

MİKRODALGA TEKNİĞİ

- Pasif Devreler ve Çözümlü Problemler -

MİKRODALGA TEKNİĞİ

- Pasif Devreler ve Çözümlü Problemler -

Doç. Dr. Serkan ŞİMŞEK
Doç. Dr. Cevdet IŞIK
Prof. Dr. Ercan TOPUZ

PAPATYA YAYINCILIK EĞİTİM
İstanbul, Ankara, İzmir ve Adana

© **PAPATYA YAYINCILIK EğİTİM**

Bilgisayar Sis. San. ve Tic. A.Ş.

Ankara Caddesi, No: 11/3,

Cağaloğlu (Fatih)/İstanbul

Tel : (0 212) 527 52 96 - (0 532) 311 31 10

Faks : (0 212) 527 52 97

e-Posta : admin@papatya.gen.tr

Web : http://www.papatya.gen.tr
http://www.papatya.info.tr

Mikrodalga Tekniği:

Pasif Devreler ve Çözümlü Problemler

Doç. Dr. Serkan ŞİMŞEK

Doç. Dr. Cevdet IŞIK

Prof. Dr. Ercan TOPUZ

2. Basım Mart 2015

Yayın Danışmanı : Dr. Rifat ÇÖLKESEN (Post-Edu Institute)

Üretim : Olcay KAYA

Pazarlama : Mustafa DEMİR

Satış : Türkiye'nin İnternet Kitapçısı: www.tdk.com.tr

Sayfa Düzenleme : Papatya - Kelebek Tasarım

Kapak Tasarım : Papatya - Kelebek Tasarım

Basım ve Ciltleme : Pasifik Ofset Ltd. Şti. (Sertifika No: 12027)
Cihangir Mah. Güvercin Cad. No:3/1 Baha İş Mrk. A Blok
Haramidere, Avcılar/İstanbul (0212 412 17 77)

© Bu kitabın her türlü yayın hakkı **Papatya Yayıncılık Eğitim A.Ş.**'ye aittir. Yayınevinden yazılı izin alınmaksızın alıntı yapılamaz, kısmen veya tamamen hiçbir şekil ve teknikle ÇOĞALTILAMAZ, BASILAMAZ, YAYIMLANAMAZ. Kitabın, tamamı veya bir kısmının fotokopi makinesi, ofset gibi teknikle çoğaltılması, hem çoğaltan hem de bulunduranlar için yasadışı bir davranıştır.

Şimşek, Serkan; Işık, Cevdet; Topuz, Ercan

Mikrodalga Tekniği: Pasif Devreler ve Çözümlü Problemler / Serkan Şimşek, Cevdet Işık,
Ercan Topuz / İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim, 2015

x, 284 s. ; 24 cm.

Kaynakça ve Dizin var.

Sertifika No: 11218

ISBN 978-605-4220-27-4.

1. İletim Hatları. 2. Dalga Kılavuzları. 3. Saçılma Matrisleri. 4. Empedans Uyumlama
5. Mikrodalga Mühendisliği I. Title.

İçindekiler

Önsöz	VII
Sembol/Simge Listesi	VIII
Bölüm 1. İletim Hatları	11
1.1. İletim Hattı Dağılmış Elemanlı Eşdeğer Devre Modeli	12
1.2. Sinüzoidal Halde İletim Hatları	12
1.2.1. Karakteristik Empedans	13
1.2.2. Gerilim ve Akım Dalgaları	13
1.2.3. Yük ile Sonlandırılan İletim Hattı	15
1.2.4. İletim Hattı Tipleri	15
1.2.5. Duran Dalga Oranı	17
1.2.6. Kayıpsız İletim Hattında Güç İletimi	18
1.3. <i>Smith Abağı</i>	19
1.4. Problem Çözümleri	21
1.5. Özet	88
1.6. Sorular	89
Bölüm 2. Geçici Halde İletim Hatları	91
2.1. Direnç ile Sonlandırılan İletim Hattı	91
2.2. Yansıma Diyagramları	97
2.3. Darbe ile Uyarılan Kayıpsız İletim Hattı	98
2.4. Sinüzoidal Sürekli Halin Oluşumu	99
2.5. Problem Çözümleri	101
2.6. Özet	133
2.7. Sorular	134
Bölüm 3. Dalga Kılavuzları	135
3.1. Düzgün Dalga Kılavuzu Çözümleri	136
3.1.1. Kesim Frekansı ve Baskın Mod	137
3.2. Paralel Plakalı Dalga Kılavuzu	138
3.2.1. Kesim Frekansı ve Baskın Mod	140
3.3. Dikdörtgen Dalga Kılavuzu	140
3.3.1. Kesim Frekansı ve Baskın Mod	142
3.4. Dairesel Dalga Kılavuzu	143
3.4.1. Kesim Frekansı ve Baskın Mod	144
3.5. Problem Çözümleri	146
3.6. Özet	173
3.7. Sorular	173

Bölüm 4. Devre Matrisleri	175
4.1. N Kapılı Devrelerin Genelleştirilmiş Saçılma Matrisi	175
4.2. İki Kapılı Devrelerin Genelleştirilmiş Saçılma Matrisi	176
4.3. Saçılma Matrisinin Özellikleri	177
4.3.1. Resiprok Devreler	178
4.3.2. Kayıpsız Devreler	178
4.3.3. Yansımasız Devreler	179
4.4. Referans Düzlemlerinin Ötelenmesi	179
4.5. Kapı Numaralarının Değiştirilmesi	180
4.6. Devrenin Kapılarına Aktarılan Güç	181
4.7. Jonksiyon Saçılma Matrisi	181
4.8. Kaskat Bağlı İki Devrenin Saçılma Matrisi	182
4.9. ABCD ve T Parametreleri Tanım ve Geçiş Bağlantıları	183
4.10. Problem Çözümleri	186
4.11. Özet	237
4.12. Sorular	238
 Bölüm 5. Empedans Uyumlama	 239
5.1. Paralel Tek Yan Hat İle Empedans Uyumlama	239
5.1.1. Analitik Çözüm	240
5.1.2. <i>Smith Abağı</i> Çözümü	242
5.2. Seri Tek Yan Hat İle Empedans Uyumlama	242
5.2.1. Analitik Çözüm	243
5.2.2. <i>Smith Abağı</i> Çözümü	244
5.3. Paralel Çift Yan Hat ile Empedans Uyumlama	245
5.3.1. <i>Smith Abağı</i> Çözümü	246
5.4. Çeyrek Dalga Boylu Empedans Dönüştürücü	246
5.4.1. Reel Olmayan Yükler İçin Çeyrek Dalga Boylu Empedans Uyumlaştırıcı	247
5.4.2. Paralel Yan Hatlı Çeyrek Dalga Boylu Empedans Dönüştürücü	247
5.5. Problem Çözümleri	248
5.6. Özet	277
5.7. Sorular	277
 Kaynakça	 279
Dizin	283

Önsöz

Bu kitap yazarların İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde verdikleri Mikrodalga dersindeki sınav soruları, uygulamalar ve kişisel ders notlarından derlenmiştir.

Kitap lisans derslerinde kapsanan temel mikrodalga konuları olan iletim hatları, geçici halde iletim hatları, dalga kılavuzları, devre matrisleri ve empedans uyumlama bölümlerinden oluşmaktadır. Her bölümün başında kısa konu açıklaması ve devamında problem çözümleri yer almaktadır. Gerek konu açıklamalarının, gerekse problem çözümlerinin, mikrodalga konularının öğrenciler tarafından belirli bir derinlikte öğrenilmesini sağlayacak kapsamda verilmesine özen gösterilmiştir.

Serkan ŞİMŞEK^{}, Cevdet IŞIK^{*} ve Ercan TOPUZ^{**}*

^{*} İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi.

^{**} Doğu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi.

Sembol/Simge Listesi

α	: Zayıflama sabiti
β	: Faz sabiti
β/k_0	: Mod indisi
γ	: Propagasyon sabiti
$\Gamma(z), \Gamma(d)$	: Hat üzerindeki herhangi bir noktadaki yansıma katsayısı
$\Gamma_y, \Gamma_g, \Gamma_k$	: Yük, giriş ve kaynak gerilim yansıma katsayıları
$\Gamma_y^i, \Gamma_g^i, \Gamma_k^i$	: Yük, giriş ve kaynak akım yansıma katsayıları
Γ_r, Γ_i	: Yansıma katsayısının reel ve sanal kısımları
ϵ_0, μ_0	: Boşluğun dielektrik ve manyetik geçirgenliği
ϵ_r, μ_r	: Malzemenin bağıl dielektrik sabiti, bağıl manyetik geçirgenliği
θ	: Elektriksel uzunluk
k, k_c	: Çalışma frekansındaki dalga sayısı, kesim dalga sayısı
$\lambda, \lambda_c, \lambda_g$	: Çalışma frekansındaki dalga boyu, kesim dalga boyu, kılavuz içi dalga boyu
ϕ	: Faz
ϕ_{mak}, ϕ_{min}	: Gerilimin maksimum ve minimum olduğu konumlardaki yansıma katsayısının açısı
Ψ	: Elektriksel potansiyel, elektrik ve manyetik alanın eksenel bileşenleri
∇_t	: Kesit içi gradyent operatörü
∇_t^2	: Kesit içi laplasyen operatörü
ω	: Açısal frekans
a	: Dikdörtgen dalga kılavuzu geniş kenarı, dairesel dalga kılavuzu yarıçapı
a_i, b_i	: i kapısına gelen ve yansıyan güç dalgaları
b	: Dikdörtgen dalga kılavuzu dar kenarı
B, B_y	: Admitansın sanal kısmı, yük admitansının sanal kısmı
c	: Işık hızı
C	: İletim hattı birim uzunluk için paralel kapasite değeri
d	: İletim hattı eksen
d_{mak}, d_{min}	: Gerilimin maksimum ve minimum olduğu konumların yüke olan uzaklığı
D	: İletim hattı uzunluğu
DDO	: Duran dalga oranı
E_z, E_t	: Eksenel ve kesit içi elektrik alan bileşenleri

f, f_c	: Çalışma frekansı, kesim frekansı
G	: İletim hattı birim uzunluk için paralel kondüktans değeri
G, G_y	: Admitansın reel kısmı, yük admitansının reel kısmı
H_z, H_t	: Eksenel ve kesit içi manyetik alan bileşenleri
I	: Akım fazörü
$I(z), I(d)$	: Hat üzerindeki herhangi bir noktadaki akım dalgası
Γ^+, Γ^-	: $+z$ ve $-z$ yönünde ilerleyen akım dalgasının hat başındaki değerleri
I_i^+, I_i^-	: i kapısına gelen ve yansıyan akım dalgaları
I_{mak}, I_{min}	: Akımın maksimum ve minimum değerleri
L	: İletim hattı birim uzunluk için öz indüktans değeri, iletim hattı uzunluğu
L^{kd}, L^{ad}	: Sonu kısa devre, açık devre yan hatların uzunlukları
m, n	: Mod indisleri
N	: Geçici halde hattaki ardışıl yansıma sayısı, devreler için kapı sayısı
$P(d)$	: Hat üzerindeki herhangi bir noktadaki ortalama güç
P_{ort}	: Ortalama güç
P_g, P_y	: İletim hattı giriş gücü, yüke aktarılan güç
q_{nm}, q'_{nm}	: Bessel fonksiyonu kökleri, türevinin kökleri
R	: İletim hattı birim uzunluk için seri direç değeri, empedansın reel kısmı
R_y, R_k, R_g	: Yük, kaynak ve giriş empedanslarının reel kısımları
RD_i	: i kapısına ait referans düzlemi
$[S]$	: Genelleştirilmiş saçılma matrisi
T	: Gerilim ve akım dalgalarının hattın sonuna ulaşma süresi
$[T]$	: T iletim matrisi
v, i	: Gerilim ve akımın zaman domen gösterilimi
v_{ss}, i_{ss}	: İletim hattı sürekli durum gerilim ve akımları
v_s, i_s	: İletim hattı başlangıç durumu gerilim ve akımları
v_f, v_g	: Faz hızı, grup hızı
V	: Gerilim fazörü
$V(z), V(d)$	: Hat üzerindeki herhangi bir noktadaki gerilim dalgası
V^+, V^-	: $+z$ ve $-z$ yönünde ilerleyen gerilim dalgasının hat başındaki değerleri
V_i^+, V_i^-	: i kapısına gelen ve yansıyan gerilim dalgaları
V_{mak}, V_{min}	: Gerilimin maksimum ve minimum değerleri
V_{Th}	: Thevenin gerilimi
V_y, V_g, V_k	: Yük, giriş ve kaynak gerilimleri fazörleri
x	: Normalize empedansın sanal kısmı

X	: Empedansın sanal kısmı
X_y, X_k, X_g	: Yük, kaynak ve giriş empedanslarının sanal kısımları
y	: Normalize admitans
y_y, y_g	: Normalize yük admitansı, normalize giriş admitansı
y_{ph}, Y_{ph}	: Paralel yan hattın girişinden görülen normalize admitans, admitans
y_{th}, Y_{th}	: Transmisyon hattının girişinden görülen normalize admitans, admitans
y_{sh}, Y_{sh}	: Seri yan hattın girişinden görülen normalize admitans, admitans
Y	: İletim hattı admitansı, dalga admitansı
Y_y, Y_g, Y_k, Y_0	: Yük, giriş, kaynak admitansı ve karakteristik admitans
z	: Normalize empedans
z_y, z_g	: Normalize yük empedansı, normalize giriş empedansı
z_{ph}, Z_{ph}	: Paralel yan hattın girişinden görülen normalize empedans, empedans
z_{th}, Z_{th}	: Transmisyon hattının girişinden görülen normalize empedans, empedans
z_{sh}, Z_{sh}	: Seri yan hattın girişinden görülen normalize empedans, empedans
Z	: İletim hattı empedansı, dalga empedansı
$z(d), Z(z)$	: Hat üzerindeki herhangi bir noktadaki normalize empedans, empedans
Z_y, Z_g, Z_k, Z_0	: Yük, giriş, kaynak empedansı ve karakteristik empedans
Z_{0i}	: i kapısının karakteristik empedansı
Z_{Th}	: <i>Thevenin</i> eşdeğer empedansı