admitans ($-jb$) ekleyebilir; bu yüzden saplamanın konduğu noktada hattın normalize admitansı $1 + jb$ olmalıdır. Saplama $-jb$ ile sanal kısmı sıfırlar ve $y = 1$ kalır. (C) doğrudur.

- (A): Yükte $g_L \neq 1$ ise saplama gerçel kısmı değiştiremez; yük eşlenemez.
- (B): Paralel bağlantıda empedanslar değil, admitanslar toplanır; abak bu yüzden admitans abağı olarak kullanılır.
- (D): $y_{\text{kd}} = -j\cot\beta l$; $l < \lambda/4$ için $\cot\beta l > 0$, suseptans negatiftir: endüktif.
- (E): Sabit $|\Gamma|$ çemberi $g = 1$ çemberini iki noktada keser; yüke $\lambda/2$'den yakın iki çözüm vardır.

CEVAP C

ertansinansahin.com

KİTABIN TAMAMINDA

- 9 ünite, 140 soru ve hepsinin adım adım çözümü.
- Her ünitenin başında, soruların dayandığı bağıntıları özetleyen hatırlatma kutusu.
- Temel, orta ve ileri düzeyde sorular; her sorunun altında kendi çözümünüz için noktalı alan.
- Sorudan çözüme, çözümden soruya tek tıkla geçiş.

ertansinansahin.com