

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EK DEVRE YÖNTEMİ ve MİKRODALGA
KUVVETLENDİRİCİLERİNİN PERFORMANS
DUYARLILIKLARINA UYGULANMASI**

Elektronik ve Hab. Müh. Nihan GÜROĞLU

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

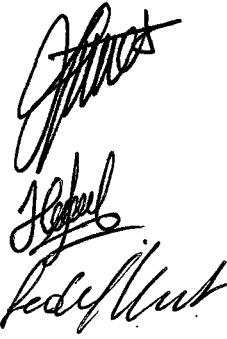
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Hamid TORPİ

Doc. Dr. Sedef KENT

İSTANBUL, 2005



İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1 GİRİŞ.....	1
2 DALGA YAKLAŞIMI İLE MİKRODALGA DEVRELERİN FREKANS UZAYI' NDA ANALİZİ.....	4
2.1 Bağlantı Saçılma Matris Metodu	4
2.2 Devre Cevap Fonksiyonları'nın Hesabı.....	8
2.2.1 Giriş Kapısı Yansıma Katsayısı.....	8
2.2.2 Çıkış Kapısı Yansıma Katsayısı	9
2.2.3 Transdüser Güç Kazancı	10
3 EK DEVRE İLE DALGA DUYARLILIK ANALİZİ : TELLEGEN YAKLAŞIMI VE KAZANÇ DUYARLILIKLARI.....	13
3.1 Tellegen Teoremi.....	13
3.2 Keyfi Konfigürasyonda Bir Mikrodalga Devresinin Dalga Duyarlılıkları.....	16
3.2.1 Saçılma Matrisi Duyarlılık İnvaryantları ve Diferansiyel Saçılma Matrisi Hesabında Kullanılması.....	18
3.3 Kazanç Duyarlılıkları.....	18
3.4 Bir Seri – Hat İki-Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları.....	19
3.5 Bir Paralel – Hat İki-Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları	22
3.6 Bir T - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıkları	24
3.6.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları	25
3.6.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları.....	26
3.6.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları	27
3.7 Bir II - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıkları.....	28
3.7.1 Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları.....	29
3.7.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri– Hat için Duyarlılıkları	30
3.7.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları.....	30
3.8 IMC(T - Tipi)-Transistor-OMC(T - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları.....	31
3.8.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları	33
3.8.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları.....	34
3.8.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları	34
3.8.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları.....	35
3.8.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları	36
3.8.6 Kazancın Altıncı Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları	36
3.9 IMC(Π - Tipi) - Transistor- OMC(Π - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları	37

3.9.1	Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları.....	39
3.9.2	Kazancın İkinci Kat Olan Seri– Hat için Duyarlılıkları	40
3.9.3	Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları.....	40
3.9.4	Kazancın Dördüncü Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları	41
3.9.5	Kazancın Beşinci Kat Olan Seri– Hat için Duyarlılıkları.....	42
3.9.6	Kazancın Altıncı Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları.....	42
4	NUMERİK PERTÜRBASYON YAKLAŞIMI	44
5	DALGA YAKLAŞIMI İLE MİKRODALGA GÜRÜLTÜ DUYARLILIK ANALİZİ	45
5.1	Gürültü Fonksiyonu ve Gradyentleri	45
5.2	Gürültü Duyarlılıklarının Nümerik Pertürbasyon Yöntemi ile Hesaplanması	47
6	ÖRNEK ÇALIŞMALAR ve SONUÇLAR	48
6.1	Çizelge ve Şekiller	48
6.1.1	Uygun Z_S, Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Bir Frekans Bandında Belirli Z_0, l' lere Sahip Devreler İçin G_T, F, V_I Değerlerine Ait Çizelge ve Şekiller.....	48
6.1.2	Uygun Z_G, Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Frekans Bandında Belirli Z_0, l' lere Sahip Devreler İçin Kazanç Duyarlılıklarına Ait Çizelge ve Şekiller	52
6.1.2.1	Seri- Hat ve Paralel-Hat İki Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları.....	52
6.1.2.2	IMC(T - Tipi) ($Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$), OMC(T - Tipi) ($Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1GHz.....11GHz$), IMC(T - Tipi) -Transistor(NE329S01) –OMC(T - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları.....	55
6.1.2.3	IMC(Π - Tipi) ($Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$), OMC(Π - Tipi) ($Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1GHz.....11GHz$), IMC(Π - Tipi) -Transistor(NE329S01) –OMC(Π - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları.....	69
6.2	Gürültü ve Yansıma Katsayıları Duyarlılıkları.....	82
6.2.2	Uygun Z_G, Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Frekans Bandında Belirli Z_0, l' lere Sahip Devreler İçin Gürültü Duyarlılıklarına Ait Çizelge ve Şekiller.....	82
6.2.3	Uygun Z_G, Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Frekans Bandında Belirli Z_0, l' lere Sahip Devreler İçin Yansıma Katsayıları Duyarlılıklarına Ait Çizelge ve Şekiller	89
6.3	Bilgisayar Programı	117
6.3.1	Kazanç Duyarlılıkları.....	117
6.3.1.1	Ek Devre Yöntemi	117
6.3.1.2	Nümerik Pertürbasyon	122
6.3.1.2.1	Hat Uzunluğu(l') na Göre Nümerik Pertürbasyon.....	122
6.3.1.2.2	Karakteristik Empedans(Z_0)' a Göre Nümerik Pertürbasyon.....	124
6.3.1.3	Kazanç Çarpımı Yaklaşımı.....	127
6.3.2	Gürültü Duyarlılıkları	133
6.3.2.1	Ek Devre Yöntemi	133
6.3.2.1.1	Hat Uzunluğu(l') nun Ek Devre Yöntemi Hesabı	133
6.3.2.1.2	Karakteristik Empedans(Z_0)' ın Ek Devre Yöntemi Hesabı.....	135
6.3.2.2	Nümerik Pertürbasyon	138
6.3.2.2.1	Hat Uzunluğu(l') na Göre Nümerik Pertürbasyon.....	138
6.3.2.2.2	Karakteristik Empedans(Z_0)' a Göre Nümerik Pertürbasyon.....	140
6.3.3	Yansıma Katsayıları Duyarlılıkları.....	142

6.3.3.1	Ek Devre Yöntemi	142
6.3.3.2	Nümerik Pertürbasyon	147
6.3.3.2.1	Hat Uzunluğu(l)' na Göre Nümerik Pertürbasyon.....	147
6.3.3.2.2	Karakteristik Empedans(Z_0)' a Göre Nümerik Pertürbasyon.....	149
7	SONUÇLAR.....	152
EKLER		154
Ek 1	NE329S01 Transistorunun Parametreleri.....	154
KAYNAKLAR.....		155
ÖZGEÇMİŞ		156



SİMGE LİSTESİ

$a^{(k)}$	Gelen dalga değişkenlerinin vektörü
$b^{(k)}$	Giden dalga değişkenlerinin vektörü
c	Kaynaktan etkilenen bağımsız kompleks dalga
$[S]$	İki – kapılının matrisiyel formda S parametreleri
f	Çalışma frekansı
$F_{\min}$	Minimum gürültü faktörü
F	Gürültü faktörü ($F \geq F_{\min}$)
F_{req}	İstenilen gürültü faktörü ($F_{req} \geq F_{\min}$)
G_T	Transdüser güç kazancı
I_{DS}	Bir mikrodalga transistorun kutuplama akımı
ℓ	Transmisyon hattının uzunluğu
N	Orijinal devre
$\hat{N}$	Ek devre
R_n	Bir mikrodalga transistorun eşdeğer gürültü direnci
V_i	Giriş VSWR ($V_i \geq 1$)
V_{ireq}	İstenilen giriş VSWR ($V_{ireq} \geq 1$)
V_{DS}	Bir mikrodalga transistorun kutuplama gerilimi
Z_L	Reel ve imajiner kısımlarıyla iki-kapılı devrenin yükü
Z_o	Transmisyon hattının karakteristik empedansı
Z_G	Reel ve imajiner kısımlarıyla iki-kapılı devrenin kaynak empedansı
Z_N	Kaynak kapısındaki referans empedansı
Z_{opt}	Optimum kaynak empedansı
Γ	Yansıma katsayısı
α	$\hat{N}$ devresinin kapılarındaki gelen dalga değişkenlerinin vektörü
β	$\hat{N}$ devresinin kapılarındaki giden dalga değişkenlerinin vektörü

KISALTMA LİSTESİ

VSWR	Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio)
IMC	Giriş Uyumlaştırma Devresi (Input Matching Circuit)
OMC	Çıkış Uyumlaştırma Devresi (Output Matching Circuit)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Çoklu bağlantılı ve bağımsız işaret kaynaklı mikrodalga devre.....	4
Şekil 2.2	İşaret kaynağı	5
Şekil 2.3	Bir mikrodalga devresinde 2 kapının bağlantısı	7
Şekil 2.4	İşaret kaynağı ile sürülmüş ve Z_L yükü ile sonlandırılmış bir iki kapılı.....	9
Şekil 2.5	İşaret kaynağı ile çıkış kapısından sürülmüş ve Z_G yükü ile giriş kapısında sonlandırılmış bir iki kapılı.....	9
Şekil 2.6	a) Yük empedansı gerilim kaynağının empedansına eşitlenmiş hali b) S_L yansıma katsayılı yükün kaynak yansıma katsayısına eşitlenmiş hali.....	11
Şekil 3.1	Seri – Hat devresi.....	19
Şekil 3.2	Paralel – Hat devresi	21
Şekil 3.3	T- Tipi devre	24
Şekil 3.4	Π - Tipi devre.....	27
Şekil 3.5	IMC(T - Tipi) – Transistor – OMC(T - Tipi) devresi	31
Şekil 3.6	IMC(Π - Tipi) -Transistor - OMC(Π - Tipi) devresi	37
Şekil 5.1	IMC-Transistör-OMC Devresi.....	46
Şekil 5.2	IMC Devrenin Z_{opt}^* ile sonlandırılması	46
Şekil 6.1	$Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi	48
Şekil 6.2	$Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi.....	49
Şekil 6.3	GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-OMC(T - Tipi) devresi için kazanç–frekans eğrisi.....	49
Şekil 6.4	GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için gürültü – frekans eğrisi	50
Şekil 6.5	GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(T - Tipi) devresi için duran dalga oranı – frekans eğrisi.....	50
Şekil 6.6	$Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç - frekans eğrisi.....	50
Şekil 6.7	$Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış OMC(Π - Tipi) devresi için kazanç –frekans eğrisi	51
Şekil 6.8	GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç – frekans eğrisi.....	51
Şekil 6.9	GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(Π - Tipi) devresi için gürültü – frekans eğrisi	52
Şekil 6.10	GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(Π - Tipi) –Transistor(NE329S01)-IMC(Π - Tipi) devresi için duran dalga oranı–frekans eğrisi.....	52
Şekil 6.11	Seri – hat iki – kapılısının hat uzunluğuna ($\ell = 15.886$ cm) göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrisi.....	53
Şekil 6.12	Seri – hat iki – kapılısının karakteristik empedansa($Z_0 = 36.310 \Omega$) göre	

	kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi.....	54
Şekil 6.13	Paralel – hat iki – kapılısının hat uzunluğuna ($\ell = 14.009$ cm) göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi	55
Şekil 6.14	Paralel – hat iki – kapılısının karakteristik empedansa($Z_0 = 180.885 \Omega$) göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrisi.....	55
Şekil 6.15	IMC(T - Tipi) devresi için a) 1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ‘e göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrileri	59
Şekil 6.16	OMC(T - Tipi) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} ; b) ℓ_2 , Z_{02} ; c) ℓ_3 , Z_{03} ‘e göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrileri	62
Şekil 6.17	IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için) 1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; d) ℓ_4 , Z_{04} ; e) ℓ_5 , Z_{05} ; f) ℓ_6 , Z_{06} ‘e göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri.....	69
Şekil 6.18	IMC(II tipi) devresi için a) 1) ℓ_1 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 2) Z_{03} ‘e göre kazanç duyarlılığı frekans eğrileri	72
Şekil 6.19	OMC(II tipi) devresi için a) 1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ‘e göre kazanç –frekans eğrisi.....	75
Şekil 6.20	IMC(II tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(II tipi) devresi için a) 1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; d) ℓ_4 , Z_{04} ; e) ℓ_5 , Z_{05} ; f) ℓ_6 , Z_{06} ‘e göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri	82
Şekil 6.21	IMC(T tipi) devresi için a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; ‘e göre gürültü duyarlılığı – frekans eğrileri.....	85
Şekil 6.22	IMC(II tipi) devresi için a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; ‘e göre gürültü duyarlılığı – frekans eğrileri	89
Şekil 6.23	IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} ‘e göre giriş yansıma katsayısı duyarlılığı – frekans eğrileri	103
Şekil 6.24	IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} ‘e göre çıkış yansıma katsayısı duyarlılığı – frekans eğrileri	117

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	T - Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan hatların uzunluk ve karakteristik empedansları	3
Çizelge 2.1	Bazı Devre Elemanlarının Saçılma Matrisleri	11
Çizelge 3.1	Bazı Devre Elemanlarının Z_0 ve Γ 'ye göre duyarlılık formülleri	18
Çizelge 6.1	T - Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan hatların uzunluk ve karakteristik empedansları	48
Çizelge 6.2	$Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri	48
Çizelge 6.3	$Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri.....	48
Çizelge 6.4	GTreq (ω) =12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri	49
Çizelge 6.5	GTreq (ω) =12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(T - Tipi) devresi için gürültü değerleri.....	49
Çizelge 6.6	GTreq (ω) =12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(T - Tipi) devresi için duran dalga oranı değerleri	50
Çizelge 6.7	$Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç değerleri	50
Çizelge 6.8	$Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış OMC(Π - Tipi) devresi için kazanç değerleri.....	51
Çizelge 6.9	GTreq (ω) =12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan IMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-OMC(Π -Tipi) devresi için kazanç değerleri	51
Çizelge 6.10	GTreq (ω) =12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(Π - Tipi) - Transistor(NE329S01)-IMC(Π -Tipi) devresi için gürültü değerleri.....	51
Çizelge 6.11	GTreq (ω) =12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω_i)=0.46dB olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(Π - Tipi) devresi için duran dalga oranı değerleri	52
Çizelge 6.12	Seri – hat iki – kapılısının $\ell = 15.886$ cm, $Z_0 = 36.310 \Omega$ için hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri.....	53
Çizelge 6.13	Paralel – Hat iki – kapılısının $\ell = 14.009$ cm, $Z_0 = 180.885 \Omega$ hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri.....	54
Çizelge 6.14	IMC(T-Tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} ; b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı –frekans değerleri.....	55
Çizelge 6.15	OMC(T-Tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} ; b) ℓ_2, Z_{02} ; c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı –frekans değerleri.....	59
Çizelge 6.16	IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} d) ℓ_4, Z_{04} e) ℓ_5, Z_{05} f) ℓ_6, Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans değerleri.....	62
Çizelge 6.17	IMC(Π tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans değerleri.....	69
Çizelge 6.18	OMC(Π tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı– frekans değerleri.....	72
Çizelge 6.19	IMC(Π tipi) –Transistor (NE329S01)-OMC(Π) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} d) ℓ_4, Z_{04} e) ℓ_5, Z_{05} f) ℓ_6, Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı– frekans	

	değerleri	75
Çizelge 6.20	IMC(T tipi) devre için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre gürültü duyarlılığı – frekans değerleri.....	82
Çizelge 6.21	IMC(II tipi) devre için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre gürültü duyarlılığı – frekans değerleri.....	85
Çizelge 6.22	IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} 'e göre giriş yansıma katsayısı duyarlılığı – frekans değerleri	89
Çizelge 6.23	IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} 'e göre çıkış yansıma katsayısı duyarlılığı – frekans değerleri	103
Çizelge 7.1	NE329S01 ' in S parametreleri, $V_{DS}=2V$, $I_D=10\text{ mA}$	154
Çizelge 7.2	NE329S01 ' in gürültü parametreleri, $V_{DS}=2V$, $I_D=10\text{ mA}$	154

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının amacı dağılmış parametreleri mikrodalga kuvvetlendiricilerin duyarlılık analizini yapmaktır. Çalışmada, kazanç, gürültü ve yansıma katsayıları duyarlılıkları hesaplanmıştır.

Bu tez benim için çok ciddi ve zahmetli bir çalışma oldu. Önce bu çalışmanın ne kadar zahmetli olduğunun farkında değildim. Bu kadar zahmetin sonunda iyi bir tez çalışması yaptığıma inanıyorum. Bu tezle birlikte dalga yaklaşımıyla her değer hesaplanabileceğini gördüm. Ayrıca, bu tezi yapmak benim için ayrıca bir gurur kaynağı oldu. İleride öğrencilerin bu tezden faydalanacaklarına inanıyorum.

Tez aşaması sırasında öncelikle bana her zaman destek olan ve moral veren Prof. Dr. Filiz Güneş'e, ev arkadaşım ve yakın dostum Gamze Nakipoğlu'na, manevi desteğini benden esirgemeyen M. Erdem Müminoğlu'na , ve tabii ki hayatımı ve herşeyimi borçlu olduğum, çok sevdiğim annem Birgül Güroğlu'na, babam Recai Güroğlu'na, ananem Fatma Gülen' e sonsuz teşekkürler....



ÖZET

Bu tez çalışmasında “Ek Devre” yaklaşımı ile, bir mikrodalga kuvvetlendiricisinin kazanç, gürültü faktörü, giriş ve çıkış yansıtma katsayılarının genlik ve fazının pasif eleman parametrelerine göre duyarlılıkları formüle edilmiş ve T-tipi ve II-tipi uydurma ve kuvvetlendirici devrelerine uygulanmıştır. Ayrıca çalışılan örnekler, literatürdeki “Kazanç Çarpımı”, “Zincir Duyarlılık Matrisi” ve “Nümerik Pertürbasyon” yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bilindiği gibi “Ek Devre” yöntemi günümüzde çok yaygın olarak kompleks lineer ve lineer olmayan tasarım problemlerinde verimli bir şekilde uygulanmaktadır. Başlıca uygulama alanları için “Yapısal Tasarım”, “Devre Teorisi”, “Kontrol Teori”, “Elektromagnetik Tasarım” sayılabilir. Ek-Devre ile çoklu parametre tasarım analizi, sonuçta orijinal devre analizine ilaveten matris transpozisi ve birkaç matris çarpımından oluşan çok az işleme indirgenmektedir.

Çalışmada “Dalga Değişkenleri” ve “Saçılma Parametreleri” kullanılmıştır. Bu çerçevede ilk aşamada önce, toplu ve dağılmış parametrelili çok-kapılılılarının konfigürasyonu ile oluşturulan mikrodalga devrelerinin, “Bağlantı Saçılma Matrisi” W ile $W_a = c$ biçiminde modellemesi yapılmıştır; burada $W = \Gamma - S'$ dir. Γ bağlantı matrisini, S saçılma matrisini ifade etmektedir. a devrenin iç ve dış kapı gelen dalga büyüklükleridir ve c devre uyarma vektörüdür. İkinci aşama olarak “a” dalgalarının bir p devre parametresine göre duyarlılığı bulunarak “Ek

Devre” yöntemi uygulanmıştır. Bu aşamada, diferansiyel operatörü $\frac{\partial S}{\partial p}$,

$\frac{1}{p}(I - S \cdot S)$ basit ifadesine indirgenmiştir. Üçüncü aşamada kazanç, gürültü faktörü, giriş ve çıkış yansıtma katsayıları gibi performans dalga duyarlılıkları formüle edilmiştir. Dördüncü aşama olarak elde edilen formüller Matlab programlama diline aktarılmış, “Ek Devre”, “Kazanç Çarpımı”, “Zincir Duyarlılık Matrisi” ve “Nümerik Pertürbasyon” yöntemleri ile karşılaştırmalı uygulamalar verilmiştir. Uygulama örnekleri olarak, (F, V_i, G_T) performans üçlülere için tasarlanmış T-tipi ve II- tipi giriş ve çıkış uydurma ve kuvvetlendirme devreleri yer almaktadır.

Bu çalışmada kullanılan “Ek Devre Yöntemi” ile Dalga Yaklaşımı her türlü mikrodalga devre topolojisine uygulanabilir oldukları için, bu yöntemler farklı devrelere uygulanarak duyarlılık çalışması genişletilebilir. Ayrıca, Dalga Yaklaşımı’nda dalga değişkenleri bir kere hesaplanmakta, bu hesap üzerinden her türlü performans duyarlılık (yansıma katsayıları, grup gecikmesi, kayıplar) hesabı yapılabilmektedir. Performans duyarlılık analizi, amacı sistem cevabının gradyanını tasarım parametre uzayında hesaplamak olan bir tasarım duyarlılık analizi olduğu için; optimizasyon, istatistiksel ve sonuç analizleri gibi mühendislik problemlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple, bu çalışma diğer tez çalışmaları için bir kaynak oluşturacaktır.

Anahtar kelimeler : Duyarlılık, kazanç, gürültü, giriş yansıtma katsayısı, çıkış yansıtma katsayısı, ek devre, pertürbasyon

ABSTRACT

In this work, gain, noise and input and output reflection sensitivities of an amplifier with respect to the passive element parameters are formulated by "Adjoint Network" method and applied to both T-type, Π -type matching and amplifier circuits. Moreover, the results are compared with the results obtained from "Gain Factorization", "Chain Sensitivity Matrix Method" and "Numerical Perturbation". "Adjoint Matrix" method is a well-known procedure widely applied to the complex linear and nonlinear design problems. Nowadays, it has been proposed in areas such as "Structural Design", "Circuit Theory" and "Control Theory" and "Electromagnetic Design Optimisation". Consequently, the adjoint-sensitivity analysis with multiple design parameters can involve as little as a matrix transposition and a few matrix multiplication in addition to the original network analysis.

In this work, the wave variables and Scattering parameters are employed in the analysis of microwave circuits. So, in the first stage the microwave circuits configured of the multi-subnetworks with the lumped and /or distributed parameters are modelled by the "Connection Scattering Matrix" W in the form of $Wa=c$ where $W=\Gamma - S$, Γ is the connection matrix and S is the scattering matrix of the microwave network. a and c are the incident and excitation wave vectors, respectively. In the second stage, the wave sensitivities with respect to a circuit parameter p are evaluated applying the "Adjoint Network" method. In this stage,

the differentiation operator $\frac{\partial S}{\partial p}$ is reduced into the simple formula which is

$\frac{1}{p}(I - S \cdot S)$. In the third stage, sensitivities of the performance measure functions such as gain, noise figure, the magnitude and phase of the input and output reflection coefficients are formulated in terms of the related wave variables. In the final stage, the performance sensitivities are expressed in Matlab Programming Language and applied to the T- and Π -types of matching and amplifier circuits designed for (F, V_i, G_T) triplets.

Since "The Adjoint Method with Wave Approach" can be applied to the circuits with the arbitrary topologies, so this study can be extended to the different microwave networks in different categories. Moreover, once the wave sensitivities are evaluated, the sensitivities of the other response functions such as insertion loss, reflection coefficients, group delay can be evaluated straightforward by these variables. Since the performance sensitivity analysis is a design sensitivity analysis whose purpose is to evaluate the gradient of the system response in the design parameter space, so it is crucial in engineering problems such as optimisation, statistical, yield and tolerance analysis. So, this thesis is also expected to be a reference work in the optimisation of the microwave amplifiers by the gradient methods.

Keywords : Sensitivity, gain, noise, input reflection coefficient, output reflection coefficient, adjoint, perturbation

1.GİRİŞ

Mikrodalga tekniğinin ortaya çıkması, ilk olarak 1873’de James Clark Maxwell tarafından elektromagnetik teorinin ortaya atılmasına dayanmaktadır. Daha sonra, radarın bulunması ile mikrodalgaların temel uygulamaları yapılmış ve 2. Dünya Savaşı süresince bu uygulamalar geliştirilmiştir. Bu gelişmeler sayesinde mikrodalga devreleri ayrı bir araştırma alanı haline gelmiştir. Mikrodalga devreler, devre yapısının hantallığını ortadan kaldırmakta ve bazı donanımların mobil kullanıma aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, özellikle 1970’lerden beri bilgisayar tabanlı mikrodalga devrelerinin tasarımında önemli ölçüde aşamalar kaydedilmiştir. Mikrodalga devre tasarımı prosedüründe bilgisayar vazgeçilmez bir araç olmuştur. Bilgisayar destekli tasarım hem zaman hem de mali tasarruf sağlamıştır.

Bir devrenin tasarımında ön plana çıkan önemli sorunlardan biri de performanstır. Elektrik ve gürültü performansının optimize edilmesi devreyi daha verimli hale getirmektedir. Özellikle gradyant-temelli optimizasyon metotları oldukça verimli olup, “duyarlılık” hesabına gereksinim duymaktadırlar. Ayrıca, bilgisayar ortamında yapılan tasarım idealize edilmiş bir tasarımdır. Oysa gerçekte, devre parametreleri imalat, yaşlanma veya çevresel faktörler (sıcaklık değişimi, atmosferik basınç, elektromagnetik radyasyon, nem) gibi nedenlerle değişebilmektedir. Bu sebeple imalat sürecinde, devrelerin kalite ve performanslarını kestirebilmek için tolerans analizine gereksinim duyulmaktadır. Yine tolerans analizi yaparken, duyarlılık kavramına gereksinim vardır.

Duyarlılık temel bir ifade ile, türetilabilir bir ‘F’ fonksiyonunun bir ‘x’ parametresine göre türevidir:

$$D_x(F) = \frac{\partial F}{\partial x} \quad (1.1)$$

Bu tanım, bilgisayar uygulamaları için daha kullanışlıdır fakat ölçekten bağımsız değildir. Bu yüzden daha geniş kullanıma sahip olan Normalize Duyarlılık tanımı yapılmıştır:

$$S_x(F) = \frac{\partial(\ln F)}{\partial(\ln x)} = \frac{x}{F} D_x(F) \quad (1.2)$$

ya da;

$$S_x(F) = \frac{\frac{\partial F}{\partial x}}{\frac{F}{x}} = \frac{x}{F} D_x(F) \quad (1.3)$$

Bu duyarlılığın tolerans aralığı $0 \leq S_x(F) \leq 1$ şeklindedir.

Duyarlılık hesaplamalarında x , k adet değişkenin(hat parametresinin) oluşturduğu bir vektördür. x ; eleman değeri, frekans değişkeni, çalışma sıcaklığı,nem vb. olabilir.

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_k]^T$$

F ise, m adet devre fonksiyonunun oluşturduğu bir vektördür. F ; düğüm gerilimi, gelen ya da giden dalga değişkeni, yansıma katsayısı, transdüser güç kazancı vb. olabilir.

$$F(x) = [F_1(x), F_2(x), \dots, F_m(x)]^T$$

Devrenin fiziksel tasarım parametre vektörü x^0 ise, 'nominal parametre' vektörü olarak adlandırılacaktır:

$$x^0 = [x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0]^T \quad (1.4)$$

Buna göre x devre parametre vektörü,

$$x = x^0 + \Delta x \quad (1.5)$$

olarak bileşenlerine ayrılabilir; burada Δx , devre parametreleri diferansiyel değişim vektörüdür:

$$\Delta x = [\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_k]^T \quad (1.6)$$

Ele alınan sistemde, F devre fonksiyonu kazanç duyarlılığı için;

$$F(x) = [G_{T1}(x), G_{T2}(x), \dots, G_{Tm}(x)]^T \quad (1.7)$$

gürültü duyarlılığı için

$$F(x) = [N_{T1}(x), N_{T2}(x), \dots, N_{Tm}(x)]^T$$

şeklindedir. Reel değişkenler (x) ise,

$$x = [\ell_1, Z_{01}, \ell_2, Z_{02}, \dots, \ell_m, Z_{0m}]^T \quad (1.8)$$

şeklinde. (x°) MMIC teknolojisinin izin verdiği hatların uzunluk ve karakteristik empedanslarıdır. Değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Çizelge 1.1 T - Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan hatların uzunluk ve karakteristik empedansları

a)

IMC(T -Tipi)			OMC(T - Tipi)		
$\ell_1 = 15.886 \text{ cm}$	$\ell_2 = 14.009 \text{ cm}$	$\ell_3 = 13.378 \text{ cm}$	$\ell_4 = 13.711 \text{ cm}$	$\ell_5 = 0.674 \text{ cm}$	$\ell_6 = 0.832 \text{ cm}$
$Z_{01} = 36.310 \Omega$	$Z_{02} = 180.885 \Omega$	$Z_{03} = 53.041 \Omega$	$Z_{04} = 129.006 \Omega$	$Z_{05} = 166.347 \Omega$	$Z_{06} = 95.109 \Omega$

b)

IMC(Π -Tipi)			OMC(Π -Tipi)		
$\ell_1 = 14.608 \text{ cm}$	$\ell_2 = 13.970 \text{ cm}$	$\ell_3 = 0.503 \text{ cm}$	$\ell_4 = 15.191 \text{ cm}$	$\ell_5 = 13.678 \text{ cm}$	$\ell_6 = 15.197 \text{ cm}$
$Z_{01} = 85.185 \Omega$	$Z_{02} = 51.995 \Omega$	$Z_{03} = 167.184 \Omega$	$Z_{04} = 199.988 \Omega$	$Z_{05} = 114.411 \Omega$	$Z_{06} = 193.972 \Omega$

Bu çalışmada yer alan bölümler kısaca ele alınacak olursa; 1. bölümde mikrodalga devreleri ve bilgisayar-destekli tasarımı tarihçesi kısaca anlatılmış, genel duyarlılık formülleri çıkartılmıştır. 2. bölümde düğüm gerilimleri ve akımları, dalga değişkenleri cinsinden ifade edilerek Saçılma matrisi oluşturulmuş ve devrenin cevap fonksiyonları dalga değişkenleri cinsinden ifade edilmiştir. 3. bölümde, ek devre analizi için Tellegen Teoremi tanımlanmış, bu teorem üzerinden ek devre formülleri çıkartılarak dalga duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu bölümde kazanç duyarlılıkları ele alınan devreler için ifade edilmiş, daha önce elde edilen formüller bu devrelere uygulanmıştır. 4. bölümde Nümerik Pertürbasyon yaklaşımı, genel hatları ile ifade edilmiştir. 5. bölümde ise, gürültü duyarlılıkları genel olarak ifade edilmiş; bu duyarlılıkların nümerik pertürbasyon yöntemi ile ifadesi incelenmiştir. 6. bölümde Matlab bilgisayar programında elde edilen sonuçlar gösterilmiş, literatürden alınan sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, bu sonuçların frekansla değişimi şekillerle gösterilmiş ve kullanılan bilgisayar programlarından örnekler verilmiştir. 7. bölümde ise, elde edilen sonuçların genel bir değerlendirilmesi yapılarak, geleceğe yönelik çalışmalara dair yorumlar yapılmıştır. Ekler bölümünde ise, kullanılan transistörün saçılma ve gürültü parametreleri verilmiştir.

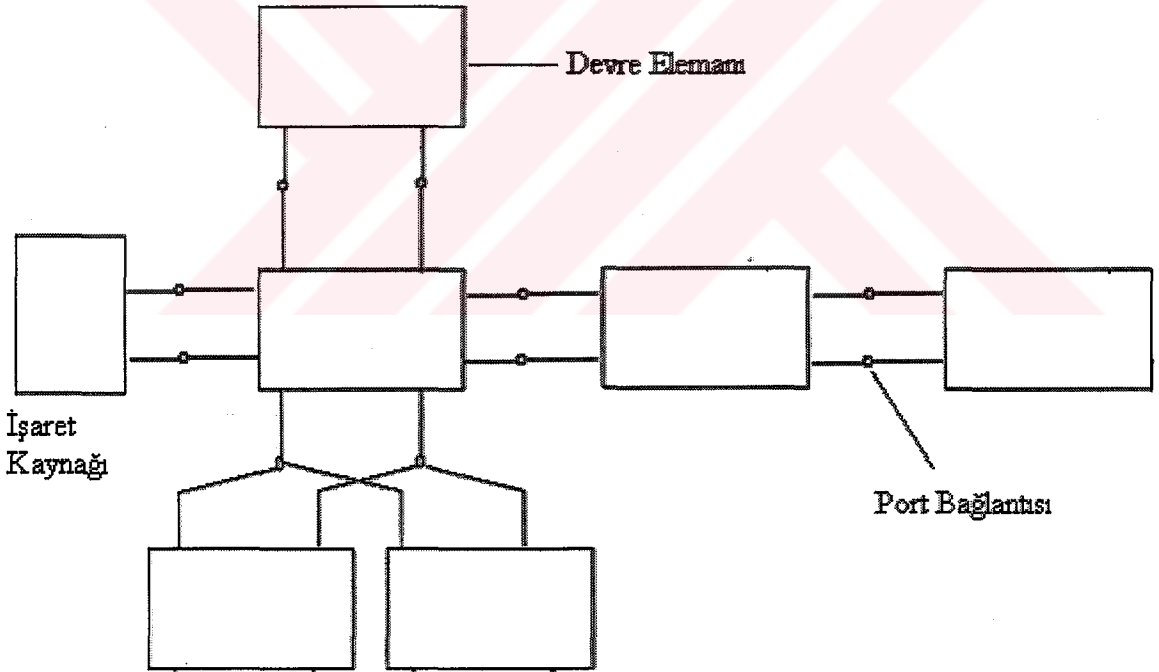
2. DALGA YAKLAŞIMI İLE MİKRODALGA DEVRELERİN FREKANS UZAYI' NDA ANALİZİ

Bir mikrodalga devresi birbirine bağlanmış çok-kapılılardan oluşmaktadır. Mikrodalga devrenin elemanları bir, iki, üç veya daha fazla kapılılardan oluşabilir. Dalga yaklaşımında, devrenin karakterizasyonu saçılma parametreleri kullanılarak elde edilmektedir. Saçılma parametreleri matris metodu, herhangi bir topoloji ile mikrodalga devrelerin tanımlanması, tasarımı ve bilgisayar-destekli analizinde son derece güvenlidir.

2.1 Bağlantı Saçılma Matris Metodu

Mikrodalga devrelerinin özellikleri elemanların kapılarındaki dalga değişkenleri cinsinden de analiz edilebilmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, bir mikrodalga devresi m tane elemanın bağlanmasından oluşmuştur. k. devre elemanı için aşağıdaki lineer eşitlik geçerlidir:

$$b^{(k)} = S^{(k)} a^{(k)} \quad (2.1)$$

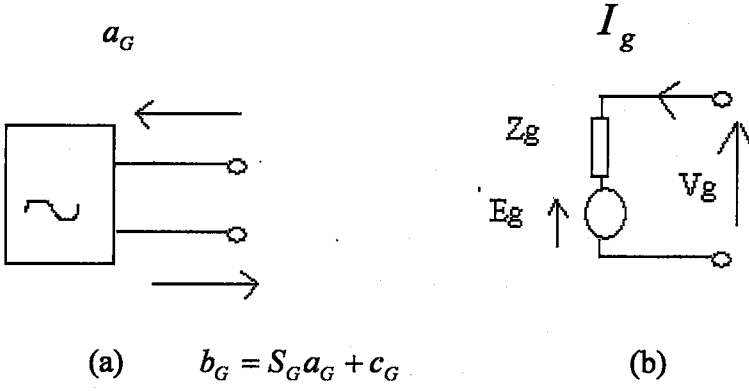


Şekil 2.1 Çoklu bağlantılı ve bağımsız işaret kaynaklı mikrodalga devre

$S^{(k)}$, k. elemanın saçılma matrisi, $a^{(k)}$ ve $b^{(k)}$ gelen ve giden dalga değişkenlerinin vektörleridir.

Bağımsız bir işaret kaynağı aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır:

$$b_G = S_G a_G + c \quad (2.2)$$



Şekil 2.2 İşaret kaynağı a)Kaynak kapısında gelen ve giden dalgalar
b) Karşı gelen sinüsoidal gerilim kaynağı

(2.2) eşitliğini;

$V_G = E_G + I_G Z_G$ eşitliğinde yerine koyulursa, aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$V_G = \frac{1}{\sqrt{Z_N}} (Z_N a_G + Z_N b_G) \quad (2.3)$$

$$I_G = \frac{1}{\sqrt{Z_N}} (a_G - b_G)$$

Bu eşitliklerden b_G çekilirse;

$$b_G = \frac{Z_G - Z_N}{Z_G + Z_N} a_G + \frac{\sqrt{Z_N} E_G}{Z_G + Z_N} \quad (2.4)$$

bulunur.

Burada Z_N kaynak kapısındaki referans empedansını ifade etmektedir. (2.2) ve (2.4) eşitlikleri mukayese edildiğinde;

$$S_G = \frac{Z_G - Z_N}{Z_G + Z_N} \quad (2.5)$$

kaynak kapısının yansıma katsayısı olduğu görülür.

$c = \frac{\sqrt{Z_N} E_G}{Z_G + Z_N}$ ise kaynaktan etkilenen bağımsız kompleks dalgadır.

m elemanlı bir mikrodalga devresi düşünüldüğünde, matris formunda şu lineer eşitlikler elde edilir.

$$S a + c = b \quad (2.6)$$

$$a = \begin{bmatrix} a^{(1)} \\ a^{(2)} \\ a^{(3)} \\ \vdots \\ a^{(k)} \\ \vdots \\ a^{(m)} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b^{(1)} \\ b^{(2)} \\ b^{(3)} \\ \vdots \\ b^{(k)} \\ \vdots \\ b^{(m)} \end{bmatrix} \quad c = \begin{bmatrix} c^{(1)} \\ c^{(2)} \\ c^{(3)} \\ \vdots \\ c^{(k)} \\ \vdots \\ c^{(m)} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$S = \begin{bmatrix} S^{(1)} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & S^{(2)} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & S^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & S^{(1)} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

(2.8)' de $S^{(1)}, S^{(2)}, \dots, S^{(m)}$ çok kapılıların saçılma matrisleri veya bağımsız kaynak ve yüklerin yansıma katsayılarıdır. Bu değerler mikrodalga devresindeki tüm elamanları tanımlamaktadırlar. $a^{(1)}, a^{(2)}, \dots, a^{(m)}; b^{(1)}, b^{(2)}, \dots, b^{(m)}; c^{(1)}, c^{(2)}, \dots, c^{(m)}$ bu elemanlarla ilişkili dalga değişkenlerini temsil etmektedirler. (Dobrowolski, 1996)

Devrenin m tane elemanın bağlantılarını göz önüne alarak, a ve b matrislerinin ilişkisi şu şekilde tanımlanır:

$$b = \Gamma a \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte Γ , devrenin bağlantı matrisini temsil etmektedir.

(2.9) eşitliğini, (2.6) eşitliğinde yerine koyarsak;

$$W a = c \quad (2.10)$$

eşitliği elde edilmiş olur.

$$W = \Gamma - S \quad (2.11)$$

Katsayı matrisi W , devrenin bağlantı saçılma matrisi olarak tanımlanmaktadır. Eşitliğin sağ tarafındaki c matrisi devredeki bağımsız işaret kaynakların etkilediği dalgalardan oluşmaktadır. (2.10) eşitliğinin çözümü analize edilen devredeki tüm gelen dalga değişkenlerinin vektörüdür.

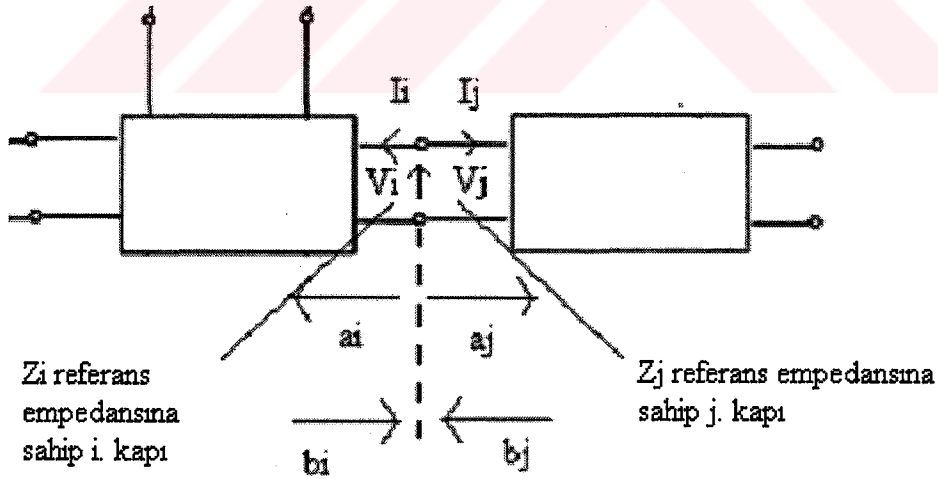
$$a = W^{-1}c \quad (2.12)$$

(2.12) eşitliği, (2.9) eşitliğinde yerine koyulursa;

$$b = \Gamma W^{-1}c \quad (2.13)$$

(2.10) eşitliğindeki bağlantı saçılma matrisi W aynı zamanda bu eşitlikte bir katsayı matrisidir. Bu matris, c matrisindeki kaynak tarafından uyarılmalar bilindiğinde, bütün devredeki gelen ve giden dalgaların hesabına imkan vermektedir. Bağlantı saçılma matrisi devrenin tüm tanımlamalarını temsil etmektedir; çünkü S matrisinde tüm devre elemanlarının saçılma parametre değerleri verilmiştir. Ayrıca Γ matrisinde devre topolojisiyle ilgili tüm bilgi bulunmaktadır.

Γ bağlantı matrisinin formasyonunun prensiplerini anlamak için aşağıda şekilde görülen en basit durumda 2 kapının bağlantısı incelenecektir.



Şekil 2.3 Bir mikrodalga devresinde 2 kapının bağlantısı

Yukarıdaki şekilde bağlanmış kapıların referans empedanslarının farklı olduğu varsayılmıştır.

i. ve j. kapıların bağlantısından aşağıdaki denklemler ortaya çıkar:

$$\begin{aligned} V_i &= V_j \\ -I_i &= I_j \end{aligned} \quad (2.14)$$

Akım ve gerilimlerin gelen ve giden dalga cinsinden ifadeleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} b_i \\ b_j \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_i + Z_j} \begin{bmatrix} Z_j - Z_i & 2\sqrt{Z_j Z_i} \\ 2\sqrt{Z_j Z_i} & Z_j - Z_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_i \\ a_j \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Eğer $Z_i = Z_j$ ise, gelen ve giden dalgalar şu eşitlikleri sağlarlar.

$$\begin{aligned} a_i &= b_j \\ a_j &= b_i \end{aligned} \quad (2.16)$$

Bu durumda Γ matrisi şu hali alır:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

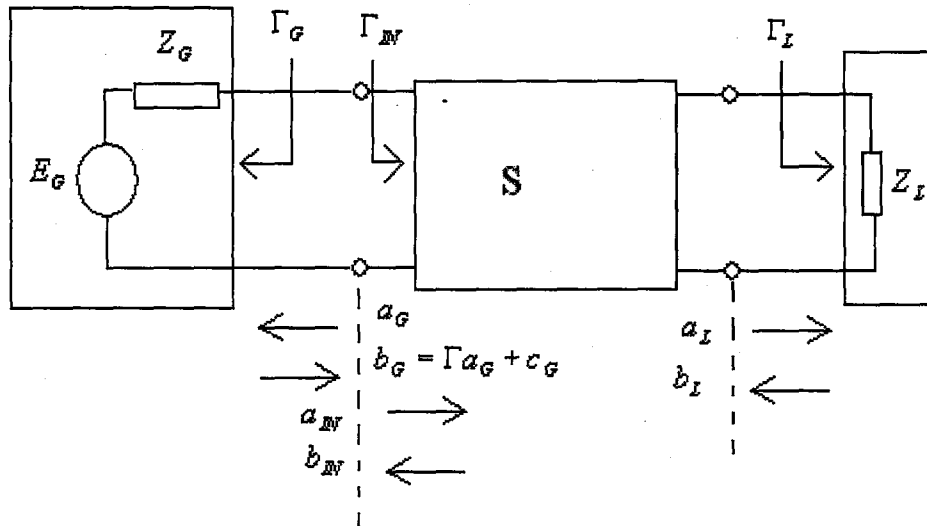
Tüm devredeki elemanların bağlantı matrisleri 1 ve 0'lardan oluşmaktadır. Genellikle, tüm devre kapılarındaki referans empedansları reel ve birbirine eşit alınır.

2.2 Devre Cevap Fonksiyonları'nın Hesabı

Bağlantı saçılma matrisi ile yapılan analiz sayesinde her kapıdaki gelen ve yansıyan dalgaları hesaplamak mümkündür. Bütün cevap fonksiyonları bu dalgalar cinsinden türetilmektedir. Aşağıda bazı temel cevap fonksiyonları incelenecektir.

2.2.1 Giriş Kapısı Yansıma Katsayısı

Z_G empedanslı bir işaret kaynağı ile sürülmüş ve Z_L yükü ile sonlandırılmış bir devre olsun. Bu devre aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.4 İşaret kaynağı ile sürülmüş ve Z_L yükü ile sonlandırılmış bir iki kapılı,yansıma katsayısı Γ_L .

Γ_{IN} giriş kapısı yansıma katsayısını ifade etmektedir. Γ_{IN} , Γ_L ve S' in bir fonksiyonudur.

Kaynak kapısı ve giriş kapısı için şu eşitlikler mevcuttur:

$$a_G = b_1 \quad \text{ve} \quad a_1 = b_G \quad (2.18)$$

Yük ve çıkış kapısı için ise;

$$a_L = b_2 \quad \text{ve} \quad a_2 = b_L \quad (2.19)$$

Bu 2 eşitlikten giriş kapısı yansıma katsayısı şu şekilde ifade edilir:

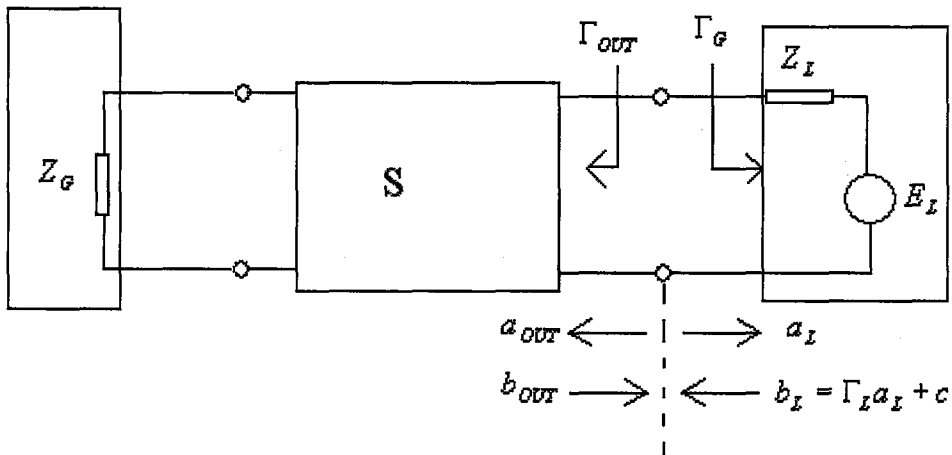
$$\Gamma_{IN} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{a_G}{a_1} \quad (2.20)$$

$$Z_{IN} = Z_N \frac{1 + \Gamma_{IN}}{1 - \Gamma_{IN}} = Z_N \frac{a_1 + a_G}{a_1 - a_G} \quad (2.21)$$

2.2.2 Çıkış Kapısı Yansıma Katsayısı

Devrenin çıkış kapısından görülen yansıma katsayısı Γ_{OUT} ve kompleks empedans Z_{OUT} , Γ_{IN} ve Z_{IN} değerlerinin hesaplandığı yolla hesaplanmaktadır; fakat devre çıkış kapısından uyarılmıştır. (Yani c yük kapısındadır). Çıkış kapısı yansıma katsayısı şu formülle hesaplanır:

$$\Gamma_{OUT} = \frac{b_2}{a_2} = \frac{a_L}{a_2} \quad (2.22)$$



Şekil 2.5 İşaret kaynağı ile çıkış kapısından sürülmüş ve Z_G yükü ile giriş kapısında sonlandırılmış bir iki kapılı,yansıma katsayısı Γ_G .

Γ_{OUT} giriş kapılı yansıma katsayısını ifade etmektedir. Γ_{OUT} , Γ_G ve S' in bir fonksiyonudur. Devrenin çıkış kapısından görülen çıkış empedansı;

$$Z_{OUT} = Z_N \frac{1 + \Gamma_{OUT}}{1 - \Gamma_{OUT}} = Z_N \frac{a_2 + a_L}{a_2 - a_L} \quad (2.23)$$

2.2.3 Transdüser Güç Kazancı

Transdüser güç kazancı şu şekilde hesaplanır:

$$G_T = \frac{P_L}{P_{GA}} \quad (2.24)$$

P_{GA} uyumlaştırılmış durumda işaret kaynağından elde edilen güçtür. Transdüser güç kazancı devre saçılma parametrelerinin, yük kapısındaki yansıma katsayısının(yük empedansı), işaret kaynağı yansıma katsayısının(işaret kaynağının iç empedansı) fonksiyonudur. G_T , gelen ve yansıyan dalgalar cinsinden ifade edilmek istenirse, ilk önce işaret kaynağındaki elde edilebilir gücün dalga değişkenleri cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. Elde edilebilir güç yüke iletilebilecek maksimum güç anlamına gelmektedir. Devre Teorisi'nden; Z_L 'nin kaynağın iç empedansının kompleks eşleniğine eşit olduğunda, $P_L = P_{GA}$ eşitliğinin sağlandığı bilinmektedir.

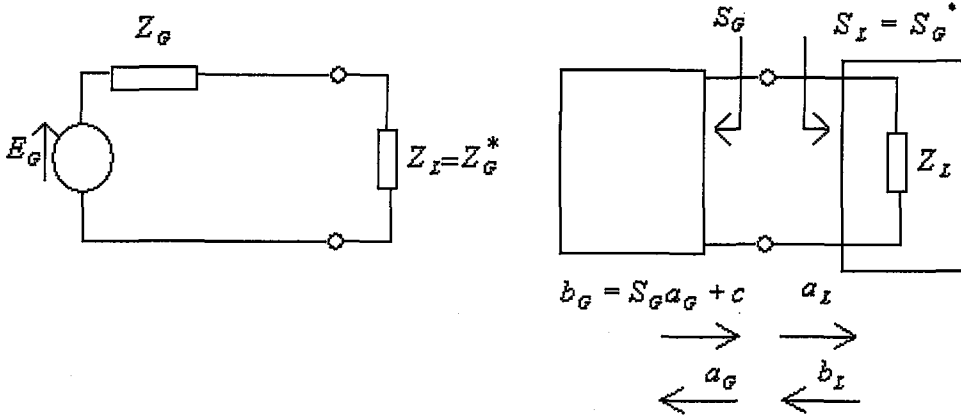
$$Z_L = Z_G^* \quad (2.25)$$

Yansıma katsayısı uzayında (2.22) aşağıdaki şekilde yazılır:

$$S_L = S_G^* \quad (2.26)$$

Şekilde görülen devre modelinde kaynağın elde edilebilir gücünü hesaplamak oldukça kolaydır.

$$P_{GA} = \frac{|c|^2}{1 - |S_G|^2} \quad (2.27)$$



Şekil 2.6 a) Yük empedansı gerilim kaynağının empedansına eşitlenmiş hali
b) S_L yansıma katsayılı yükün kaynak yansıma katsayısına eşitlenmiş hali

$$P_L = |a_L|^2 - |b_L|^2 = |a_L|(1 - |S_L|^2) \quad (2.28)$$

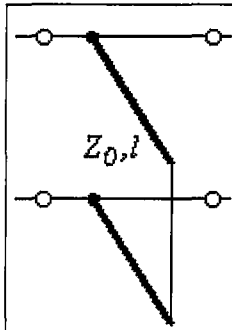
(2.24), (2.27) ve (2.28) eşitlikleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$G_T = |a_L|^2 (1 - |S_L|^2) (1 - |S_G|^2) \quad (2.29)$$

Bu hesaplamalardan sonra, duyarlılık hesabı için bazı elemanların saçılma parametreleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.1 Önemli Bazı Devre Elemanlarının Saçılma Matrisleri

Devre Elemanı	Saçılma Parametreleri
 Z	$\frac{1}{Z + 2Z_N} \begin{bmatrix} Z & 2Z_N \\ 2Z_N & Z \end{bmatrix}$
 Y	$\frac{1}{Y + 2Y_N} \begin{bmatrix} -Y & 2Y_N \\ 2Y_N & -Y \end{bmatrix}$
 Z_0, l	$\frac{1}{(Z_0)^2 + (Z_N)^2 - i2Z_0Z_N \cot(\beta l)} \begin{bmatrix} (Z_0)^2 - (Z_N)^2 & -i2Z_0Z_N \csc(\beta l) \\ -i2Z_0Z_N \csc(\beta l) & (Z_0)^2 - (Z_N)^2 \end{bmatrix}$



$$\frac{1}{2Y_N - iY_0 \cot(\beta l)} \begin{bmatrix} iY_0 \cot(\beta l) & 2Y_N \\ 2Y_N & iY_0 \cot(\beta l) \end{bmatrix}$$



3. EK DEVRE İLE DALGA DUYARLILIKLARI ANALİZİ: TELLEGEN YAKLAŞIMI VE KAZANÇ DUYARLILIKLARI

Devre fonksiyonlarının, devre parametrelerine göre duyarlılıkları ya da kısmi türevleri mikrodalga devre tasarımında oldukça önem kazanmıştır. Mikrodalga devrelerinin bilgisayar destekli tasarımında duyarlılık analizi pek çok yarar sağlamaktadır. İlk olarak, duyarlılık devre parametresindeki değişikliklerin devre performansını nasıl etkilediğini ortaya koymaktadır. Duyarlılıkların bilinmesi devre performansında büyük etkiye sahip olan devre parametreleri tanımlamada anahtar rolü oynamaktadır. İkinci olarak, optimizasyon metotlarıyla ilintili duyarlılık analizi, tasarım prosedürünün daha algoritmik olmasını ve böylece devrenin otomasyonunu sağlamaktadır. Son olarak, duyarlılık aynı performansa sahip olan bir çok devreden en iyi devrenin seçilmesinde kullanılabilir. Duyarlılık analizi, simülasyon hatalarının kestirimine de imkan vermektedir. Devre parametrelerini artan duyarlılık değerlerine göre sıralayarak, aşırı değerler için devre parametrelerinin tanımlanmasına öncülük edilmiş olunur. Böylece, duyarlılıkları önemsiz olan elemanlar elimine edilip, model basitleştirilir. Genel olarak, devre parametrelerine göre en düşük duyarlılığa sahip olan devre en iyi devredir.

Varolan bilgisayar destekli analizle oldukça yavaştı. Özellikle yüksek frekanslarda yapılan analizler, bilgisayar teknolojisinin gelişimine rağmen hala uzun ve yavaştı. Tasarım duyarlılığını ölçmek için, ek devre değişkenleri ile yapılan analiz hesapsal hız ve doğruluk sağlamaktadır. Ek devre tekniği mikrodalga literatüründe oldukça bilinen bir konu olmakla birlikte, tam dalga analiz teknikleriyle duyarlılık hesaplanması az çalışılmış bir konudur. Ek devre sistem analizinde orijinal devrenin çözümü bir kere yapıldıktan sonra tekrar yoktur ve az işlemle gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca ek devre tekniği parametre sayısından bağımsızdır. Yani, devre topolojisi ve elemanlar ne olursa olsun ek devre yöntemiyle duyarlılık analizi mümkün olmaktadır (Nikolova vd., 2004). Nikolova vd. makalesinde Tellegen Yaklaşımı ile duyarlılık analizi, temelleri ve bu konuda ayrıntılı literatür taramasıyla verilmektedir. Bu çalışmada Tellegen yaklaşımı kullanarak dalga duyarlılıkları ve mikrodalga kuvvetlendirici devrelerinin tüm performans duyarlılık analizi yapılmıştır.

3.1 Tellegen Teoremi

Tellegen Teoremi, elektrik mühendislerince çok iyi bilinen bir teoremdir. $v^T i = 0$ şeklinde verilir. Burada v ve i , bir devrenin zaman uzayında sırasıyla, dal gerilim ve akımlarıdır. Tellegen Teoremi, Kirchoff Devre Yasaları'ndan elde edilmektedir ve zaman uzayı güç

ifadesidir. Devre gerilim ve akım fazörleri V ve I da Kirchoff Kanunları'nı sağladıkları için, Tellegen Teoremi onlara da uygulanır. Tellegen Teoremi identik topolojiye sahip iki N ve $\hat{N}$ devreleri akım ve gerilim fazörleri için genelleştirilebilir. (Nikolova vd., 2004) Bu devreler için aşağıdaki eşitliklerin geçerli olduğu gösterilebilir:

$$\hat{I}^T V = 0 \quad (3.1)$$

$$\hat{V}^T I = 0 \quad (3.2)$$

Burada,

V : N devresindeki dal gerilimlerinin bir vektörü

I : N devresindeki dal akımlarının bir vektörü

$\hat{V}$: $\hat{N}$ devresindeki dal gerilimlerinin bir vektörü

$\hat{I}$: $\hat{N}$ devresindeki dal akımlarının bir vektörü

olarak tanımlanmaktadır.

Dal gerilimlerinin vektörü şu şekilde ifade edilir:

$$V = B^T V_N \quad (3.3)$$

V_N düğüm gerilimlerinin bir vektörüdür. B devrelerin graf matrisidir. (3.1) ve (3.3) den;

$$\hat{I}^T V = \hat{I}^T B^T V_N = (B\hat{I})^T V_N = 0 \quad (3.4)$$

N devresi orijinal devredir. Benzer yapıdaki $\hat{N}$ devresi ise ek devresidir.

(2.1), (2.2)den çıkarılırsa;

$$\hat{I}^T V - \hat{V}^T I = 0 \quad (3.5)$$

Orijinal devre N ' deki devre parametrelerinin birinde küçük bir değişim olduğu varsayalım. Bu; N devresindeki dal gerilimleri ve akımlarının vektörlerinde de bir değişime neden olacaktır. Diğer bir anlatım ile son durumda gerilim ve akım vektörleri sırası ile $V + \Delta V$, $I + \Delta I$ biçiminde ifade edilebilirler. Orijinal devre N ile ek devre (adjoint) devre $\hat{N}$ aynı topolojiye sahip oldukları için, yeni durumda Tellegen Teoremi sağlanabilecektir. (3.5) denklemi şu hali alır:

$$\hat{I}^T (V + \Delta V) - \hat{V}^T (I + \Delta I) = 0 \quad (3.6)$$

$$\hat{I}^T \Delta V - \hat{V}^T \Delta I = 0 \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliği çoğunlukla elektronik ve mikrodalga devrelerinin bilgisayar destekli analizinde kullanılmaktadır. Bu eşitlik, devre parametre değişimlerinden kaynaklanan N devresindeki dalgerilim ve akımlarındaki değişimleri ilişkilendirmektedir. (Dobrowolski,1991).

S saçılma matrisi ile tanımlanan mikrodalga devrelerinde (2.3)'deki dalga-gerilim ve akım dönüşümlerini, (3.5) eşitliğinde yerine konulursa, Tellegen Teoremi şu hali almaktadır:

$$\beta^T a - \alpha^T b = 0 \quad (3.8)$$

Burada,

a: N devresinin kapılarındaki gelen dalga değişkenlerinin vektörü

b: N devresinin kapılarındaki giden dalga değişkenlerinin vektörü

α : $\hat{N}$ devresinin kapılarındaki gelen dalga değişkenlerinin vektörü

β : $\hat{N}$ devresinin kapılarındaki giden dalga değişkenlerinin vektörü

(3.8) eşitliği, bir devredeki referans empedansların ikinci devrede karşılık düşen referans empedanslarına eşit olduğu aynı yapıya sahip 2 çok-kapılı devrelere uygulanabilmektedir. N

$\hat{N}$ devrelerindeki bağlantı matrisleri sırasıyla Γ ve $\hat{\Gamma}$ verildiğine göre, kapılar arası gelen-yansıyan dalga ilişkileri şu eşitliklerle tanımlanır:

$$b = \Gamma a, \beta = \hat{\Gamma} \alpha \quad (3.9)$$

Γ = N devresinin bağlantı matrisi

$\hat{\Gamma}$ = $\hat{N}$ devresinin bağlantı matrisi

Bu durumda, (3.9) eşitliği, (3.8)' de yerine konursa;

$$\beta^T a - \alpha^T b = (\hat{\Gamma} \alpha)^T a - \alpha^T (\Gamma a) = \alpha^T (\hat{\Gamma}^T - \Gamma) a \quad (3.10)$$

(3.10) eşitliğinin sıfıra eşit olabilmesi ancak şu eşitliğin gerçekleşmesiyle mümkündür:

$$\hat{\Gamma}^T = \Gamma \quad (3.11)$$

(3.11)' den, (3.8) eşitliği aşağıdaki şu koşulların eş-zamanlı sağlanmasıyla gerçekleşir:

1. İki devrenin topolojileri aynıdır.

2. Ek devrenin bağlantı matrisi orijinal devrenin bağlantı matrisinin transpozuna eşittir.

Devre parametrelerin herhangi birinde küçük bir değişme meydana geldiğinde, orijinal networkün gelen ve giden dalgalarında $a + \Delta a$ ve $b + \Delta b$ gibi değişimler olacaktır. Bozulmaya uğramış orijinal devre ile, ek devrenin topolojileri aynı olduğu için Tellegen Teoremi yine sağlanmalıdır:

$$\beta^T (a + \Delta a) - \alpha^T (b + \Delta b) = 0 \quad (3.12)$$

(3.12) eşitliğinden, (3.8) eşitliği çıkarılırsa;

$$\beta^T \Delta a - \alpha^T \Delta b = 0 \quad (3.13)$$

(3.13), orijinal devrenin parametreleri değişimi nedeni ile oluşan dalga değişimlerinin ilişkisidir ve (3.7)' ye karşılık düşmektedir.

3.2 Keyfi Konfigürasyonda Bir Mikrodalga Devresinin Dalga Duyarlılıkları

W bağlantı saçılma matris ile tanımlanmış mikrodalga devre parametrelerine göre dalga duyarlılıkları 2. bölümde elde edilmiş aşağıdaki devre denkleminde elde edilebilir:

$$Wa = c \quad (3.14)$$

Buna göre bir p devre parametresine göre dalga duyarlılık vektörü, saçılma matrisi duyarlılığı cinsinden

$$\frac{\partial a}{\partial p} = -W^{-1} \frac{\partial W}{\partial p} W^{-1} c = W^{-1} \frac{\partial S}{\partial p} a \quad (3.15)$$

olarak elde edilir.

Bu denklemde p , herhangi bir devre parametresi olabilmektedir. Bu çalışmada p , Z ve l olarak alınacaktır. Devrenin r . kapısındaki gelen dalga değişkeninin (a_r) duyarlılığı, (3.15)' nin sol tarafı e_r^T ile çarpılarak hesaplanabilir. Burada e_r , r . elemanı 1 ve diğer elemanları sıfır olan uyarma vektörüdür :

$$e_r^T = [0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0] \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial a_r}{\partial p} = e_r^T \frac{\partial a}{\partial p} = e_r^T W^{-1} \frac{\partial S}{\partial p} a = [(W^T)^{-1} e_r]^T \frac{\partial S}{\partial p} a = \alpha^T \frac{\partial S}{\partial p} a \quad (3.17)$$

$$\alpha = (W^T)^{-1} e_r = \hat{W}^{-1} e_r \quad (3.18)$$

$$W^T \alpha = e_r \quad (3.19)$$

(3.19) denklemini transpoz ya da orijinal devreye ek devrenin matrisinin çözüm vektörüdür. (3.18) ve (3.19) dan, bu ek devrenin bağlantı saçılma matrisi, orijinal devrenin bağlantı saçılma matrisinin transpozeseine eşit olmalıdır :

$$\hat{W} = W^T = (\Gamma - S)^T = \Gamma - S^T \quad (3.20)$$

Yukarıdaki denklem şunu ifade etmektedir: Orijinal ve ekdevre devre topolojileri aynıdır, fakat ek devre elemanlarının saçılma matrisleri ($s^{(1)}, s^{(2)}, \dots, s^{(m)}$) orijinal devrede karşılık düşen saçılma matrislerin transpozudur.

G dalga duyarlılık vektörü olarak tanımlanırsa, n kapının bağlanması ile oluşturulmuş bir devre için aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$G = [G_1 \ G_2 \ G_3 \ \dots \ G_r \ \dots \ G_n] \quad (3.21)$$

Buradaki G_r , r.kapıya gelen dalgaının devre tasarım parametrelerine göre duyarlılık gradyanı ,(3.17) denklemini kullanarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$G = \nabla_{a_r} = \begin{bmatrix} \frac{\partial a_r}{\partial p_1} \\ \frac{\partial a_r}{\partial p_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial a_r}{\partial p_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha^T \frac{\partial S}{\partial p_1} a \\ \alpha^T \frac{\partial S}{\partial p_2} a \\ \vdots \\ \alpha^T \frac{\partial S}{\partial p_n} a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k \in E_1} \alpha^{(k)T} \frac{\partial S^{(k)}}{\partial p_1} a^{(k)} \\ \sum_{k \in E_2} \alpha^{(k)T} \frac{\partial S^{(k)}}{\partial p_2} a^{(k)} \\ \vdots \\ \sum_{k \in E_n} \alpha^{(k)T} \frac{\partial S^{(k)}}{\partial p_n} a^{(k)} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$E_1, E_2, \dots, E_n$; $p_1, p_2, \dots, p_n$ parametrelerine bağlı devre elemanlarının kümesini temsil etmektedir.

Her p_i parametresi için $\frac{\partial S}{\partial p_i}$ matrisi yeniden yapılanmaktadır ve (3.21) eşitliğinin sağ tarafı

tekrar hesaplanmaktadır. a ve α vektörü i indeksinden bağımsızdır. (3.21) eşitliğinin çözülmesi için sadece 2 lineer eşitliğin çözülmesi gerekmektedir(Dobrowolski,1996).

3.2.1 Saçılma Matrisi Duyarlılık İnvaryantları ve Diferansiyel Saçılma Matrisi Hesabında Kullanılması

S saçılma parametrelerinin duyarlılık invaryantları direnç, kapasitör, jirator, transmisyon hattı, RC hattı, akım kontrollü gerilim kaynağı, gerilim kontrollü akım kaynağı gibi elemanlar için tanımlanmaktadır. Literatürde, önce Z matrisi invaryantları Tellegen Teoremi ile elde edilmiştir. Buna göre S matrisi Z matrisi cinsinden ifade edilip, duyarlılık invaryantları, Z matrisi duyarlılık invaryantlarının fonksiyonu olarak elde edilebilir (Dobrowolski, 1991). Buna göre, empedans-bazlı p parametreleri, {z} vektörü ile aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\{z\} = \{R, L, D, Z_0, R_{RC}, D_{RC}, r_m\} \quad (3.23)$$

(3.17) eşitliğindeki $\frac{\partial S}{\partial p}$ değeri, Z matrisi duyarlılıkları cinsinden yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{\partial S}{\partial p} = \frac{1}{2p} (I - S.S) \quad (3.24)$$

halini alır. Eğer p parametreleri admitans-bazlı tanımlanırsa, (3.24) eşitliğinin sağ tarafı eksi işareti aldığı gösterilebilir (Dobrowolski, 1991). (3.24), $b = Sa$ ve $\beta = S\alpha$ denklemleri birlikte (3.17)' de kullanılırsa, dalga duyarlılık matrisi G aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$G = \alpha^T \frac{\partial S}{\partial p} a = \frac{1}{2p} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.25)$$

Netice olarak, çoklu tasarım parametrelerine göre duyarlılık analizi, orijinal devre analize ilaveten birkaç matris çarpımı ile bir matris transpozisine indirgenmiştir.

3.3 Kazanç Duyarlılığı

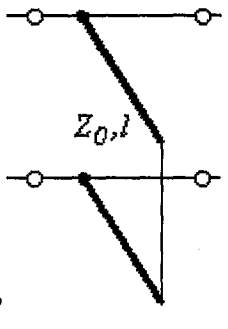
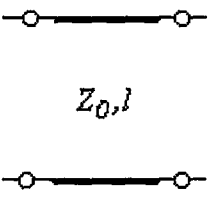
2. bölümde anlatılan kazanç ifadesinde verilen, yüke gelen dalga duyarlılığı (3.25) ile bulunursa, kazanç duyarlılığı aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\nabla G_T = \frac{1}{|c_g|^2} (1 - |\Gamma_L|^2) (1 - |\Gamma_G|^2) 2 \operatorname{Re}\{a_L^* G\} \quad (3.26)$$

Bu eşitliğin sağ tarafı S matrislerinin türevlerini içermemektedir, dolayısıyla hesaplanması kolaylaşmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak devre elemanlarının duyarlılıklarını içeren çizelge (3.25) kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

Çizelge 3.1 Önemli Bazı Devre Elemanlarının Saçılma Parametrelerinin

Z_0 ve l 'ye göre duyarlılık formülleri

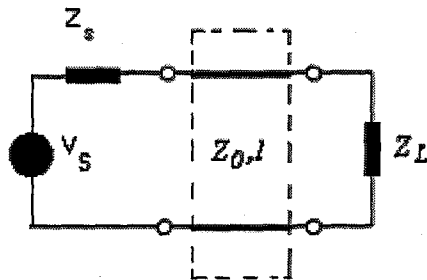
Devre Elemanı	Duyarlılık	p
 $\gamma = i\beta$ Kayıpsız paralel hat	$\frac{1}{2Z_0}(\alpha^T a - \beta^T b)$	Z_0
	$\frac{iZ_0\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)}(\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b)$	1
 $\gamma = i\beta$ Kayıpsız seri transmisyon hattı	$\frac{1}{2Z_0}(\alpha^T a - \beta^T b)$	Z_0
	$\frac{iZ_0\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)}(\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b)$	1

Görüldüğü gibi devre elemanları resiprok olduğu için matrislerin köşegene göre transpozu kendilerine eşittir. Bu çalışmada, duyarlılıklar aynı zamanda frekans değişimiyle birlikte incelenecektir. Dolayısıyla duyarlılıkların frekansla değişimini göstermekte yarar vardır.

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}, \lambda = \frac{c}{f} \quad (3.27)$$

Burada c , ışık hızını; f ise çalışma frekansını temsil etmektedir.

3.4 Bir Seri – Hat İki-Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 3.1 Seri – Hat devresi

$$S = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{11} & S_{12} & 0 \\ 0 & S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_2 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

$$S = \frac{1}{(Z_0)^2 + (Z_N)^2 - i2Z_0Z_N \cot(\beta l)} \begin{bmatrix} (Z_0)^2 - (Z_N)^2 & -i2Z_0Z_N \csc(\beta l) \\ -i2Z_0Z_N \csc(\beta l) & (Z_0)^2 - (Z_N)^2 \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

$$S_1 = \frac{Z_G - Z_N}{Z_G + Z_N} \quad (3.30)$$

$$S_4 = \frac{Z_L - Z_N}{Z_L + Z_N} \quad (3.31)$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

$$W = \Gamma - S \quad (3.33)$$

W matrisi oluşturulursa,

$$W = \begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 \\ 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -S_2 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

$$a = W^{-1}c \quad (3.35)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 \\ 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

$Z_G = Z_N = Z_L = 50\Omega$ olduğu için, $S_1 = S_2 = 0$ 'dır.

(3.35) eşitliğinden a değerleri hesaplanmaktadır. α değerlerin hesabı için W matrisinin transpozu alınmalıdır. Devre elemanı resiprok olduğu için W matrisinin transpozu kendisine

eşittir. c matrisi için, ek devre yönteminde kaynak yükün olduğu kapaıya bağlandığı için c şu şekli almaktadır:

$$c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

$$\alpha = (W^T)^{-1} c \quad (3.38)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 \\ 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

$$b = \Gamma a \quad \beta = \Gamma \alpha \quad (3.40)$$

$$G = \frac{\partial a_4}{\partial Z} = \frac{1}{2Z_0} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.41)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \right) \quad (3.42)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \right) \quad (3.43)$$

$$G = \frac{\partial a_4}{\partial l_{01}} \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.44)$$

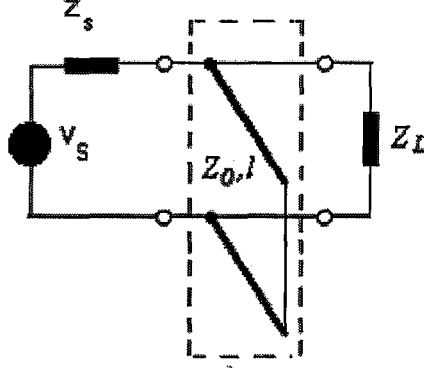
$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \beta_2 \\ \alpha_3 - \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - b_2 \\ a_3 - b_3 \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_3 - \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - a_1 \\ a_3 - a_4 \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial a_4}{\partial Z_{01}} & \frac{\partial a_4}{\partial l_{01}} \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

$$\nabla G_T = (1 - \frac{|a_3|^2}{|a_4|^2})(1 - \frac{|a_2 - 1|^2}{|a_1|^2})2 \operatorname{Re}\{a_4^* G\} \quad (3.48)$$

3.5 Bir Paralel – Hat İki-Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 3.2 Paralel – Hat devresi

$$S = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{11} & S_{12} & 0 \\ 0 & S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_2 \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

$$S = \frac{1}{2Y_N - iY_0 \cot(\beta l)} \begin{bmatrix} iY_0 \cot(\beta l) & 2Y_N \\ 2Y_N & iY_0 \cot(\beta l) \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

$$S_1 = \frac{Z_G - Z_N}{Z_G + Z_N} \quad (3.51)$$

$$S_4 = \frac{Z_L - Z_N}{Z_L + Z_N} \quad (3.52)$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

$$W = \Gamma - S \quad (3.54)$$

W matrisi oluşturulursa,

$$W = \begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 \\ 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -S_2 \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

$$a = W^{-1}c \quad (3.56)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 \\ 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

$Z_G = Z_N = Z_L = 50\Omega$ olduğu için, $S_1 = S_2 = 0$ ’dır.

(3.56) eşitliğinden a değerleri hesaplanmaktadır. α değerlerin hesabı için W matrisinin transpozu alınmalıdır. Devre elemanı resiprok olduğu için W matrisinin transpozu kendisine eşittir. c matrisi için, ek devre yönteminde kaynak yükün olduğu kapaıya bağlandığı için c şu şekli almaktadır:

$$c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

$$\alpha = (W^T)^{-1}c \quad (3.59)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 \\ 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

$$b = \Gamma a \quad \beta = \Gamma \alpha \quad (3.61)$$

$$G = \frac{\partial a_4}{\partial Z_{01}} = \frac{1}{2Z_0} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.62)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \right) \quad (3.63)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \right) \quad (3.64)$$

$$G = \frac{\partial a_4}{\partial l} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.65)$$

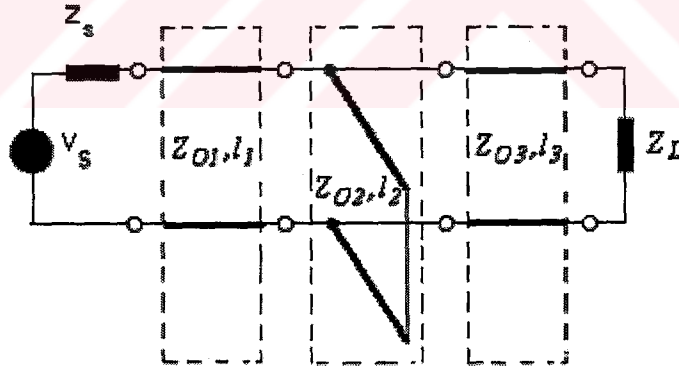
$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \beta_2 \\ \alpha_3 - \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{01}) \\ \cos(\beta l_{01}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - b_2 \\ a_3 - b_3 \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_3 - \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{01}) \\ \cos(\beta l_{01}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - a_1 \\ a_3 - a_4 \end{bmatrix} \quad (3.67)$$

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial a_4}{\partial Z_0} & \frac{\partial a_4}{\partial l} \end{bmatrix} \quad (3.68)$$

$$\nabla G_T = \left(1 - \frac{|a_3|^2}{|a_4|^2}\right) \left(1 - \frac{|a_2 - a_1|^2}{|a_1|^2}\right) 2 \operatorname{Re}\{a_4^* G\} \quad (3.69)$$

3.6 Bir T - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 3.3 T- Tipi devre

Toplamda 3 kattan oluşan T-tipi devrenin duyarlılıkları hesaplanırken, seri veya paralel kapısındaki hesaplamalar yapılır. Burada fark, kapı sayısından kaynaklanmaktadır. W bağlantı saçılma matrisinin satır ve sütun sayıları artmaktadır:

$$W = \begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_4 \end{bmatrix} \quad (3.70)$$

$$Wa = c \quad (3.71)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.72)$$

$$W^T \alpha = c \quad (3.73)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.74)$$

(3.58) ve (3.60) denklemlerinden elde edilen a ' lar ve α ' lar duyarlılık hesabında kullanılmaktadır.

3.6.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

Z_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial Z_{01}} = \frac{1}{2Z_0} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.75)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \right) \quad (3.76)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \right) \quad (3.77)$$

l_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial l_{01}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.78)$$

$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \beta_2 \\ \alpha_3 - \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - b_2 \\ a_3 - b_3 \end{bmatrix} \quad (3.79)$$

$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_3 - \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - a_1 \\ a_3 - a_4 \end{bmatrix} \quad (3.80)$$

3.6.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial Z_{02}} = \frac{1}{2Z_{02}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.81)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \right) \quad (3.82)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_3 \\ a_6 \end{bmatrix} \right) \quad (3.83)$$

l_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial l_{02}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.84)$$

$$G = \frac{iZ_{02}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \beta_4 \\ \alpha_5 - \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{02}) \\ \cos(\beta l_{02}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - b_4 \\ a_5 - b_5 \end{bmatrix} \quad (3.85)$$

$$G = \frac{iZ_{02}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \alpha_3 \\ \alpha_5 - \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{02}) \\ \cos(\beta l_{02}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - a_3 \\ a_5 - a_6 \end{bmatrix} \quad (3.86)$$

3.6.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

Z_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial Z_{03}} = \frac{1}{2Z_{03}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.87)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_6 \\ \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_6 \\ b_7 \end{bmatrix} \right) \quad (3.88)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_5 \\ \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_5 \\ a_8 \end{bmatrix} \right) \quad (3.89)$$

l_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial l_{01}} = \frac{iZ_0\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.90)$$

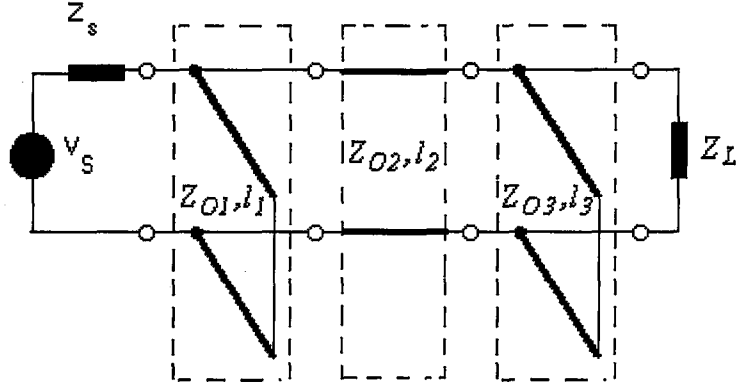
$$G = \frac{iZ_{03}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \beta_6 \\ \alpha_7 - \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - b_6 \\ a_7 - b_7 \end{bmatrix} \quad (3.91)$$

$$G = \frac{iZ_{03}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \alpha_5 \\ \alpha_7 - \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - a_5 \\ a_7 - a_8 \end{bmatrix} \quad (3.92)$$

$$G = \left[\frac{\partial a_8}{\partial Z_{01}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial Z_{02}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial Z_{03}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial l_{01}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial l_{02}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial l_{03}} \right] \quad (3.93)$$

$$\nabla G_T = (1 - \frac{|a_7|^2}{|a_8|^2}) (1 - \frac{|a_2 - 1|^2}{|a_1|^2}) 2 \operatorname{Re}\{a_8^* G\} \quad (3.94)$$

3.7 Bir II - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 3.4 II - Tipi devre

Toplamda 3 kattan oluşan II-tipi devrenin duyarlılıkları hesaplanırken, seri veya paralel kapısındaki hesaplamalar yapılır. Burada fark, kapı sayısından kaynaklanmaktadır. W bağlantı saçılma matrisinin satır ve sütun sayıları artmaktadır:

$$W = \begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_4 \end{bmatrix} \quad (3.95)$$

$$Wa = c \quad (3.96)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.97)$$

$$W^T \alpha = c \quad (3.98)$$

$$\begin{bmatrix} -S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.99)$$

(3.97) ve (3.99) denklemlerinden elde edilen a ' lar ve α ' lar duyarlılık hesabında kullanılmaktadır.

3.7.1 Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial Z_{01}} = \frac{1}{2Z_{01}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.100)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \right) \quad (3.101)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \right) \quad (3.102)$$

l_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial l_{01}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.103)$$

$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \beta_2 \\ \alpha_3 - \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{01}) \\ \cos(\beta l_{01}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - b_2 \\ a_3 - b_3 \end{bmatrix} \quad (3.104)$$

$$G = \frac{iZ_{01} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_3 - \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{01}) \\ \cos(\beta l_{01}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - a_1 \\ a_3 - a_4 \end{bmatrix} \quad (3.105)$$

3.7.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri– Hat için Duyarlılıkları

Z_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial Z_{02}} = \frac{1}{2Z_{02}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.106)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \right) \quad (3.107)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_3 \\ a_6 \end{bmatrix} \right) \quad (3.108)$$

l_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial l_{02}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.109)$$

$$G = \frac{iZ_{02} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \beta_4 \\ \alpha_5 - \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - b_4 \\ a_5 - b_5 \end{bmatrix} \quad (3.110)$$

$$G = \frac{iZ_{02} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \alpha_3 \\ \alpha_5 - \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - a_3 \\ a_5 - a_6 \end{bmatrix} \quad (3.111)$$

3.7.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial Z_{03}} = \frac{1}{2Z_{03}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.112)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_6 \\ \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_6 \\ b_7 \end{bmatrix} \right) \quad (3.113)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_5 \\ \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_5 \\ a_8 \end{bmatrix} \right) \quad (3.114)$$

l_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_8}{\partial l_{03}} = \frac{iZ_0\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.115)$$

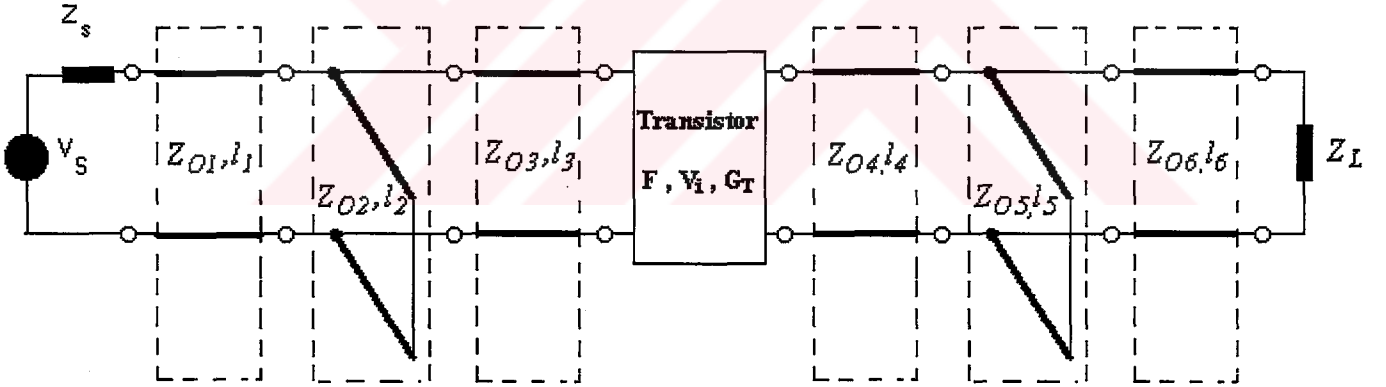
$$G = \frac{iZ_{03}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \beta_6 \\ \alpha_7 - \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{03}) \\ \cos(\beta l_{03}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - b_6 \\ a_7 - b_7 \end{bmatrix} \quad (3.116)$$

$$G = \frac{iZ_{03}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \alpha_5 \\ \alpha_7 - \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{03}) \\ \cos(\beta l_{03}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - a_5 \\ a_7 - a_8 \end{bmatrix} \quad (3.117)$$

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial a_8}{\partial Z_{01}} & \frac{\partial a_8}{\partial Z_{02}} & \frac{\partial a_8}{\partial Z_{03}} & \frac{\partial a_8}{\partial l_{01}} & \frac{\partial a_8}{\partial l_{02}} & \frac{\partial a_8}{\partial l_{03}} \end{bmatrix} \quad (3.118)$$

$$\nabla G_T = (1 - \frac{|a_7|^2}{|a_8|^2})(1 - \frac{|a_2 - 1|^2}{|a_1|^2}) 2 \operatorname{Re}\{a_8^* G\} \quad (3.119)$$

3.8 IMC(T - Tipi)-Transistor-OMC(T - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 3.5 IMC(T - Tipi) – Transistor – OMC(T – Tipi) devresi

Toplamda 6 kattan oluşan IMC(T - Tipi) – Transistor – OMC(T – Tipi) devresinin duyarlılıkları hesaplanırken, önceki devrelerde olduğu gibi, seri veya paralel kapısındaki duyarlılık hesaplamaları yapılır. Burada fark, kapı sayısından kaynaklanmaktadır. W bağlantı saçılma matrisinin satır ve sütun sayıları artmaktadır:

[illegible]

$$W a = c$$

(3.121)

$-S_1$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_1	1
1	$-S_{111}$	$-S_{112}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_2	0
0	$-S_{121}$	$-S_{122}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_3	0
0	0	1	$-S_{211}$	$-S_{212}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_4	0
0	0	0	$-S_{221}$	$-S_{222}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_5	0
0	0	0	0	1	$-S_{311}$	$-S_{312}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_6	0
0	0	0	0	0	$-S_{321}$	$-S_{322}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	a_7	0
0	0	0	0	0	0	1	$-S_{11}$	$-S_{12}$	0	0	0	0	0	0	0	a_8	0
0	0	0	0	0	0	0	$-S_{21}$	$-S_{22}$	1	0	0	0	0	0	0	a_9	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{411}$	$-S_{412}$	0	0	0	0	0	a_{10}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{421}$	$-S_{422}$	1	0	0	0	0	a_{11}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{511}$	$-S_{512}$	0	0	0	a_{12}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{521}$	$-S_{522}$	1	0	0	a_{13}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{611}$	$-S_{612}$	0	a_{14}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{621}$	$-S_{622}$	1	a_{15}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_7$	a_{16}	0

(3.122)

$$W^T \alpha = c \quad (3.123)$$

$$\begin{array}{cccccccccccccccccccc}
 S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_1 & 0 \\
 l & -S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_2 & 0 \\
 b & -S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_3 & 0 \\
 b & 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_4 & 0 \\
 b & 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_5 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_6 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_7 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_8 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_9 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{411} & -S_{412} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{10} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{421} & -S_{422} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{11} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{511} & -S_{512} & 0 & 0 & 0 & \alpha_{12} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{521} & -S_{522} & 1 & 0 & 0 & \alpha_{13} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{611} & -S_{612} & 0 & \alpha_{14} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{621} & -S_{622} & 1 & \alpha_{15} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_7 & \alpha_{16} & 1
 \end{array} \quad (3.124)$$

(3.108) ve (3.110) denklemlerinden elde edilen a' lar ve α' lar duyarlılık hesabında kullanılmaktadır. (3.106), (3.108) ve (3.110) denklemlerindeki S_{11} , S_{12} , S_{21} ve S_{22} değerleri NE329S01 transistörün S parametreleridir.

3.8.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

Z_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{01}} = \frac{1}{2Z_0} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.125)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \right) \quad (3.126)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \right) \quad (3.127)$$

l_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{01}} = \frac{iZ_0\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.128)$$

$$G = \frac{iZ_{01}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \beta_2 \\ \alpha_3 - \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - b_2 \\ a_3 - b_3 \end{bmatrix} \quad (3.129)$$

$$G = \frac{iZ_{01}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_3 - \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - a_1 \\ a_3 - a_4 \end{bmatrix} \quad (3.130)$$

3.8.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{02}} = \frac{1}{2Z_{02}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.131)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \right) \quad (3.132)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_3 \\ a_6 \end{bmatrix} \right) \quad (3.133)$$

l_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{02}} = \frac{iZ_0\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{02})} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.134)$$

$$G = \frac{iZ_{02}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \beta_4 \\ \alpha_5 - \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{02}) \\ \cos(\beta l_{02}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - b_4 \\ a_5 - b_5 \end{bmatrix} \quad (3.135)$$

$$G = \frac{iZ_{02}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \alpha_3 \\ \alpha_5 - \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{02}) \\ \cos(\beta l_{02}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - a_3 \\ a_5 - a_6 \end{bmatrix} \quad (3.136)$$

3.8.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

Z_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{03}} = \frac{1}{2Z_{03}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.137)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_6 \\ \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_6 \\ b_7 \end{bmatrix} \right) \quad (3.138)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_5 \\ \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_5 \\ a_8 \end{bmatrix} \right) \quad (3.139)$$

l_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{03}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.140)$$

$$G = \frac{iZ_{03} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \beta_6 \\ \alpha_7 - \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - b_6 \\ a_7 - b_7 \end{bmatrix} \quad (3.141)$$

$$G = \frac{iZ_{03} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \alpha_5 \\ \alpha_7 - \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - a_5 \\ a_7 - a_8 \end{bmatrix} \quad (3.142)$$

3.8.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

Z_{04} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{04}} = \frac{1}{2Z_0} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.143)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{04}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{11} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_{10} \\ \beta_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{11} \end{bmatrix} \right) \quad (3.144)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{04}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{11} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_9 \\ \alpha_{12} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_9 \\ a_{12} \end{bmatrix} \right) \quad (3.145)$$

l_{04} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{04}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.146)$$

$$G = \frac{iZ_{04} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{04})} \begin{bmatrix} \alpha_{10} - \beta_{10} \\ \alpha_{11} - \beta_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{10} - b_{10} \\ a_{11} - b_{11} \end{bmatrix} \quad (3.147)$$

$$G = \frac{iZ_{04}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{04})} \begin{bmatrix} \alpha_{10} - \alpha_9 \\ \alpha_{11} - \alpha_{12} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{10} - a_9 \\ a_{11} - a_{12} \end{bmatrix} \quad (3.148)$$

3.8.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{05} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{05}} = \frac{1}{2Z_{05}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.149)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{05}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{12} \\ a_{13} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_{12} \\ \beta_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_{12} \\ b_{13} \end{bmatrix} \right) \quad (3.150)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{05}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{12} \\ a_{13} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{14} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{14} \end{bmatrix} \right) \quad (3.151)$$

l_{05} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{05}} = \frac{iZ_0\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{05})} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.152)$$

$$G = \frac{iZ_{05}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{05})} \begin{bmatrix} \alpha_{12} - \beta_{12} \\ \alpha_{13} - \beta_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{05}) \\ \cos(\beta l_{05}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{12} - b_{12} \\ a_{13} - b_{13} \end{bmatrix} \quad (3.153)$$

$$G = \frac{iZ_{05}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{05})} \begin{bmatrix} \alpha_{12} - \alpha_{11} \\ \alpha_{13} - \alpha_{14} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{05}) \\ \cos(\beta l_{05}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{12} - a_{11} \\ a_{13} - a_{14} \end{bmatrix} \quad (3.154)$$

3.8.6 Kazancın Altıncı Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

Z_{06} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{06}} = \frac{1}{2Z_{06}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.155)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{06}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{14} \\ \alpha_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{14} \\ a_{15} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_{14} \\ \beta_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_{14} \\ b_{15} \end{bmatrix} \right) \quad (3.156)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{06}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{14} \\ \alpha_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{14} \\ a_{15} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_{13} \\ \alpha_{16} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{13} \\ a_{16} \end{bmatrix} \right) \quad (3.157)$$

l_{06} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{06}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.158)$$

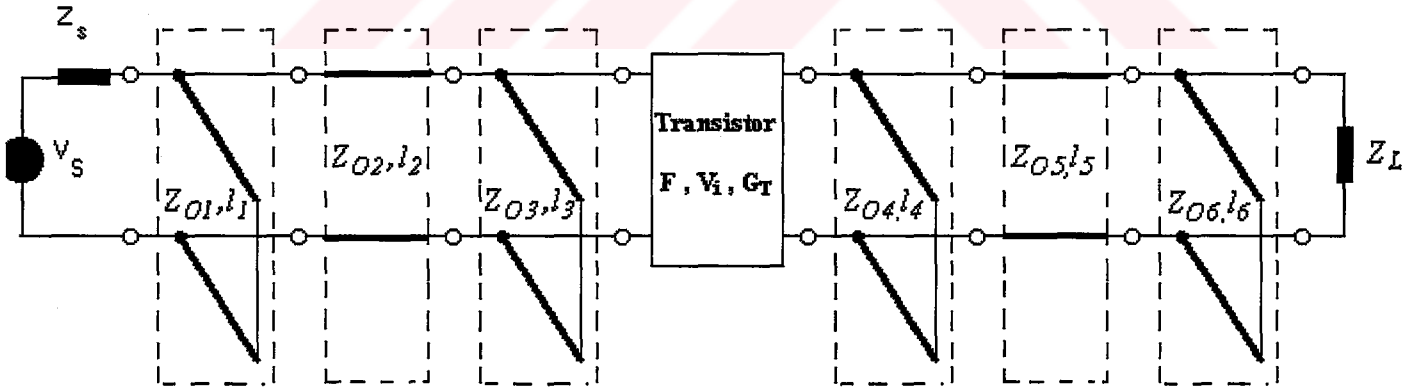
$$G = \frac{iZ_{06} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{06})} \begin{bmatrix} \alpha_{14} - \beta_{14} \\ \alpha_{15} - \beta_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{14} - b_{14} \\ a_{15} - b_{15} \end{bmatrix} \quad (3.159)$$

$$G = \frac{iZ_{06} \beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{06})} \begin{bmatrix} \alpha_{14} - \alpha_{13} \\ \alpha_{15} - \alpha_{16} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{14} - a_{13} \\ a_{15} - a_{16} \end{bmatrix} \quad (3.160)$$

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{01}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{02}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{03}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{04}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{05}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{06}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{01}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{02}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{03}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{04}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{05}} & \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{06}} \end{bmatrix} \quad (3.161)$$

$$\nabla G_T = (1 - \frac{|a_{15}|^2}{|a_{16}|^2}) (1 - \frac{|a_2 - 1|^2}{|a_1|^2}) 2 \operatorname{Re}\{a_{16}^* G\} \quad (3.162)$$

3.9 IMC(Π - Tipi) - Transistor- OMC(Π - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 3.6 IMC(Π - Tipi) - Transistor - OMC(Π - Tipi) devresi

Toplamda 6 kattan oluşan IMC(Π - Tipi) – Transistor – OMC(Π – Tipi) devresinin duyarlılıkları hesaplanırken, önceki devrelerde olduğu gibi, seri veya paralel kapısındaki duyarlılık hesaplamaları yapılır. Burada fark, kapı sayısından kaynaklanmaktadır. W bağlantı saçılma matrisinin satır ve sütun sayıları artmaktadır.

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$-S_{111}$	$-S_{112}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$-S_{121}$	$-S_{122}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	$-S_{211}$	$-S_{212}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	$-S_{221}$	$-S_{222}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	$-S_{311}$	$-S_{312}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	$-S_{321}$	$-S_{322}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	$-S_{11}$	$-S_{12}$	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	$-S_{21}$	$-S_{22}$	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{411}$	$-S_{412}$	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{421}$	$-S_{422}$	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{511}$	$-S_{512}$	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{521}$	$-S_{522}$	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{611}$	$-S_{612}$	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{621}$	$-S_{622}$	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_7$

(3.163)

$$W a = c$$

$$(3.164)$$

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_1	1
$-S_{111}$	$-S_{112}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_2	0
$-S_{121}$	$-S_{122}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_3	0
0	1	$-S_{211}$	$-S_{212}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_4	0
0	0	$-S_{221}$	$-S_{222}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_5	0
0	0	0	1	$-S_{311}$	$-S_{312}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a_6	0
0	0	0	0	$-S_{321}$	$-S_{322}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	a_7	0
0	0	0	0	0	1	$-S_{11}$	$-S_{12}$	0	0	0	0	0	0	0	a_8	0
0	0	0	0	0	0	$-S_{21}$	$-S_{22}$	1	0	0	0	0	0	0	a_9	0
0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{411}$	$-S_{412}$	0	0	0	0	0	a_{10}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{421}$	$-S_{422}$	1	0	0	0	0	a_{11}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{511}$	$-S_{512}$	0	0	0	a_{12}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{521}$	$-S_{522}$	1	0	0	a_{13}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_{611}$	$-S_{612}$	0	a_{14}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-S_{621}$	$-S_{622}$	1	a_{15}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-S_7$	a_{16}	0

(3.165)

$$W^T \alpha = c \quad (3.166)$$

$$\begin{array}{cccccccccccccccc}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_1 & 0 \\
 S_{111} & -S_{112} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_2 & 0 \\
 S_{121} & -S_{122} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_3 & 0 \\
 0 & 1 & -S_{211} & -S_{212} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_4 & 0 \\
 0 & 0 & -S_{221} & -S_{222} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_5 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{311} & -S_{312} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_6 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{321} & -S_{322} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_7 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{11} & -S_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_8 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{21} & -S_{22} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_9 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{411} & -S_{412} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{10} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{421} & -S_{422} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{11} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{511} & -S_{512} & 0 & 0 & 0 & \alpha_{12} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{521} & -S_{522} & 1 & 0 & 0 & \alpha_{13} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_{611} & -S_{612} & 0 & \alpha_{14} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{621} & -S_{622} & 1 & \alpha_{15} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -S_7 & \alpha_{16} & 1
 \end{array} \quad (3.167)$$

(3.148) ve (3.150) denklemlerinden elde edilen a ' lar ve α ' lar duyarlılık hesabında kullanılmaktadır. (3.148), (3.150) ve (3.152) denklemlerindeki S_{11} , S_{12} , S_{21} ve S_{22} değerleri NE329S01 transistörün S parametreleridir.

3.9.1 Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{01}} = \frac{1}{2Z_{01}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.168)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \right) \quad (3.169)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{01}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \right) \quad (3.170)$$

l_{01} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{01}} = \frac{iZ_0\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.171)$$

$$G = \frac{iZ_{01}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \beta_2 \\ \alpha_3 - \beta_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{01}) \\ \cos(\beta l_{01}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - b_2 \\ a_3 - b_3 \end{bmatrix} \quad (3.172)$$

$$G = \frac{iZ_{01}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{01})} \begin{bmatrix} \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_3 - \alpha_4 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{01}) \\ \cos(\beta l_{01}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 - a_1 \\ a_3 - a_4 \end{bmatrix} \quad (3.173)$$

3.9.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri- Hat için Duyarlılıkları

Z_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{02}} = \frac{1}{2Z_{02}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.174)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \right) \quad (3.175)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{02}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_4 \\ \alpha_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_3 \\ a_6 \end{bmatrix} \right) \quad (3.176)$$

l_{02} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{02}} = \frac{iZ_0\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.177)$$

$$G = \frac{iZ_{02}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \beta_4 \\ \alpha_5 - \beta_5 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - b_4 \\ a_5 - b_5 \end{bmatrix} \quad (3.178)$$

$$G = \frac{iZ_{02}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{02})} \begin{bmatrix} \alpha_4 - \alpha_3 \\ \alpha_5 - \alpha_6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_4 - a_3 \\ a_5 - a_6 \end{bmatrix} \quad (3.179)$$

3.9.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{03}} = \frac{1}{2Z_{03}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.180)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_6 \\ \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_6 \\ b_7 \end{bmatrix} \right) \quad (3.181)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{03}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_6 \\ \alpha_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_5 \\ \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_5 \\ a_8 \end{bmatrix} \right) \quad (3.182)$$

l_{03} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{03}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.183)$$

$$G = \frac{iZ_{03} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \beta_6 \\ \alpha_7 - \beta_7 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{03}) \\ \cos(\beta l_{03}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - b_6 \\ a_7 - b_7 \end{bmatrix} \quad (3.184)$$

$$G = \frac{iZ_{03} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{03})} \begin{bmatrix} \alpha_6 - \alpha_5 \\ \alpha_7 - \alpha_8 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{03}) \\ \cos(\beta l_{03}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 - a_5 \\ a_7 - a_8 \end{bmatrix} \quad (3.185)$$

3.9.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{04} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{04}} = \frac{1}{2Z_{04}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.186)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{04}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{11} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_{10} \\ \beta_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{11} \end{bmatrix} \right) \quad (3.187)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{04}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{11} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_9 \\ \alpha_{12} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_9 \\ a_{12} \end{bmatrix} \right) \quad (3.188)$$

l_{04} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{04}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.189)$$

$$G = \frac{iZ_{04}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{04})} \begin{bmatrix} \alpha_{10} - \beta_{10} \\ \alpha_{11} - \beta_{11} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{04}) \\ \cos(\beta l_{04}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{10} - b_{10} \\ a_{11} - b_{11} \end{bmatrix} \quad (3.190)$$

$$G = \frac{iZ_{04}\beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{04})} \begin{bmatrix} \alpha_{10} - \alpha_9 \\ \alpha_{11} - \alpha_{12} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{04}) \\ \cos(\beta l_{04}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{10} - a_9 \\ a_{11} - a_{12} \end{bmatrix} \quad (3.191)$$

3.9.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Seri- Hat için Duyarlılıkları

Z_{05} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{05}} = \frac{1}{2Z_{05}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.192)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{05}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{12} \\ a_{13} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_{12} \\ \beta_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_{12} \\ b_{13} \end{bmatrix} \right) \quad (3.193)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{05}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{12} \\ a_{13} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{14} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{14} \end{bmatrix} \right) \quad (3.194)$$

l_{05} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{05}} = \frac{iZ_{05}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.195)$$

$$G = \frac{iZ_{05}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{05})} \begin{bmatrix} \alpha_{12} - \beta_{12} \\ \alpha_{13} - \beta_{13} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{12} - b_{12} \\ a_{13} - b_{13} \end{bmatrix} \quad (3.196)$$

$$G = \frac{iZ_{05}\beta}{2Z_N \cos^2(\beta l_{05})} \begin{bmatrix} \alpha_{12} - \alpha_{11} \\ \alpha_{13} - \alpha_{14} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{12} - a_{11} \\ a_{13} - a_{14} \end{bmatrix} \quad (3.197)$$

3.9.6 Kazancın Altıncı Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

Z_{06} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{06}} = \frac{1}{2Z_{06}} (\alpha^T a - \beta^T b) \quad (3.198)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{06}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{14} \\ \alpha_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{14} \\ a_{15} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_{14} \\ \beta_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} b_{14} \\ b_{15} \end{bmatrix} \right) \quad (3.199)$$

$$G = \frac{1}{2Z_{06}} \left(\begin{bmatrix} \alpha_{14} \\ \alpha_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{14} \\ a_{15} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_{13} \\ \alpha_{16} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a_{13} \\ a_{16} \end{bmatrix} \right) \quad (3.200)$$

l_{06} için;

$$G = \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{06}} = \frac{iZ_0 \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l)} (\alpha - \beta)^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l) \\ \cos(\beta l) & 1 \end{bmatrix} (a - b) \quad (3.201)$$

$$G = \frac{iZ_{06} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{06})} \begin{bmatrix} \alpha_{14} - \beta_{14} \\ \alpha_{15} - \beta_{15} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{06}) \\ \cos(\beta l_{06}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{14} - b_{14} \\ a_{15} - b_{15} \end{bmatrix} \quad (3.202)$$

$$G = \frac{iZ_{06} \beta}{2Z_N \sin^2(\beta l_{06})} \begin{bmatrix} \alpha_{14} - \alpha_{13} \\ \alpha_{15} - \alpha_{16} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & \cos(\beta l_{06}) \\ \cos(\beta l_{06}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{14} - a_{13} \\ a_{15} - a_{16} \end{bmatrix} \quad (3.203)$$

$$G = \left[\frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{01}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{02}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{03}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{04}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{05}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial Z_{06}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{01}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{02}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{03}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{04}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{05}} \quad \frac{\partial a_{16}}{\partial l_{06}} \right] \quad (3.204)$$

$$\nabla G_T = \left(1 - \frac{|a_{15}|^2}{|a_{16}|^2}\right) \left(1 - \frac{|a_2 - 1|^2}{|a_1|^2}\right) 2 \operatorname{Re}\{a_{16}^* G\} \quad (3.205)$$

4. NÜMERİK PERTÜRBASYON YAKLAŞIMI

Pertürbasyon metodu, dejenereleri elimine etmek için kullanılan genel bir yaklaşımdır. Pertürbasyon yöntemi uygulandığı zaman, giriş datası modifiye olmakta ve hesaplama bu perturbe olmuş giriş datası üzerinden gerçekleştirilmektedir. Nümerik perturbasyon da perturbasyon yöntemi gibidir. (Ouchi vd., 2005) Nümerik türev, x değişkeninde meydana gelen Δx değişimine karşın, türetilabilir bir 'F' fonksiyonunda meydana gelen ΔF değişiminin, sıfıra giden Δx değişimine oranıdır. Bu çalışmada, $\Delta x = (\Delta \ell = 0.0001 \text{ cm}, \Delta Z_0 = 0.0001 \Omega)$ olarak alınmıştır.

$$\text{Nümerik Türev} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta x} \quad (4.1)$$

şeklindedir. Bu çalışmada nümerik türev işlemi için Matlab bilgisayar dilindeki “ diff ” komutu ile G_T farkları alınmış ve bu değerler Δx ' e bölünmüştür.

5. DALGA YAKLAŞIMI İLE MİKRODALGA GÜRÜLTÜ DUYARLILIK ANALİZİ

Bu çalışmada, kazanç duyarlılıklarının yanı sıra gürültü duyarlılığı da hesaplanmıştır. Şu ana kadar görülmektedir ki; aktif eleman olarak mikrodalga transistör kullanılmıştır. Bir mikrodalga transistörün küçük-ışaret ve gürültü davranışı, genellikle S ve N parametreleriyle ifade edilmektedir. S ve N parametreleri, üretici firma tarafından transistörün konfigürasyon tipi, kutuplama koşulları ve çalışma frekansından oluşan ölçümler sonucu elde edilmektedir.

Daha önceden de belirtildiği gibi, dalga yaklaşımının getirdiği en büyük kolaylık, bir kere dalga değişkenleri hesaplandıktan sonra, her farklı hesaplama için tekrar dalga değişkenlerinin hesaplanacak olmamasıdır. Yani, bir kere dalga değişkenleri hesaplandıktan sonra, diğer bütün hesaplamalar(kazanç duyarlılığı, gürültü duyarlılığı) yapılabilir.

5.1 Gürültü Fonksiyonu ve Gradyantları

İlk kat gürültü, bir amplifikatörün tüm gürültü figürleri üzerinde etkilidir. İlk kat gürültü figürü, kaynak empedansı ve transistörün gürültü parametreleri cinsinden elde edilmektedir(Güneş,1980).

$$F = F_M + \frac{R_N}{|Z_{opt}|^2} \cdot \frac{|Z_G - Z_{OPT}|^2}{R_G} \quad (5.1)$$

$$R_G = \text{Re} \{Z_G\} \quad (5.2)$$

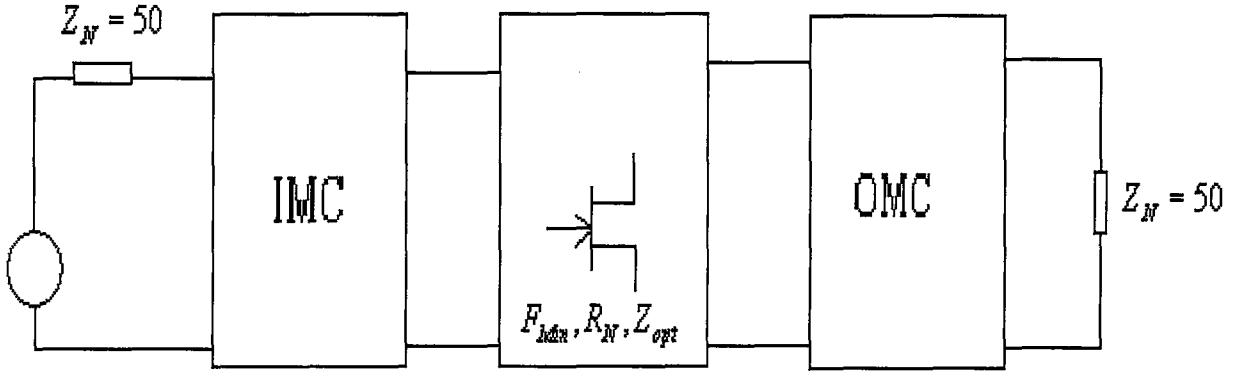
Z_G : Transistörün kaynak empedansı

R_N : Karşı gelen gürültü rezistansı

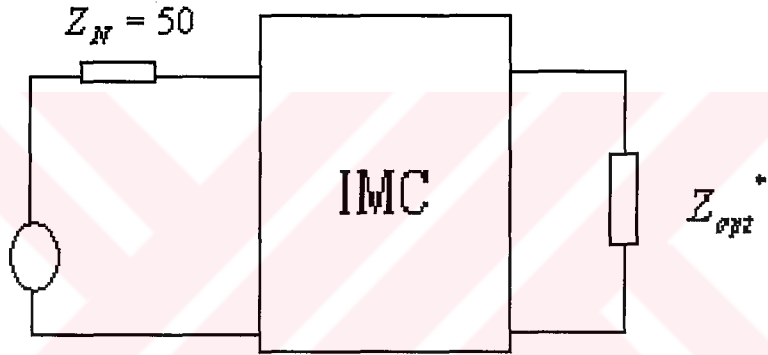
F_M : Minimum gürültü figürü(orani)

Z_{opt} : Optimum kaynak empedansı

Görüldüğü gibi (5.1) denklemindeki F fonksiyonu, sadece Z_G 'ye bağlı olmakta, Z_L 'den bağımsız olmaktadır. Dolayısıyla F, sadece IMC pasif parametrelerin(l, Z_0) fonksiyonudur OMC devresiyle bir bağlantısı yoktur. Yani, aşağıdaki şekillerde de görüldüğü gibi IMC(Π - Tipi) - Transistor- OMC(Π - Tipi) ya da IMC(T - Tipi) - Transistor- OMC(T - Tipi) gibi devreler için sadece IMC değerleri göz önüne alınacaktır:



Şekil 5.1 IMC-Transistör-OMC Devresi

Şekil 5.2 IMC Devrenin Z_{opt}^* ile sonlandırılması

İlk katın gürültü figürü, Z_{opt}^* ile sonlandırılmış, uyumlaştırılmış giriş devresinin transdüser güç kazancı cinsinden aşağıdaki denklemle ifade edilebilmektedir.

$R_{opt} = \text{Real}\{Z_{opt}\}$ olmak üzere;

$$|Z_G + Z_{opt}^*|^2 - |Z_G - Z_{opt}|^2 = 4R_G R_{opt} \quad (5.3)$$

$$\frac{|Z_G - Z_{opt}|^2}{R_G} = \frac{|Z_G + Z_{opt}^*|^2}{R_G} - 4R_{opt} \quad (5.4)$$

Giriş uyumlaştırılmış devre pasif ve kayıpsız olduğu için, devrenin transdüser güç kazancı şu şekilde ifade edilir:

$$G_T = \frac{4R_G R_{opt}}{|Z_G + Z_{opt}^*|^2} \quad (5.5)$$

$$\frac{|Z_G + Z_{opt}^*|^2}{R_G} = \frac{4R_{opt}}{G_T} \quad (5.6)$$

(5.6), (5.5)'de yerine konulup, yeniden düzenlenirse;

$$F = F_{\min} + \frac{4R_N R_{opt}}{|Z_{opt}|^2} \left(\frac{1}{G_T} - 1 \right) \quad (5.7)$$

F'in herhangi bir p parametresine göre türevi alınmak istenirse;

$$\frac{\partial F}{\partial p} = \frac{\partial F}{\partial G_T} \frac{\partial G_T}{\partial p} \quad (5.8)$$

Görüldüğü gibi zincir kuralı kullanılarak zaten daha önceden hesaplanmış olan kazanç duyarlılığı, gürültü duyarlılığı hesabında da kullanılmaktadır. (5.7) denkleminde F' in G_T ' ye göre kısmi türevi alınırsa;

$$F = \frac{4R_N R_{opt}}{|Z_{opt}|^2} \left(\frac{-1}{G_{TMC}} \right) \quad (5.9)$$

şeklini alır.

$$G_T = \left[\frac{\partial a_8}{\partial Z_{01}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial Z_{02}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial Z_{03}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial l_{01}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial l_{02}} \quad \frac{\partial a_8}{\partial l_{03}} \right] \quad (5.10)$$

$$\nabla G_T = (1 - \frac{|a_7|^2}{|a_8|^2}) (1 - \frac{|a_2 - 1|^2}{|a_1|^2}) 2 \operatorname{Re}\{a_8^* G\} \quad (5.11)$$

5.2 Gürültü Duyarlılıklarının Nümerik Pertürbasyon Yöntemi ile Hesaplanması

Nümerik pertürbasyon yöntemi ile, daha önceden hesaplanan gürültü değerleri doğrulanmıştır. Yine daha önceden de belirtildiği gibi;

$$\text{Nümerik Türev} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta x} \quad (5.12)$$

(5.7) denklemi kullanılarak, Matlab bilgisayar dilinde dalga değişkenleri cinsinden hesaplama yapılmış; daha önce de olduğu gibi “diff” komutu ile F farkları alınmış ve bu değerler Δx ' e bölünmüştür.

6. ÖRNEK ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

6.1 Çizelge ve Şekiller

Bu çalışmada kullanılan hatların karakteristik empedansları ve uzunlukları aşağıda verilmiştir:

Çizelge 6.1 T - Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan hatların uzunluk ve karakteristik empedansları

a)

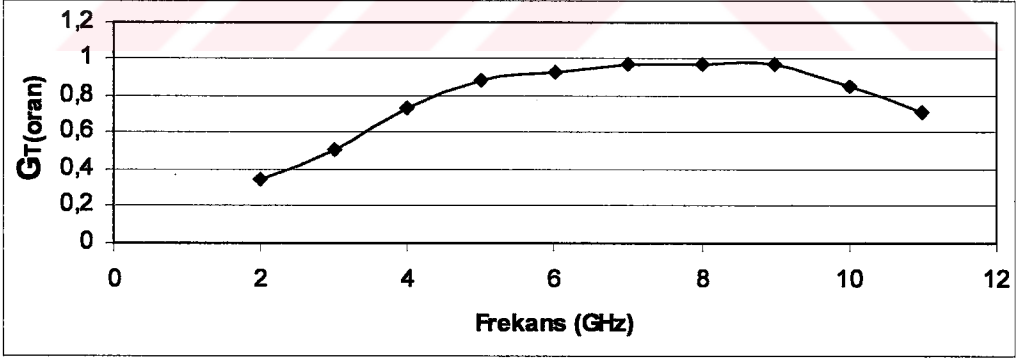
IMC(T -Tipi)			OMC(T - Tipi)		
$\ell_1=15.886 \text{ cm}$	$\ell_2=14.009 \text{ cm}$	$\ell_3=13.378 \text{ cm}$	$\ell_4=13.711 \text{ cm}$	$\ell_5=0.674 \text{ cm}$	$\ell_6=0.832 \text{ cm}$
$Z_{01}=36.310 \Omega$	$Z_{02}=180.885 \Omega$	$Z_{03}=53.041 \Omega$	$Z_{04}=129.006 \Omega$	$Z_{05}=166.347 \Omega$	$Z_{06}=95.109 \Omega$

b)

IMC(Π -Tipi)			OMC(Π -Tipi)		
$\ell_1 = 14.608 \text{ cm}$	$\ell_2 = 13.970 \text{ cm}$	$\ell_3 = 0.503 \text{ cm}$	$\ell_4 = 15.191 \text{ cm}$	$\ell_5=13.678 \text{ cm}$	$\ell_6=15.197 \text{ cm}$
$Z_{01}=85.185 \Omega$	$Z_{02}=51.995 \Omega$	$Z_{03}=167.184 \Omega$	$Z_{04}=199.988 \Omega$	$Z_{05}=114.411 \Omega$	$Z_{06}=193.972 \Omega$

Çizelge 6.2 $Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1 \text{ GHz} \dots 11 \text{ GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri

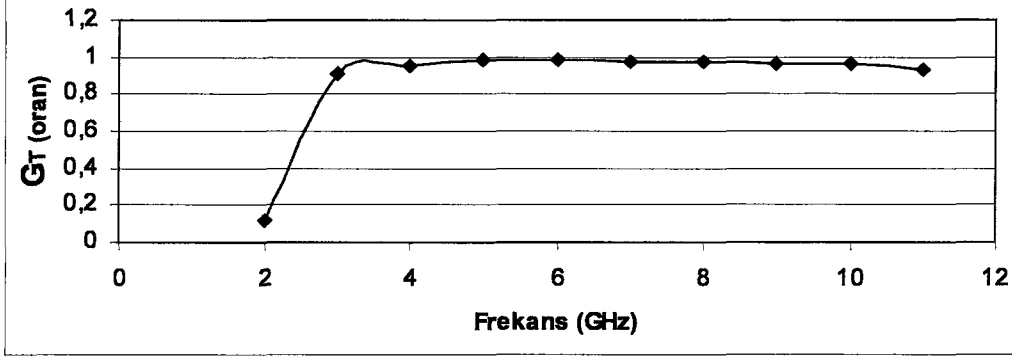
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.35	0.51	0.73	0.89	0.93	0.98	0.97	0.97	0.86	0.71



Şekil 6.1 $Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1 \text{ GHz} \dots 11 \text{ GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi

Çizelge 6.3 $Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1 \text{ GHz} \dots 11 \text{ GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri

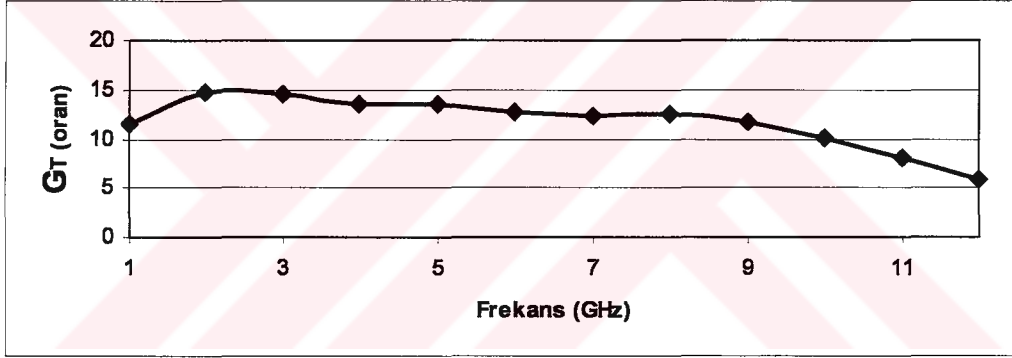
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.12	0.90	0.96	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.93



Şekil 6.2 $Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi

Çizelge 6.4 $G_{Treq}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{ireq}(\omega) = 1.0$ $F_{req}(\omega_i) = 0.46 \text{ dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri

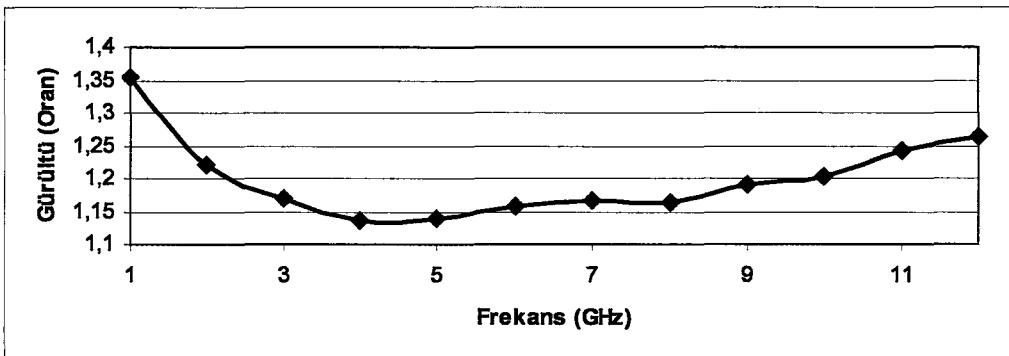
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
G_T (oran)	11.6	14.8	14.5	13.6	13.5	12.6	12.4	12.5	11.7	10.1	8.0	5.8



Şekil 6.3 $G_{Treq}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{ireq}(\omega) = 1.0$ $F_{req}(\omega_i) = 0.46 \text{ dB}$ olan IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için kazanç – frekans eğrisi

Çizelge 6.5 $G_{Treq}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{ireq}(\omega) = 1.0$ $F_{req}(\omega_i) = 0.46 \text{ dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(T - Tipi) devresi için gürültü değerleri

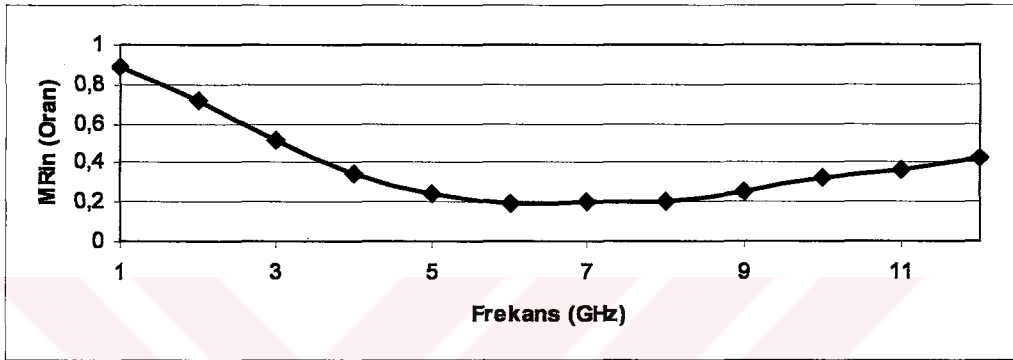
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
F (oran)	1.35	1.22	1.17	1.14	1.14	1.16	1.17	1.16	1.19	1.20	1.24	1.26



Şekil 6.4 $G_{Treq}(\omega)=12$ dB, $V_{ireq}(\omega)=1.0$ $F_{req}(\omega_i)=0.46$ dB olan IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için gürültü – frekans eğrisi

Çizelge 6.6 $G_{Treq}(\omega)=12$ dB, $V_{ireq}(\omega)=1.0$ $F_{req}(\omega_i)=0.46$ dB olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) -IMC(T - Tipi) devresi için duran dalga oranı değerleri

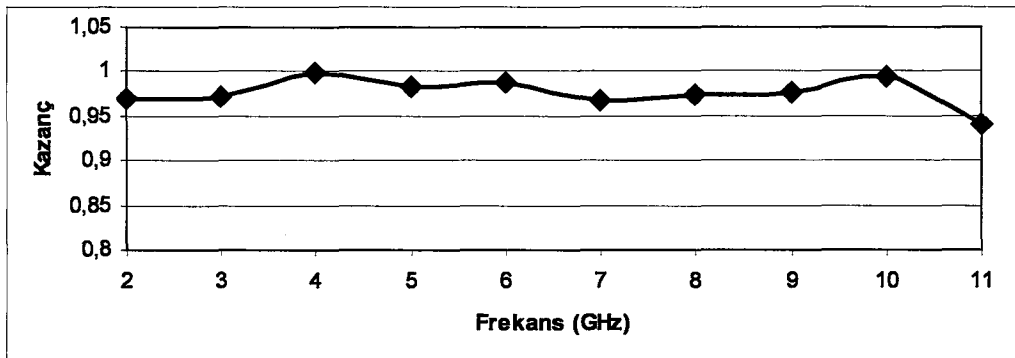
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MRin (Oran)	0.89	0.71	0.52	0.34	0.24	0.19	0.19	0.20	0.25	0.32	0.36	0.42



Şekil 6.5 $G_{Treq}(\omega)=12$ dB, $V_{ireq}(\omega)=1.0$ $F_{req}(\omega_i)=0.46$ dB olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(T - Tipi) devresi için duran dalga oranı – frekans eğrisi

Çizelge 6.7 $Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış IMC(II - Tipi) devresi için kazanç değerleri

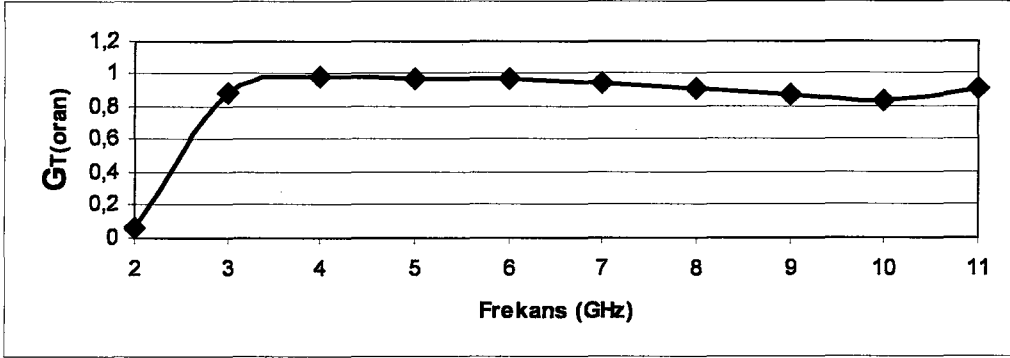
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.97	0.97	0.99	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98	0.99	0.94



Şekil 6.6 $Z_G = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1GHz.....11GHz$ ile sonlandırılmış IMC(II - Tipi) devresi için kazanç - frekans eğrisi

Çizelge 6.8 $Z_G = Z_{LTR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(II - Tipi) devresi için kazanç değerleri

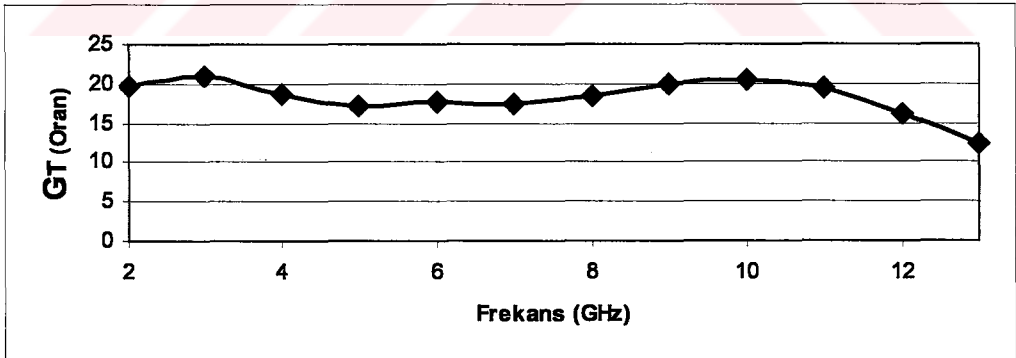
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.05	0.88	0.98	0.96	0.97	0.95	0.90	0.87	0.84	0.90



Şekil 6.7 $Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(II - Tipi) devresi için kazanç –frekans eğrisi

Çizelge 6.9 $G_{T\text{req}}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{\text{req}}(\omega) = 1.0$ $\text{Freq}(\omega_i) = 0.46 \text{ dB}$ olan IMC(II - Tipi) – Transistor(NE329S01)-OMC(II - Tipi) devresi kazanç değerleri

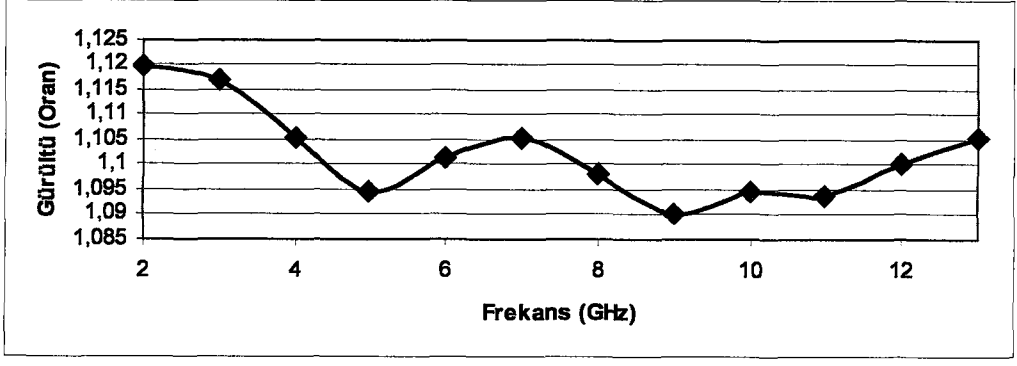
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
G_T	19.6	20.9	18.7	17.1	17.7	17.5	18.4	19.8	20.5	19.4	16.2	12.4



Şekil 6.8 $G_{T\text{req}}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{\text{req}}(\omega) = 1.0$ $\text{Freq}(\omega_i) = 0.46 \text{ dB}$ olan OMC(II - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(II - Tipi) devresi için kazanç –frekans eğrisi

Çizelge 6.10 $G_{T\text{req}}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{\text{req}}(\omega) = 1.0$ $\text{Freq}(\omega_i) = 0.46 \text{ dB}$ olan OMC(II - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(II - Tipi) devresi için edilen gürültü değerleri

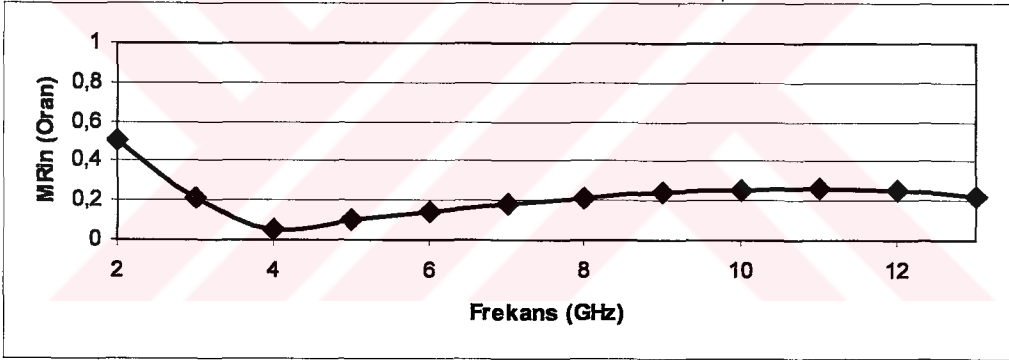
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gürültü	1.12	1.12	1.11	1.09	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.10



Şekil 6.9 GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω)=0.46dB olan OMC(II - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(II - Tipi) devresi için gürültü – frekans eğrisi

Çizelge 6.11 GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω)=0.46dB olan OMC(II - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(II - Tipi) devresi için çeşitli frekanslara karşı elde edilen duran dalga oranı değerleri

Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MRin (Oran)	0.51	0.21	0.05	0.10	0.14	0.18	0.21	0.25	0.25	0.26	0.25	0.22



Şekil 6.10 GTreq (ω)=12 dB, Vireq(ω)=1.0 Freq(ω)=0.46dB olan OMC(II - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(II - Tipi) devresi için duran dalga oranı–frekans eğrisi

6.1.2 Uygun Z_G , Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Frekans Bandında Belirli Z_0 , Γ Değerlerine Sahip Devreler İçin Kazanç Duyarlılıklarına Ait Çizelge ve Şekiller

Bu çalışmada, kazanç duyarlılıkları Dalga Yaklaşımı ve Nümerik Pertürbasyon Yöntemi ile hesaplanmış; elde edilen değerler Serhat Altunç'un tez çalışmasındaki "Kazanç Çarpımı" duyarlılık değerleriyle karşılaştırılmıştır.

6.1.2.1 Seri- Hat ve Paralel-Hat İki Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları

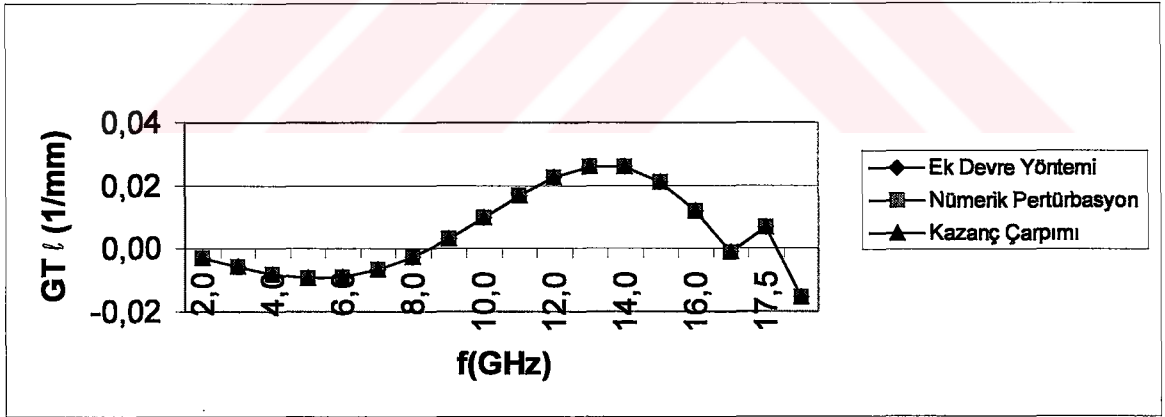
Çizelge 6.12 Seri – hat iki – kapılısının $\ell = 15.886$ cm, $Z_0 = 36.310 \Omega$ için hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri

Ek Devre Yöntemi

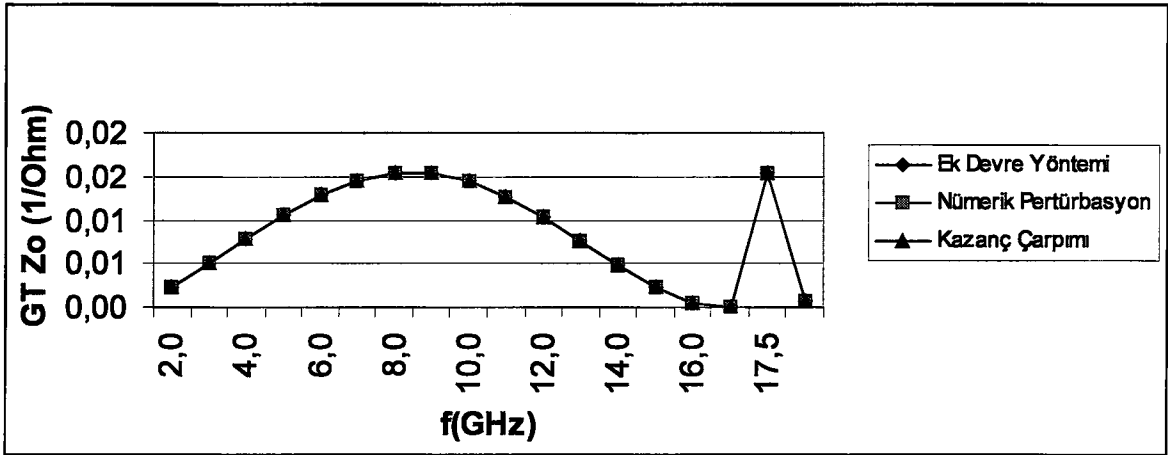
Nümerik Pertürbasyon

Kazanç Çarpımı

f (GHz)	GT ℓ (1/mm)	GT z_0 (1/Ohm)	GT ℓ (1/mm)	GT z_0 (1/Ohm)	GT ℓ (1/mm)	GT z_0 (1/Ohm)
2	-0,0029	0,0024	-0,0029	0,0024	-0,0029	0,0024
3	-0,0056	0,0050	-0,0056	0,0050	-0,0056	0,0050
4	-0,0080	0,0078	-0,0080	0,0078	-0,0080	0,0078
5	-0,0093	0,0106	-0,0093	0,0106	-0,0093	0,0106
6	-0,0089	0,0129	-0,0089	0,0129	-0,0089	0,0129
7	-0,0066	0,0145	-0,0066	0,0145	-0,0066	0,0145
8	-0,0025	0,0153	-0,0025	0,0153	-0,0025	0,0153
9	0,0032	0,0153	0,0032	0,0153	0,0032	0,0153
10	0,0100	0,0144	0,0100	0,0144	0,0100	0,0144
11	0,0168	0,0127	0,0168	0,0127	0,0168	0,0127
12	0,0226	0,0104	0,0226	0,0104	0,0226	0,0104
13	0,0261	0,0076	0,0261	0,0076	0,0261	0,0076
14	0,0260	0,0048	0,0260	0,0048	0,0260	0,0048
15	0,0212	0,0022	0,0212	0,0022	0,0212	0,0022
16	0,0119	0,0005	0,0119	0,0005	0,0119	0,0005
17	-0,0011	0,0000	-0,0011	0,0000	-0,0011	0,0000
17,50	0,0068	0,0153	0,0067	0,0153	0,0068	0,0153
18	-0,0154	0,0007	-0,0154	0,0007	-0,0154	0,0007



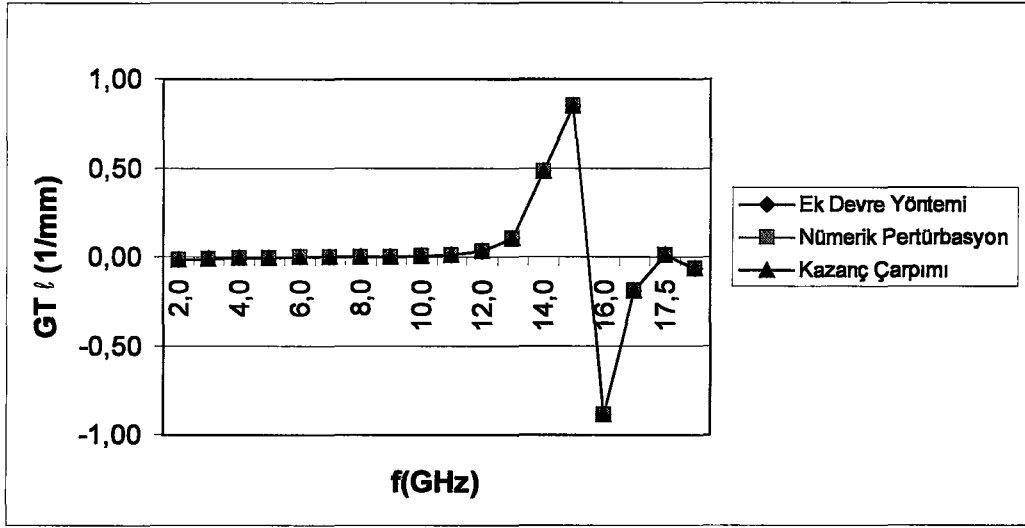
Şekil 6.11 Seri – hat iki – kapılısının hat uzunluğuna ($\ell = 15.886$ cm) göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrisi



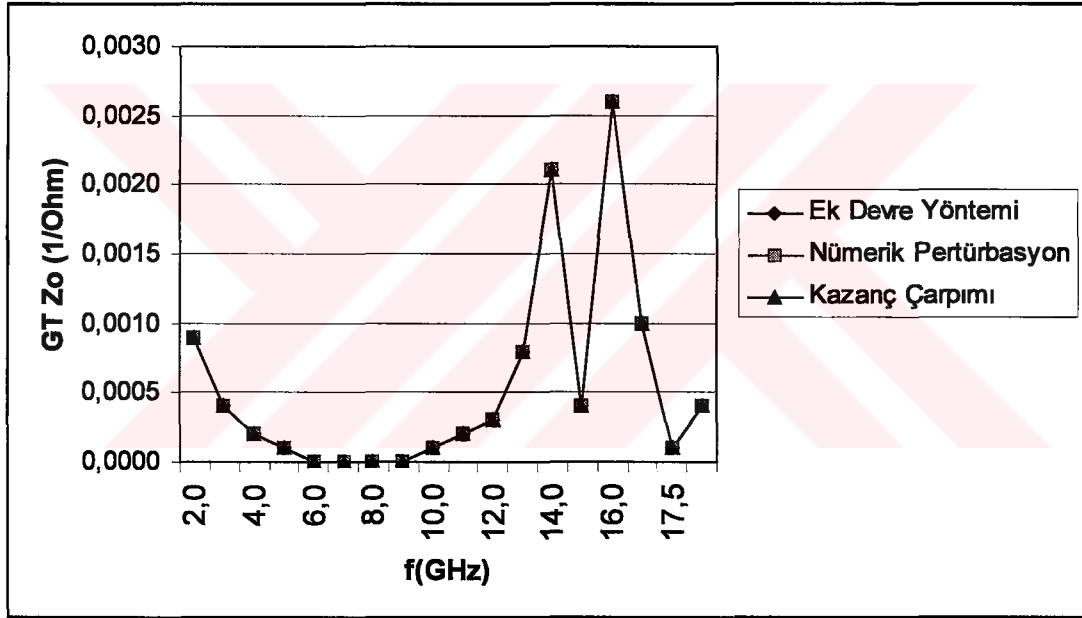
Şekil 6.12 Seri – hat iki – kapılısının karakteristik empedansa ($Z_0 = 36.310 \Omega$) göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi

Çizelge 6.13 Paralel – Hat iki – kapılısının $\ell = 14.009$ cm, $Z_0 = 180.885 \Omega$ hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri

	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT ℓ (1/mm)	GT Z_0 (1/Ohm)	GT ℓ (1/mm)	GT Z_0 (1/Ohm)	GT ℓ (1/mm)	GT Z_0 (1/Ohm)
2,0	-0,0185	0,0009	-0,0185	0,0009	-0,0185	0,0009
3,0	-0,0091	0,0004	-0,0091	0,0004	-0,0091	0,0004
4,0	-0,0052	0,0002	-0,0052	0,0002	-0,0052	0,0002
5,0	-0,0031	0,0001	-0,0031	0,0001	-0,0031	0,0001
6,0	-0,0018	0,0000	-0,0018	0,0000	-0,0018	0,0000
7,0	-0,0007	0,0000	-0,0007	0,0000	-0,0007	0,0000
8,0	0,0006	0,0000	0,0006	0,0000	0,0006	0,0000
9,0	0,0024	0,0000	0,0024	0,0000	0,0024	0,0000
10,0	0,0057	0,0001	0,0057	0,0001	0,0057	0,0001
11,0	0,0129	0,0002	0,0129	0,0002	0,0129	0,0002
12,0	0,0322	0,0003	0,0322	0,0003	0,0322	0,0003
13,0	0,1013	0,0008	0,1013	0,0008	0,1013	0,0008
14,0	0,4832	0,0021	0,4832	0,0021	0,4832	0,0021
15,0	0,8505	0,0004	0,8505	0,0004	0,8502	0,0004
16,0	-0,8859	0,0026	-0,8859	0,0026	-0,8858	0,0026
17,0	-0,1883	0,0010	-0,1883	0,0010	-0,1883	0,0010
17,5	0,0095	0,0001	0,0095	0,0001	0,0095	0,0001
18,0	-0,0625	0,0004	-0,0625	0,0004	-0,0625	0,0004



Şekil 6.13 Paralel – hat iki – kapılıısının hat uzunluğuna ($\ell = 14.009$ cm) göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi



Şekil 6.14 Paralel – hat iki – kapılıısının karakteristik empedansa ($Z_0 = 180.885 \Omega$) göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrisi

6.1.2.2 IMC(T - Tipi) ($Z_S = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$),

OMC(T - Tipi) ($Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$),

IMC(T - Tipi) -Transistor(NE329S01) –OMC(T - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları

Çizelge 6.14 IMC(T-Tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı-frekans değerleri

a)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)
2,0	-0,0074	0,0048	-0,0074	0,0048	-0,0074	0,0048
3,0	-0,0096	0,002	-0,0096	0,002	-0,0096	0,002

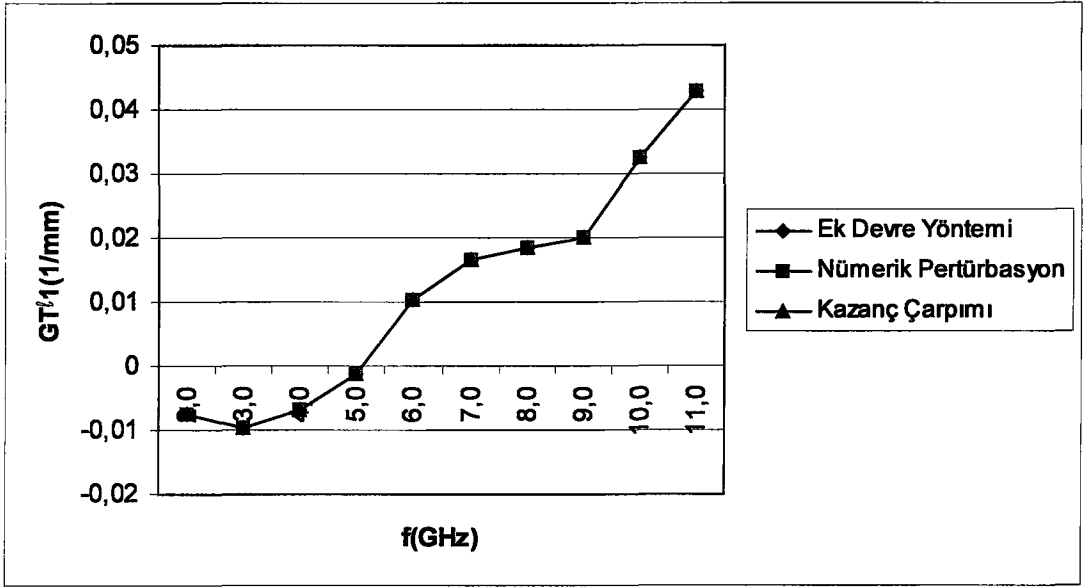
4,0	-0,0069	-0,0054	-0,0069	-0,0054	-0,0069	-0,0054
5,0	-0,0011	-0,0101	-0,0011	-0,0101	-0,0011	-0,0101
6,0	0,0103	-0,0119	0,0103	-0,0119	0,0103	-0,0119
7,0	0,0167	-0,0051	0,0167	-0,0051	0,0167	-0,0051
8,0	0,0183	0,0012	0,0183	0,0012	0,0183	0,0012
9,0	0,0199	0,0038	0,0199	0,0038	0,0199	0,0038
10,0	0,0325	0,0079	0,0325	0,0079	0,0325	0,0079
11,0	0,0429	0,0114	0,0429	0,0114	0,0429	0,0114

b) Ek Devre Yöntemi Nümerik Pertürbasyon Kazanç Çarpımı

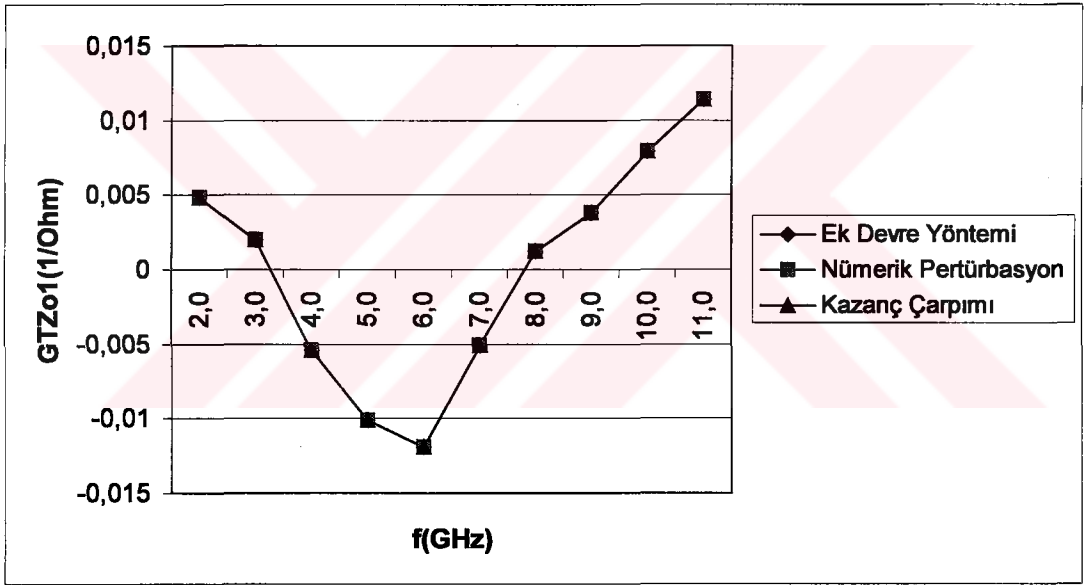
f (GHz)	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,0129	0,0006	-0,0129	0,0006	-0,0129	0,0006
3,0	0,0021	-0,0001	0,0021	-0,0001	0,0021	-0,0001
4,0	0,0094	-0,0003	0,0094	-0,0003	0,0094	-0,0003
5,0	0,0081	-0,0002	0,0081	-0,0002	0,0081	-0,0002
6,0	0,0034	0,0000	0,0034	0,0000	0,0034	0,0000
7,0	-0,0023	0,0000	-0,0023	0,0000	-0,0023	0,0000
8,0	-0,0043	0,0000	-0,0043	0,0000	-0,0043	0,0000
9,0	-0,0043	0,0000	-0,0043	0,0000	-0,0043	0,0000
10,0	-0,0049	-0,0001	-0,0049	-0,0001	-0,0049	-0,0001
11,0	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000

c) Ek Devre Yöntemi Nümerik Pertürbasyon Kazanç Çarpımı

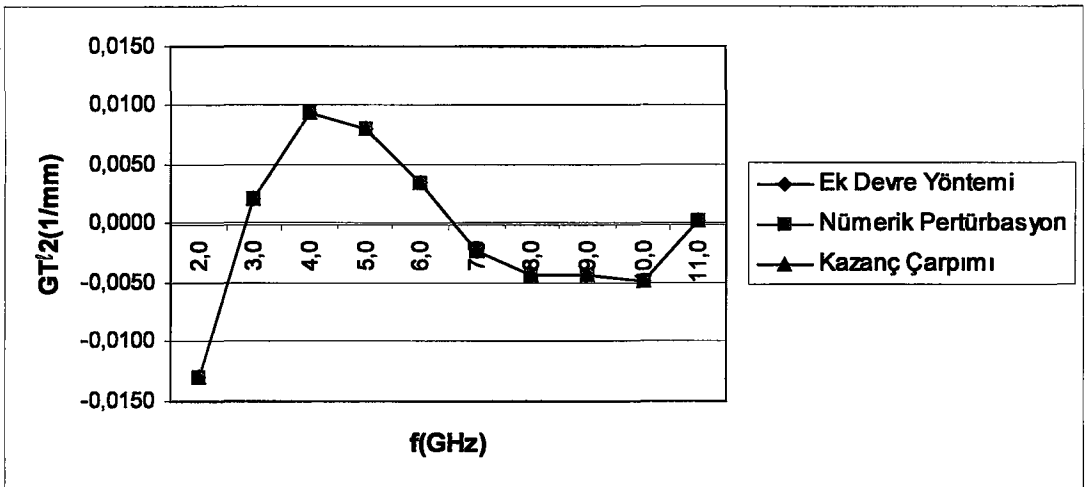
f (GHz)	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,0198	-0,0042	-0,0198	-0,0042	-0,0198	-0,0042
3,0	-0,0339	-0,0037	-0,0339	-0,0037	-0,0339	-0,0037
4,0	-0,0358	-0,0006	-0,0358	-0,0006	-0,0358	-0,0006
5,0	-0,0217	0,0023	-0,0216	0,0023	-0,0217	0,0023
6,0	0,0089	0,0064	0,009	0,0064	0,0089	0,0064
7,0	0,0345	0,0056	0,0345	0,0056	0,0345	0,0056
8,0	0,0431	0,003	0,0432	0,003	0,0431	0,003
9,0	0,0471	0,0006	0,0472	0,0006	0,0471	0,0006
10,0	0,0755	-0,0027	0,0755	-0,0027	0,0755	-0,0027
11,0	0,0979	-0,0073	0,098	-0,0073	0,0979	-0,0073



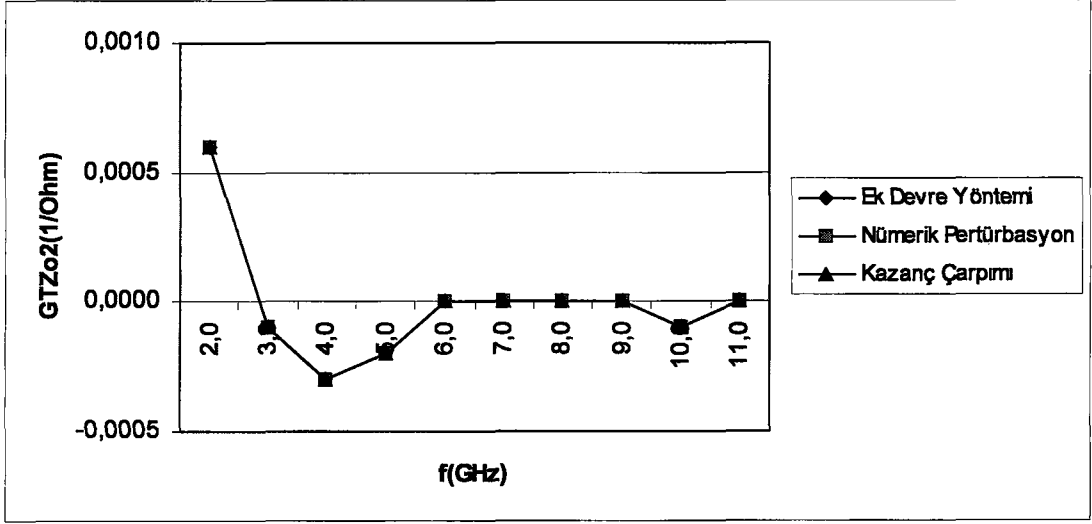
a.1)



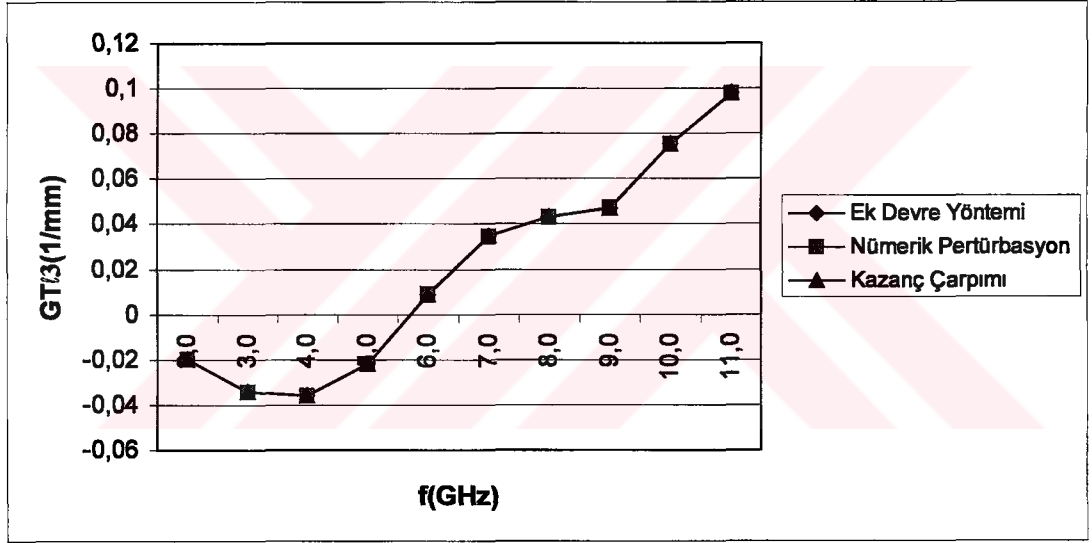
a.2)



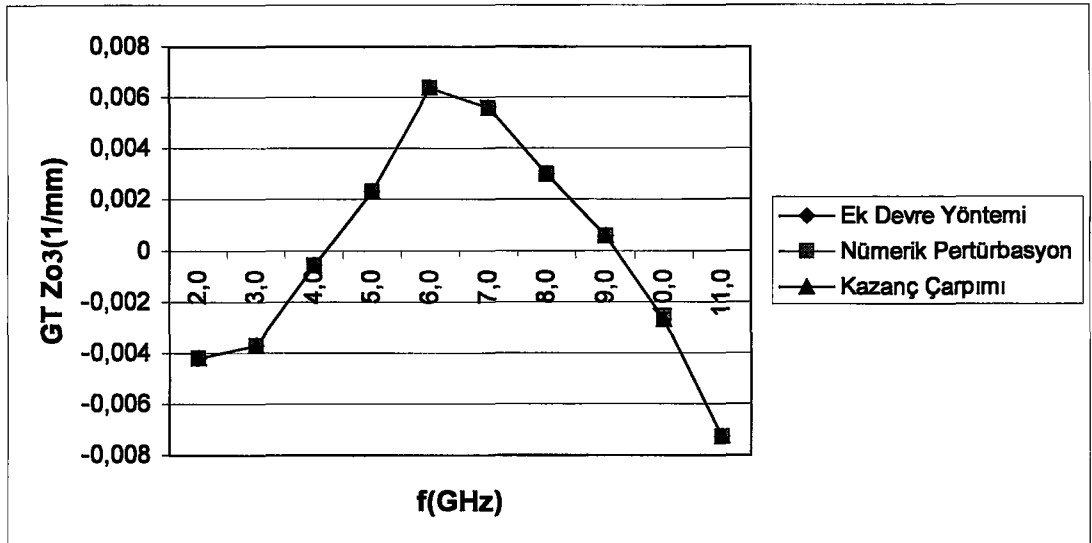
b.1)



b.2)



c.1)



c.2)

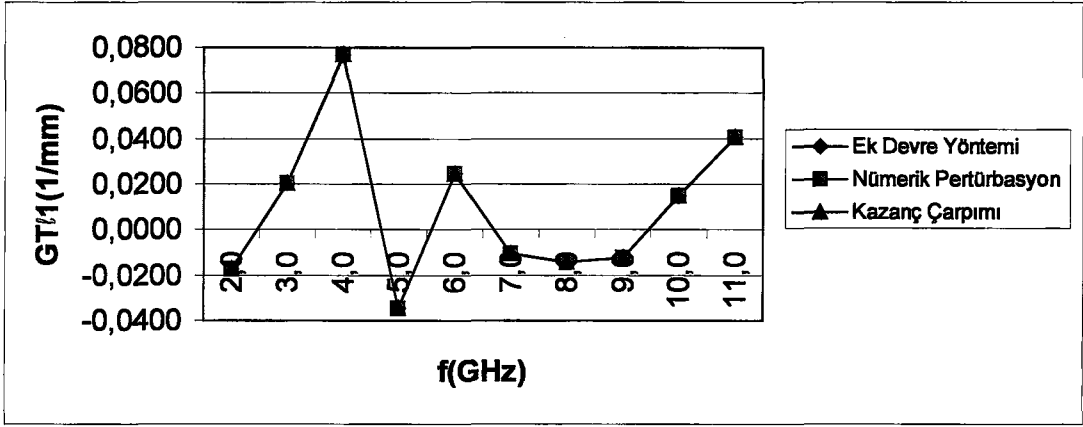
Şekil 6.15 IMC(T - Tipi) devresi için a) 1) ℓ_1 2) Z_{01} b) 1) ℓ_2 2) Z_{02} c) 1) ℓ_3 2) Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrileri

Çizelge 6.15 OMC(T-Tipi) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı -frekans değerleri

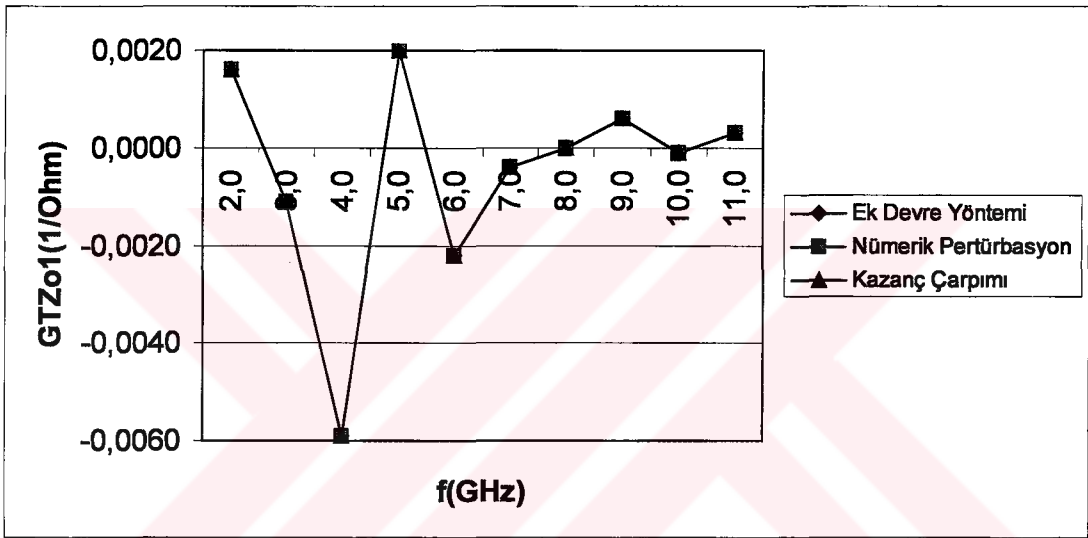
a)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,0170	0,0016	-0,0170	0,0016	-0,0170	0,0016
3,0	0,0204	-0,0011	0,0206	-0,0011	0,0205	-0,0011
4,0	0,0768	-0,0059	0,0770	-0,0059	0,0769	-0,0059
5,0	-0,0346	0,0020	-0,0345	0,0020	-0,0345	0,0020
6,0	0,0245	-0,0022	0,0246	-0,0022	0,0246	-0,0022
7,0	-0,0106	-0,0004	-0,0105	-0,0004	-0,0106	-0,0004
8,0	-0,0143	0,0000	-0,0143	0,0000	-0,0143	0,0000
9,0	-0,0121	0,0006	-0,0121	0,0006	-0,0121	0,0006
10,0	0,0149	-0,0001	0,0149	-0,0001	0,0149	-0,0001
11,0	0,0408	0,0003	0,0408	0,0003	0,0408	0,0003

b)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$
2,0	0,0124	0,0005	0,0124	0,0005	0,0124	0,0005
3,0	-0,0364	-0,0013	-0,0364	-0,0013	-0,0364	-0,0013
4,0	0,0072	0,0002	0,0073	0,0002	0,0072	0,0002
5,0	0,0010	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010	0,0000
6,0	0,0202	0,0005	0,0202	0,0005	0,0202	0,0005
7,0	0,0177	0,0003	0,0177	0,0003	0,0177	0,0003
8,0	0,0155	0,0002	0,0155	0,0002	0,0155	0,0002
9,0	0,0061	0,0001	0,0061	0,0001	0,0061	0,0001
10,0	0,0213	0,0001	0,0213	0,0001	0,0213	0,0001
11,0	0,0052	0,0000	0,0052	0,0000	0,0052	0,0000

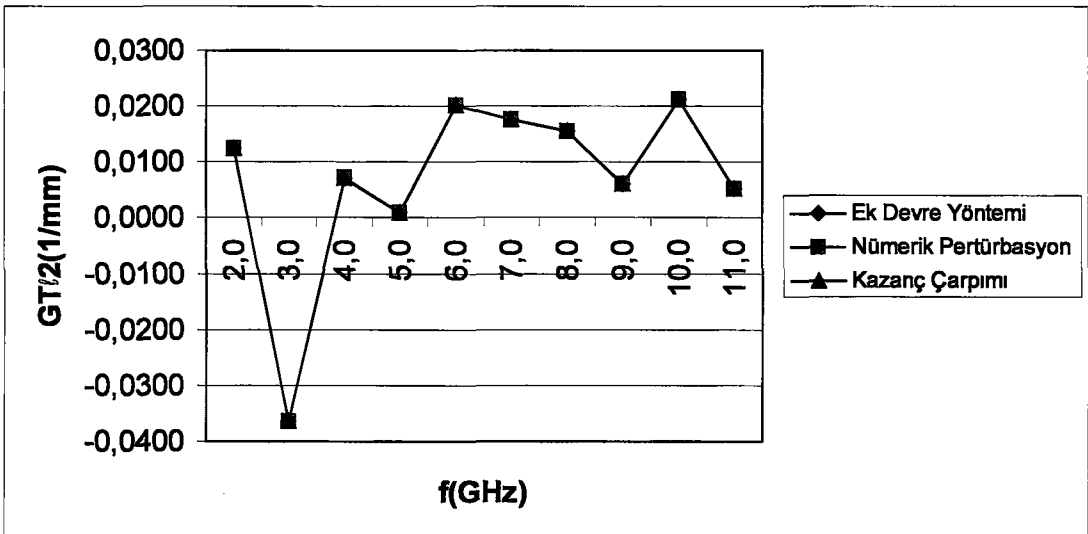
c)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,0063	-0,0010	-0,0063	-0,0010	-0,0063	-0,0010
3,0	0,0149	0,0031	0,0149	0,0031	0,0149	0,0031
4,0	0,0218	0,0028	0,0218	0,0028	0,0218	0,0028
5,0	-0,0108	-0,0019	-0,0108	-0,0019	-0,0108	-0,0019
6,0	0,0146	0,0000	0,0146	0,0000	0,0146	0,0000
7,0	0,0075	-0,0022	0,0076	-0,0022	0,0076	-0,0022
8,0	0,0100	-0,0030	0,0100	-0,0030	0,0100	-0,0030
9,0	0,0069	-0,0037	0,0069	-0,0037	0,0069	-0,0037
10,0	0,0343	-0,0032	0,0343	-0,0032	0,0343	-0,0032
11,0	0,0353	-0,0051	0,0353	-0,0051	0,0353	-0,0051



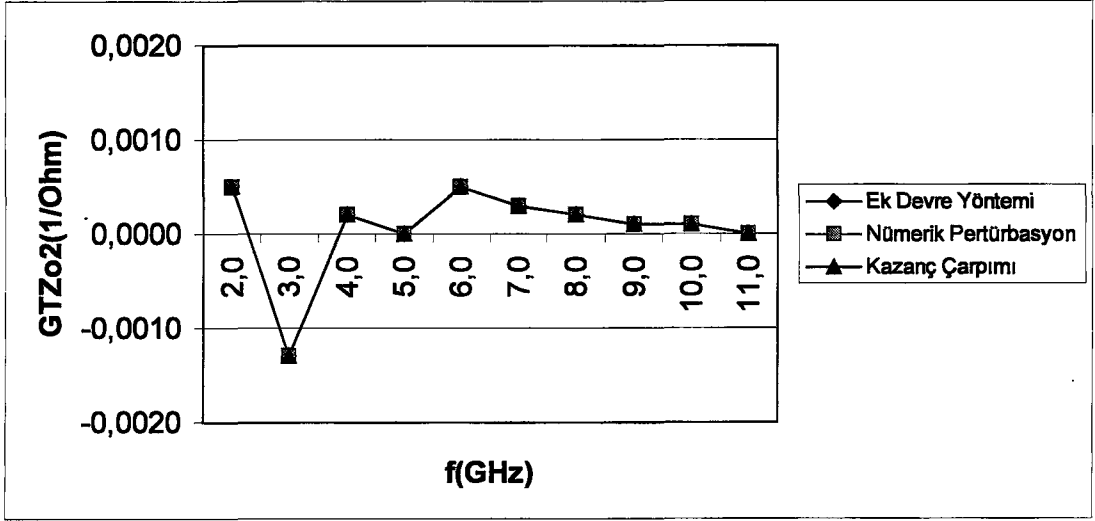
a.1)



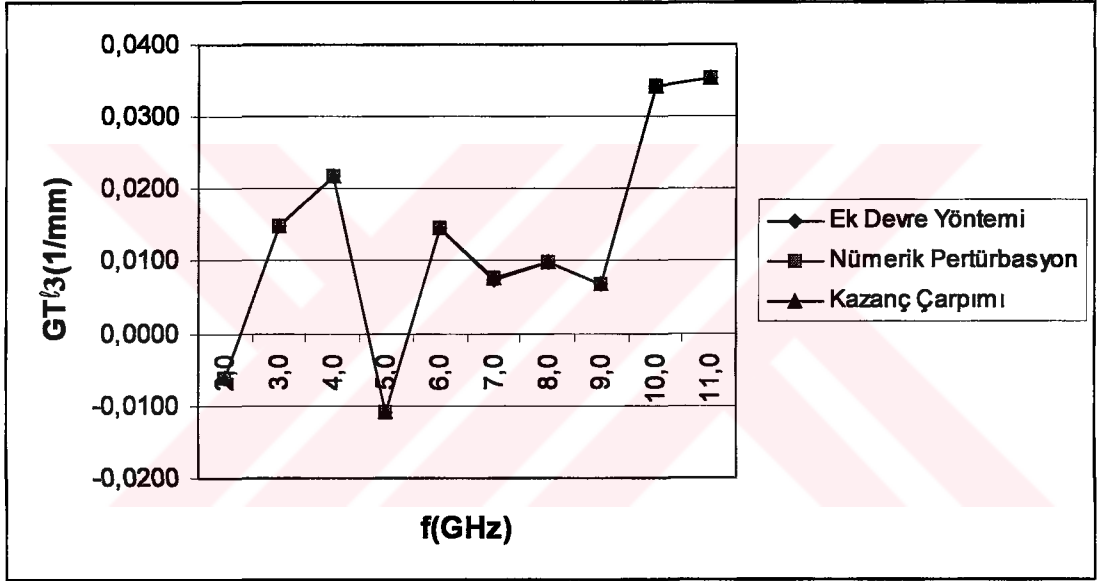
a.2)



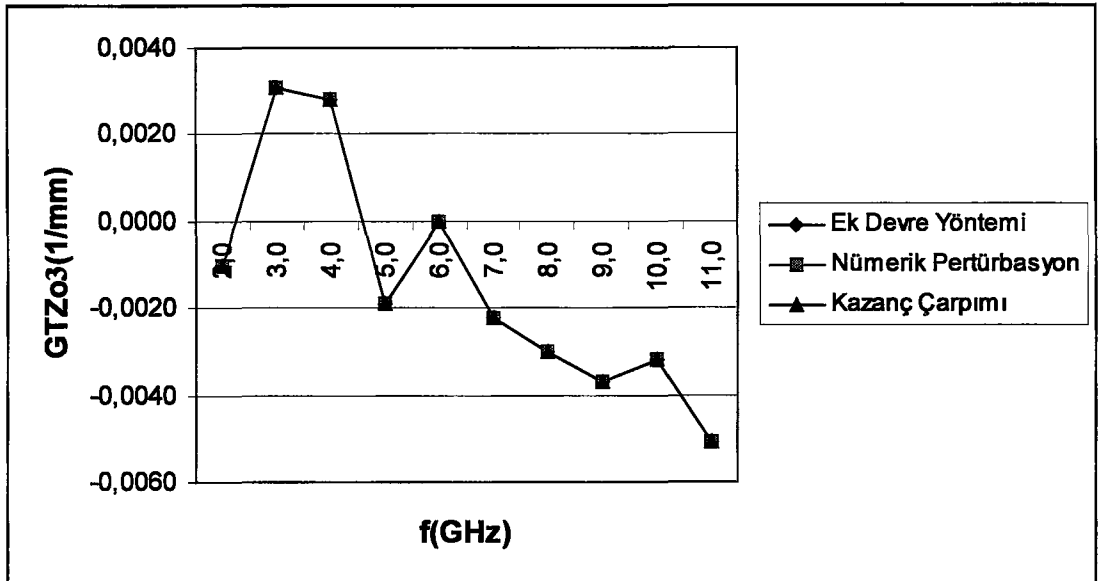
b.1)



b.2)



c.1)



c.2)

Şekil 6.16 OMC(T - Tipi) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrileri

Çizelge 6.16 IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} d) ℓ_4 , Z_{04} e) ℓ_5 , Z_{05} f) ℓ_6 , Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans değerleri

a)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,2457	0,1533	-0,2457	0,1533	-0,2457	0,1533
3,0	-0,2748	0,0640	-0,2748	0,0640	-0,2748	0,0640
4,0	-0,1439	-0,0866	-0,1438	-0,0866	-0,1439	-0,0866
5,0	-0,0008	-0,1534	-0,0007	-0,1534	-0,0008	-0,1534
6,0	0,1343	-0,1524	0,1344	-0,1524	0,1343	-0,1524
7,0	0,2214	-0,0478	0,2215	-0,0478	0,2214	-0,0478
8,0	0,2365	0,0405	0,2365	0,0405	0,2365	0,0405
9,0	0,2649	0,0813	0,2649	0,0813	0,2649	0,0813
10,0	0,3490	0,1158	0,3490	0,1158	0,3490	0,1158
11,0	0,4077	0,1439	0,4076	0,1439	0,4077	0,1439
12,0	0,3670	0,1280	0,3669	0,1280	0,3670	0,1280
13,0	0,2992	0,0925	0,2990	0,0925	0,2992	0,0925
14,0	0,1961	0,0525	0,1959	0,0525	0,1961	0,0525
15,0	-0,0062	0,0001	-0,0062	0,0001	-0,0062	0,0001
16,0	-0,2320	-0,0100	-0,2321	-0,0100	-0,2320	-0,0100
17,0	-0,2552	0,0009	-0,2551	0,0009	-0,2552	0,0009
17,5	1,1436	-0,0160	1,1439	-0,0160	1,1436	-0,0160
18,0	-0,1955	0,0071	-0,1952	0,0071	-0,1955	0,0071

b)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,4007	0,0195	-0,4005	0,0195	-0,4007	0,0195
3,0	0,0426	-0,0018	0,0427	-0,0018	0,0426	-0,0018
4,0	0,1649	-0,0054	0,1649	-0,0054	0,1649	-0,0054
5,0	0,1184	-0,0027	0,1184	-0,0027	0,1184	-0,0027
6,0	0,0429	-0,0006	0,0429	-0,0006	0,0429	-0,0006
7,0	-0,0359	0,0002	-0,0359	0,0002	-0,0359	0,0002
8,0	-0,0577	-0,0002	-0,0577	-0,0002	-0,0577	-0,0002
9,0	-0,0526	-0,0004	-0,0526	-0,0004	-0,0526	-0,0004
10,0	-0,0343	-0,0004	-0,0342	-0,0004	-0,0343	-0,0004
11,0	0,0556	0,0007	0,0557	0,0007	0,0556	0,0007
12,0	0,2689	0,0029	0,2693	0,0029	0,2689	0,0029
13,0	0,7548	0,0059	0,7565	0,0059	0,7548	0,0059

14,0	2,6069	0,0112	2,6151	0,0112	2,6069	0,0112
15,0	2,1690	0,0011	2,1363	0,0011	2,1690	0,0011
16,0	-2,7950	0,0081	-2,7879	0,0081	-2,7950	0,0081
17,0	-0,7536	0,0041	-0,7512	0,0041	-0,7536	0,0041
17,5	-0,3353	-0,0021	-0,3355	-0,0021	-0,3353	-0,0021
18,0	-0,1660	0,0011	-0,1653	0,0011	-0,1660	0,0011

c)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ε3} (1/mm)	GT _{Zo3} (1/Ohm)	GT _{ε3} (1/mm)	GT _{Zo3} (1/Ohm)	GT _{ε3} (1/mm)	GT _{Zo3} (1/Ohm)
2,0	-0,6937	-0,1283	-0,6938	-0,1283	-0,6937	-0,1283
3,0	-0,9377	-0,1128	-0,9377	-0,1128	-0,9377	-0,1128
4,0	-0,6847	-0,0243	-0,6844	-0,0243	-0,6847	-0,0243
5,0	-0,2879	0,0432	-0,2875	0,0432	-0,2879	0,0432
6,0	0,1216	0,0831	0,1222	0,0831	0,1216	0,0831
7,0	0,4750	0,0721	0,4755	0,0721	0,4750	0,0721
8,0	0,5713	0,0373	0,5717	0,0373	0,5713	0,0373
9,0	0,6289	0,0075	0,6294	0,0075	0,6289	0,0075
10,0	0,7931	-0,0279	0,7934	-0,0279	0,7931	-0,0279
11,0	0,8753	-0,0668	0,8755	-0,0668	0,8753	-0,0668
12,0	0,7391	-0,0825	0,7391	-0,0825	0,7391	-0,0825
13,0	0,6055	-0,0843	0,6055	-0,0843	0,6055	-0,0843
14,0	0,5498	-0,0818	0,5496	-0,0818	0,5498	-0,0818
15,0	0,0191	-0,0031	0,0191	-0,0031	0,0191	-0,0031
16,0	-0,1558	-0,0060	-0,1561	-0,0060	-0,1558	-0,0060
17,0	-0,4000	-0,0035	-0,4003	-0,0035	-0,4000	-0,0035
17,5	2,6863	-0,0674	2,6878	-0,0674	2,6863	-0,0674
18,0	-0,4893	-0,0025	-0,4894	-0,0025	-0,4893	-0,0025

d)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ε4} (1/mm)	GT _{Zo4} (1/Ohm)	GT _{ε4} (1/mm)	GT _{Zo4} (1/Ohm)	GT _{ε4} (1/mm)	GT _{Zo4} (1/Ohm)
2,0	0,2116	-0,0285	0,2116	-0,0285	0,2116	-0,0285
3,0	0,5216	-0,0794	0,5215	-0,0794	0,5216	-0,0794
4,0	0,6163	-0,1074	0,6160	-0,1074	0,6163	-0,1074
5,0	0,4864	-0,1091	0,4861	-0,1091	0,4864	-0,1091
6,0	0,2418	-0,0995	0,2414	-0,0995	0,2418	-0,0995
7,0	0,0269	-0,0769	0,0263	-0,0769	0,0269	-0,0769
8,0	-0,1004	-0,0473	-0,1009	-0,0473	-0,1004	-0,0473
9,0	0,0178	-0,0154	0,0173	-0,0154	0,0178	-0,0154
10,0	0,4628	0,0085	0,4623	0,0085	0,4628	0,0085
11,0	0,9850	0,0099	0,9844	0,0099	0,9850	0,0099
12,0	1,1528	-0,0070	1,1519	-0,0070	1,1528	-0,0070
13,0	0,8926	-0,0223	0,8917	-0,0223	0,8926	-0,0223
14,0	0,4341	-0,0223	0,4336	-0,0223	0,4341	-0,0223

15,0	0,0164	-0,0008	0,0163	-0,0008	0,0164	-0,0008
16,0	0,2990	-0,0150	0,2986	-0,0150	0,2990	-0,0150
17,0	0,2683	-0,0238	0,2676	-0,0238	0,2683	-0,0238
17,5	-0,5567	0,0001	-0,5491	0,0001	-0,5567	0,0001
18,0	0,0581	-0,0254	0,0574	-0,0254	0,0581	-0,0254

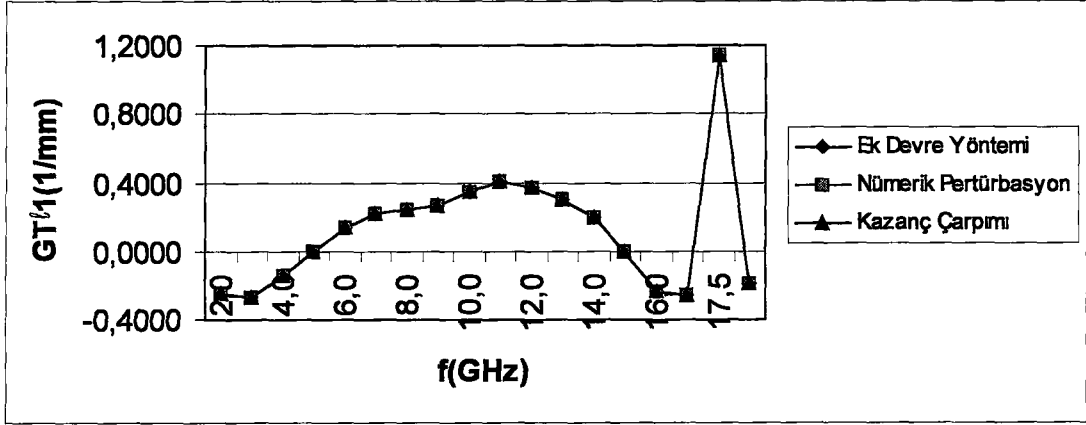
e)

	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ε5} (1/mm)	GT _{Zo5} (1/Ohm)	GT _{ε5} (1/mm)	GT _{Zo5} (1/Ohm)	GT _{ε5} (1/mm)	GT _{Zo5} (1/Ohm)
2,0	1,6402	0,0630	1,6405	0,0630	1,6402	0,0630
3,0	1,8821	0,0675	1,8825	0,0675	1,8821	0,0675
4,0	1,8332	0,0595	1,8335	0,0595	1,8332	0,0595
5,0	1,7496	0,0496	1,7498	0,0496	1,7496	0,0496
6,0	1,7474	0,0415	1,7475	0,0415	1,7474	0,0415
7,0	1,6236	0,0306	1,6237	0,0306	1,6236	0,0306
8,0	1,4408	0,0200	1,4408	0,0200	1,4408	0,0200
9,0	1,1279	0,0102	1,1279	0,0102	1,1279	0,0102
10,0	0,5651	0,0025	0,5651	0,0025	0,5651	0,0025
11,0	-0,0819	0,0000	-0,0819	0,0000	-0,0819	0,0000
12,0	-0,5418	0,0016	-0,5418	0,0016	-0,5418	0,0016
13,0	-0,6415	0,0036	-0,6415	0,0036	-0,6415	0,0036
14,0	-0,4566	0,0034	-0,4565	0,0034	-0,4566	0,0034
15,0	-0,0133	0,0001	-0,0133	0,0001	-0,0133	0,0001
16,0	-0,2545	0,0022	-0,2543	0,0022	-0,2545	0,0022
17,0	-0,4316	0,0036	-0,4311	0,0036	-0,4316	0,0036
17,5	0,0293	-0,0002	0,0299	-0,0002	0,0293	-0,0002
18,0	-0,5546	0,0041	-0,5535	0,0041	-0,5546	0,0041

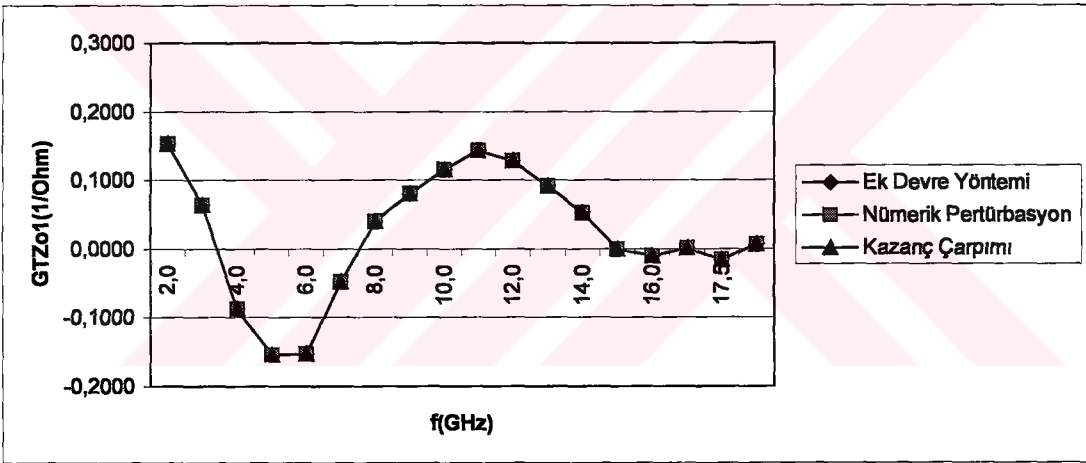
f)

	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ε6} (1/mm)	GT _{Zo6} (1/Ohm)	GT _{ε6} (1/mm)	GT _{Zo6} (1/Ohm)	GT _{ε6} (1/mm)	GT _{Zo6} (1/Ohm)
2,0	-0,4012	-0,0723	-0,4013	-0,0723	-0,4012	-0,0723
3,0	-0,3696	-0,1049	-0,3697	-0,1049	-0,3696	-0,1049
4,0	-0,0618	-0,1077	-0,0620	-0,1077	-0,0618	-0,1077
5,0	0,2977	-0,1069	0,2974	-0,1069	0,2977	-0,1069
6,0	0,6684	-0,1172	0,6680	-0,1172	0,6684	-0,1172
7,0	0,9878	-0,1237	0,9873	-0,1237	0,9878	-0,1237
8,0	1,2142	-0,1386	1,2135	-0,1386	1,2142	-0,1386
9,0	1,3010	-0,1588	1,3002	-0,1588	1,3010	-0,1588
10,0	1,0984	-0,1626	1,0976	-0,1626	1,0984	-0,1626
11,0	0,6823	-0,1400	0,6816	-0,1400	0,6823	-0,1400
12,0	0,2758	-0,0979	0,2750	-0,0979	0,2758	-0,0979
13,0	0,0937	-0,0556	0,0931	-0,0556	0,0937	-0,0556
14,0	0,0672	-0,0237	0,0667	-0,0237	0,0672	-0,0237
15,0	0,0084	-0,0006	0,0083	-0,0006	0,0084	-0,0006

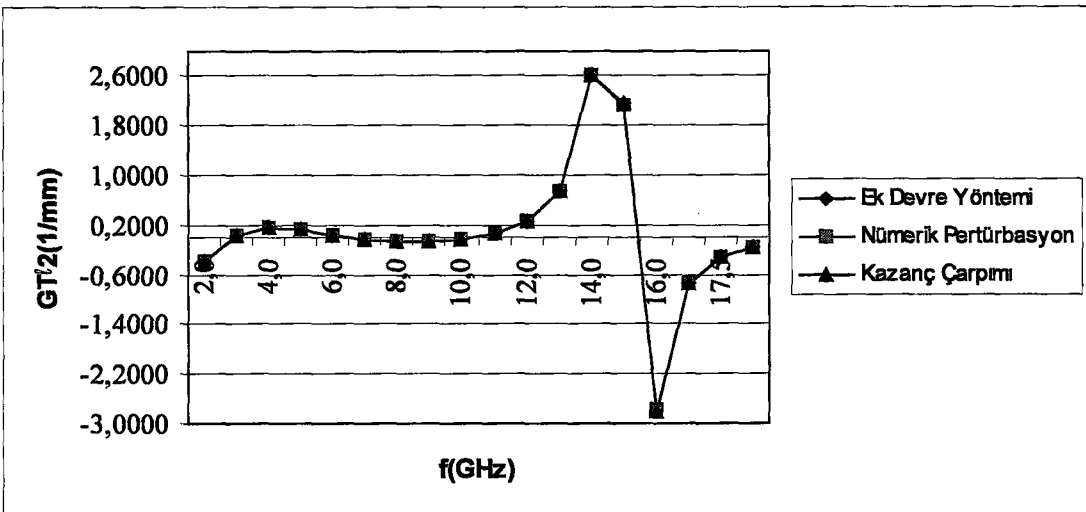
16,0	0,2555	-0,0073	0,2552	-0,0073	0,2555	-0,0073
17,0	0,5268	-0,0058	0,5261	-0,0058	0,5268	-0,0058
17,5	-0,1356	0,0006	-0,1342	0,0006	-0,1356	0,0006
18,0	0,7871	-0,0002	0,7862	-0,0002	0,7871	-0,0002



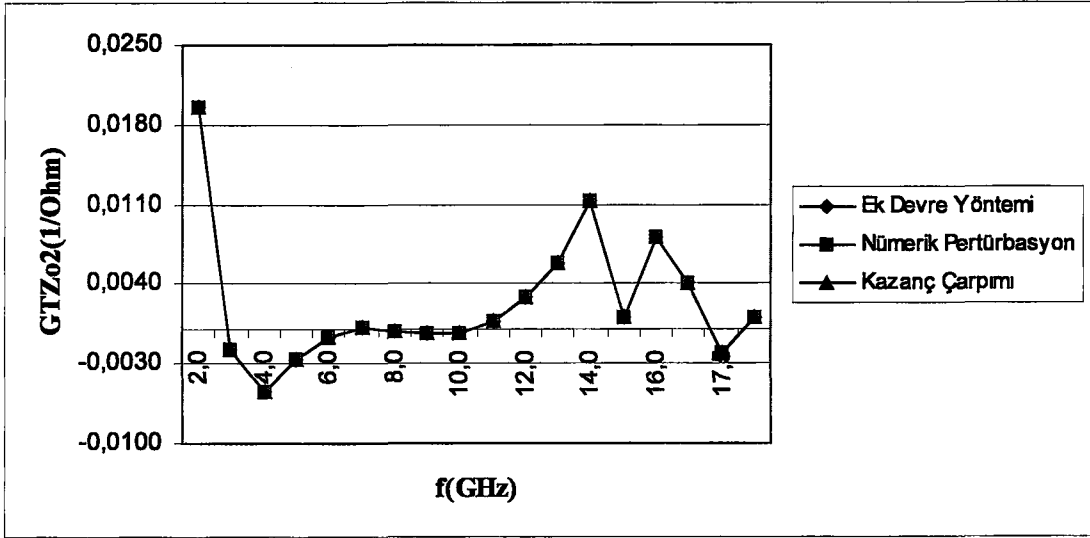
a.1)



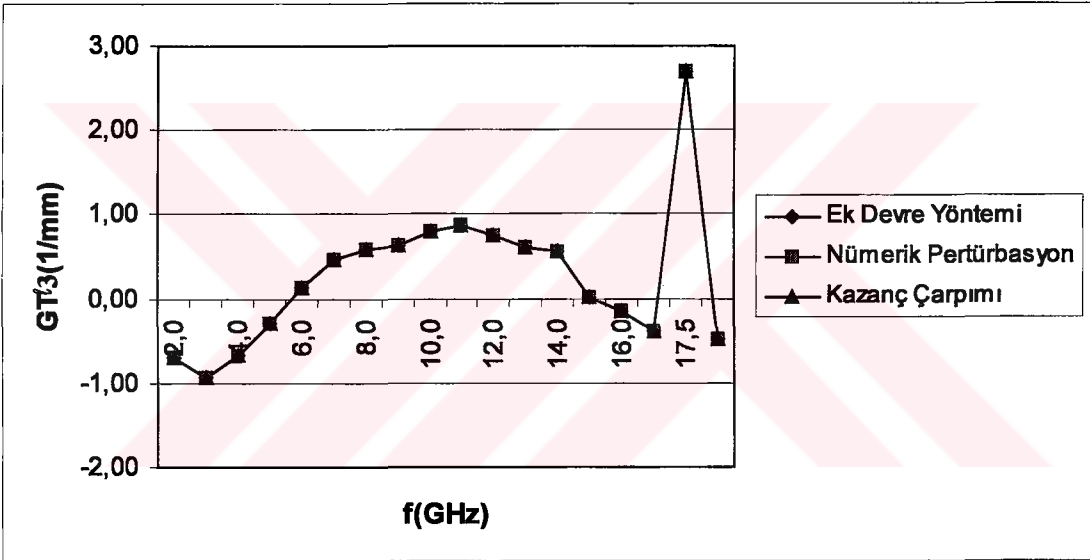
a.2)



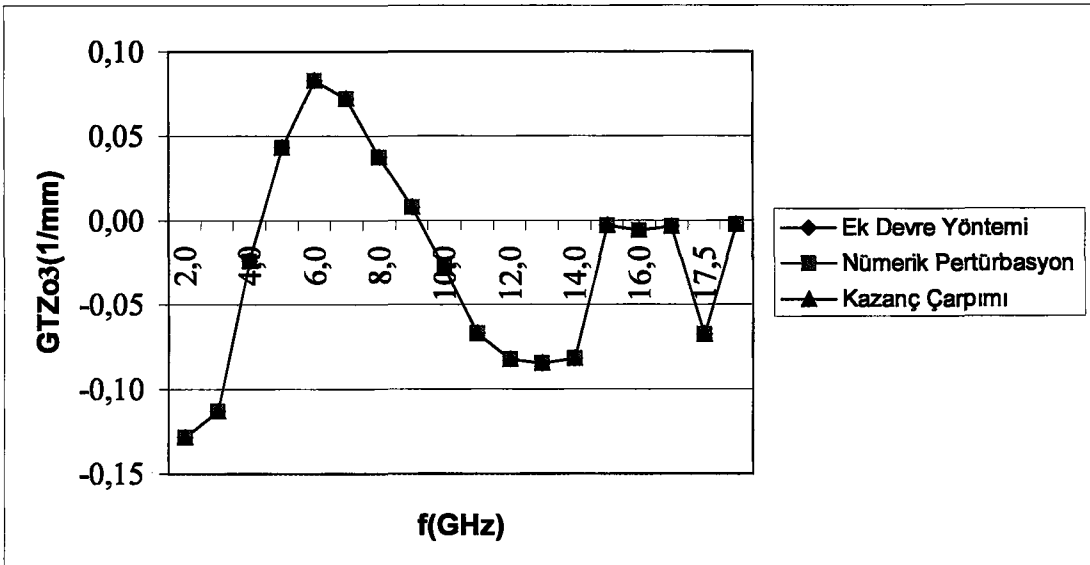
b.1)



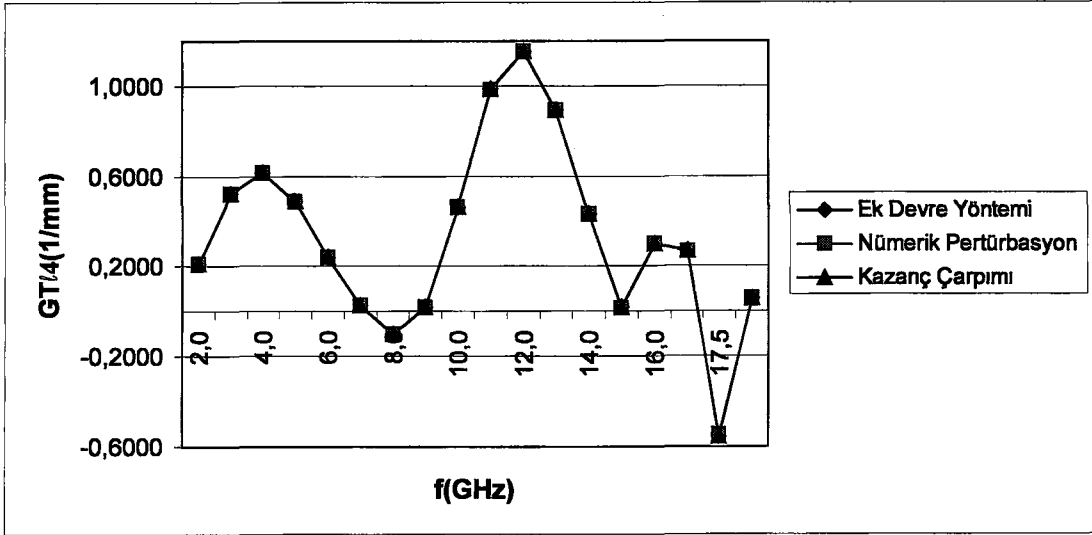
b.2)



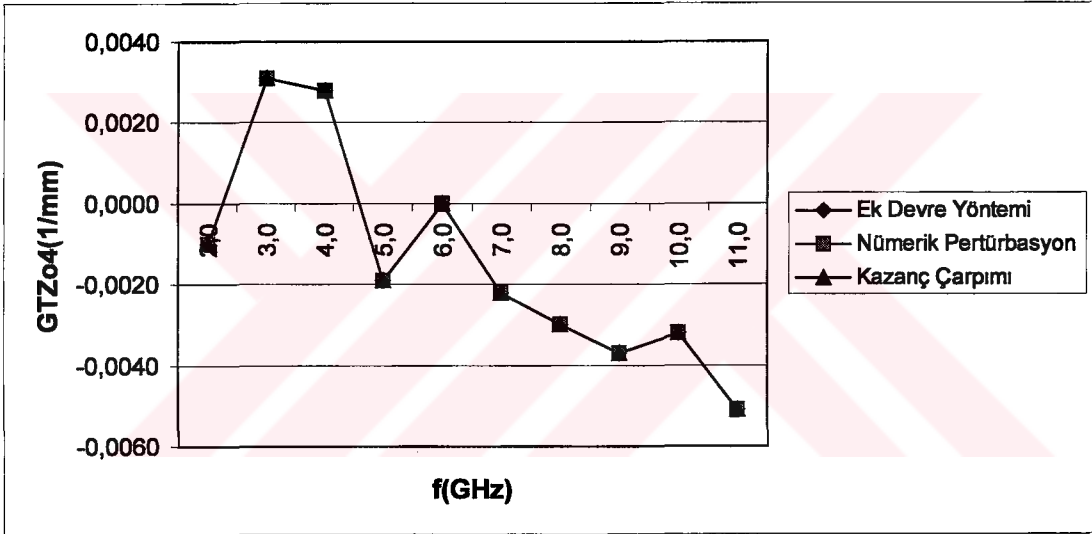
c.1)



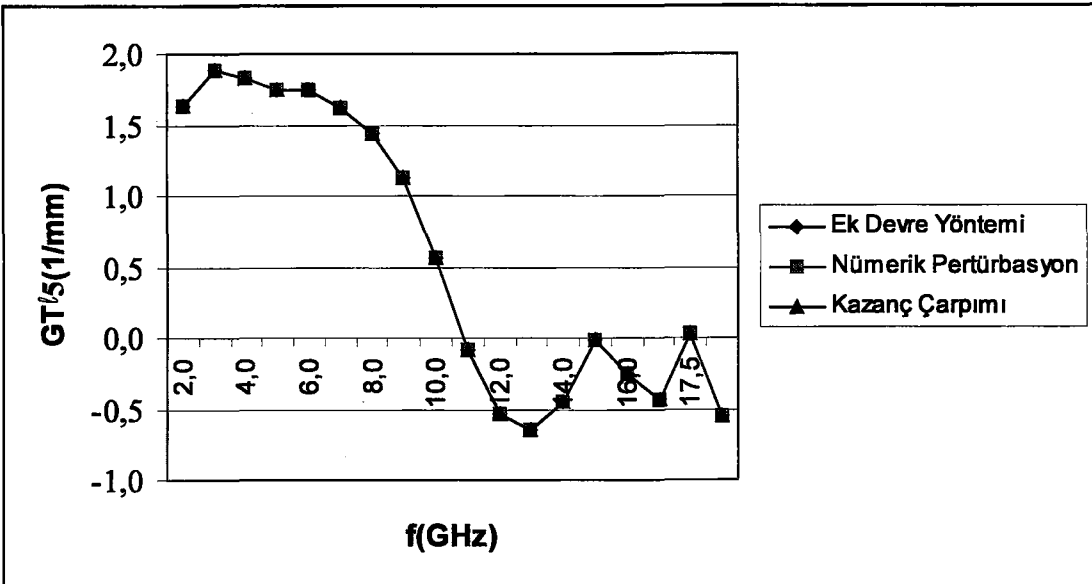
c.2)



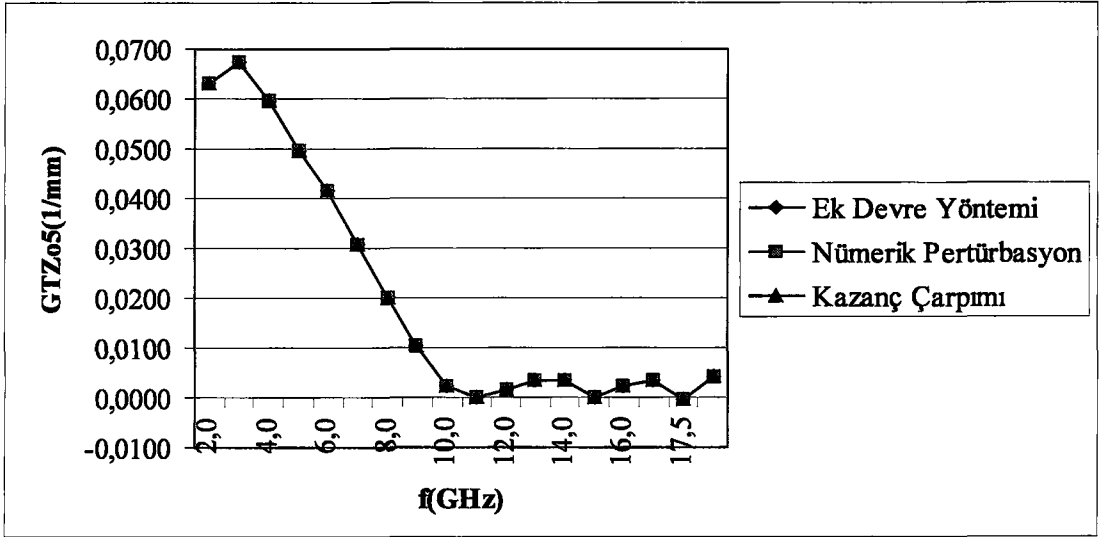
d.1)



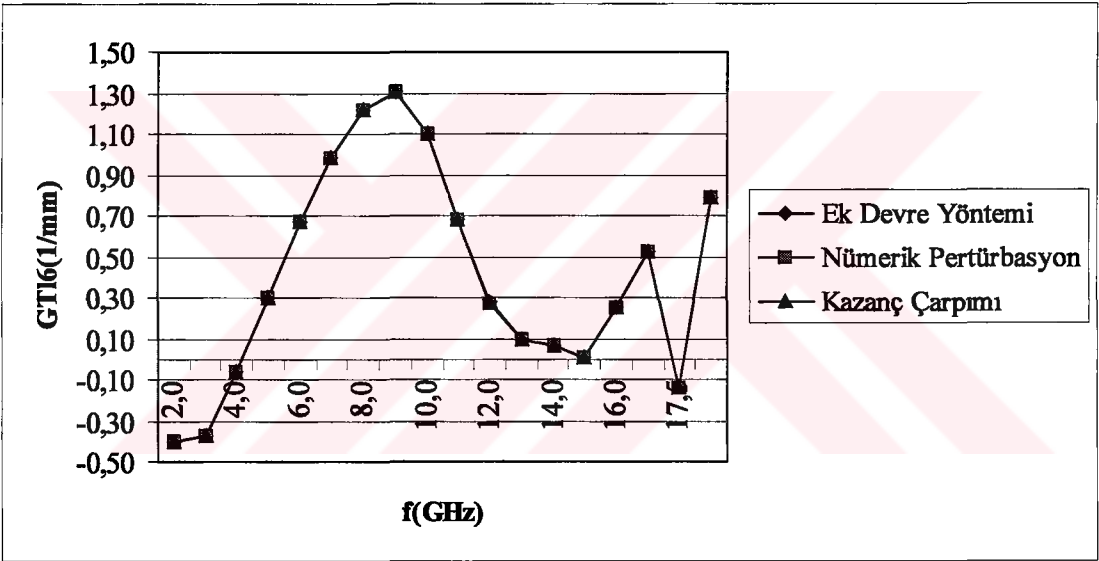
d.2)



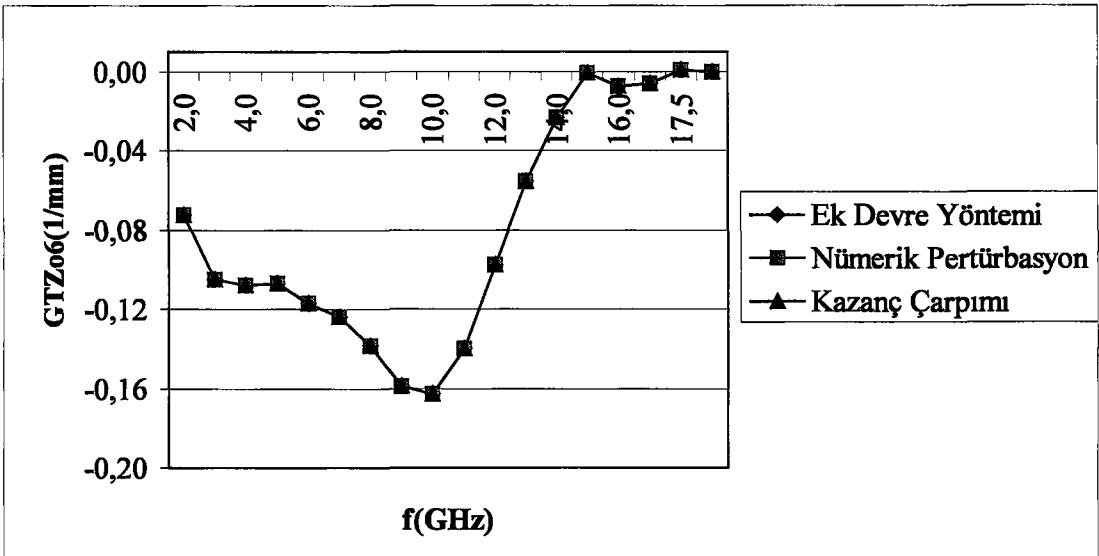
e.1)



e.2)



f.1)



f.2)

Şekil 6.17 IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için

a) 1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; d) ℓ_4 , Z_{04} ; e) ℓ_5 , Z_{05} ; f) ℓ_6 , Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri

6.1.2.3 IMC(Π - Tipi) ($Z_S = 50 \Omega$, $Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i)$, $i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$),

OMC(Π - Tipi) ($Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$),

IMC(Π - Tipi) -Transistor(NE329S01) –OMC(Π - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları

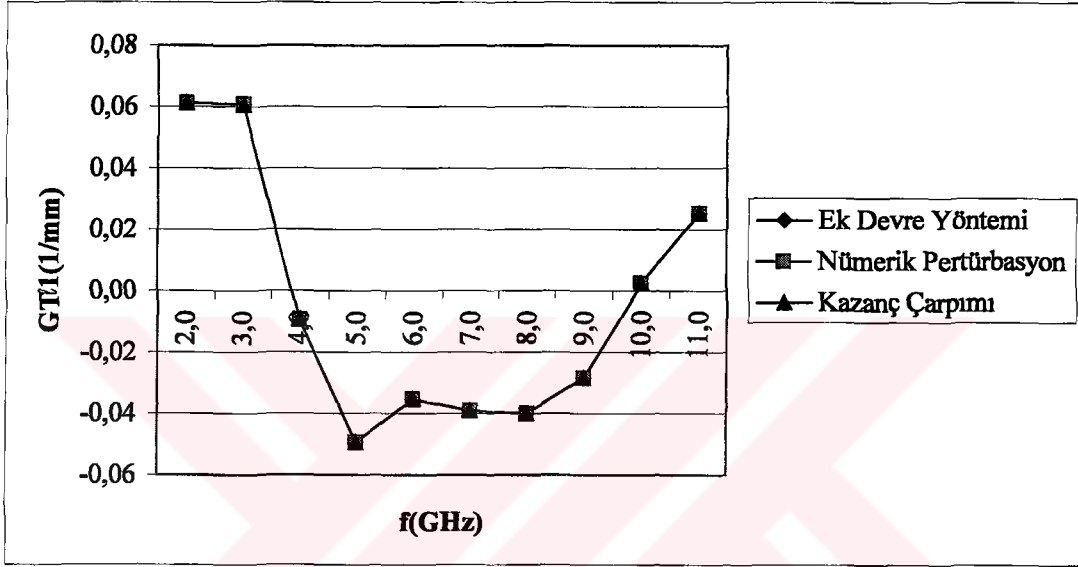
Çizelge 6.17 IMC(Π tipi) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı frekans değerleri

a)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)
2,0	0,0612	-0,0028	0,0614	-0,0028	0,0612	-0,0028
3,0	0,0607	-0,0027	0,0608	-0,0027	0,0607	-0,0027
4,0	-0,0094	0,0004	-0,0093	0,0004	-0,0094	0,0004
5,0	-0,0495	0,0020	-0,0494	0,0020	-0,0495	0,0020
6,0	-0,0353	0,0014	-0,0353	0,0014	-0,0353	0,0014
7,0	-0,0392	0,0014	-0,0392	0,0014	-0,0392	0,0014
8,0	-0,0399	0,0014	-0,0399	0,0014	-0,0399	0,0014
9,0	-0,0285	0,0009	-0,0285	0,0009	-0,0285	0,0009
10,0	0,0024	-0,0001	0,0024	-0,0001	0,0024	-0,0001
11,0	0,0252	-0,0006	0,0252	-0,0006	0,0252	-0,0006

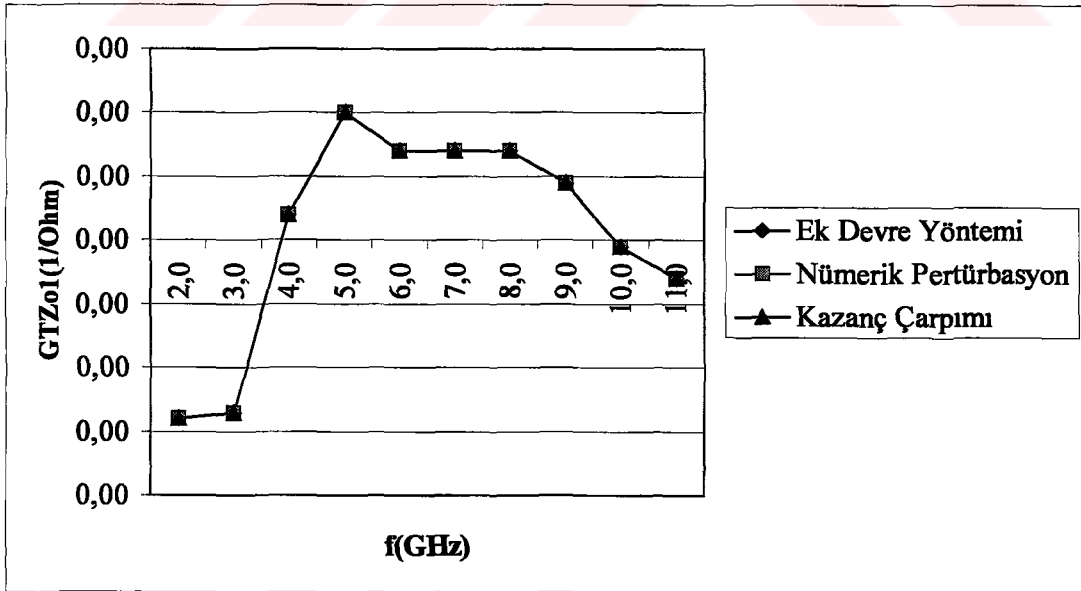
b)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ℓ2} (1/mm)	GT _{Z02} (1/Ohm)	GT _{ℓ2} (1/mm)	GT _{Z02} (1/Ohm)	GT _{ℓ2} (1/mm)	GT _{Z02} (1/Ohm)
2,0	-0,0123	0,0036	-0,0121	0,0036	-0,0123	0,0036
3,0	-0,0050	0,0039	-0,0049	0,0039	-0,0050	0,0039
4,0	-0,0128	-0,0002	-0,0127	-0,0002	-0,0128	-0,0002
5,0	-0,0167	-0,0051	-0,0167	-0,0051	-0,0167	-0,0051
6,0	-0,0100	-0,0041	-0,0100	-0,0041	-0,0100	-0,0041
7,0	-0,0055	-0,0036	-0,0054	-0,0036	-0,0055	-0,0036
8,0	-0,0163	-0,0042	-0,0163	-0,0042	-0,0163	-0,0042
9,0	-0,0316	-0,0053	-0,0316	-0,0053	-0,0316	-0,0053
10,0	-0,0197	-0,0031	-0,0020	-0,0031	-0,0020	-0,0031
11,0	-0,0070	-0,0023	-0,0070	-0,0023	-0,0070	-0,0023

c)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ℓ3} (1/mm)	GT _{Z03} (1/Ohm)	GT _{ℓ3} (1/mm)	GT _{Z03} (1/Ohm)	GT _{ℓ3} (1/mm)	GT _{Z03} (1/Ohm)
2,0	0,0149	0,0004	0,0160	0,0004	0,0149	0,0004
3,0	0,0188	0,0005	0,0191	0,0005	0,0188	0,0005

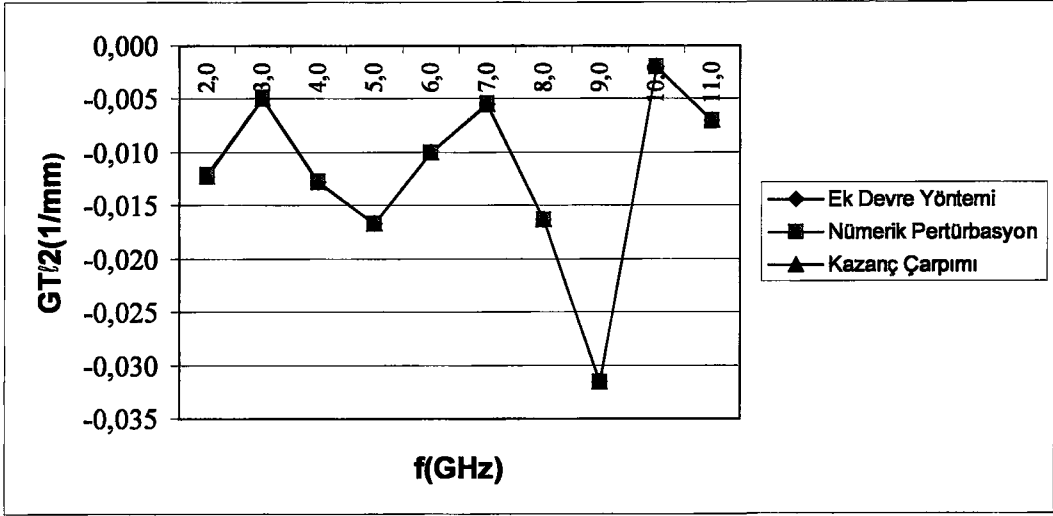
4,0	-0,0225	-0,0006	-0,0224	-0,0006	-0,0225	-0,0006
5,0	-0,0230	-0,0006	-0,0229	-0,0006	-0,0230	-0,0006
6,0	-0,0042	-0,0001	-0,0042	-0,0001	-0,0042	-0,0001
7,0	0,0082	0,0002	0,0082	0,0002	0,0082	0,0002
8,0	0,0077	0,0001	0,0077	0,0001	0,0077	0,0001
9,0	0,0046	0,0001	0,0046	0,0001	0,0046	0,0001
10,0	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
11,0	-0,0013	0,0000	-0,0013	0,0000	-0,0013	0,0000



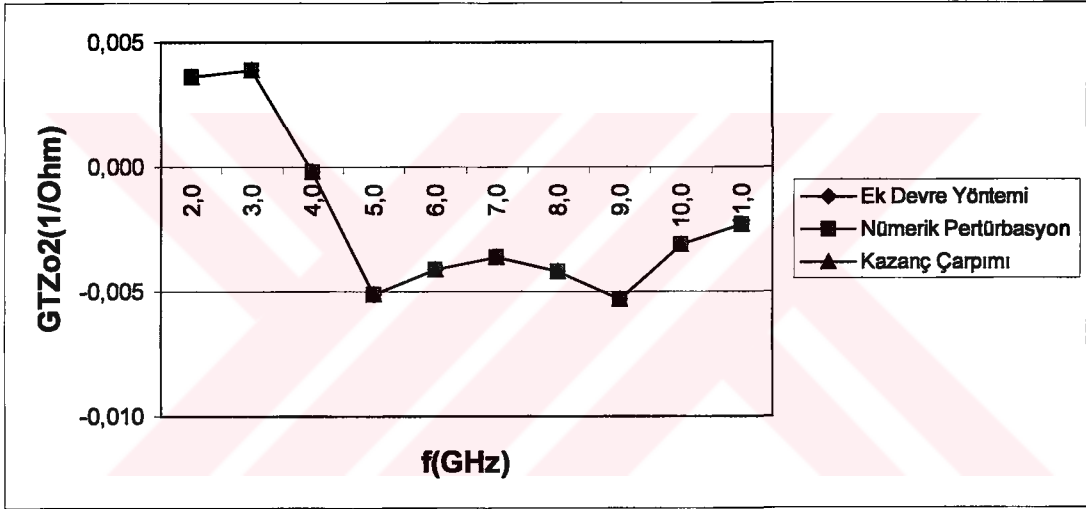
a.1)



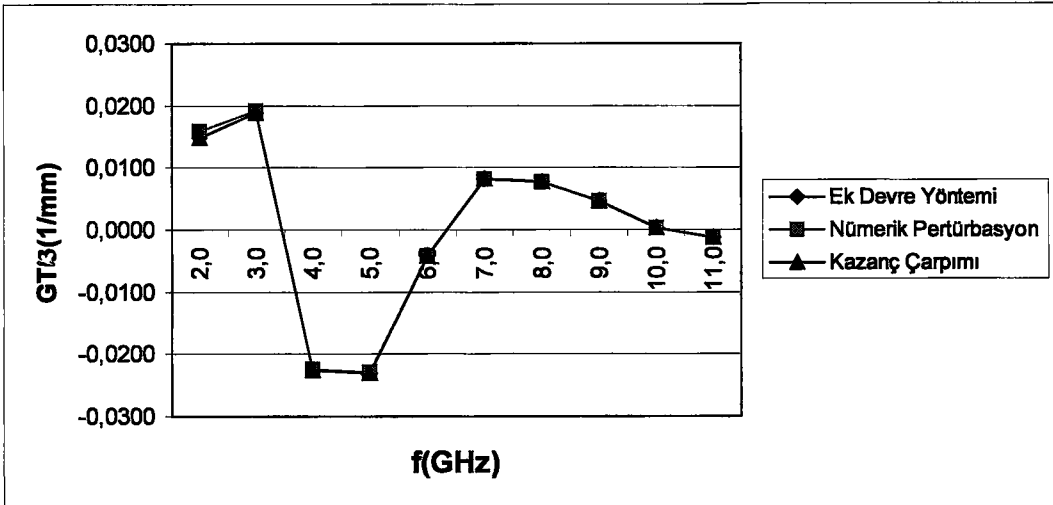
a.2)



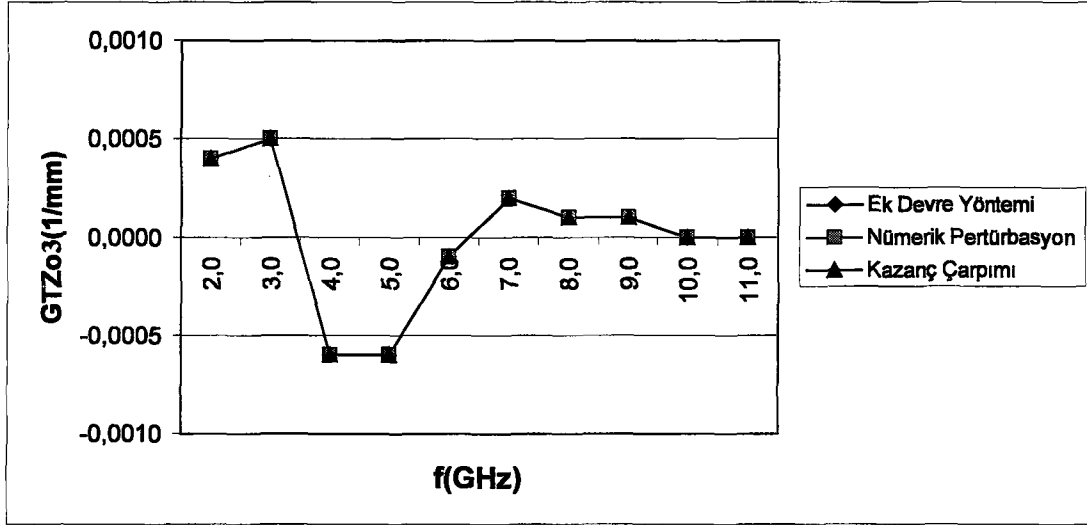
b.1)



b.2)



c.1)



c.2)

Şekil 6.18 IMC(Π tipi) devresi için a) 1) ℓ_1 2) Z_{01} b) 1) ℓ_2 2) Z_{02} c) 1) ℓ_3 2) Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı frekans eğrileri

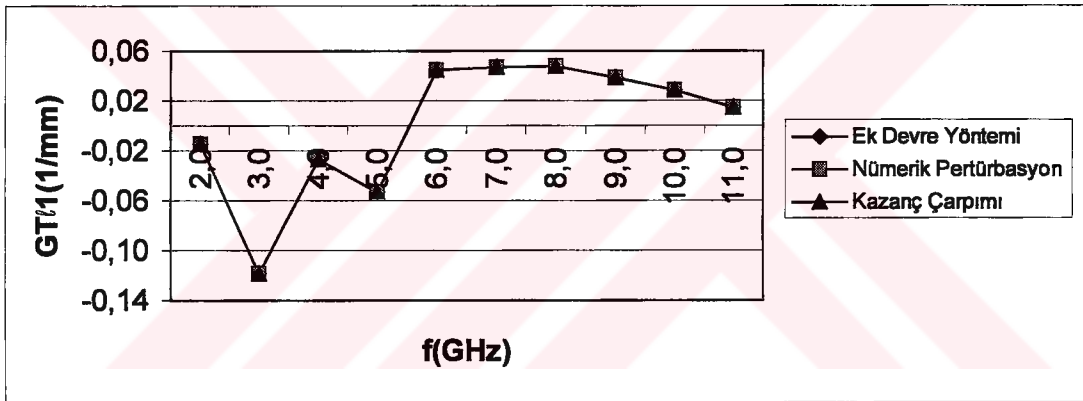
Çizelge 6.18 OMC(Π tipi) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı- frekans değerleri

a)		Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)		$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$
2,0		-0,0147	0,0005	-0,0147	0,0005	-0,0147	0,0005
3,0		-0,1184	0,0037	-0,1183	0,0037	-0,1184	0,0037
4,0		-0,0272	0,0008	-0,0272	0,0008	-0,0272	0,0008
5,0		-0,0531	0,0013	-0,0531	0,0013	-0,0531	0,0013
6,0		0,0444	-0,0009	0,0444	-0,0009	0,0444	-0,0009
7,0		0,0473	-0,0007	0,0473	-0,0007	0,0473	-0,0007
8,0		0,0474	-0,0005	0,0474	-0,0005	0,0474	-0,0005
9,0		0,0387	-0,0002	0,0387	-0,0002	0,0387	-0,0002
10,0		0,0284	-0,0001	0,0284	-0,0001	0,0284	-0,0001
11,0		0,0144	0,0000	0,0144	0,0000	0,0144	0,0000

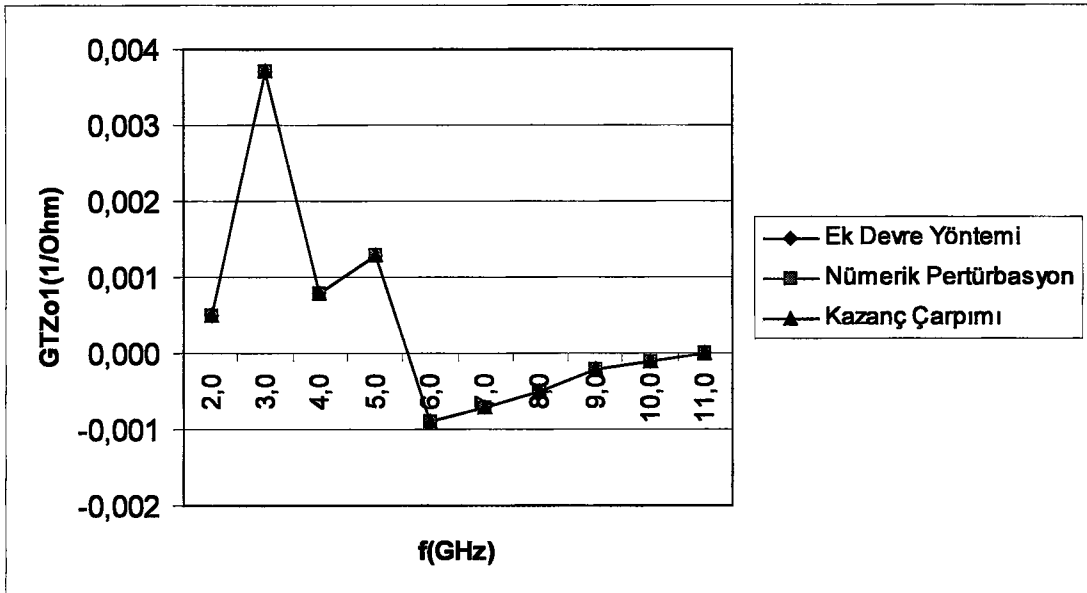
b)		Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)		$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$
2,0		0,0001	-0,0004	0,0001	-0,0004	0,0001	-0,0004
3,0		-0,0484	0,0022	-0,0484	0,0022	-0,0484	0,0022
4,0		-0,0180	0,0016	-0,0180	0,0016	-0,0180	0,0016
5,0		-0,0362	0,0007	-0,0361	0,0007	-0,0362	0,0007
6,0		0,0393	0,0007	0,0393	0,0007	0,0393	0,0007
7,0		0,0502	0,0003	0,0502	0,0003	0,0502	0,0003
8,0		0,0537	-0,0002	0,0537	-0,0002	0,0537	-0,0002
9,0		0,0436	-0,0003	0,0436	-0,0003	0,0436	-0,0003

10,0	-0,0168	-0,0012	-0,0168	-0,0012	-0,0168	-0,0012
11,0	-0,0454	-0,0003	-0,0454	-0,0003	-0,0454	-0,0003

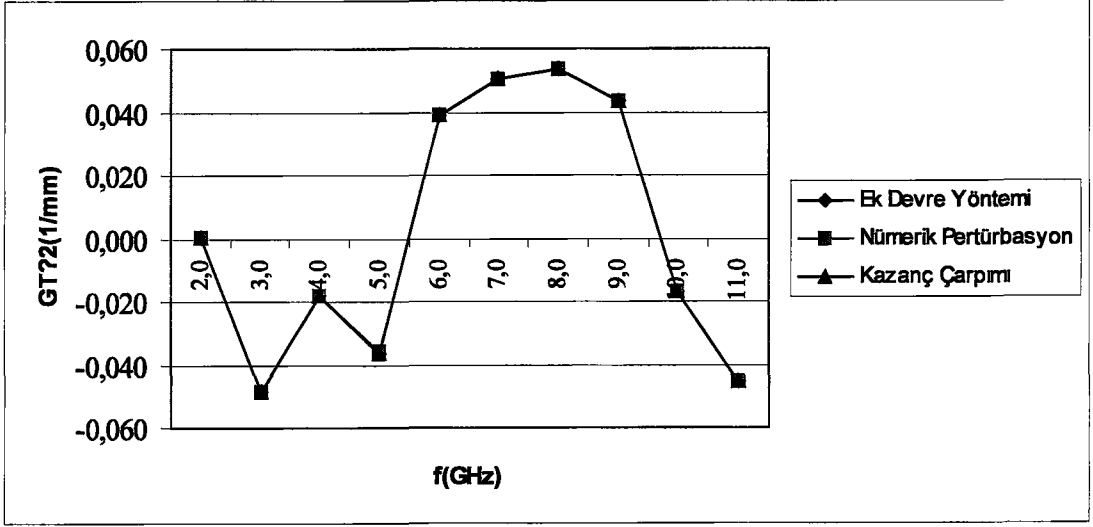
c)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,0052	0,0002	-0,0052	0,0002	-0,0052	0,0002
3,0	0,0110	-0,0004	0,0110	-0,0004	0,0110	-0,0004
4,0	0,0071	-0,0002	0,0071	-0,0002	0,0071	-0,0002
5,0	0,0084	-0,0002	0,0084	-0,0002	0,0084	-0,0002
6,0	-0,0071	0,0001	-0,0071	0,0001	-0,0071	0,0001
7,0	-0,0090	0,0001	-0,0090	0,0001	-0,0090	0,0001
8,0	-0,0092	0,0001	-0,0092	0,0001	-0,0092	0,0001
9,0	-0,0066	0,0000	-0,0066	0,0000	-0,0066	0,0000
10,0	0,0036	0,0000	0,0036	0,0000	0,0036	0,0000
11,0	0,0096	0,0001	0,0096	0,0001	0,0096	0,0001



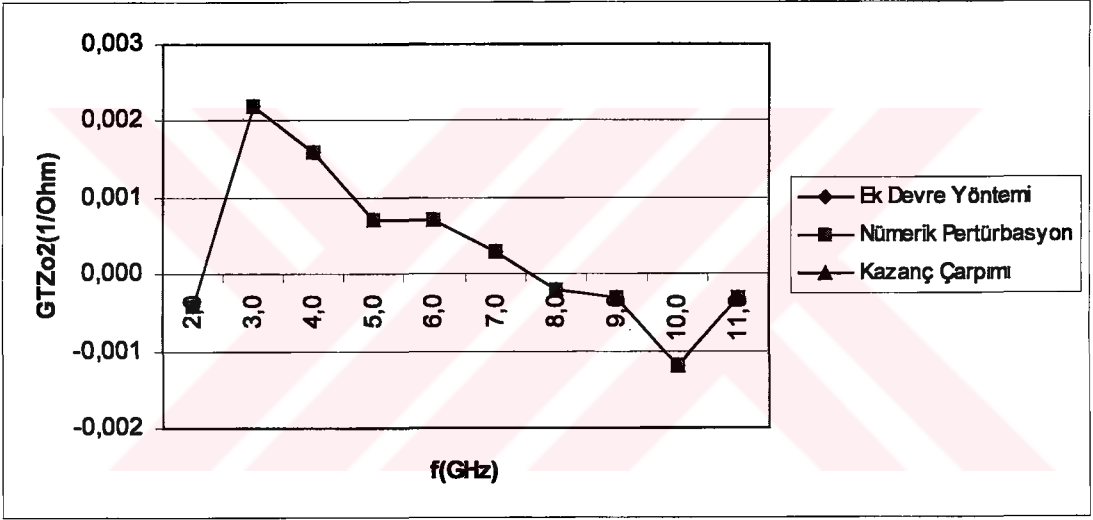
a.1)



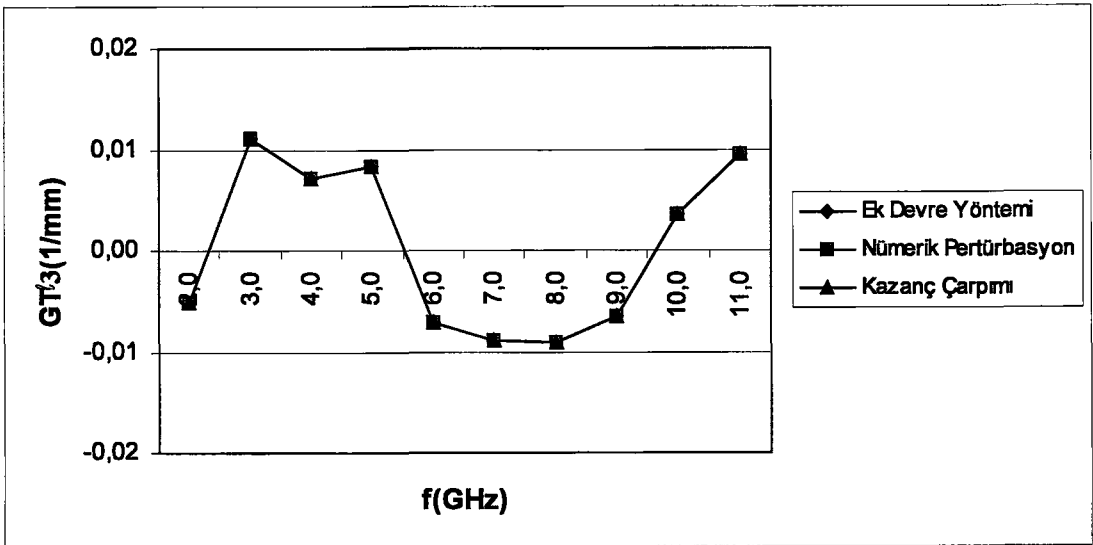
a.2)



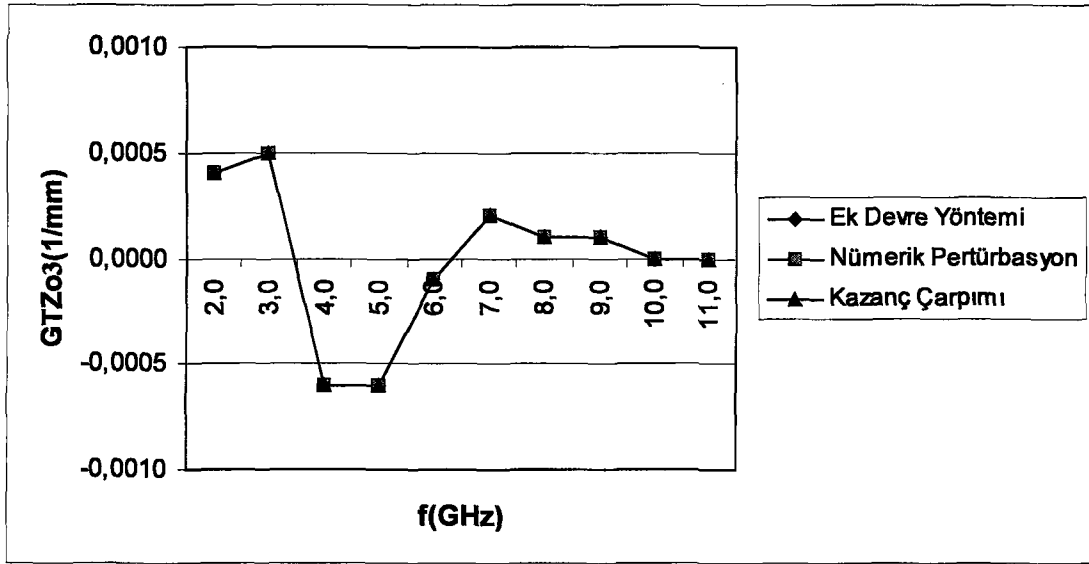
b.1)



b.2)



c.1)



c.2)

Şekil 6.19 OMC(II tipi) devresi için a) 1) ℓ_1 2) Z_{01} b) 1) ℓ_2 2) Z_{02} c) 1) ℓ_3 2) Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı frekans eğrileri

Çizelge 6.19 IMC(II tipi) –Transistor (NE329S01)-OMC(II) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} d) ℓ_4 , Z_{04} e) ℓ_5 , Z_{05} f) ℓ_6 , Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans değerleri

a)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$
2,0	6,9679	-0,3149	6,9792	-0,3149	6,9679	-0,3149
3,0	1,6313	-0,0721	1,6382	-0,0721	1,6313	-0,0721
4,0	-0,1096	0,0047	-0,1060	0,0047	-0,1096	0,0047
5,0	-0,6522	0,0268	-0,6499	0,0268	-0,6522	0,0268
6,0	-0,8149	0,0317	-0,8130	0,0317	-0,8149	0,0317
7,0	-0,9070	0,0331	-0,9054	0,0331	-0,9070	0,0331
8,0	-0,9167	0,0311	-0,9150	0,0311	-0,9167	0,0311
9,0	-0,5043	0,0156	-0,5027	0,0156	-0,5043	0,0156
10,0	0,4051	-0,0113	0,4061	-0,0113	0,4051	-0,0113
11,0	1,0077	-0,0250	1,0079	-0,0250	1,0077	-0,0250
12,0	0,8794	-0,0189	0,8794	-0,0189	0,8794	-0,0189
13,0	0,5417	-0,0099	0,5418	-0,0099	0,5417	-0,0099
14,0	0,3565	-0,0053	0,3566	-0,0053	0,3565	-0,0053
15,0	0,3233	-0,0038	0,3233	-0,0038	0,3233	-0,0038
16,0	0,2611	-0,0022	0,2611	-0,0022	0,2611	-0,0022
17,0	0,1727	-0,0010	0,1726	-0,0010	0,1727	-0,0010
17,5	3,3181	0,0141	3,3063	0,0141	3,3181	0,0141
18,0	0,0373	-0,0001	0,0373	-0,0001	0,0373	-0,0001

b)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$

2,0	2,0835	-0,1208	2,0957	-0,1208	2,0835	-0,1208
3,0	-0,1984	0,1104	-0,1934	0,1104	-0,1984	0,1104
4,0	-0,3217	0,0039	-0,3195	0,0039	-0,3217	0,0039
5,0	-0,2688	-0,0683	-0,2675	-0,0683	-0,2688	-0,0683
6,0	-0,3627	-0,1057	-0,3617	-0,1057	-0,3627	-0,1057
7,0	-0,3841	-0,1162	-0,3835	-0,1162	-0,3841	-0,1162
8,0	-0,7871	-0,1617	-0,7866	-0,1617	-0,7871	-0,1617
9,0	-1,2636	-0,2112	-1,2629	-0,2112	-1,2636	-0,2112
10,0	-1,0852	-0,1815	-1,0839	-0,1815	-1,0852	-0,1815
11,0	-0,3616	-0,1036	-0,3600	-0,1036	-0,3616	-0,1036
12,0	0,1158	-0,0457	0,1170	-0,0456	0,1158	-0,0457
13,0	0,1973	-0,0181	0,1980	-0,0181	0,1973	-0,0181
14,0	0,1158	-0,0061	0,1163	-0,0061	0,1158	-0,0061
15,0	0,0226	0,0055	0,0229	0,0055	0,0226	0,0055
16,0	0,0054	0,0149	0,0056	0,0149	0,0054	0,0149
17,0	0,0110	0,0172	0,0111	0,0172	0,0110	0,0172
17,5	0,2024	-0,0164	0,2020	-0,0164	0,2024	-0,0164
18,0	0,0010	0,0056	0,0010	0,0056	0,0010	0,0056

c)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{İ3} (1/mm)	GT _{Zo3} (1/Ohm)	GT _{İ3} (1/mm)	GT _{Zo3} (1/Ohm)	GT _{İ3} (1/mm)	GT _{Zo3} (1/Ohm)
2,0	8,5819	0,2506	8,6751	0,2506	8,5819	0,2506
3,0	0,3864	0,0109	0,4133	0,0109	0,3864	0,0109
4,0	-0,5363	-0,0143	-0,5294	-0,0143	-0,5363	-0,0143
5,0	-0,3666	-0,0091	-0,3645	-0,0091	-0,3666	-0,0091
6,0	-0,2317	-0,0053	-0,2309	-0,0053	-0,2317	-0,0053
7,0	0,0007	0,0000	0,0011	0,0000	0,0007	0,0000
8,0	-0,0040	-0,0001	-0,0038	-0,0001	-0,0040	-0,0001
9,0	-0,0398	-0,0006	-0,0397	-0,0006	-0,0398	-0,0006
10,0	-0,0523	-0,0006	-0,0523	-0,0006	-0,0523	-0,0006
11,0	-0,0356	-0,0003	-0,0356	-0,0003	-0,0356	-0,0003
12,0	0,0280	0,0002	0,0280	0,0002	0,0280	0,0002
13,0	0,0801	0,0003	0,0802	0,0003	0,0801	0,0003
14,0	0,1223	0,0002	0,1223	0,0002	0,1223	0,0002
15,0	0,1552	0,0000	0,1552	0,0000	0,1552	0,0000
16,0	0,1303	-0,0003	0,1303	-0,0003	0,1303	-0,0003
17,0	0,0933	-0,0003	0,0933	-0,0003	0,0933	-0,0003
17,5	0,1121	-0,0005	0,1120	-0,0005	0,1121	-0,0005
18,0	0,0207	-0,0001	0,0207	-0,0001	0,0207	-0,0001

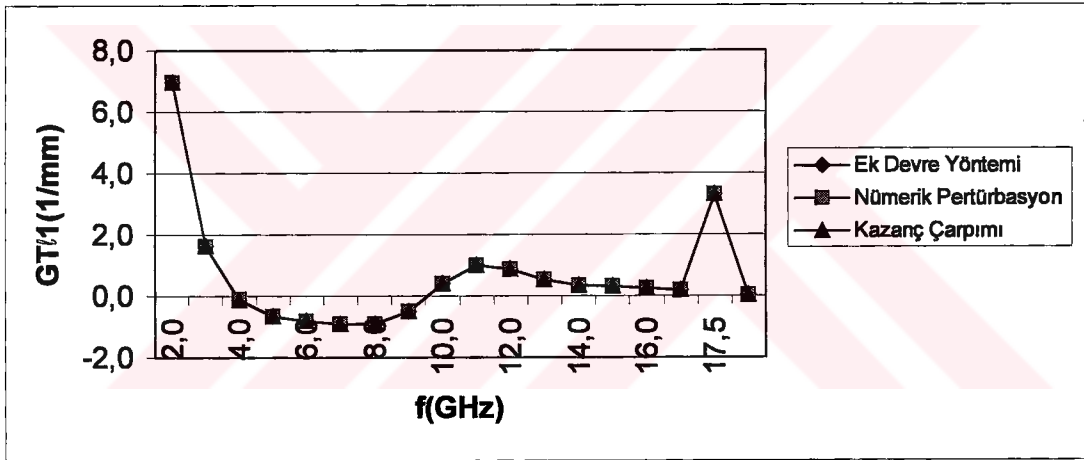
d)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{İ4} (1/mm)	GT _{Zo4} (1/Ohm)	GT _{İ4} (1/mm)	GT _{Zo4} (1/Ohm)	GT _{İ4} (1/mm)	GT _{Zo4} (1/Ohm)
2,0	-2,6288	0,0878	-2,6285	0,0878	-2,6288	0,0878

3,0	-2,1258	0,0658	-2,1254	0,0658	-2,1258	0,0658
4,0	-1,5001	0,0415	-1,4998	0,0415	-1,5001	0,0415
5,0	-1,1644	0,0277	-1,1641	0,0277	-1,1644	0,0277
6,0	-1,0832	0,0211	-1,0829	0,0211	-1,0832	0,0211
7,0	-0,8899	0,0133	-0,8897	0,0133	-0,8899	0,0133
8,0	-0,6934	0,0072	-0,6933	0,0072	-0,6934	0,0072
9,0	-0,4318	0,0026	-0,4317	0,0026	-0,4318	0,0026
10,0	-0,2026	0,0004	-0,2026	0,0004	-0,2026	0,0004
11,0	-0,1210	-0,0002	-0,1210	-0,0002	-0,1210	-0,0002
12,0	-0,1812	-0,0007	-0,1812	-0,0007	-0,1812	-0,0007
13,0	-0,1984	-0,0012	-0,1984	-0,0012	-0,1984	-0,0012
14,0	-0,0799	-0,0006	-0,0799	-0,0006	-0,0799	-0,0006
15,0	0,1820	0,0014	0,1822	0,0014	0,1820	0,0014
16,0	0,4816	0,0036	0,4822	0,0036	0,4816	0,0036
17,0	0,5877	0,0039	0,5883	0,0039	0,5877	0,0039
17,5	-0,0052	0,0000	-0,0052	0,0000	-0,0052	0,0000
18,0	0,2156	0,0012	0,2159	0,0012	0,2156	0,0012

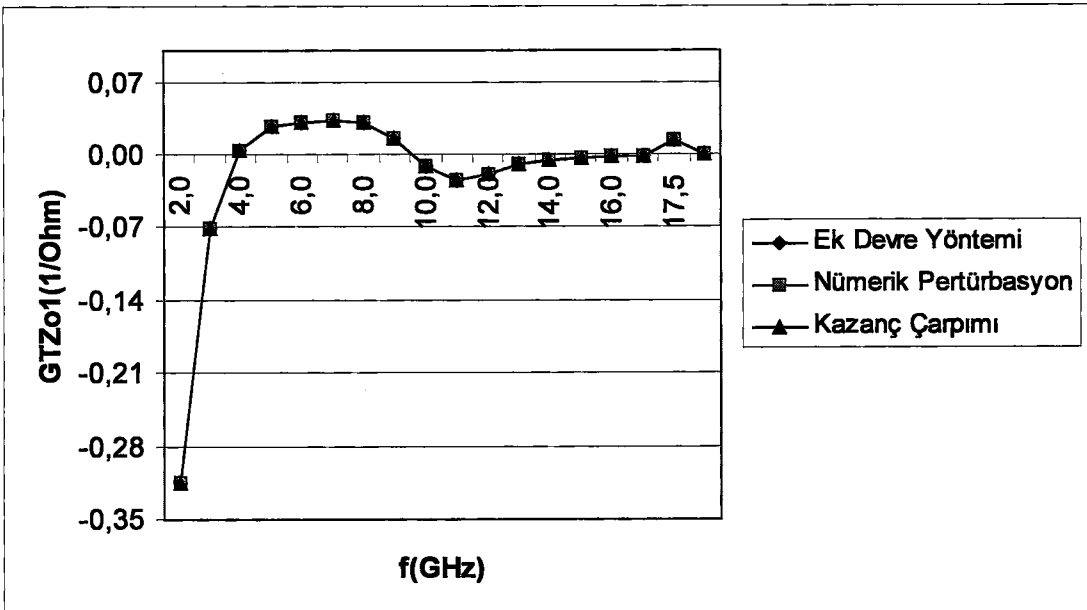
e)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ℓ5} (1/mm)	GT _{Z05} (1/Ohm)	GT _{ℓ5} (1/mm)	GT _{Z05} (1/Ohm)	GT _{ℓ5} (1/mm)	GT _{Z05} (1/Ohm)
2,0	0,7455	-0,1912	0,7453	-0,1912	0,7455	-0,1912
3,0	0,4982	-0,2562	0,4980	-0,2562	0,4982	-0,2562
4,0	0,0115	-0,2621	0,0112	-0,2621	0,0115	-0,2621
5,0	-0,5947	-0,2552	-0,5951	-0,2552	-0,5947	-0,2552
6,0	-1,4691	-0,2649	-1,4698	-0,2649	-1,4691	-0,2649
7,0	-2,3915	-0,2463	-2,3926	-0,2463	-2,3915	-0,2463
8,0	-3,3099	-0,2056	-3,3112	-0,2056	-3,3099	-0,2056
9,0	-3,7273	-0,1369	-3,7276	-0,1369	-3,7273	-0,1369
10,0	-2,8196	-0,0508	-2,8172	-0,0508	-2,8196	-0,0508
11,0	-0,3527	-0,0005	-0,3480	-0,0005	-0,3527	-0,0005
12,0	1,9909	-0,0178	1,9941	-0,0178	1,9909	-0,0178
13,0	2,6871	-0,0549	2,6877	-0,0549	2,6871	-0,0549
14,0	2,4903	-0,0762	2,4895	-0,0762	2,4903	-0,0762
15,0	2,0179	-0,0786	2,0164	-0,0786	2,0179	-0,0786
16,0	1,3586	-0,0622	1,3570	-0,0622	1,3586	-0,0622
17,0	0,6058	-0,0330	0,6048	-0,0330	0,6058	-0,0330
17,5	-0,0501	0,0002	-0,0500	0,0002	-0,0501	0,0002
18,0	0,0495	-0,0058	0,0494	-0,0058	0,0495	-0,0058

f)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ℓ6} (1/mm)	GT _{Z06} (1/Ohm)	GT _{ℓ6} (1/mm)	GT _{Z06} (1/Ohm)	GT _{ℓ6} (1/mm)	GT _{Z06} (1/Ohm)
2,0	-1,8572	0,0712	-1,8571	0,0712	-1,8572	0,0712
3,0	-1,2470	0,0433	-1,2469	0,0433	-1,2470	0,0433
4,0	-0,6410	0,0192	-0,6409	0,0192	-0,6410	0,0192

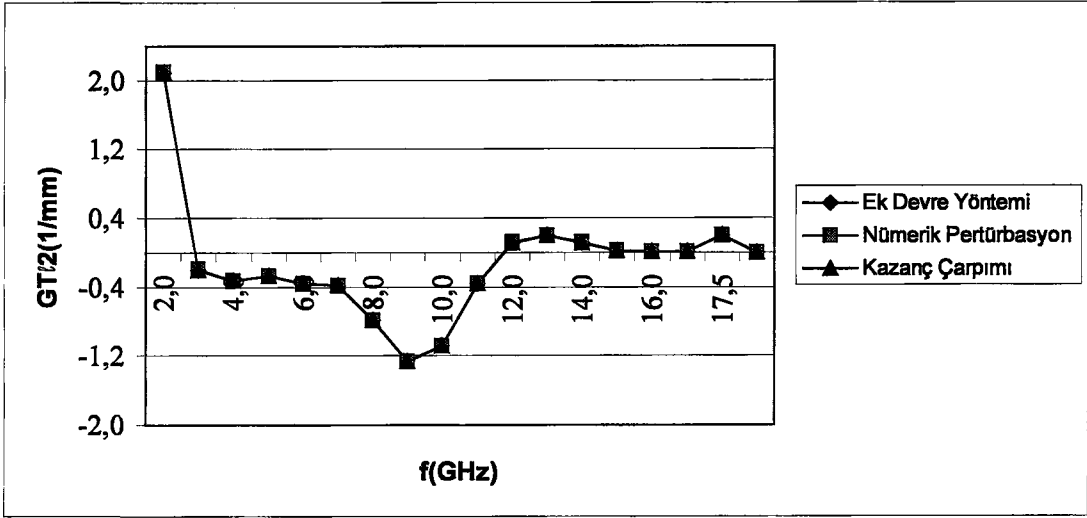
5,0	-0,2558	0,0063	-0,2558	0,0063	-0,2558	0,0063
6,0	0,0178	-0,0003	0,0178	-0,0003	0,0178	-0,0003
7,0	0,2450	-0,0031	0,2450	-0,0031	0,2450	-0,0031
8,0	0,4310	-0,0029	0,4310	-0,0029	0,4310	-0,0029
9,0	0,5165	-0,0008	0,5165	-0,0008	0,5165	-0,0008
10,0	0,3848	0,0010	0,3848	0,0010	0,3848	0,0010
11,0	-0,0016	0,0000	-0,0016	0,0000	-0,0016	0,0000
12,0	-0,3610	-0,0029	-0,3611	-0,0029	-0,3610	-0,0029
13,0	-0,4261	-0,0038	-0,4262	-0,0038	-0,4261	-0,0038
14,0	-0,2745	-0,0024	-0,2745	-0,0024	-0,2745	-0,0024
15,0	0,0871	0,0007	0,0874	0,0007	0,0871	0,0007
16,0	0,8146	0,0049	0,8156	0,0049	0,8146	0,0049
17,0	1,9304	0,0075	1,9324	0,0075	1,9304	0,0075
17,5	0,0054	0,0000	0,0054	0,0000	0,0054	0,0000
18,0	1,8872	0,0029	1,8863	0,0029	1,8872	0,0029



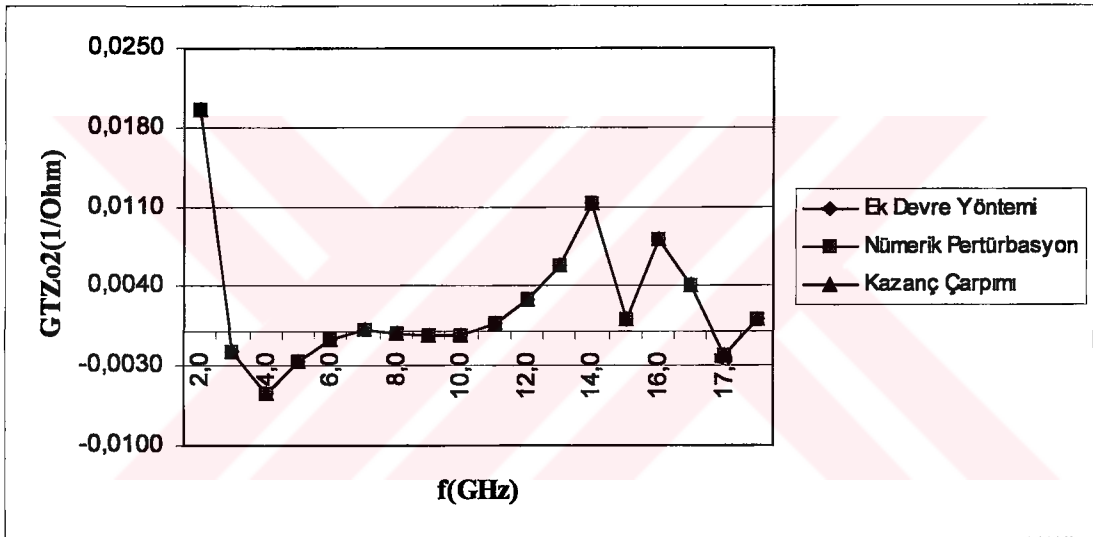
a.1)



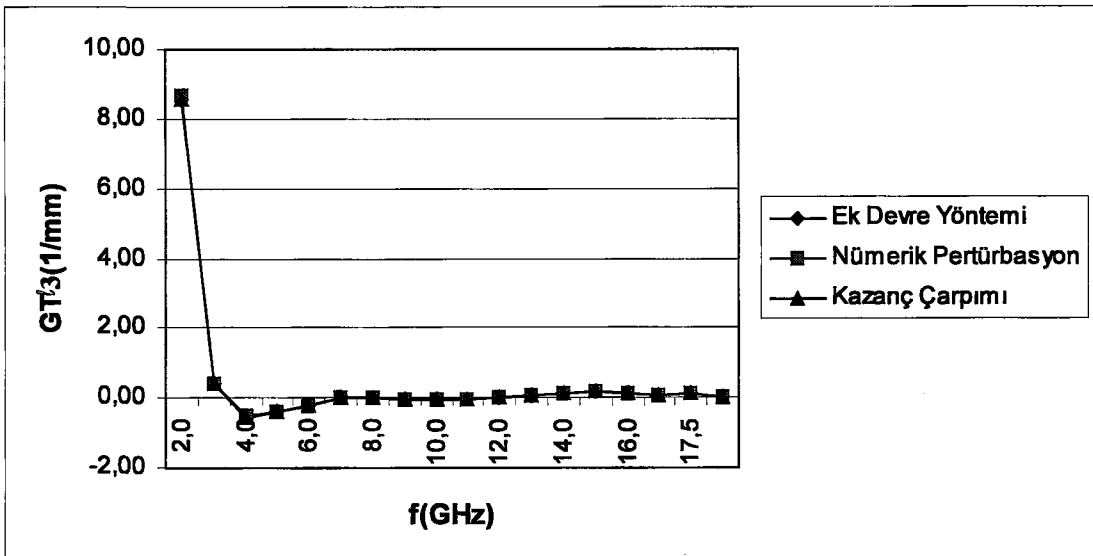
a.2)



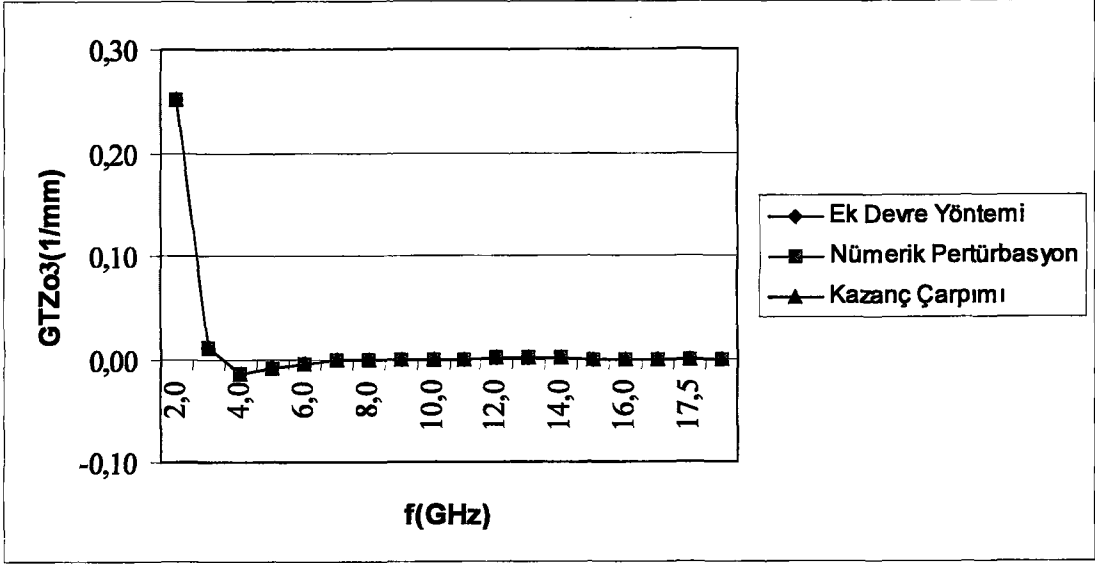
b.1)



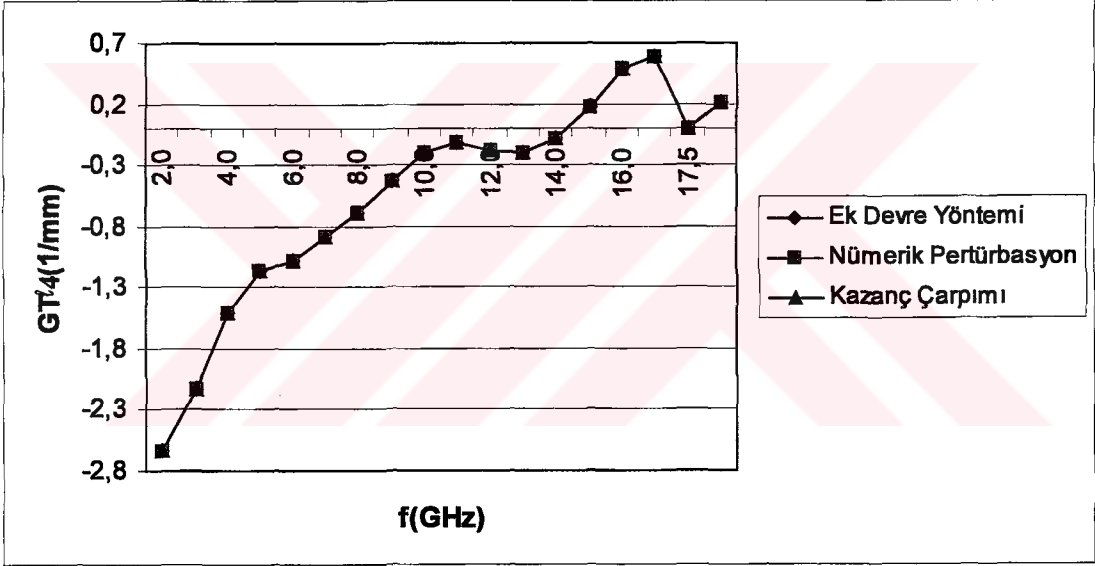
b.2)



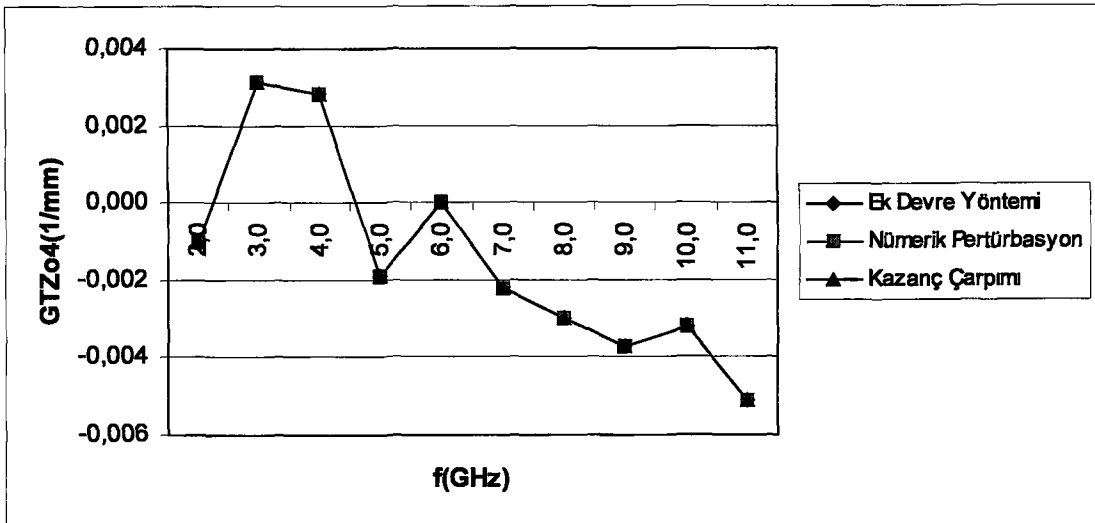
c.1)



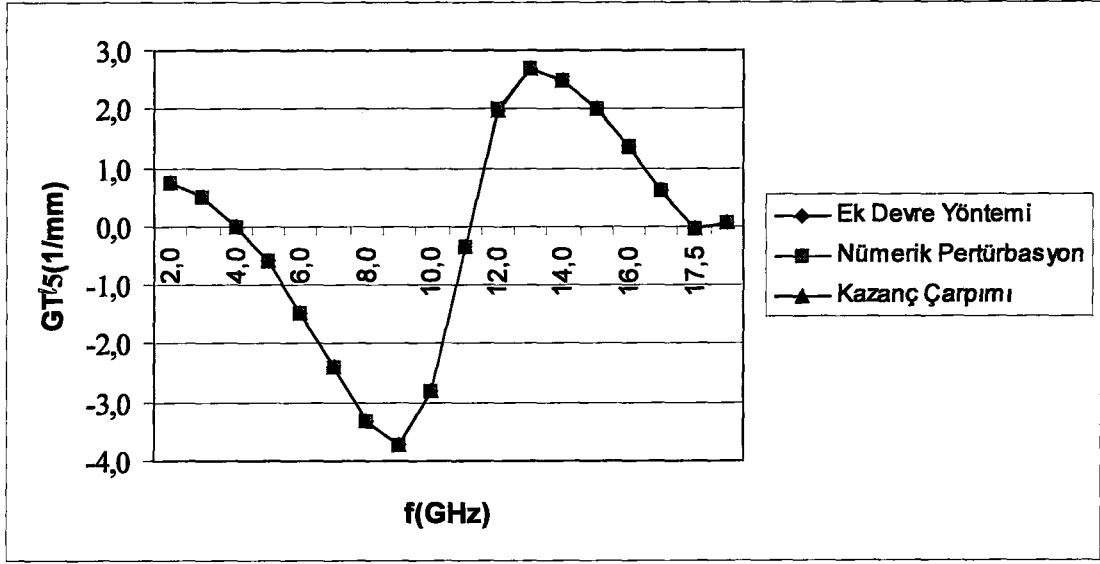
c.2)



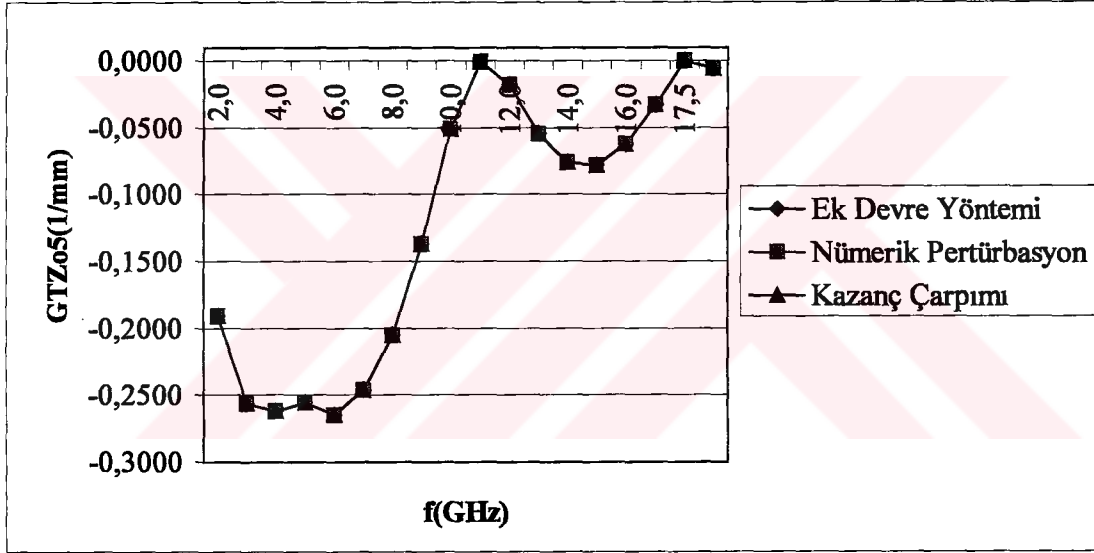
d.1)



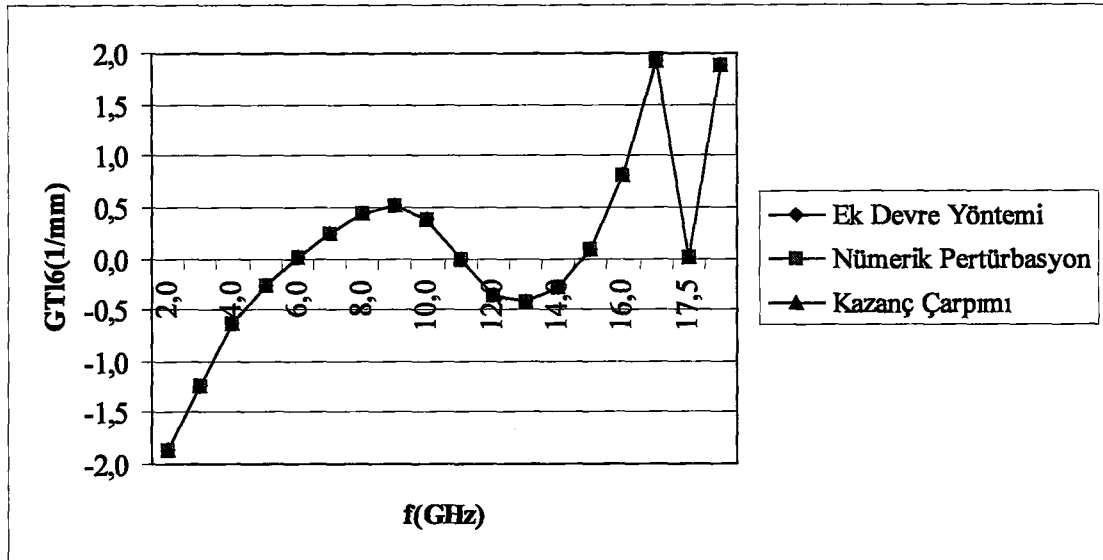
d.2)



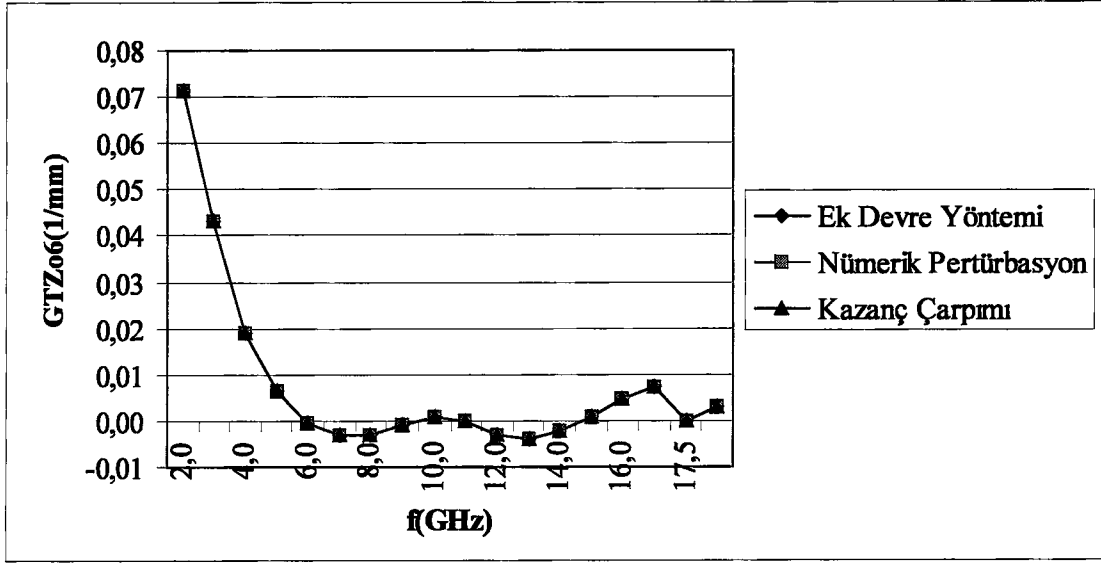
e.1)



e.2)



f.1)



f.2)

Şekil 6.20 IMC(II tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(II tipi) devresi için

a) 1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; d) ℓ_4 , Z_{04} ; e) ℓ_5 , Z_{05} ; f) ℓ_6 , Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri

6.2 Gürültü ve Yansıma Katsayıları Duyarlılıkları

6.2.2 Uygun Z_G , Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Frekans Bandında Belirli Z_0 , Γ Değerlerine Sahip Devreler İçin Gürültü Duyarlılıklarına Ait Çizelge ve Şekiller

Daha öncede belirtildiği gibi, IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) – OMC(T tipi) devresi için gürültü hesabında, devrenin kaynak tarafındaki IMC devresinin değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Aynı şekilde, IMC(II tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(II tipi) devresi için de IMC devresinin değerleri dikkate alınmaktadır.

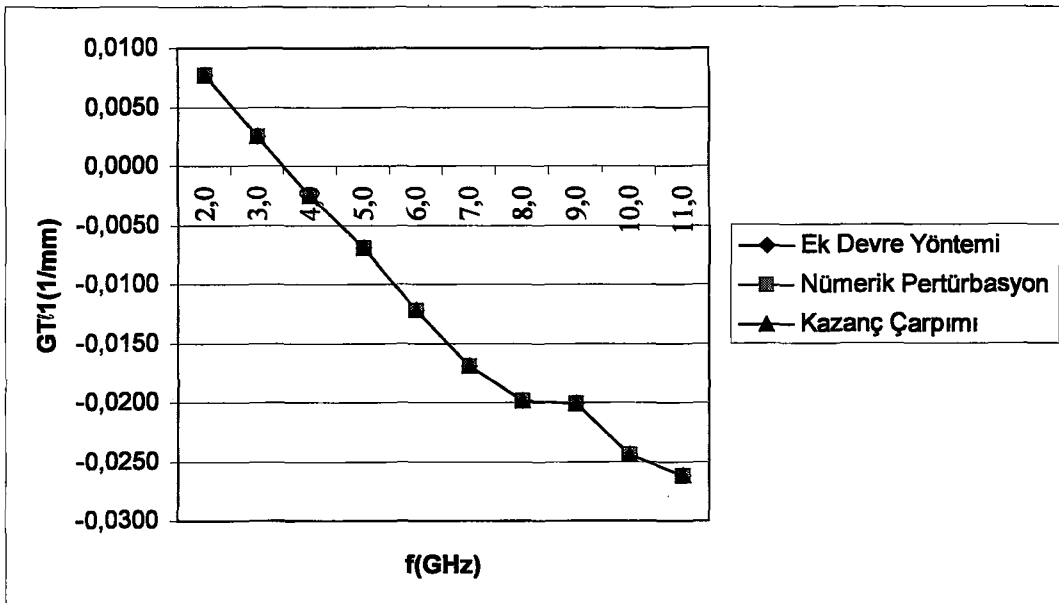
Çizelge 6.20 IMC(T tipi) devre için

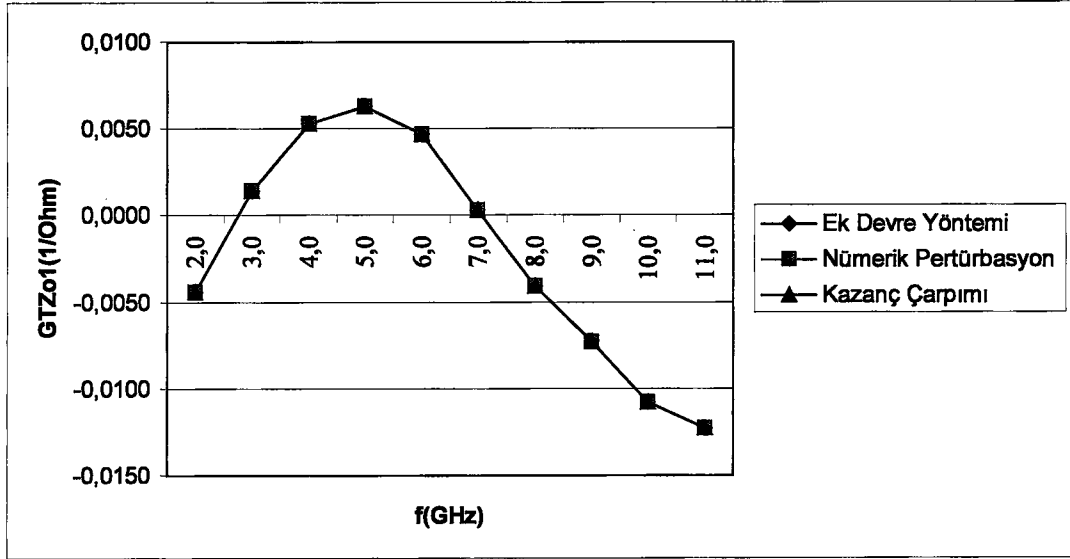
a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre gürültü duyarlılığı– frekans değerleri

a)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$
2,0	0,0077	-0,0044	0,0077	-0,0044	0,0077	-0,0044
3,0	0,0025	0,0014	0,0025	0,0014	0,0025	0,0014
4,0	-0,0025	0,0053	-0,0025	0,0053	-0,0025	0,0053
5,0	-0,0069	0,0063	-0,0069	0,0063	-0,0069	0,0063
6,0	-0,0122	0,0047	-0,0122	0,0047	-0,0122	0,0047
7,0	-0,0169	0,0003	-0,0169	0,0003	-0,0169	0,0003
8,0	-0,0198	-0,0041	-0,0198	-0,0041	-0,0198	-0,0041
9,0	-0,0201	-0,0073	-0,0201	-0,0073	-0,0201	-0,0073
10,0	-0,0244	-0,0108	-0,0244	-0,0108	-0,0244	-0,0108
11,0	-0,0262	-0,0123	-0,0262	-0,0123	-0,0262	-0,0123

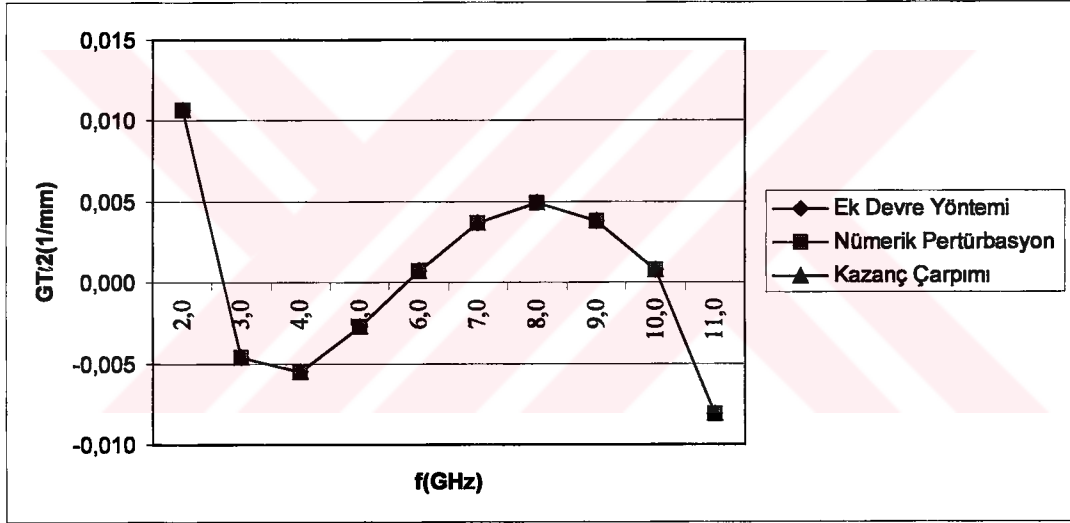
b) Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$
2,0	0,0107	-0,0005	0,0107	-0,0005	0,0107	-0,0005
3,0	-0,0046	0,0002	-0,0046	0,0002	-0,0046	0,0002
4,0	-0,0055	0,0002	-0,0055	0,0002	-0,0055	0,0002
5,0	-0,0027	0,0000	-0,0027	0,0000	-0,0027	0,0000
6,0	0,0007	0,0000	0,0007	0,0000	0,0007	0,0000
7,0	0,0037	0,0000	0,0037	0,0000	0,0037	0,0000
8,0	0,0049	0,0000	0,0049	0,0000	0,0049	0,0000
9,0	0,0038	0,0000	0,0038	0,0000	0,0038	0,0000
10,0	0,0008	0,0000	0,0008	0,0000	0,0008	0,0000
11,0	-0,0081	0,0001	-0,0081	0,0001	-0,0081	0,0001

c) Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$
2,0	0,0246	0,0033	0,0246	0,0033	0,0246	0,0033
3,0	0,0159	-0,0006	0,0159	-0,0006	0,0159	-0,0006
4,0	0,0057	-0,0036	0,0057	-0,0036	0,0057	-0,0036
5,0	-0,0072	-0,0051	-0,0072	-0,0051	-0,0072	-0,0051
6,0	-0,0237	-0,0059	-0,0237	-0,0059	-0,0237	-0,0059
7,0	-0,0396	-0,0051	-0,0396	-0,0051	-0,0396	-0,0051
8,0	-0,0482	-0,0031	-0,0482	-0,0031	-0,0482	-0,0031
9,0	-0,0478	-0,0006	-0,0478	-0,0006	-0,0478	-0,0006
10,0	-0,0538	0,0018	-0,0538	0,0018	-0,0538	0,0018
11,0	-0,0516	0,0040	-0,0516	0,0040	-0,0516	0,0040

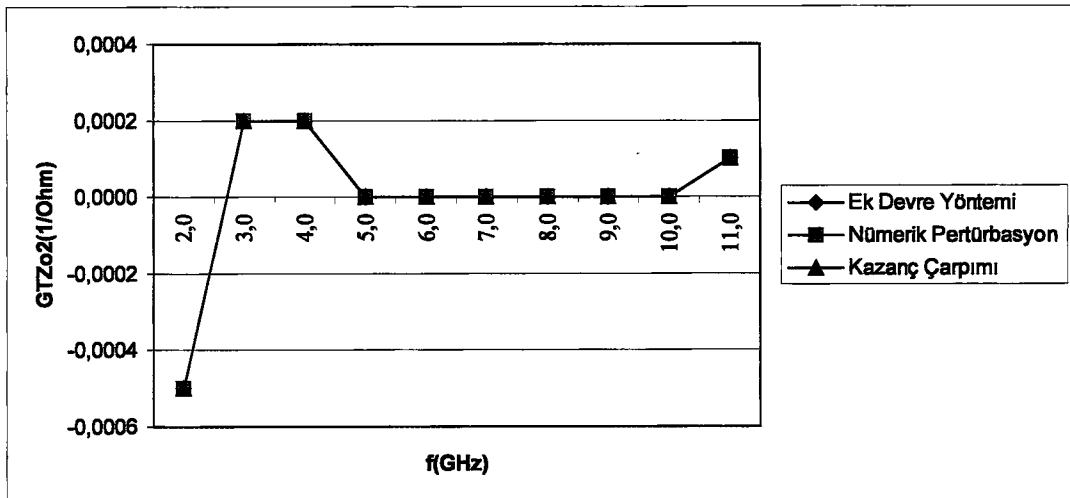




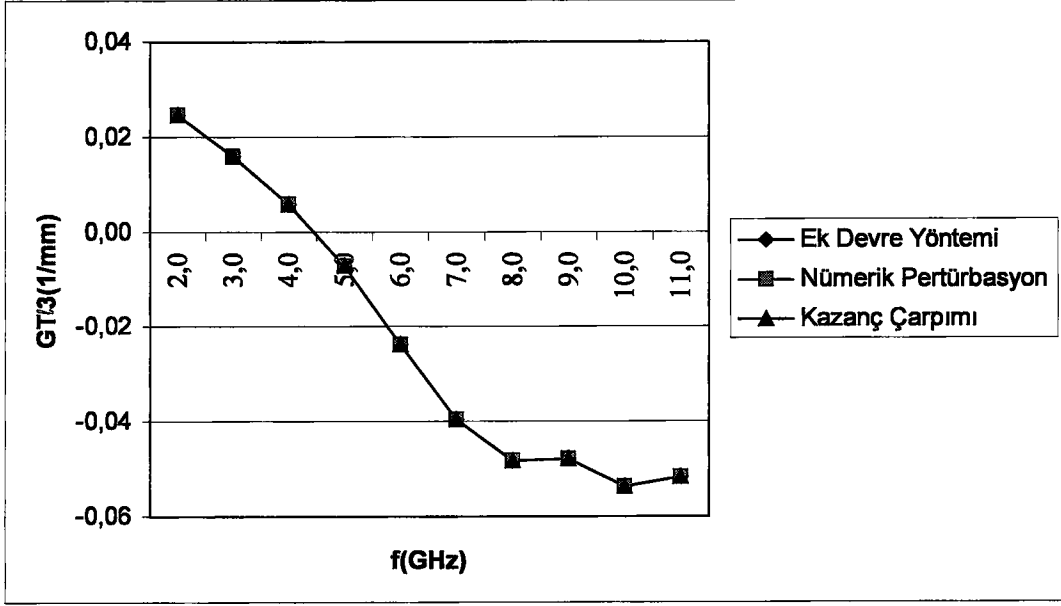
a.2)



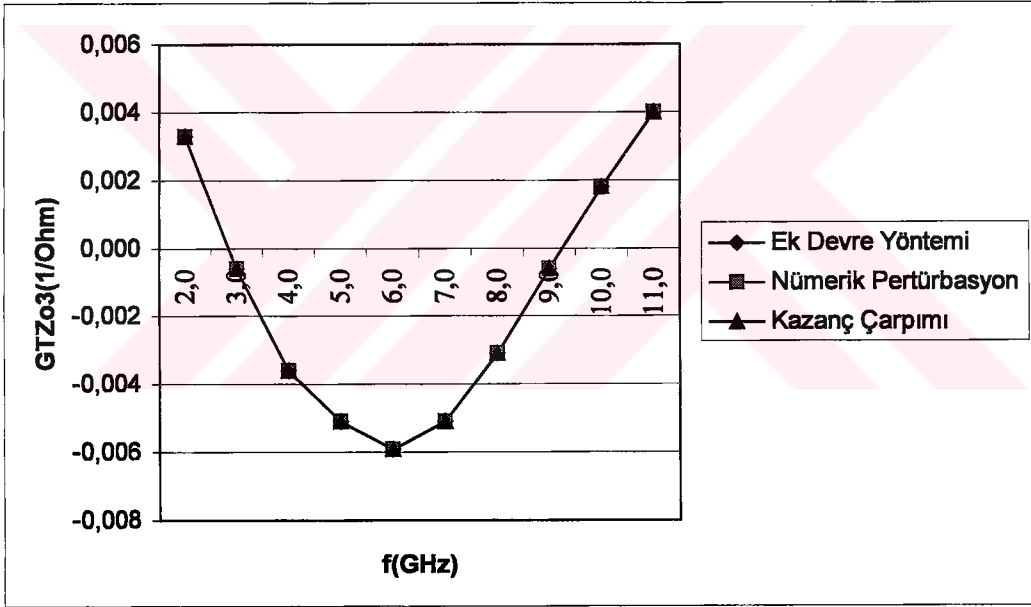
b.1)



b.2)



c.1)



c.2)

Şekil 6.21 IMC(T tipi) devresi için

a) 1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; 'e göre gürültü duyarlılığı – frekans eğrileri

Çizelge 6.21 IMC(Π tipi) devre için

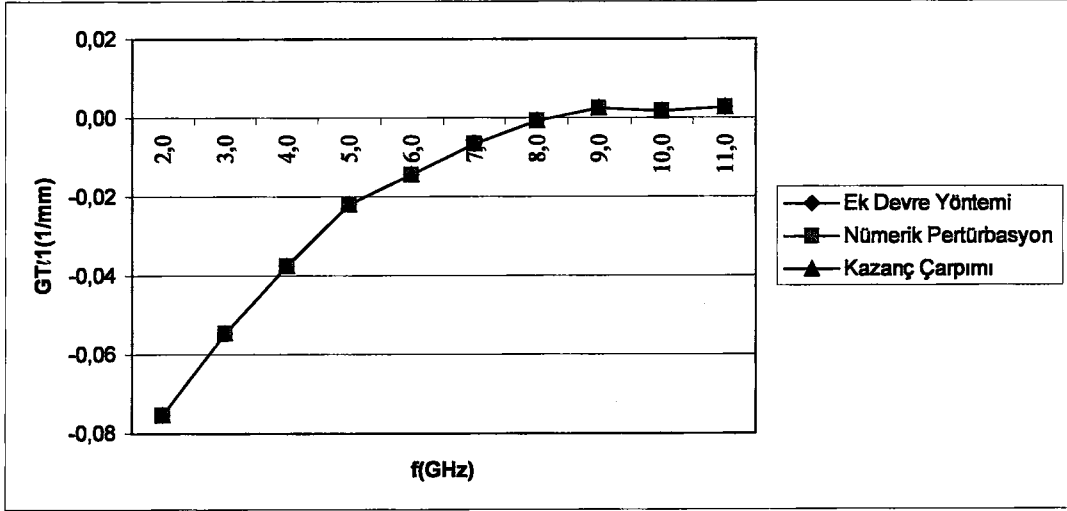
a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre gürültü duyarlılığı – frekans değerleri

a)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)	GT _{ℓ1} (1/mm)	GT _{Z01} (1/Ohm)
2,0	-0,0753	0,0034	-0,0753	0,0034	-0,0753	0,0034
3,0	-0,0546	0,0024	-0,0546	0,0024	-0,0546	0,0024
4,0	-0,0375	0,0016	-0,0375	0,0016	-0,0375	0,0016

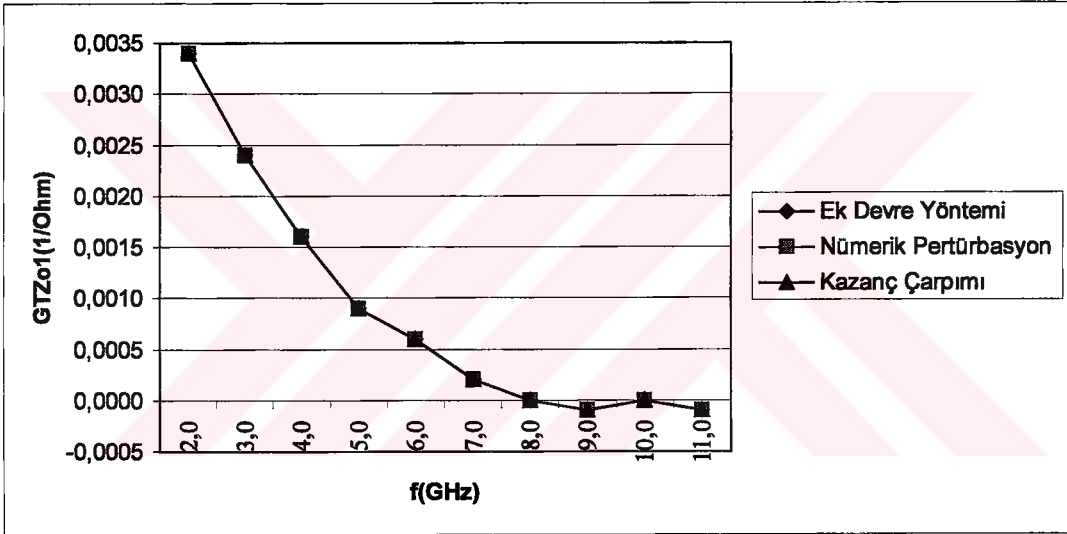
5,0	-0,0219	0,0009	-0,0219	0,0009	-0,0219	0,0009
6,0	-0,0144	0,0006	-0,0144	0,0006	-0,0144	0,0006
7,0	-0,0067	0,0002	-0,0067	0,0002	-0,0067	0,0002
8,0	-0,0008	0,0000	-0,0008	0,0000	-0,0008	0,0000
9,0	0,0024	-0,0001	0,0024	-0,0001	0,0024	-0,0001
10,0	0,0018	0,0000	0,0018	0,0000	0,0018	0,0000
11,0	0,0027	-0,0001	0,0026	-0,0001	0,0027	-0,0001

b)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,0419	0,0043	-0,0419	0,0043	-0,0419	0,0043
3,0	-0,0381	0,0008	-0,0381	0,0008	-0,0381	0,0008
4,0	-0,0334	-0,0017	-0,0334	-0,0017	-0,0334	-0,0017
5,0	-0,0286	-0,0028	-0,0286	-0,0028	-0,0286	-0,0028
6,0	-0,0310	-0,0039	-0,0310	-0,0039	-0,0310	-0,0039
7,0	-0,0324	-0,0047	-0,0325	-0,0047	-0,0324	-0,0047
8,0	-0,0258	-0,0041	-0,0258	-0,0041	-0,0258	-0,0041
9,0	-0,0175	-0,0029	-0,0176	-0,0029	-0,0175	-0,0029
10,0	-0,0186	-0,0029	-0,0186	-0,0029	-0,0186	-0,0029
11,0	-0,0169	-0,0023	-0,0169	-0,0023	-0,0169	-0,0023

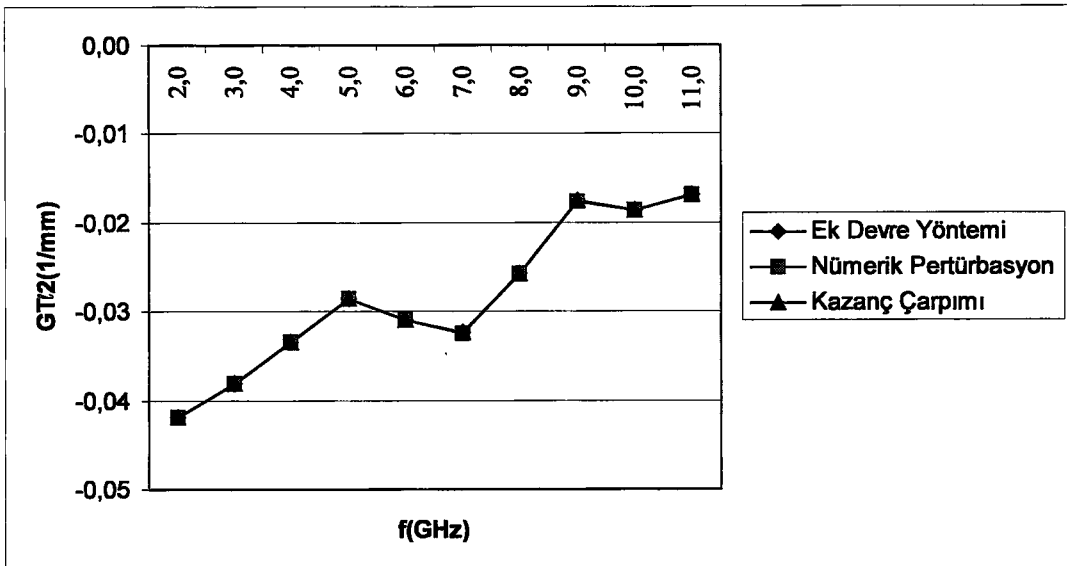
c)	Ek Devre Yöntemi		Nümerik Pertürbasyon		Kazanç Çarpımı	
f (GHz)	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell 3}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{03}}(1/\text{Ohm})$
2,0	-0,1310	-0,0038	-0,1316	-0,0038	-0,1310	-0,0038
3,0	-0,0938	-0,0026	-0,0940	-0,0026	-0,0938	-0,0026
4,0	-0,0619	-0,0017	-0,0621	-0,0017	-0,0619	-0,0017
5,0	-0,0381	-0,0009	-0,0382	-0,0009	-0,0381	-0,0009
6,0	-0,0294	-0,0007	-0,0294	-0,0007	-0,0294	-0,0007
7,0	-0,0216	-0,0004	-0,0216	-0,0004	-0,0216	-0,0004
8,0	-0,0110	-0,0002	-0,0110	-0,0002	-0,0110	-0,0002
9,0	-0,0039	-0,0001	-0,0039	-0,0001	-0,0039	-0,0001
10,0	0,0004	0,0000	0,0004	0,0000	0,0004	0,0000
11,0	0,0032	0,0000	0,0032	0,0000	0,0032	0,0000



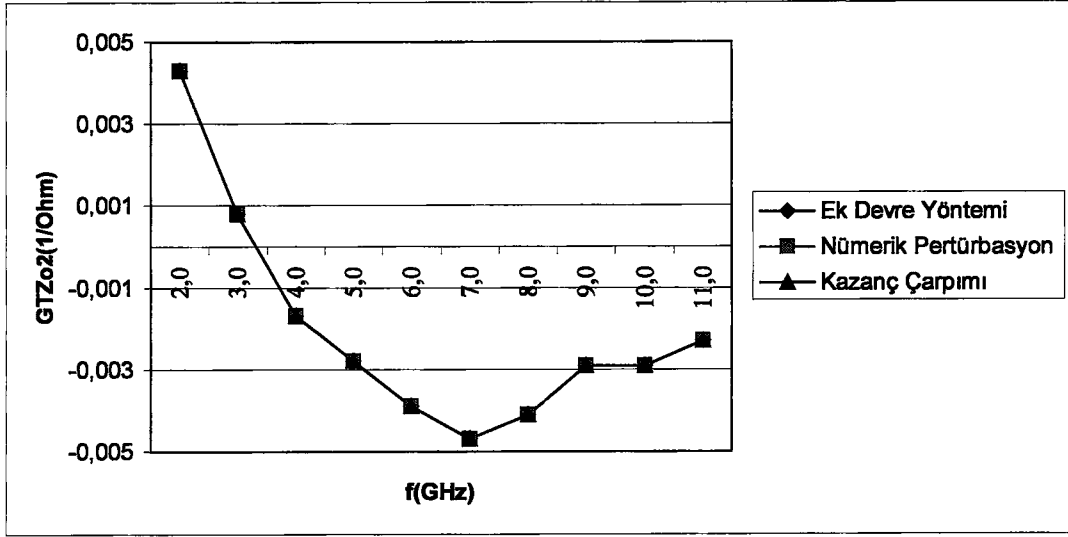
a.1)



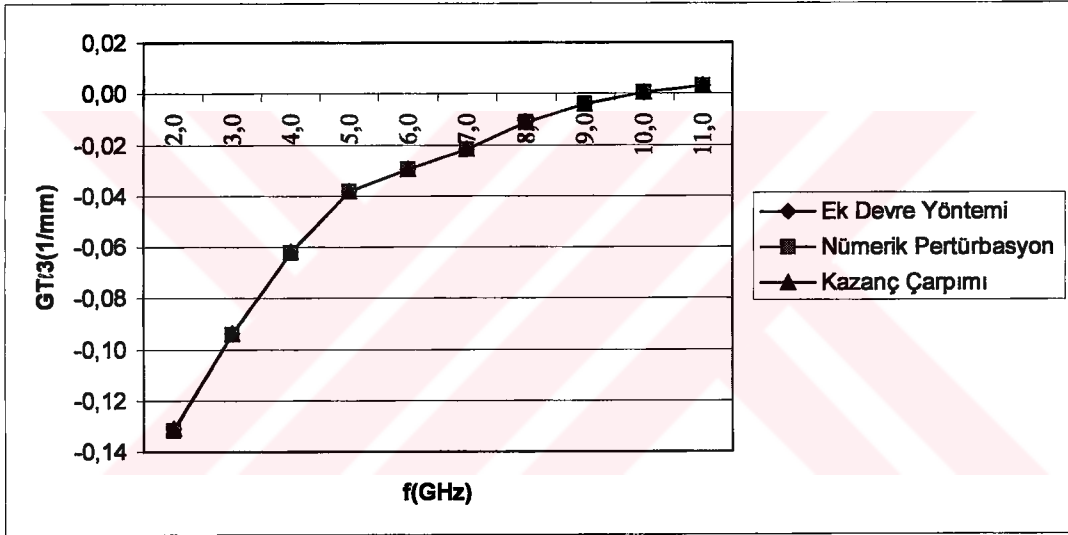
a.2)



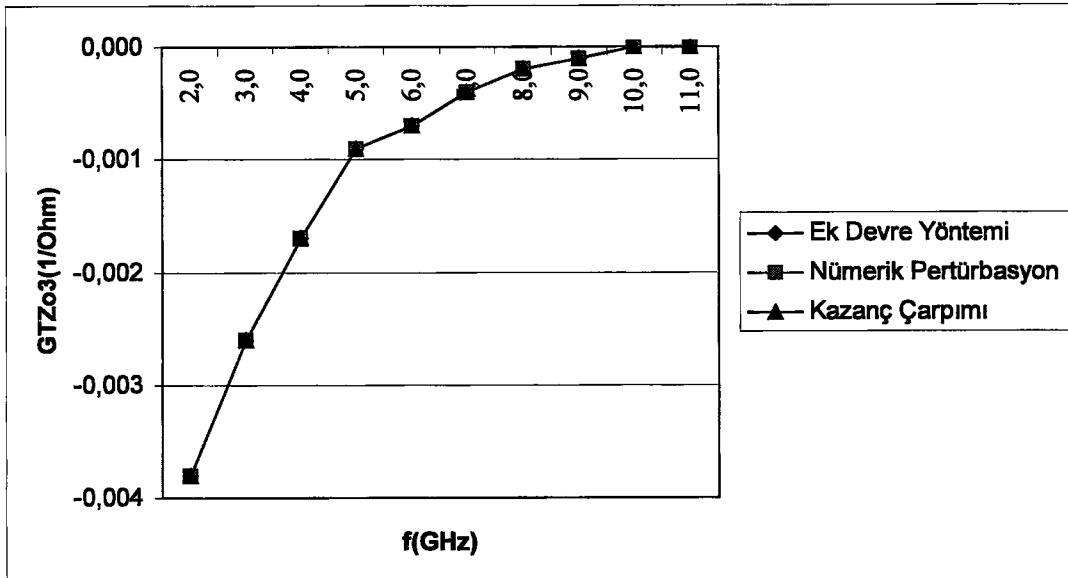
b.1)



b.2)



c.1)



c.2)

Şekil 6.22 IMC(Π tipi) devresi için

a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} ; b) 1) ℓ_2 , 2) Z_{02} ; c) 1) ℓ_3 , 2) Z_{03} ; 'e göre gürültü duyarlılığı – frekans eğrileri

6.2.3 Uygun Z_G , Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Frekans Bandında Belirli Z_0 , 1 Değerlerine Sahip Devreler İçin Yansıma Katsayıları Duyarlılıklarına Ait Çizelge ve Şekiller

Çizelge 6.22 IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için

a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} 'e göre giriş yansıma katsayısı duyarlılığı – frekans değerleri

a)1)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{IN1} $	$\Phi\{\Gamma_{IN1}\}$	$ \Gamma_{IN1} $	$\Phi\{\Gamma_{IN1}\}$
2,0	-0,0016	0,0195	-0,0016	0,0195
3,0	-0,0016	0,0393	-0,0016	0,0393
4,0	0,0046	0,0537	0,0046	0,0537
5,0	0,0156	0,0546	0,0156	0,0546
6,0	0,0235	-0,0027	0,0235	-0,0027
7,0	0,0099	-0,1287	0,0099	-0,1287
8,0	-0,0083	-0,1374	-0,0083	-0,1374
9,0	-0,0156	-0,1151	-0,0156	-0,1151
10,0	-0,0183	-0,0800	-0,0183	-0,0800
11,0	-0,0196	-0,0467	-0,0196	-0,0467
12,0	-0,0190	-0,0218	-0,0190	-0,0218
13,0	-0,0153	-0,0030	-0,0153	-0,0030
14,0	-0,0081	0,0088	-0,0081	0,0088
15,0	0,0000	0,0142	0,0000	0,0142
16,0	0,0019	0,0007	0,0019	0,0007
17,0	-0,0003	0,0006	-0,0003	0,0006
17,5	0,0012	-0,0674	0,0012	-0,0674
18,0	-0,0021	0,0154	-0,0021	0,0154

a)2)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{IN1} $	$\Phi\{\Gamma_{IN1}\}$	$ \Gamma_{IN1} $	$\Phi\{\Gamma_{IN1}\}$
2,0	0,0026	-0,0973	0,0026	-0,0973
3,0	0,0069	-0,1638	0,0069	-0,1638
4,0	0,0076	-0,2386	0,0076	-0,2386
5,0	0,0001	-0,3327	0,0001	-0,3327
6,0	-0,0207	-0,4183	-0,0207	-0,4183
7,0	-0,0457	-0,3368	-0,0457	-0,3368
8,0	-0,0482	-0,2372	-0,0481	-0,2372
9,0	-0,0508	-0,2375	-0,0507	-0,2375
10,0	-0,0551	-0,2967	-0,0550	-0,2967
11,0	-0,0556	-0,3417	-0,0556	-0,3417

12,0	-0,0543	-0,3645	-0,0543	-0,3645
13,0	-0,0496	-0,3939	-0,0495	-0,3939
14,0	-0,0302	-0,4302	-0,0301	-0,4301
15,0	0,0008	-0,4664	0,0009	-0,4664
16,0	0,0452	-0,6589	0,0453	-0,6590
17,0	0,0710	-0,8520	0,0711	-0,8522
17,5	-0,0834	-0,8199	-0,0832	-0,8197
18,0	0,0592	-1,0128	0,0594	-1,0130

b)1)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INZ2} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ2}\}$	$ \Gamma_{INZ2} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ2}\}$
2,0	-0,0002	0,0058	-0,0002	0,0058
3,0	0,0000	0,0038	0,0000	0,0038
4,0	0,0003	0,0020	0,0003	0,0020
5,0	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007
6,0	0,0001	-0,0003	0,0001	-0,0003
7,0	0,0000	-0,0001	0,0000	-0,0001
8,0	0,0000	-0,0001	0,0000	-0,0001
9,0	0,0001	-0,0007	0,0001	-0,0007
10,0	0,0001	-0,0014	0,0001	-0,0014
11,0	-0,0001	-0,0022	-0,0001	-0,0022
12,0	-0,0004	-0,0030	-0,0004	-0,0030
13,0	-0,0010	-0,0037	-0,0010	-0,0037
14,0	-0,0017	-0,0042	-0,0017	-0,0042
15,0	-0,0001	-0,0012	-0,0001	-0,0012
16,0	-0,0016	0,0045	-0,0016	0,0045
17,0	-0,0011	0,0055	-0,0011	0,0055
17,5	0,0002	-0,0005	0,0002	-0,0005
18,0	-0,0003	0,0046	-0,0003	0,0046

b)2)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INL2} $	$\Phi\{\Gamma_{INL2}\}$	$ \Gamma_{INL2} $	$\Phi\{\Gamma_{INL2}\}$
2,0	0,0043	-0,1190	0,0043	-0,1190
3,0	-0,0011	-0,0910	-0,0011	-0,0910
4,0	-0,0087	-0,0624	-0,0087	-0,0623
5,0	-0,0120	-0,0287	-0,0120	-0,0287
6,0	-0,0066	0,0194	-0,0066	0,0194
7,0	0,0074	0,0236	0,0074	0,0236
8,0	0,0117	-0,0361	0,0117	-0,0361
9,0	0,0101	-0,0863	0,0101	-0,0864
10,0	0,0054	-0,1287	0,0054	-0,1288
11,0	-0,0076	-0,1842	-0,0076	-0,1843

12,0	-0,0398	-0,2838	-0,0398	-0,2840
13,0	-0,1250	-0,4697	-0,1252	-0,4703
14,0	-0,4019	-0,9777	-0,4025	-0,9800
15,0	-0,2625	-2,3668	-0,2557	-2,3689
16,0	0,5441	-1,5589	0,5442	-1,5551
17,0	0,2095	-1,0129	0,2092	-1,0110
17,5	0,0245	-0,0795	0,0245	-0,0795
18,0	0,0503	-0,6815	0,0502	-0,6805

c)1)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INZ3} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ3}\}$	$ \Gamma_{INZ3} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ3}\}$
2,0	0,0014	-0,0228	0,0014	-0,0228
3,0	0,0028	-0,0431	0,0028	-0,0431
4,0	0,0013	-0,0640	0,0013	-0,0640
5,0	-0,0044	-0,0854	-0,0044	-0,0854
6,0	-0,0128	-0,0813	-0,0128	-0,0813
7,0	-0,0149	-0,0103	-0,0149	-0,0103
8,0	-0,0076	0,0169	-0,0076	0,0169
9,0	-0,0014	0,0041	-0,0014	0,0041
10,0	0,0044	-0,0086	0,0044	-0,0086
11,0	0,0091	-0,0137	0,0091	-0,0137
12,0	0,0122	-0,0182	0,0122	-0,0182
13,0	0,0140	-0,0158	0,0140	-0,0158
14,0	0,0126	-0,0039	0,0126	-0,0039
15,0	0,0004	0,0003	0,0004	0,0003
16,0	0,0012	0,0093	0,0012	0,0093
17,0	0,0010	0,0133	0,0010	0,0133
17,5	0,0049	0,0567	0,0049	0,0567
18,0	0,0008	0,0056	0,0008	0,0056

c)2)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INL3} $	$\Phi\{\Gamma_{INL3}\}$	$ \Gamma_{INL3} $	$\Phi\{\Gamma_{INL3}\}$
2,0	0,0074	-0,0831	0,0075	-0,0831
3,0	0,0236	-0,1732	0,0236	-0,1733
4,0	0,0363	-0,2921	0,0363	-0,2921
5,0	0,0293	-0,4776	0,0293	-0,4777
6,0	-0,0187	-0,7050	-0,0188	-0,7049
7,0	-0,0980	-0,5618	-0,0980	-0,5615
8,0	-0,1163	-0,2305	-0,1163	-0,2306
9,0	-0,1205	-0,1104	-0,1205	-0,1107
10,0	-0,1251	-0,1354	-0,1251	-0,1356
11,0	-0,1194	-0,1473	-0,1193	-0,1475

12,0	-0,1094	-0,1046	-0,1094	-0,1048
13,0	-0,1003	-0,0718	-0,1002	-0,0719
14,0	-0,0848	-0,0596	-0,0847	-0,0597
15,0	-0,0023	-0,0043	-0,0023	-0,0043
16,0	0,0303	-0,1385	0,0304	-0,1385
17,0	0,1112	-0,4085	0,1114	-0,4085
17,5	-0,1959	-1,1097	-0,1956	-1,1089
18,0	0,1482	-0,7065	0,1484	-0,7068

d)1)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INZ4} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ4}\}$	$ \Gamma_{INZ4} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ4}\}$
2,0	-0,0009	-0,0003	-0,0009	-0,0003
3,0	-0,0016	-0,0013	-0,0016	-0,0013
4,0	-0,0019	-0,0027	-0,0019	-0,0027
5,0	-0,0019	-0,0039	-0,0019	-0,0039
6,0	-0,0020	-0,0033	-0,0020	-0,0033
7,0	-0,0018	0,0026	-0,0018	0,0026
8,0	-0,0014	0,0039	-0,0014	0,0039
9,0	-0,0012	0,0021	-0,0012	0,0021
10,0	-0,0009	-0,0004	-0,0009	-0,0004
11,0	-0,0003	-0,0005	-0,0003	-0,0005
12,0	0,0001	0,0004	0,0001	0,0004
13,0	0,0001	0,0011	0,0001	0,0011
14,0	-0,0002	0,0008	-0,0002	0,0008
15,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16,0	-0,0002	-0,0004	-0,0002	-0,0004
17,0	-0,0004	-0,0011	-0,0004	-0,0011
17,5	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
18,0	-0,0005	-0,0015	-0,0005	-0,0015

d)2)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INL4} $	$\Phi\{\Gamma_{INL4}\}$	$ \Gamma_{INL4} $	$\Phi\{\Gamma_{INL4}\}$
2,0	0,0092	0,0035	0,0092	0,0035
3,0	0,0171	0,0162	0,0171	0,0162
4,0	0,0204	0,0385	0,0204	0,0385
5,0	0,0214	0,0683	0,0213	0,0683
6,0	0,0251	0,0858	0,0251	0,0858
7,0	0,0302	0,0179	0,0302	0,0179
8,0	0,0250	-0,0176	0,0250	-0,0175
9,0	0,0192	-0,0177	0,0193	-0,0176
10,0	0,0144	-0,0308	0,0144	-0,0307
11,0	0,0180	-0,0566	0,0181	-0,0566

12,0	0,0313	-0,0638	0,0313	-0,0638
13,0	0,0439	-0,0283	0,0439	-0,0282
14,0	0,0367	0,0234	0,0367	0,0235
15,0	0,0000	0,0016	0,0000	0,0016
16,0	-0,0255	0,0153	-0,0255	0,0152
17,0	-0,0467	0,0064	-0,0467	0,0064
17,5	0,0432	-0,3986	0,0435	-0,3985
18,0	-0,0555	-0,0129	-0,0555	-0,0130

e)1)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INZ5} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ5}\}$	$ \Gamma_{INZ5} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ5}\}$
2,0	0,0002	-0,0001	0,0002	-0,0001
3,0	0,0003	-0,0002	0,0003	-0,0002
4,0	0,0004	-0,0001	0,0004	-0,0001
5,0	0,0004	-0,0001	0,0004	-0,0001
6,0	0,0004	-0,0004	0,0004	-0,0004
7,0	0,0003	-0,0013	0,0003	-0,0013
8,0	0,0002	-0,0013	0,0002	-0,0013
9,0	0,0002	-0,0008	0,0002	-0,0008
10,0	0,0001	-0,0002	0,0001	-0,0002
11,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,0	0,0000	-0,0001	0,0000	-0,0001
13,0	0,0000	-0,0002	0,0000	-0,0002
14,0	0,0000	-0,0001	0,0000	-0,0001
15,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16,0	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
17,0	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002
17,5	0,0004	-0,0006	0,0004	-0,0006
18,0	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002

e)2)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{IN15} $	$\Phi\{\Gamma_{IN15}\}$	$ \Gamma_{IN15} $	$\Phi\{\Gamma_{IN15}\}$
2,0	0,0046	-0,0038	0,0046	-0,0038
3,0	0,0087	-0,0051	0,0087	-0,0051
4,0	0,0118	-0,0045	0,0118	-0,0045
5,0	0,0139	-0,0043	0,0139	-0,0043
6,0	0,0160	-0,0159	0,0160	-0,0159
7,0	0,0137	-0,0709	0,0137	-0,0709
8,0	0,0125	-0,0926	0,0125	-0,0926
9,0	0,0187	-0,0902	0,0187	-0,0902
10,0	0,0270	-0,0387	0,0270	-0,0387
11,0	0,0282	0,0030	0,0282	0,0031

12,0	0,0225	0,0288	0,0225	0,0288
13,0	0,0115	0,0355	0,0115	0,0355
14,0	-0,0012	0,0196	-0,0012	0,0196
15,0	-0,0004	0,0000	-0,0004	0,0000
16,0	-0,0019	-0,0076	-0,0019	-0,0076
17,0	0,0033	-0,0180	0,0033	-0,0180
17,5	0,0441	0,0716	0,0440	0,0715
18,0	0,0127	-0,0254	0,0127	-0,0254

f1)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{INZ6} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ6}\}$	$ \Gamma_{INZ6} $	$\Phi\{\Gamma_{INZ6}\}$
2,0	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003
3,0	0,0000	0,0009	0,0000	0,0009
4,0	0,0000	0,0020	0,0000	0,0020
5,0	0,0001	0,0039	0,0001	0,0039
6,0	0,0004	0,0067	0,0004	0,0067
7,0	0,0014	0,0069	0,0014	0,0069
8,0	0,0018	0,0061	0,0018	0,0061
9,0	0,0018	0,0089	0,0018	0,0089
10,0	0,0009	0,0101	0,0009	0,0101
11,0	-0,0002	0,0079	-0,0002	0,0079
12,0	-0,0009	0,0054	-0,0009	0,0054
13,0	-0,0012	0,0023	-0,0012	0,0023
14,0	-0,0009	0,0001	-0,0009	0,0001
15,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16,0	0,0001	-0,0003	0,0001	-0,0003
17,0	0,0001	-0,0002	0,0001	-0,0002
17,5	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007
18,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

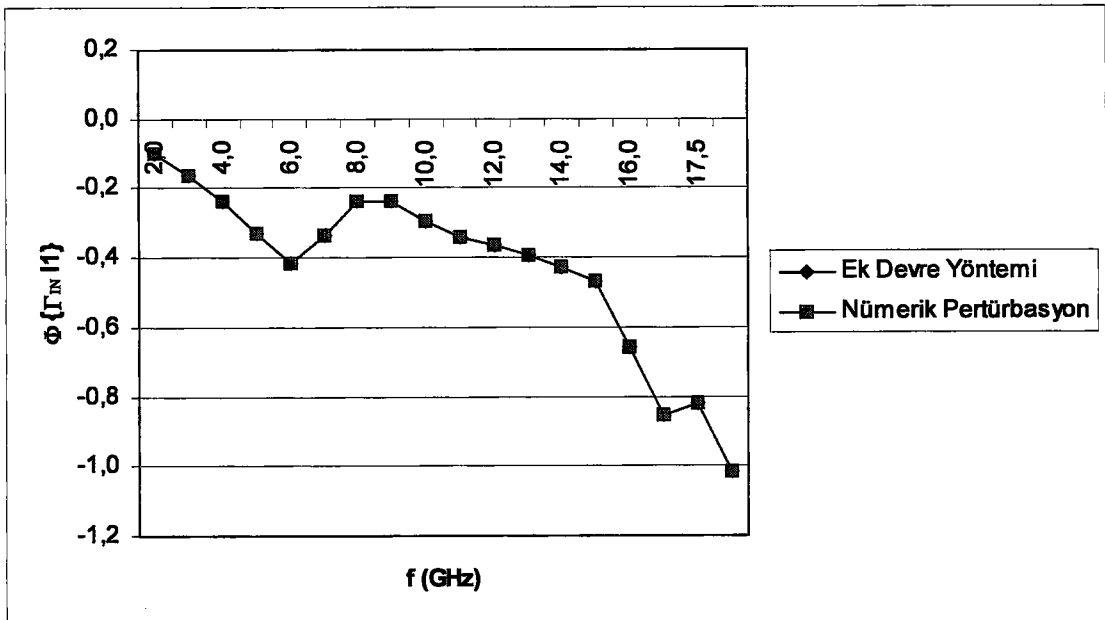
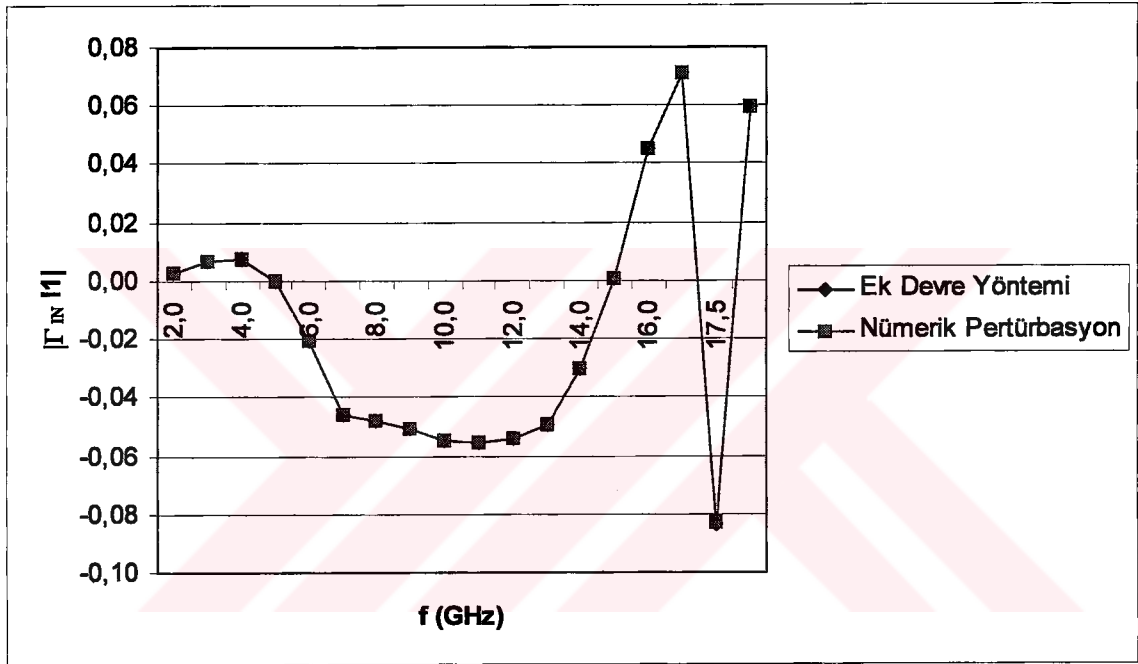
f2)

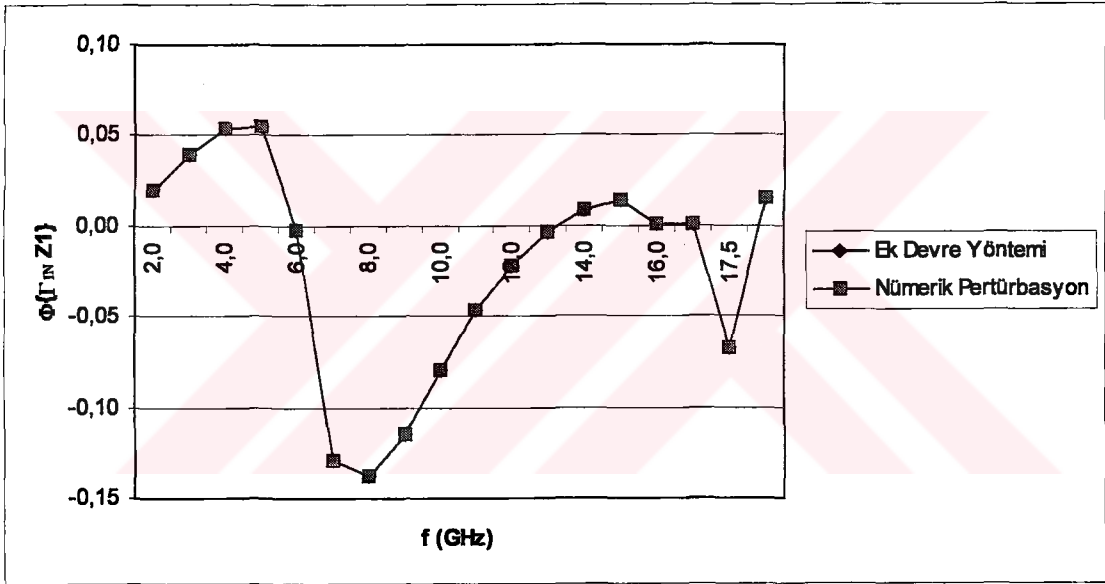
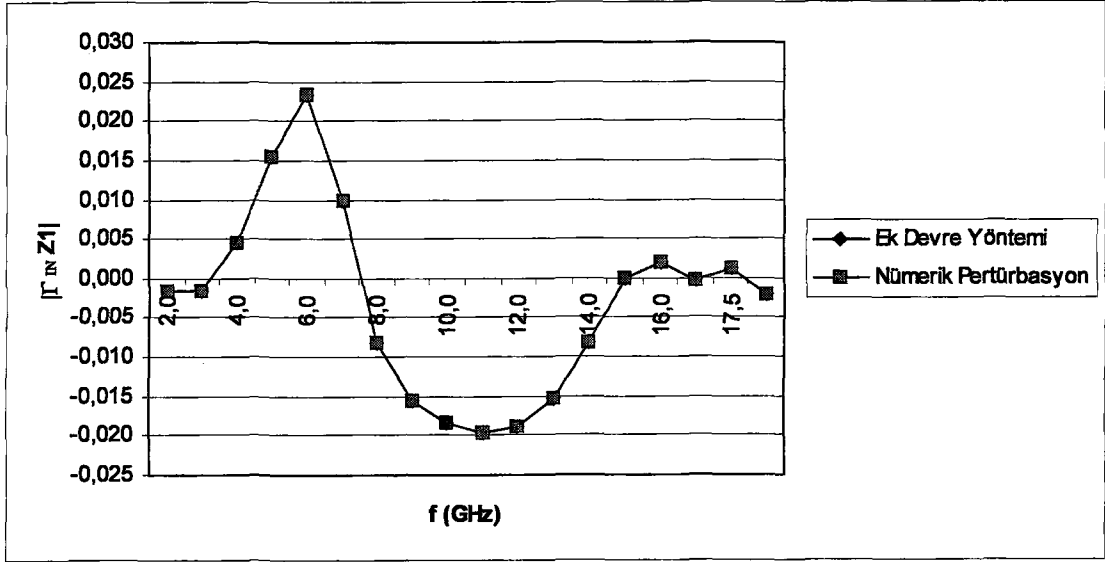
Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

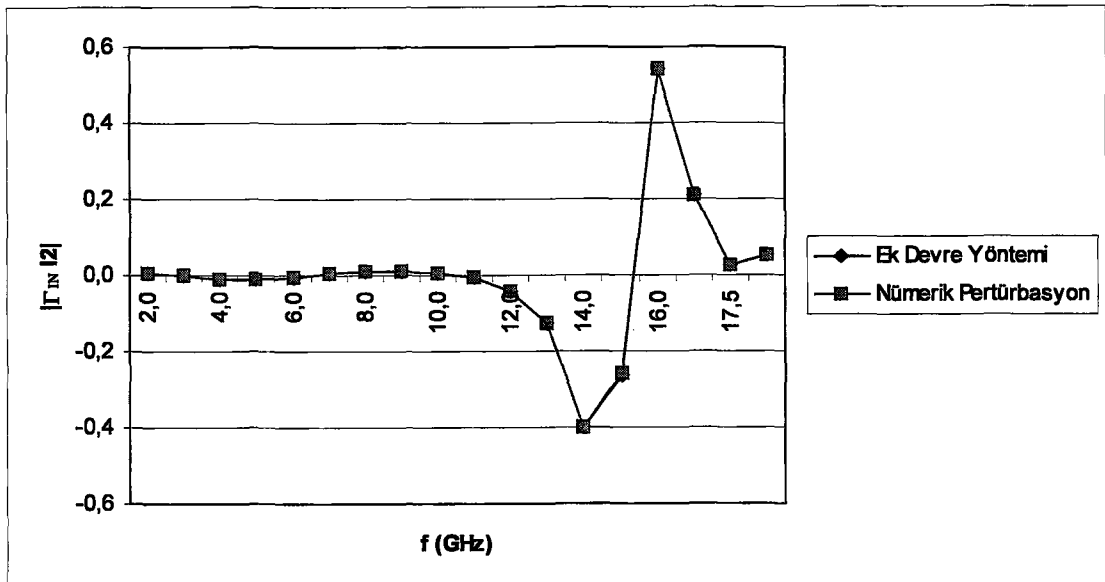
f (GHz)	$ \Gamma_{IN6} $	$\Phi\{\Gamma_{IN6}\}$	$ \Gamma_{IN6} $	$\Phi\{\Gamma_{IN6}\}$
2,0	0,0004	0,0017	0,0004	0,0017
3,0	0,0020	0,0055	0,0020	0,0055
4,0	0,0045	0,0120	0,0045	0,0120
5,0	0,0079	0,0211	0,0079	0,0211
6,0	0,0133	0,0216	0,0133	0,0216
7,0	0,0172	-0,0375	0,0172	-0,0375
8,0	0,0166	-0,0837	0,0166	-0,0836
9,0	0,0217	-0,1041	0,0217	-0,1041
10,0	0,0312	-0,0726	0,0312	-0,0726
11,0	0,0368	-0,0406	0,0368	-0,0406

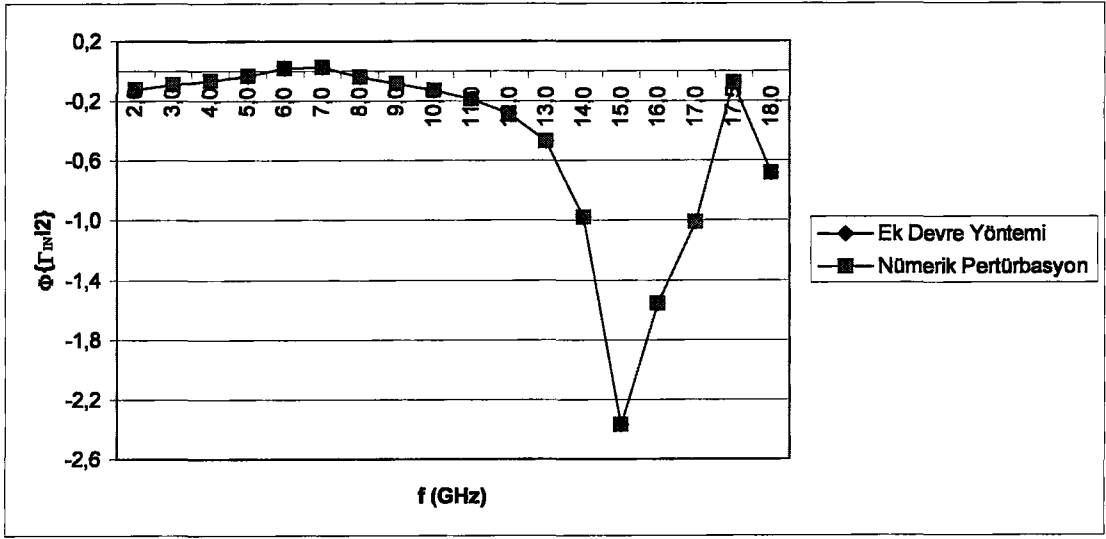
12,0	0,0373	-0,0162	0,0373	-0,0161
13,0	0,0318	0,0066	0,0318	0,0067
14,0	0,0187	0,0191	0,0187	0,0191
15,0	0,0000	0,0008	0,0000	0,0008
16,0	-0,0098	0,0103	-0,0098	0,0103
17,0	-0,0170	0,0206	-0,0170	0,0206
17,5	-0,0486	-0,1616	-0,0485	-0,1617
18,0	-0,0185	0,0359	-0,0185	0,0359



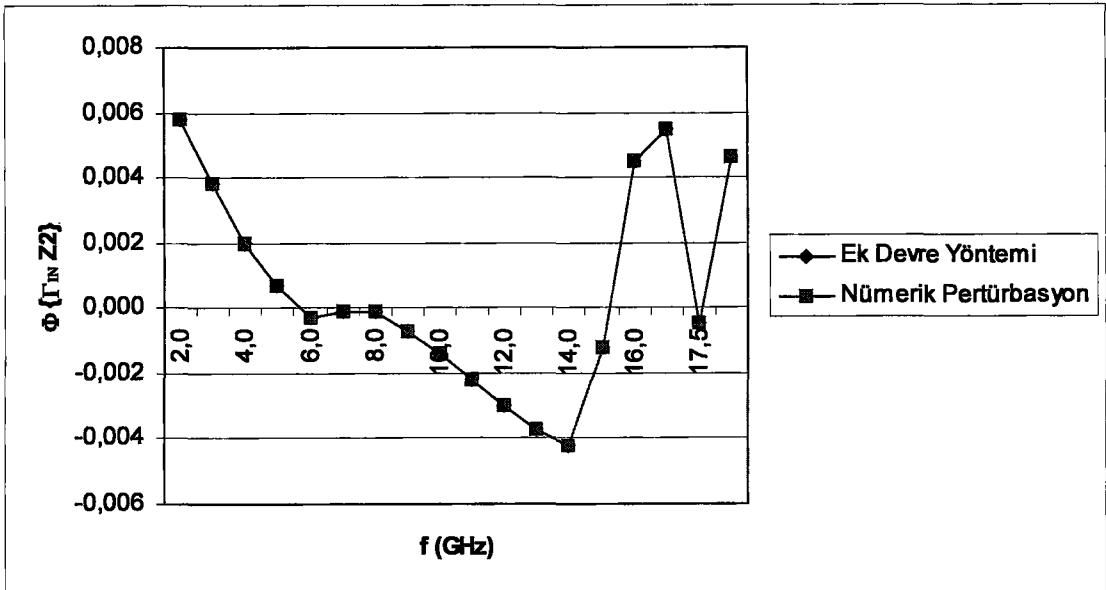
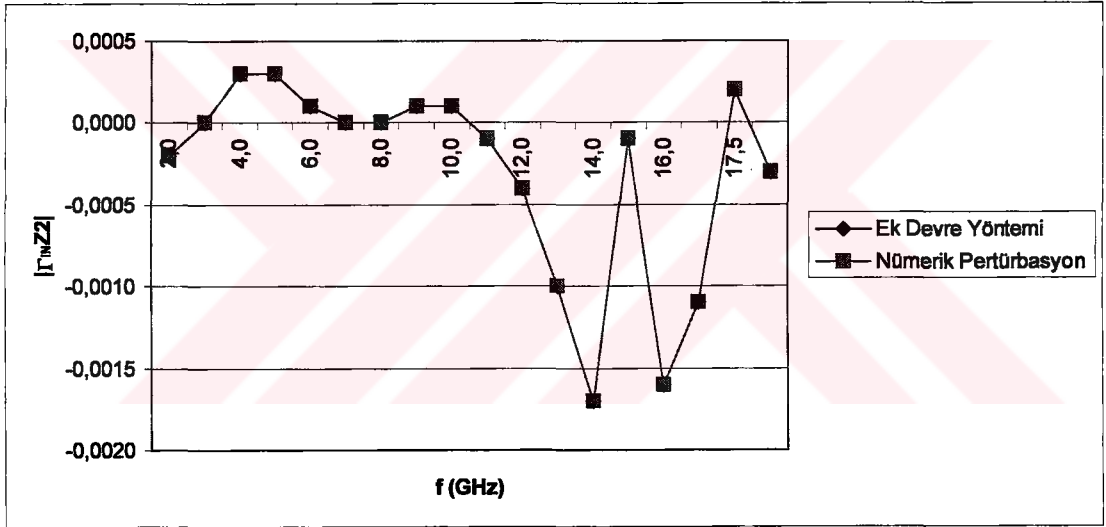


a.2)

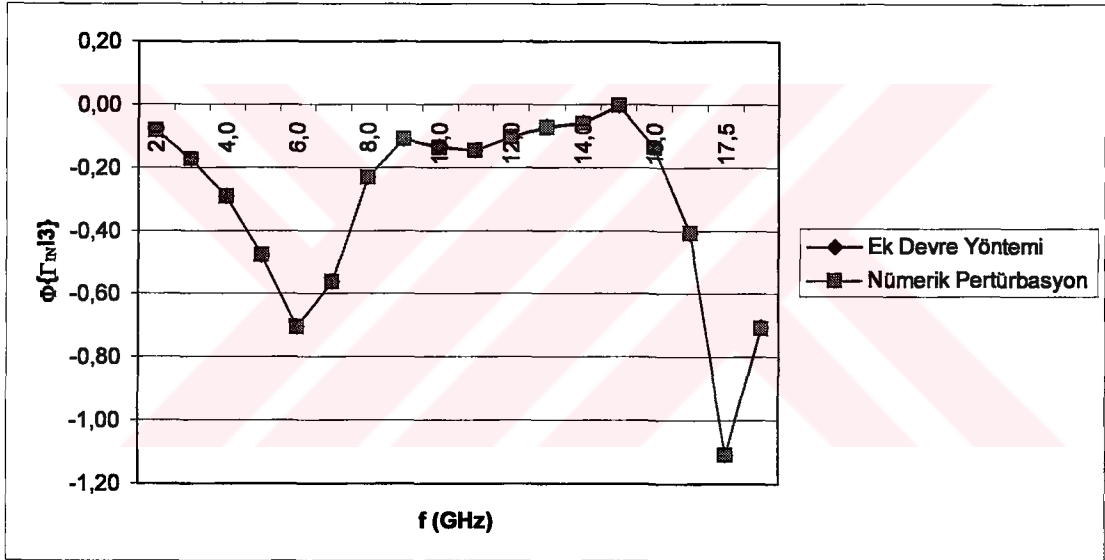
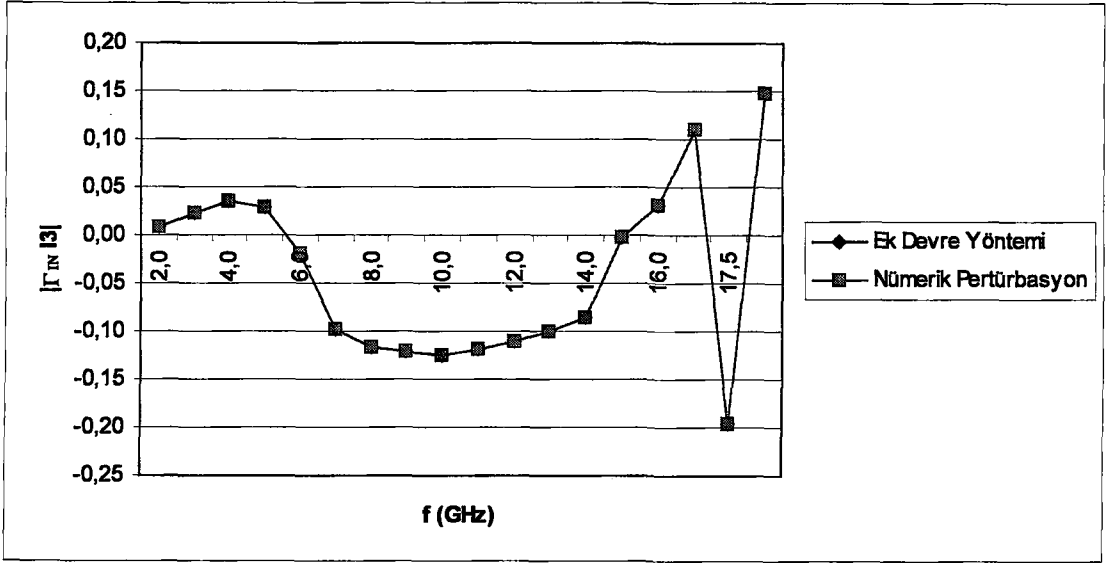




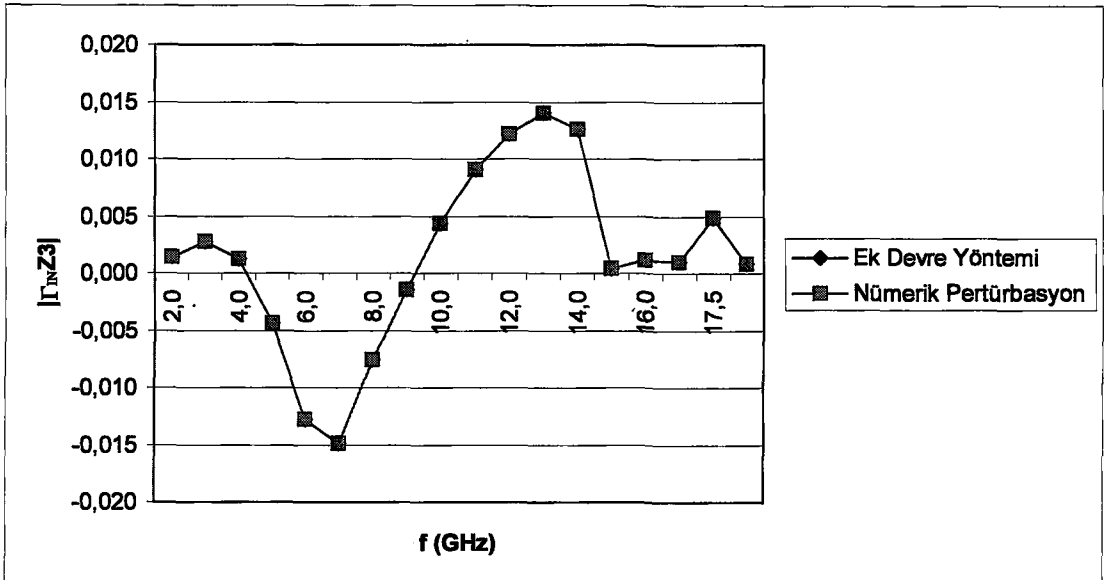
b.1)

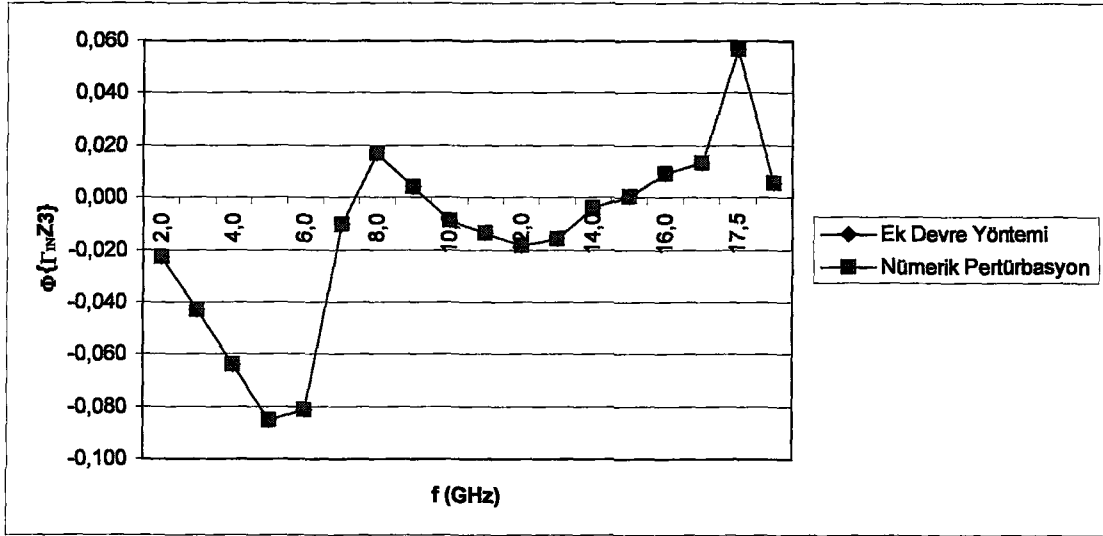


b.2)

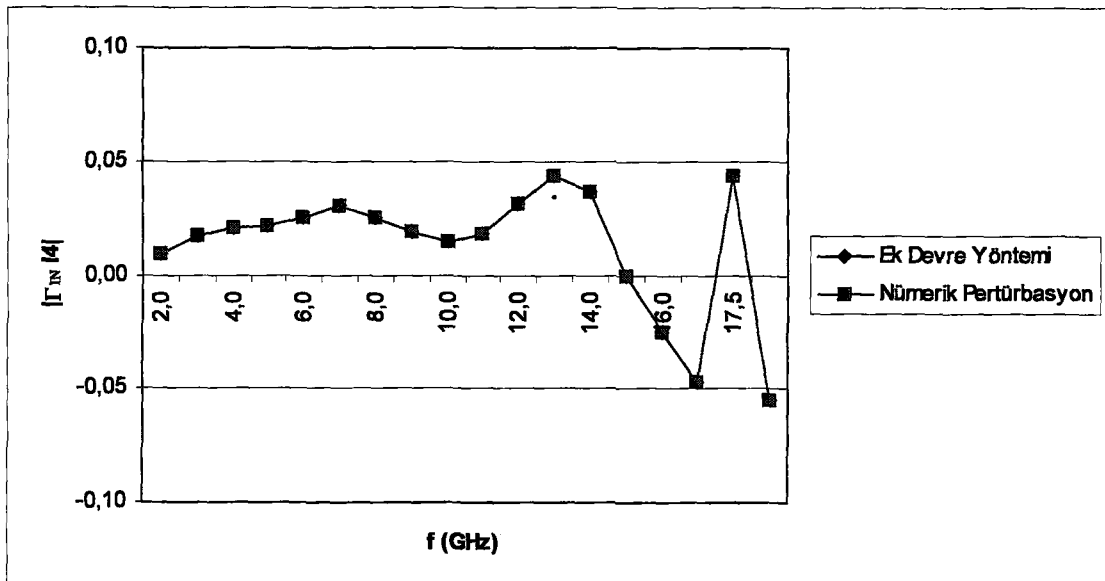
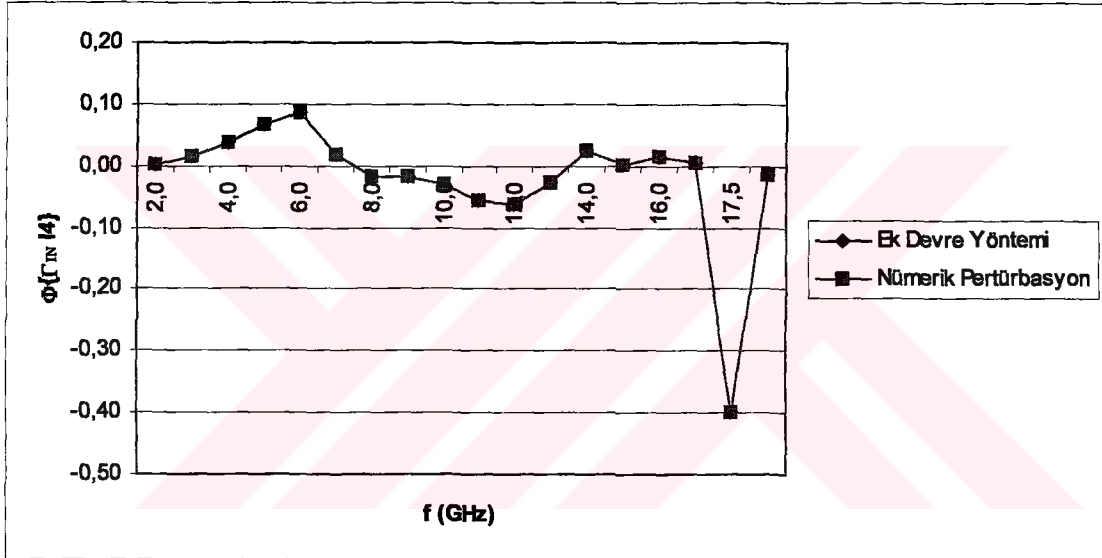


c.1)

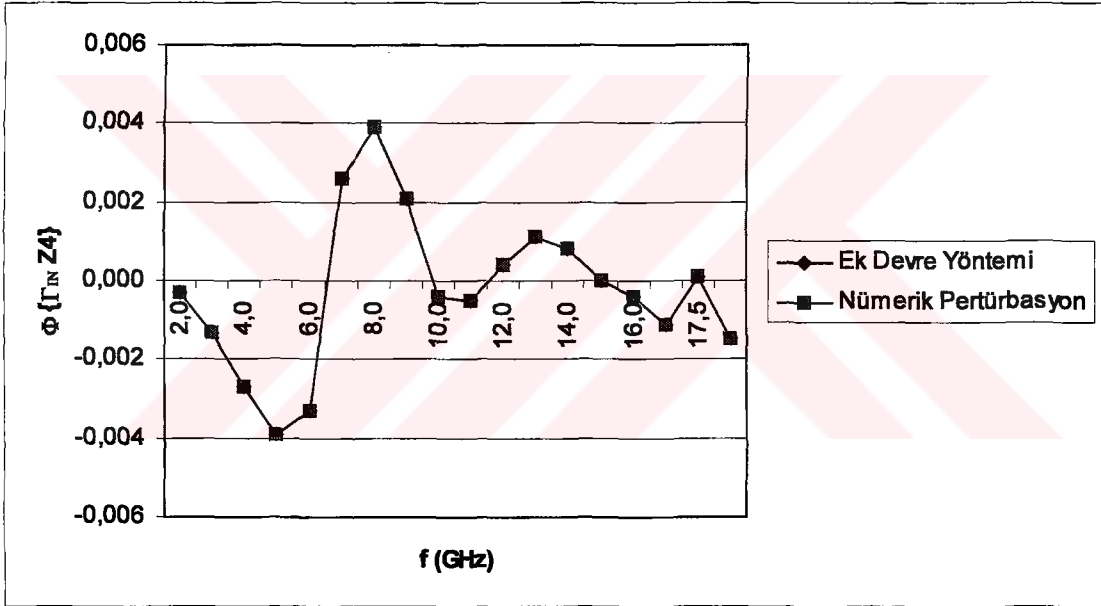
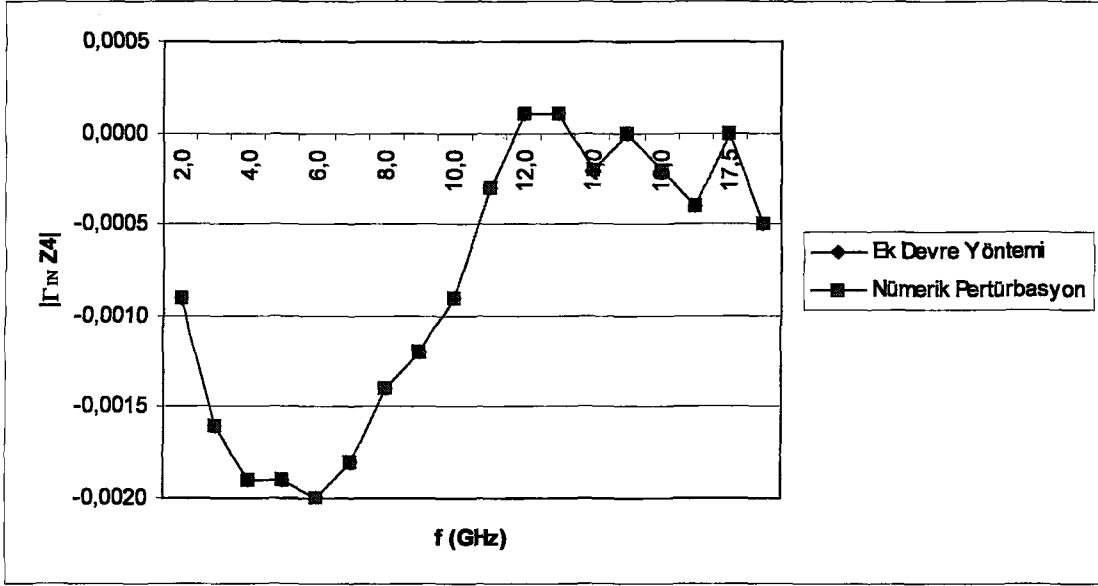




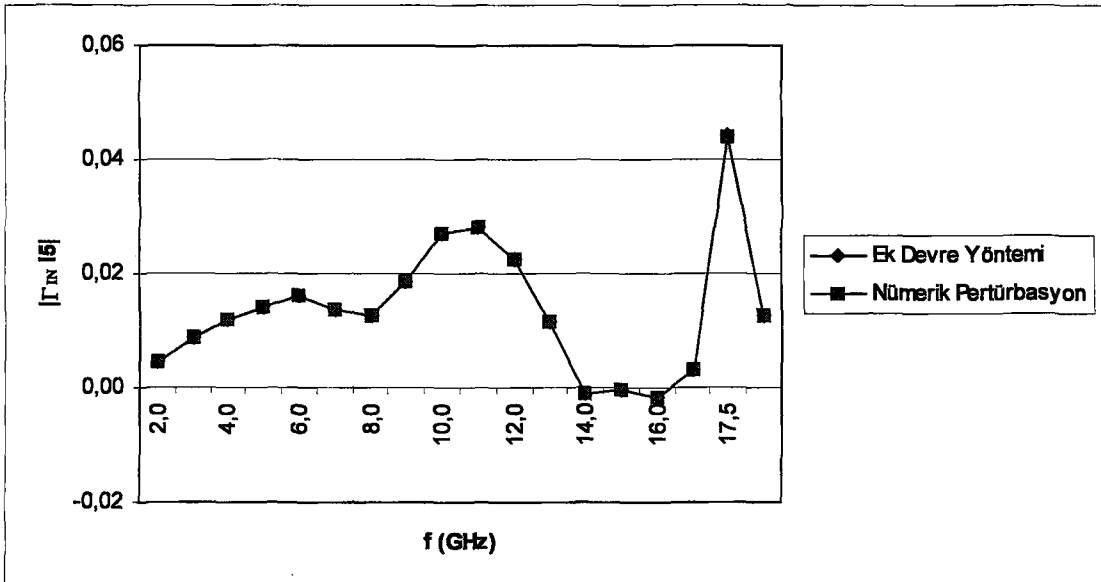
c.2)

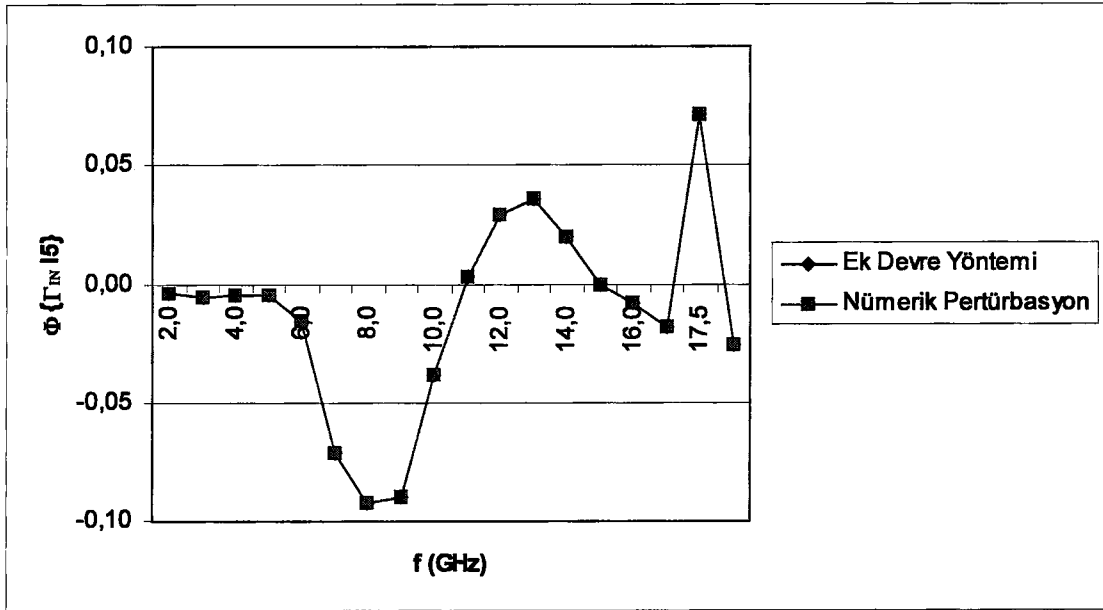


d.1)

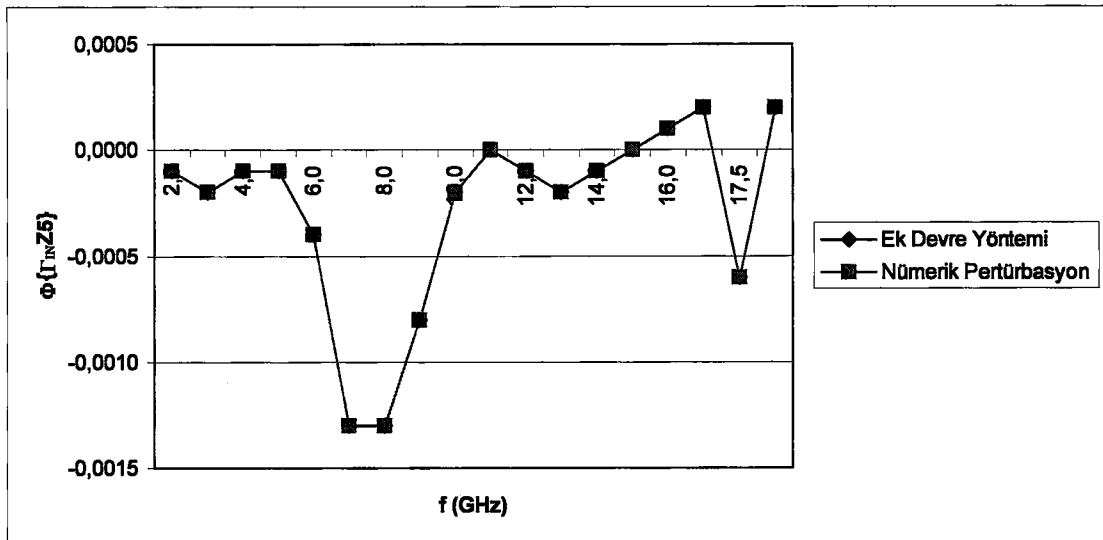
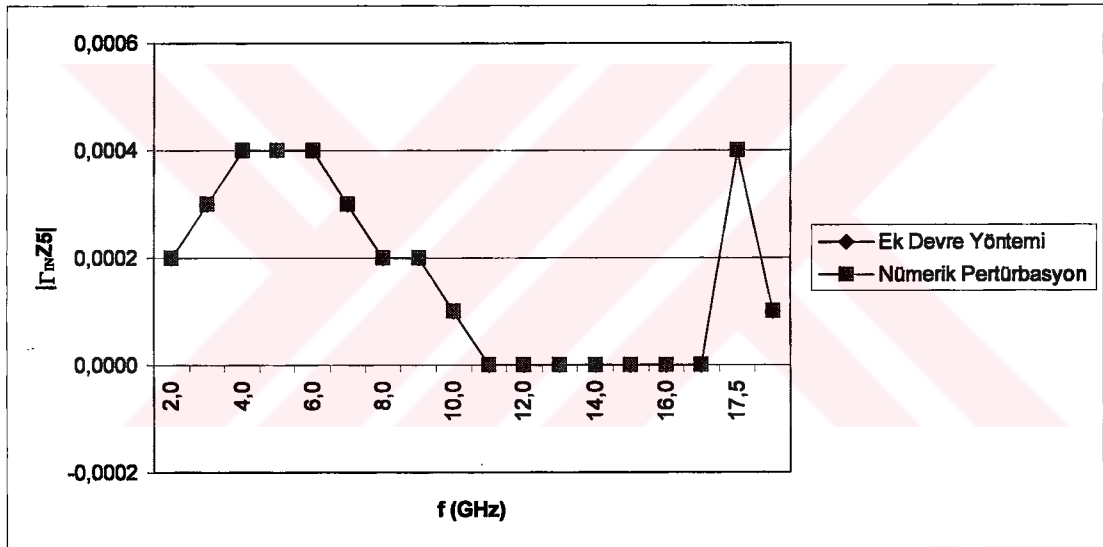


d.2)

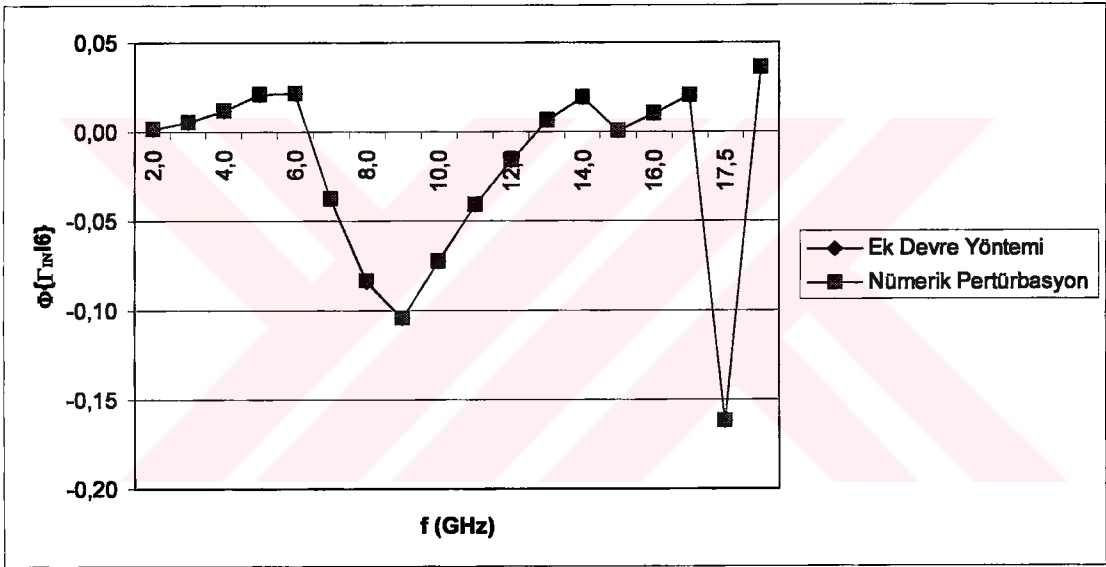
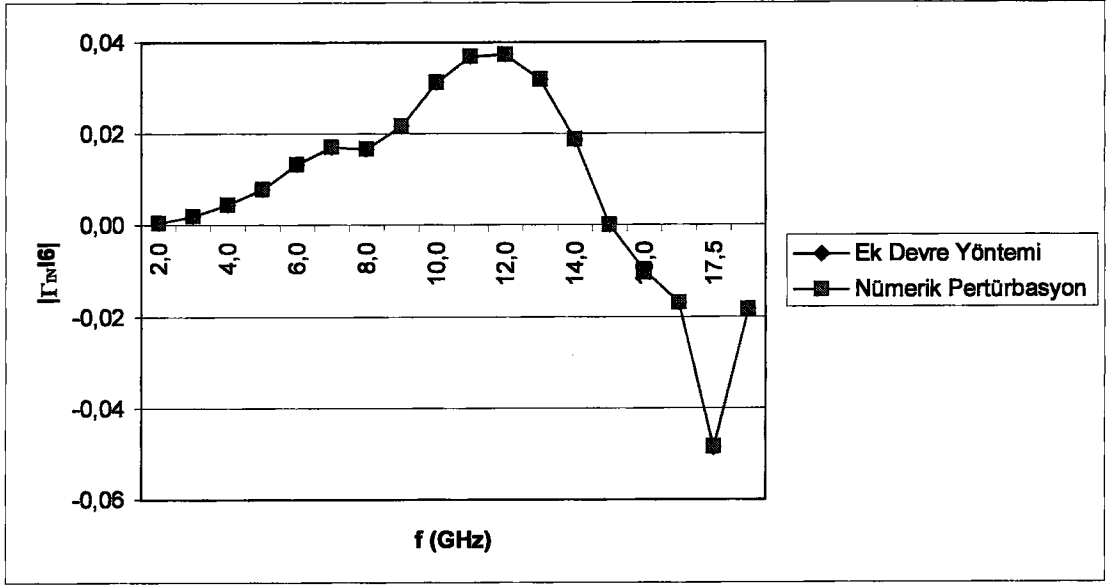




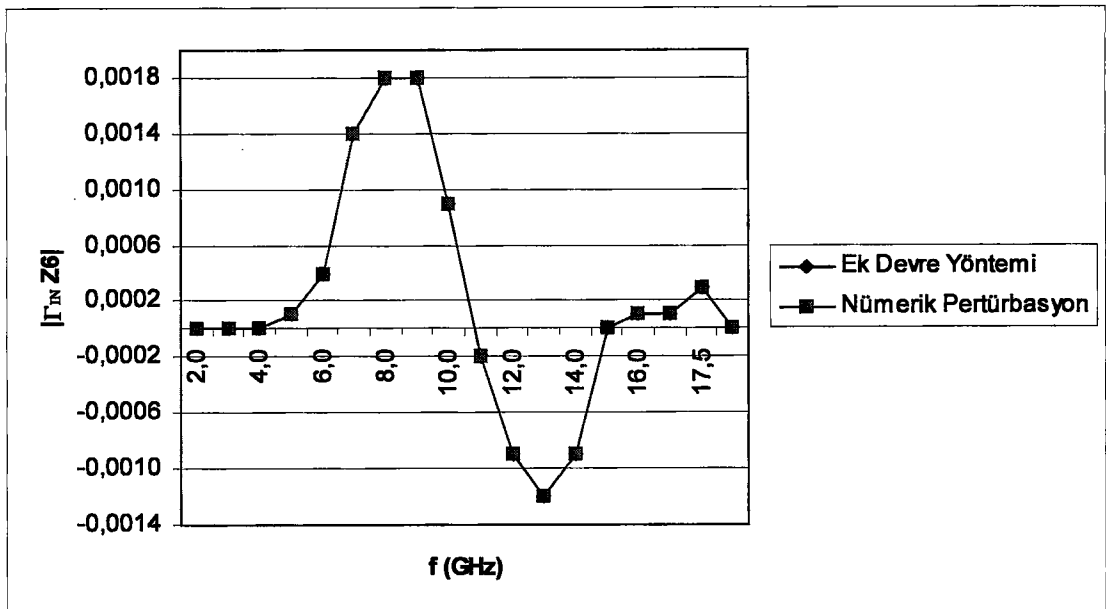
e.1)

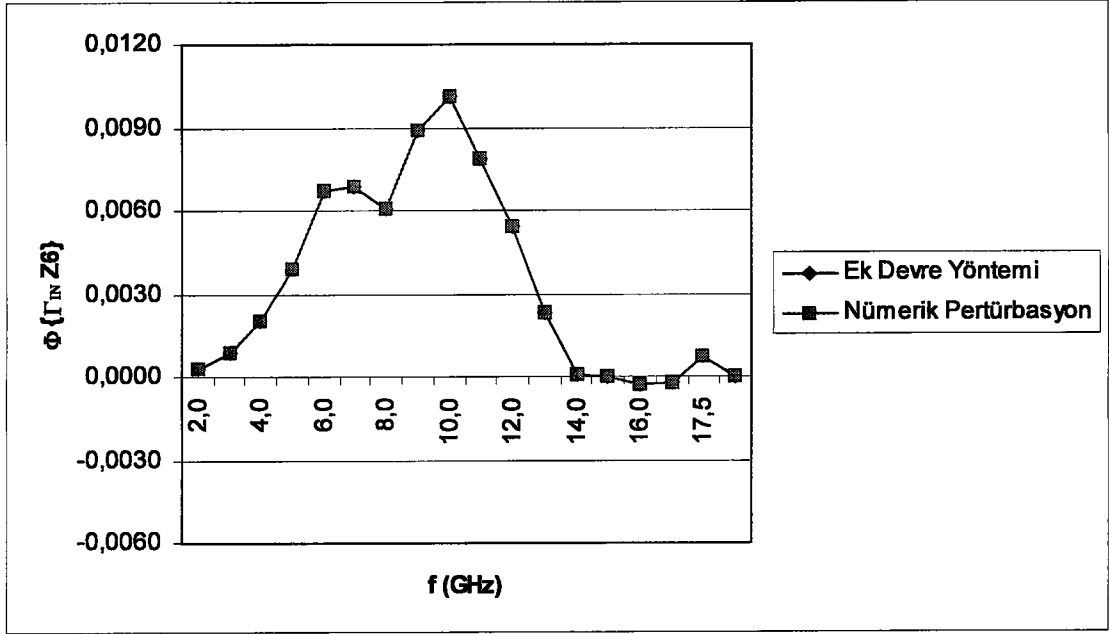


e.2)



f.1)





f.2)

Şekil 6.23 IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için
a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} 'e göre
giriş yansımaya katsayısı duyarlılığı – frekans değerleri

Çizelge 6.23 IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için
a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} 'e göre
çıkış yansımaya katsayısı duyarlılığı – frekans değerleri

a)1)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{out1} $	$\Phi\{\Gamma_{out1}\}$	$ \Gamma_{out1} $	$\Phi\{\Gamma_{out1}\}$
2,0	-0,0005	0,0006	-0,0005	0,0006
3,0	-0,0021	0,0001	-0,0021	0,0001
4,0	-0,0032	-0,0021	-0,0032	-0,0021
5,0	-0,0031	-0,0048	-0,0031	-0,0048
6,0	-0,0018	-0,0079	-0,0018	-0,0079
7,0	0,0001	-0,0108	0,0001	-0,0108
8,0	0,0025	-0,0139	0,0026	-0,0139
9,0	0,0051	-0,0186	0,0051	-0,0186
10,0	0,0083	-0,0222	0,0083	-0,0222
11,0	0,0102	-0,0233	0,0103	-0,0233
12,0	0,0115	-0,0202	0,0116	-0,0202
13,0	0,0126	-0,0120	0,0127	-0,0120
14,0	0,0105	0,0014	0,0105	0,0015
15,0	-0,0002	0,0004	-0,0002	0,0004
16,0	-0,0022	-0,0069	-0,0022	-0,0069
17,0	0,0044	-0,0106	0,0044	-0,0106
17,5	-0,0169	0,7503	-0,0170	0,7494
18,0	0,0107	-0,0083	0,0107	-0,0083

a)2)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{outZ1} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ1}\}$	$ \Gamma_{outZ1} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ1}\}$
2,0	0,0005	-0,0003	0,0005	-0,0003
3,0	0,0014	0,0009	0,0014	0,0009
4,0	0,0009	0,0029	0,0009	0,0029
5,0	-0,0009	0,0038	-0,0009	0,0038
6,0	-0,0031	0,0034	-0,0031	0,0034
7,0	-0,0048	0,0016	-0,0048	0,0016
8,0	-0,0056	-0,0010	-0,0056	-0,0010
9,0	-0,0058	-0,0040	-0,0058	-0,0040
10,0	-0,0048	-0,0070	-0,0048	-0,0070
11,0	-0,0030	-0,0080	-0,0030	-0,0080
12,0	-0,0010	-0,0070	-0,0010	-0,0070
13,0	0,0009	-0,0044	0,0009	-0,0044
14,0	0,0015	-0,0009	0,0015	-0,0009
15,0	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
16,0	-0,0001	-0,0003	-0,0001	-0,0003
17,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17,5	0,0098	0,0836	0,0098	0,0836
18,0	-0,0006	0,0003	-0,0006	0,0003

b)1)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{out2} $	$\Phi\{\Gamma_{out2}\}$	$ \Gamma_{out2} $	$\Phi\{\Gamma_{out2}\}$
2,0	-0,0017	0,0006	-0,0017	0,0006
3,0	-0,0016	-0,0020	-0,0016	-0,0020
4,0	0,0002	-0,0026	0,0002	-0,0026
5,0	0,0016	-0,0015	0,0016	-0,0015
6,0	0,0020	0,0003	0,0020	0,0003
7,0	0,0014	0,0020	0,0014	0,0020
8,0	0,0000	0,0032	0,0000	0,0032
9,0	-0,0021	0,0040	-0,0021	0,0040
10,0	-0,0052	0,0024	-0,0052	0,0024
11,0	-0,0085	-0,0029	-0,0085	-0,0029
12,0	-0,0109	-0,0145	-0,0109	-0,0145
13,0	-0,0051	-0,0381	-0,0051	-0,0381
14,0	0,0539	-0,0666	0,0541	-0,0667
15,0	-0,0112	0,2704	-0,0122	0,2705
16,0	-0,0464	-0,0785	-0,0461	-0,0785
17,0	0,0138	-0,0311	0,0138	-0,0310
17,5	0,0085	-0,1852	0,0085	-0,1854
18,0	0,0163	-0,0058	0,0163	-0,0058

b)2)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{outZ2} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ2}\}$	$ \Gamma_{outZ2} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ2}\}$
2,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3,0	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
4,0	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
5,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11,0	-0,0001	0,0000	-0,0001	0,0000
12,0	-0,0001	-0,0002	-0,0001	-0,0002
13,0	0,0000	-0,0003	0,0000	-0,0003
14,0	0,0002	-0,0003	0,0002	-0,0003
15,0	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
16,0	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002
17,0	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002
17,5	0,0000	-0,0012	0,0000	-0,0012
18,0	-0,0001	0,0000	-0,0001	0,0000

c)1)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{outI3} $	$\Phi\{\Gamma_{outI3}\}$	$ \Gamma_{outI3} $	$\Phi\{\Gamma_{outI3}\}$
2,0	0,0000	0,0025	0,0000	0,0025
3,0	-0,0038	0,0039	-0,0038	0,0039
4,0	-0,0080	0,0006	-0,0080	0,0006
5,0	-0,0100	-0,0060	-0,0100	-0,0060
6,0	-0,0088	-0,0149	-0,0088	-0,0149
7,0	-0,0045	-0,0239	-0,0045	-0,0239
8,0	0,0027	-0,0328	0,0028	-0,0327
9,0	0,0115	-0,0440	0,0115	-0,0440
10,0	0,0232	-0,0507	0,0232	-0,0507
11,0	0,0323	-0,0503	0,0323	-0,0503
12,0	0,0399	-0,0409	0,0400	-0,0409
13,0	0,0479	-0,0197	0,0479	-0,0197
14,0	0,0540	0,0283	0,0539	0,0284
15,0	-0,0153	0,0816	-0,0153	0,0816
16,0	-0,0330	0,0021	-0,0330	0,0020
17,0	-0,0172	-0,0183	-0,0172	-0,0183
17,5	-0,0303	1,8541	-0,0306	1,8506
18,0	-0,0037	-0,0263	-0,0037	-0,0263

c)2)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{outZ3} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ3}\}$	$ \Gamma_{outZ3} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ3}\}$

2,0	-0,0006	0,0002	-0,0006	0,0002
3,0	-0,0016	-0,0007	-0,0016	-0,0007
4,0	-0,0018	-0,0023	-0,0018	-0,0023
5,0	-0,0012	-0,0034	-0,0012	-0,0034
6,0	-0,0002	-0,0039	-0,0002	-0,0039
7,0	0,0006	-0,0035	0,0006	-0,0035
8,0	0,0008	-0,0023	0,0008	-0,0023
9,0	0,0002	-0,0005	0,0002	-0,0005
10,0	-0,0009	0,0018	-0,0009	0,0018
11,0	-0,0022	0,0038	-0,0022	0,0038
12,0	-0,0031	0,0045	-0,0031	0,0045
13,0	-0,0036	0,0034	-0,0036	0,0034
14,0	-0,0033	0,0005	-0,0033	0,0005
15,0	-0,0002	0,0009	-0,0002	0,0009
16,0	-0,0016	0,0001	-0,0016	0,0001
17,0	-0,0009	-0,0002	-0,0009	-0,0002
17,5	-0,0048	-0,1008	-0,0048	-0,1008
18,0	-0,0003	-0,0002	-0,0003	-0,0002

d)1)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{out14} $	$\Phi\{\Gamma_{out14}\}$	$ \Gamma_{out14} $	$\Phi\{\Gamma_{out14}\}$
2,0	-0,0034	-0,0052	-0,0034	-0,0052
3,0	-0,0069	-0,0153	-0,0069	-0,0153
4,0	-0,0078	-0,0291	-0,0078	-0,0291
5,0	-0,0063	-0,0461	-0,0063	-0,0461
6,0	-0,0033	-0,0697	-0,0033	-0,0697
7,0	-0,0004	-0,1074	-0,0004	-0,1074
8,0	0,0020	-0,1630	0,0020	-0,1630
9,0	-0,0005	-0,2390	-0,0004	-0,2390
10,0	-0,0150	-0,3160	-0,0149	-0,3160
11,0	-0,0388	-0,3468	-0,0388	-0,3467
12,0	-0,0529	-0,3099	-0,0528	-0,3098
13,0	-0,0506	-0,2517	-0,0505	-0,2517
14,0	-0,0427	-0,1963	-0,0427	-0,1963
15,0	-0,0653	-0,1713	-0,0652	-0,1713
16,0	-0,0424	-0,2142	-0,0423	-0,2142
17,0	-0,0209	-0,2102	-0,0209	-0,2102
17,5	0,5120	1,6621	0,5117	1,7077
18,0	-0,0043	-0,2242	-0,0042	-0,2242

d)2)

Ek Devre Yöntemi

Nümerik Pertürbasyon

f (GHz)	$ \Gamma_{outZ4} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ4}\}$	$ \Gamma_{outZ4} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ4}\}$
2,0	0,0005	-0,0013	0,0005	-0,0013
3,0	0,0011	-0,0017	0,0011	-0,0017

4,0	0,0014	-0,0020	0,0014	-0,0020
5,0	0,0014	-0,0027	0,0014	-0,0027
6,0	0,0014	-0,0039	0,0014	-0,0039
7,0	0,0012	-0,0052	0,0012	-0,0052
8,0	0,0009	-0,0065	0,0009	-0,0065
9,0	0,0004	-0,0071	0,0004	-0,0071
10,0	-0,0003	-0,0056	-0,0003	-0,0056
11,0	-0,0004	-0,0022	-0,0004	-0,0022
12,0	0,0003	0,0009	0,0003	0,0009
13,0	0,0013	0,0022	0,0013	0,0022
14,0	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022
15,0	0,0031	0,0037	0,0031	0,0037
16,0	0,0021	0,0042	0,0021	0,0042
17,0	0,0019	0,0034	0,0019	0,0034
17,5	-0,0001	-0,0010	-0,0001	-0,0010
18,0	0,0019	0,0027	0,0019	0,0027

e)1)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{out15} $	$\Phi\{\Gamma_{out15}\}$	$ \Gamma_{out15} $	$\Phi\{\Gamma_{out15}\}$
2,0	-0,0263	-0,1023	-0,0263	-0,1024
3,0	-0,0250	-0,0989	-0,0250	-0,0989
4,0	-0,0233	-0,0945	-0,0233	-0,0945
5,0	-0,0226	-0,0897	-0,0226	-0,0897
6,0	-0,0238	-0,0830	-0,0238	-0,0830
7,0	-0,0252	-0,0752	-0,0252	-0,0752
8,0	-0,0288	-0,0583	-0,0288	-0,0583
9,0	-0,0286	-0,0299	-0,0286	-0,0299
10,0	-0,0183	0,0034	-0,0183	0,0034
11,0	0,0032	0,0169	0,0032	0,0169
12,0	0,0249	-0,0085	0,0249	-0,0085
13,0	0,0364	-0,0542	0,0364	-0,0542
14,0	0,0450	-0,1028	0,0450	-0,1028
15,0	0,0529	-0,1261	0,0529	-0,1260
16,0	0,0361	-0,1874	0,0361	-0,1873
17,0	0,0337	-0,3145	0,0337	-0,3142
17,5	-0,0270	-2,6816	-0,0273	-2,6757
18,0	0,0411	-0,5588	0,0412	-0,5581

e)2)

Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{outZ5} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ5}\}$	$ \Gamma_{outZ5} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ5}\}$
2,0	-0,0010	-0,0039	-0,0010	-0,0039
3,0	-0,0009	-0,0035	-0,0009	-0,0035
4,0	-0,0008	-0,0031	-0,0008	-0,0031
5,0	-0,0006	-0,0025	-0,0006	-0,0025

6,0	-0,0006	-0,0020	-0,0006	-0,0020
7,0	-0,0005	-0,0014	-0,0005	-0,0014
8,0	-0,0004	-0,0008	-0,0004	-0,0008
9,0	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0003
10,0	-0,0001	0,0000	-0,0001	0,0000
11,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,0	-0,0001	0,0000	-0,0001	0,0000
13,0	-0,0002	0,0003	-0,0002	0,0003
14,0	-0,0003	0,0008	-0,0003	0,0008
15,0	-0,0004	0,0011	-0,0004	0,0011
16,0	-0,0003	0,0016	-0,0003	0,0016
17,0	-0,0003	0,0026	-0,0003	0,0026
17,5	0,0002	0,0214	0,0002	0,0214
18,0	-0,0003	0,0042	-0,0003	0,0042

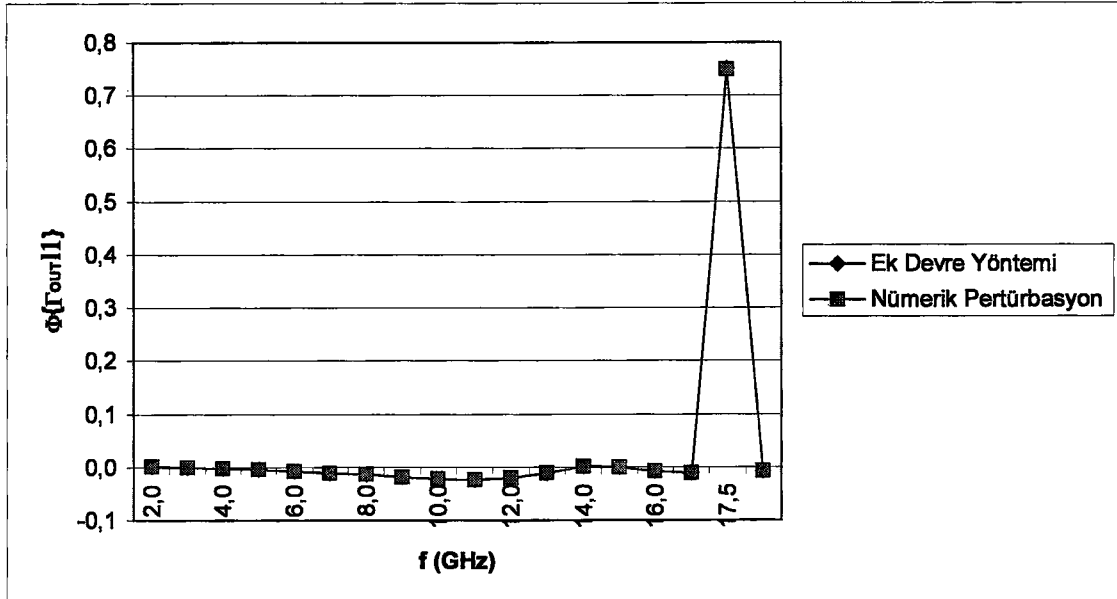
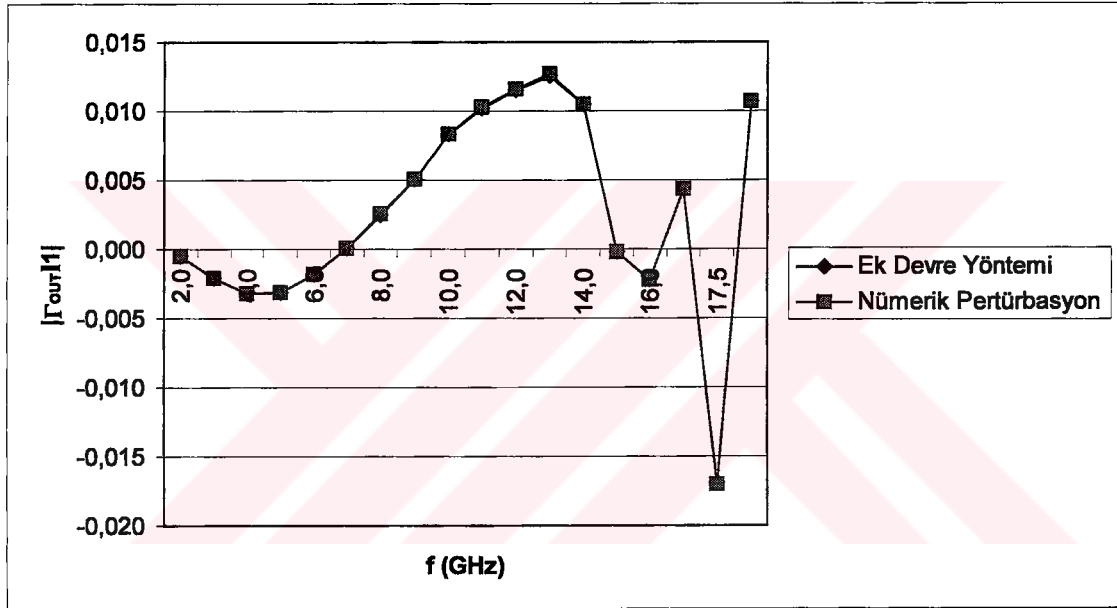
f1)

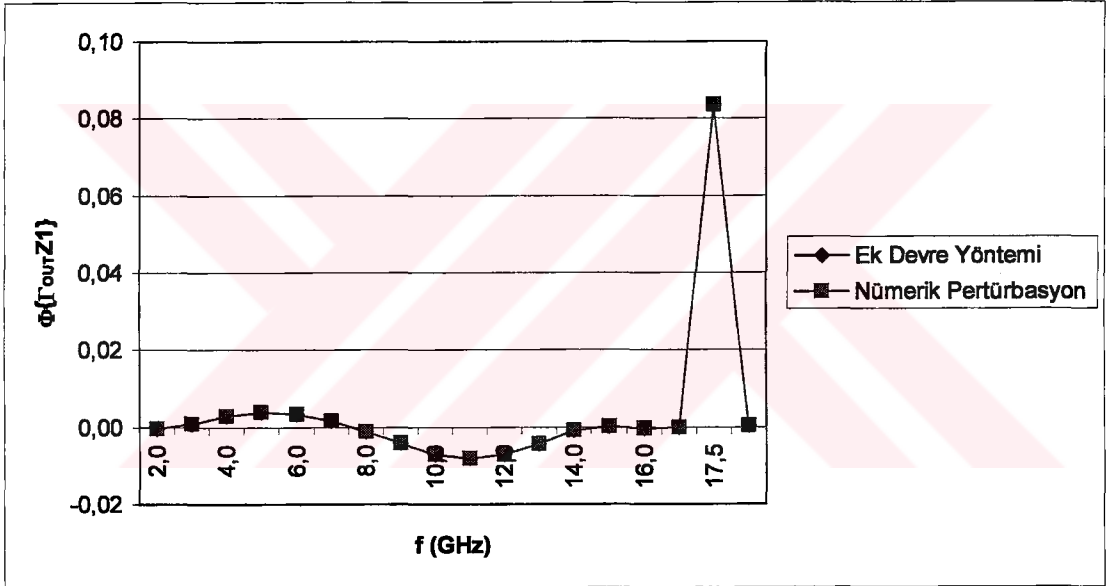
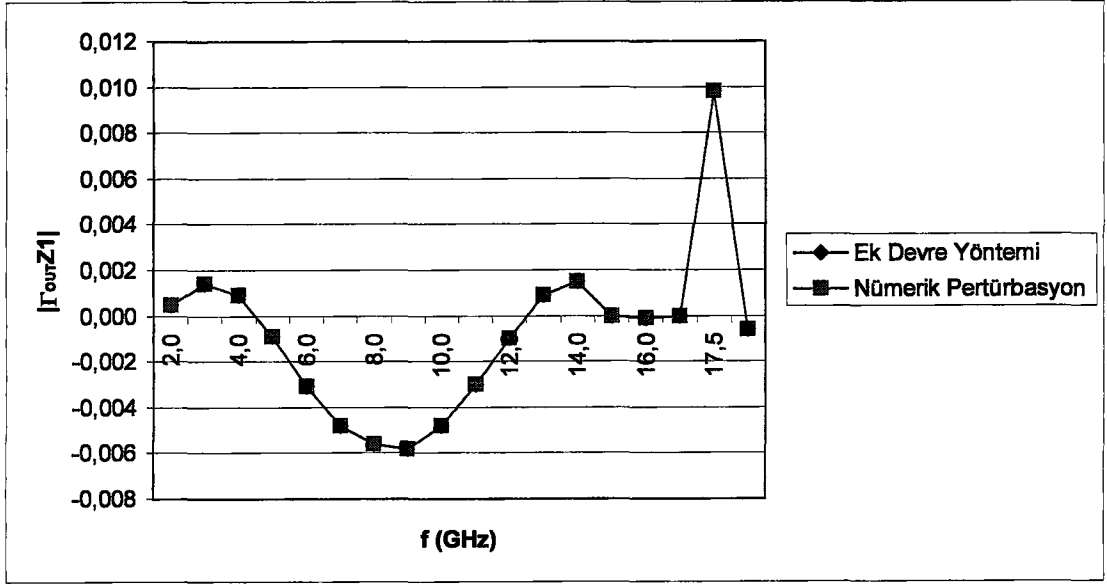
Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{out6} $	$\Phi\{\Gamma_{out6}\}$	$ \Gamma_{out6} $	$\Phi\{\Gamma_{out6}\}$
2,0	0,0064	-0,0655	0,0064	-0,0655
3,0	0,0049	-0,0717	0,0049	-0,0717
4,0	0,0008	-0,0874	0,0008	-0,0874
5,0	-0,0038	-0,1120	-0,0038	-0,1120
6,0	-0,0091	-0,1426	-0,0091	-0,1426
7,0	-0,0153	-0,1785	-0,0153	-0,1784
8,0	-0,0243	-0,2118	-0,0243	-0,2118
9,0	-0,0330	-0,2346	-0,0329	-0,2345
10,0	-0,0355	-0,2405	-0,0355	-0,2404
11,0	-0,0269	-0,2386	-0,0269	-0,2386
12,0	-0,0127	-0,2483	-0,0126	-0,2483
13,0	-0,0053	-0,2708	-0,0053	-0,2708
14,0	-0,0066	-0,2910	-0,0065	-0,2910
15,0	-0,0334	-0,3218	-0,0333	-0,3217
16,0	-0,0362	-0,4043	-0,0361	-0,4041
17,0	-0,0411	-0,4786	-0,0410	-0,4784
17,5	0,1247	2,6910	0,1240	2,7049
18,0	-0,0584	-0,6095	-0,0581	-0,6091

f2)

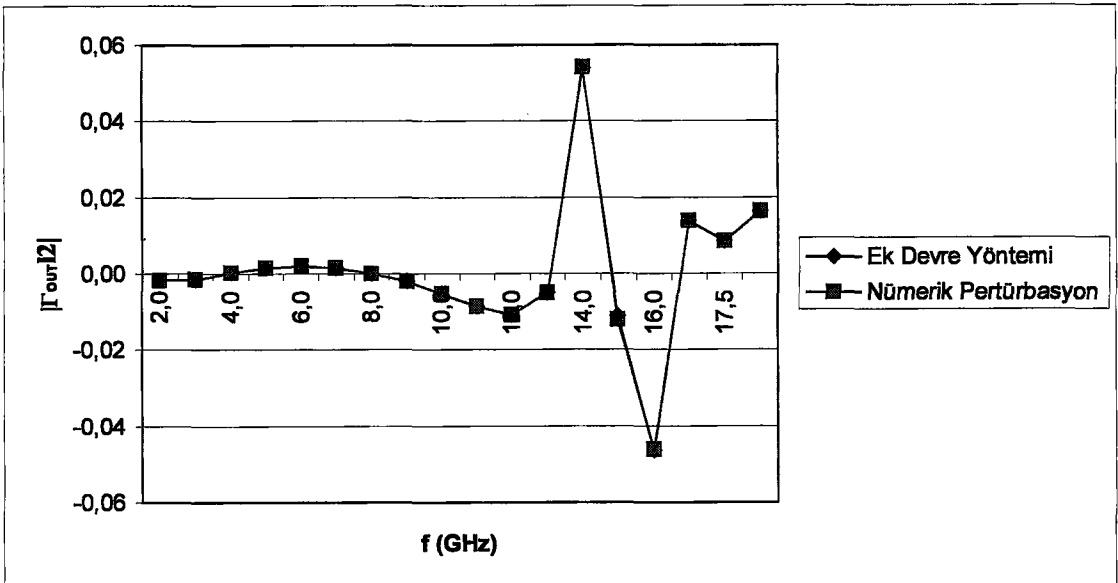
Ek Devre Yöntemi			Nümerik Pertürbasyon	
f (GHz)	$ \Gamma_{outZ6} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ6}\}$	$ \Gamma_{outZ6} $	$\Phi\{\Gamma_{outZ6}\}$
2,0	0,0012	-0,0014	0,0012	-0,0014
3,0	0,0014	0,0022	0,0014	0,0022
4,0	0,0014	0,0053	0,0014	0,0053
5,0	0,0014	0,0079	0,0014	0,0079
6,0	0,0016	0,0102	0,0016	0,0102
7,0	0,0019	0,0121	0,0019	0,0121

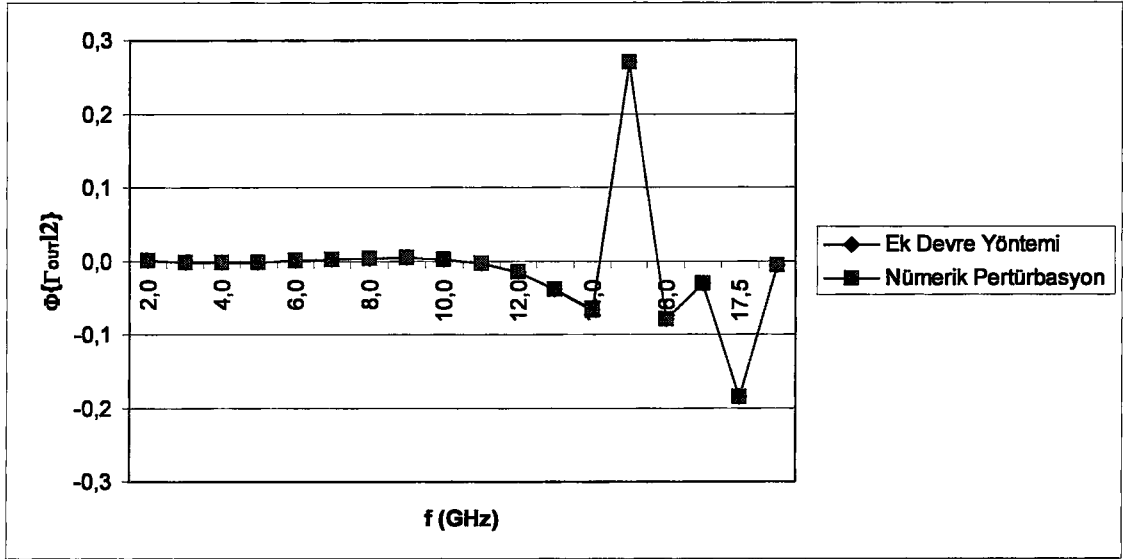
8,0	0,0028	0,0132	0,0028	0,0132
9,0	0,0040	0,0126	0,0040	0,0126
10,0	0,0053	0,0090	0,0053	0,0090
11,0	0,0055	0,0027	0,0055	0,0027
12,0	0,0045	-0,0030	0,0045	-0,0030
13,0	0,0032	-0,0054	0,0032	-0,0054
14,0	0,0023	-0,0056	0,0023	-0,0056
15,0	0,0023	-0,0035	0,0023	-0,0035
16,0	0,0010	-0,0015	0,0010	-0,0015
17,0	0,0005	-0,0006	0,0005	-0,0006
17,5	-0,0005	-0,0163	-0,0005	-0,0163
18,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



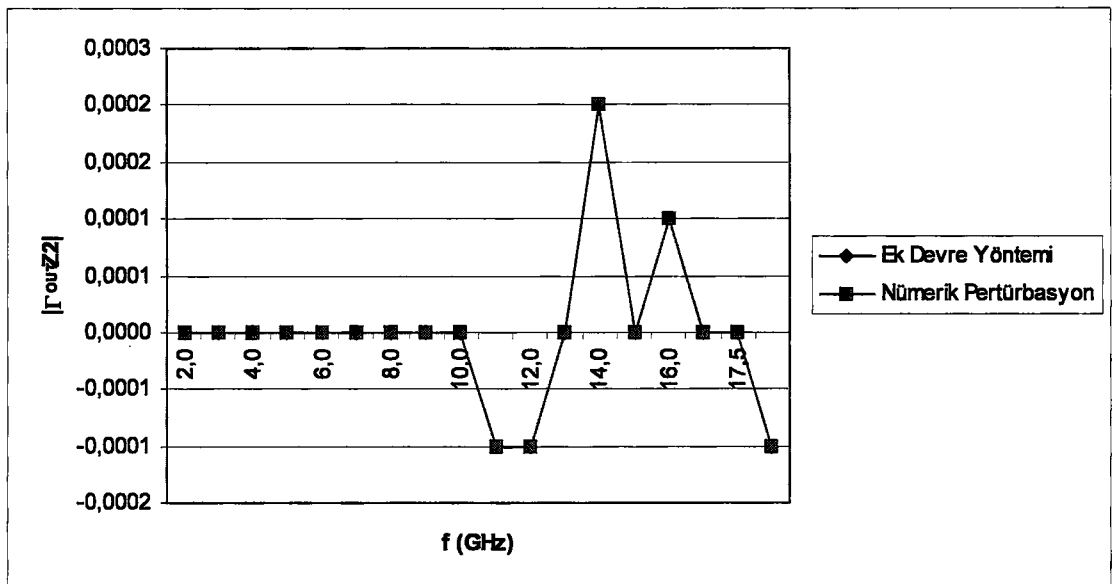
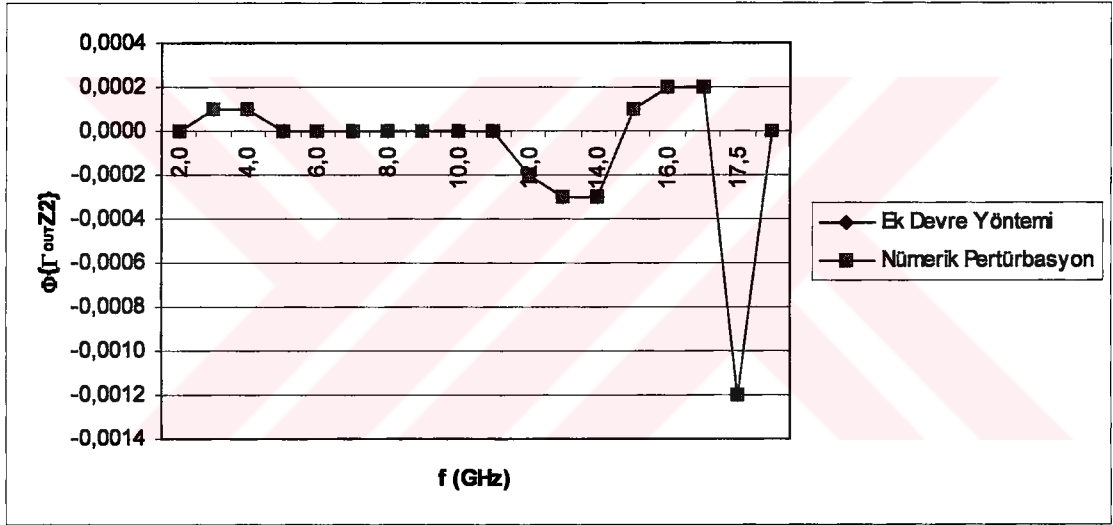


a.2)

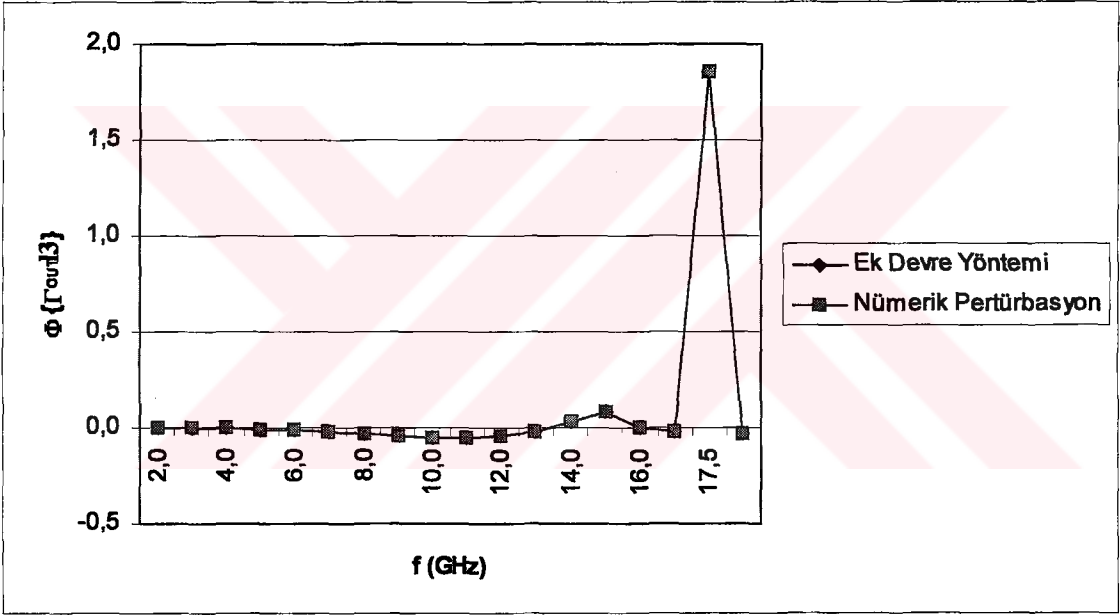
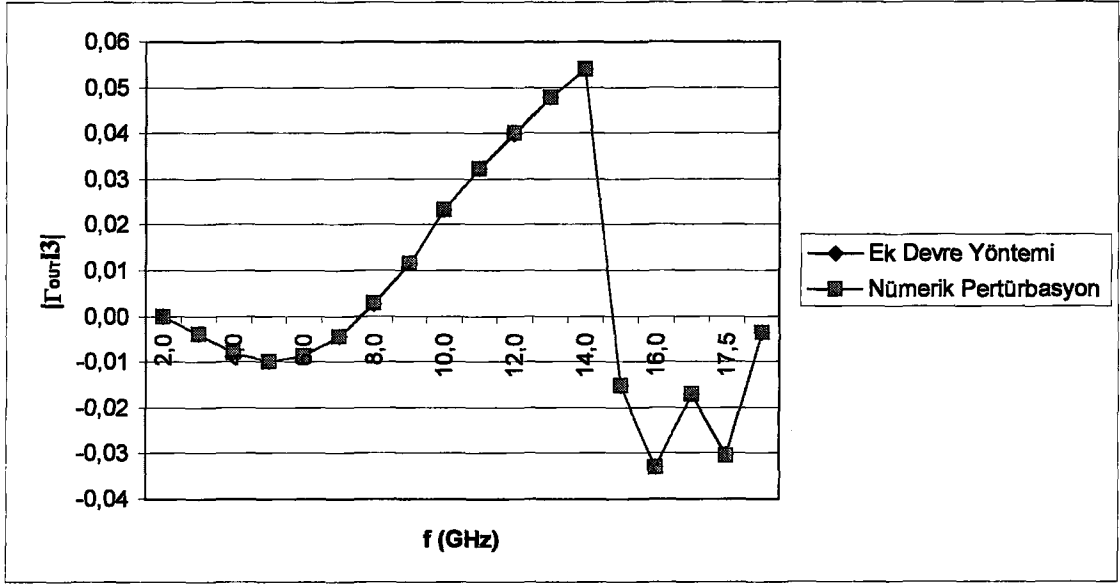




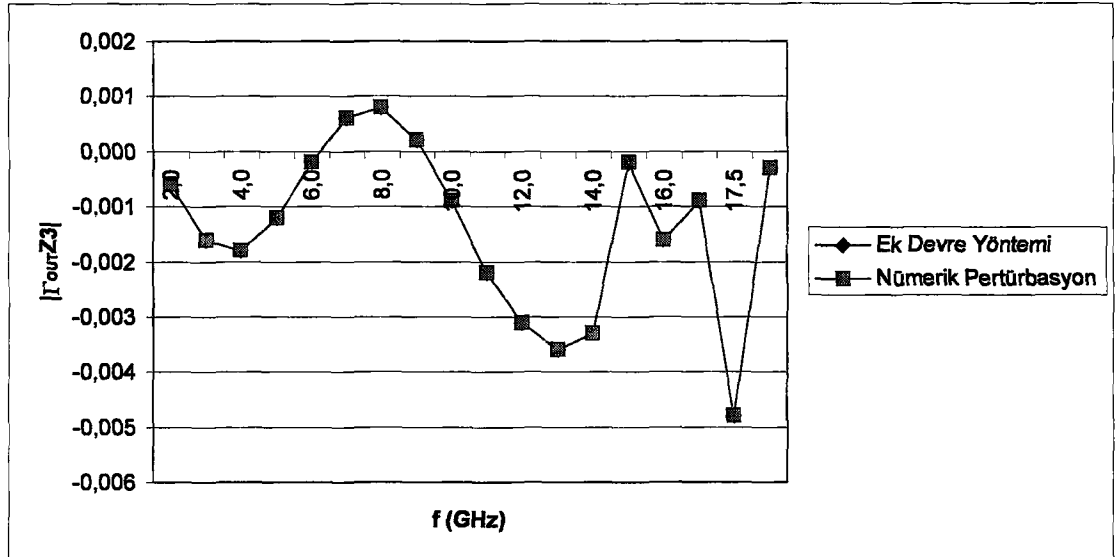
b.1)

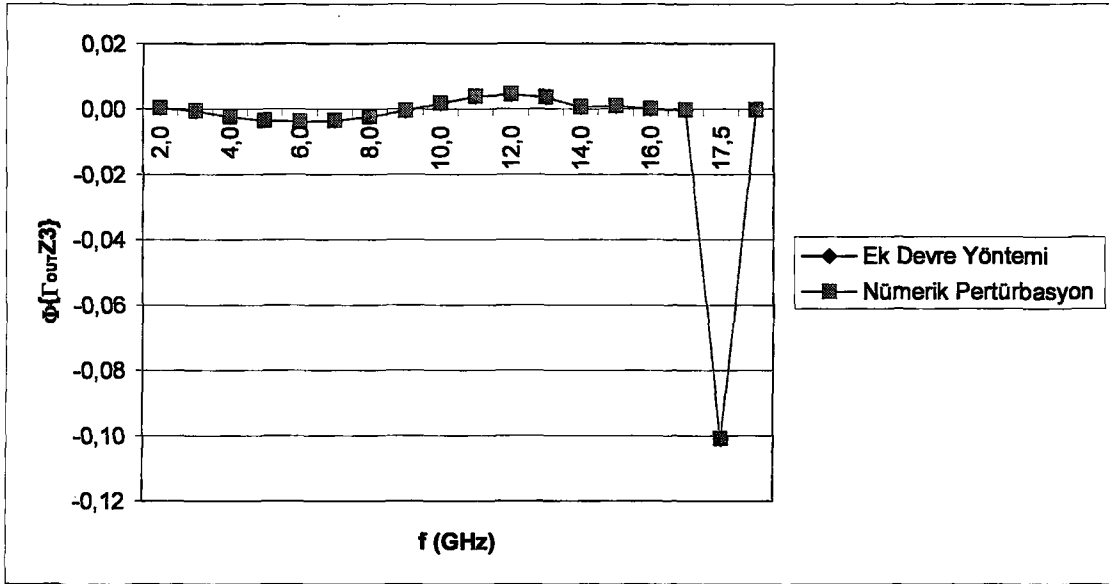


b.2)

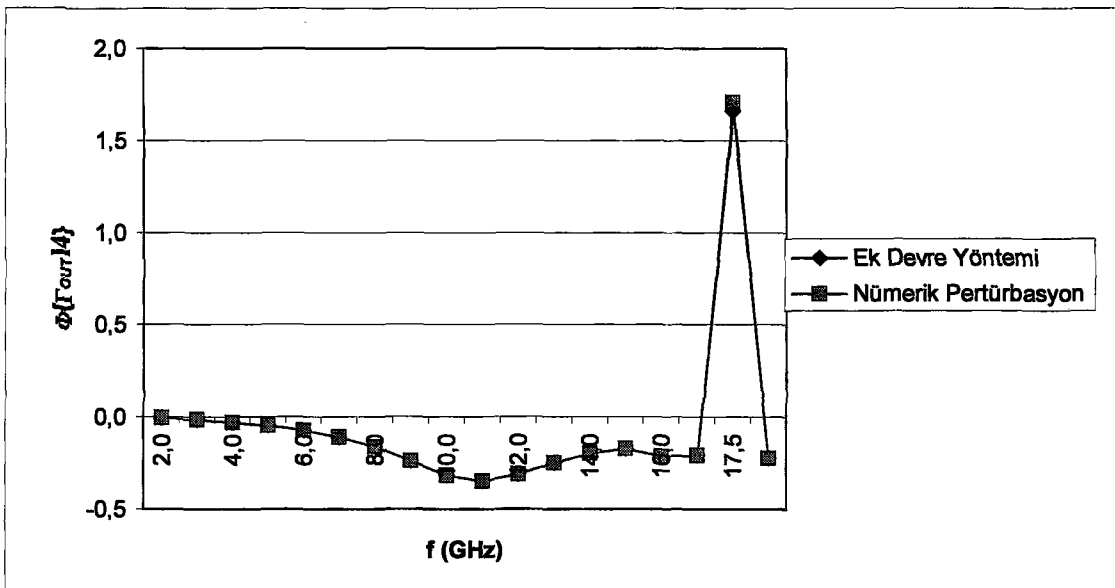
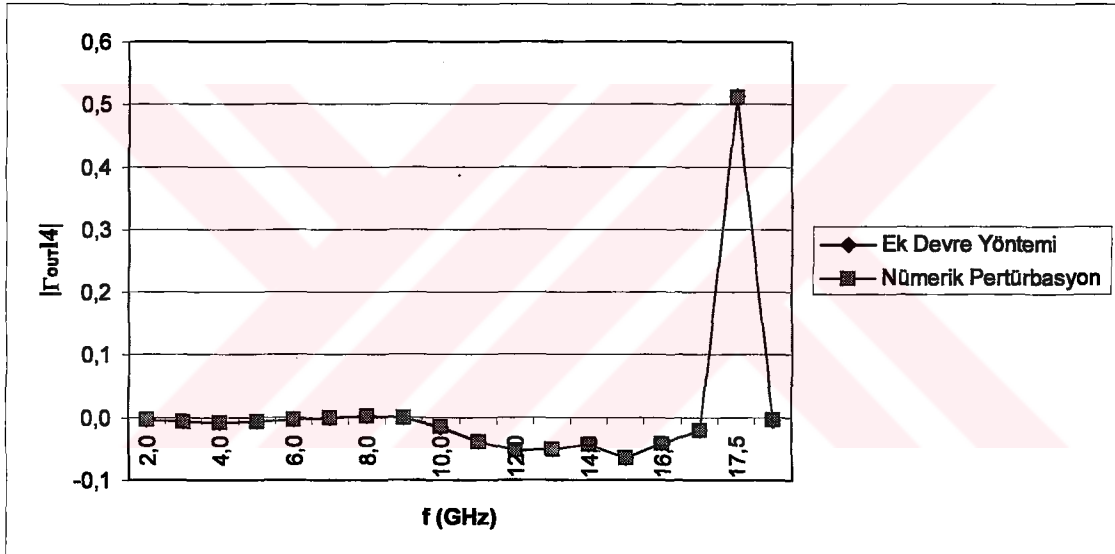


c.1)

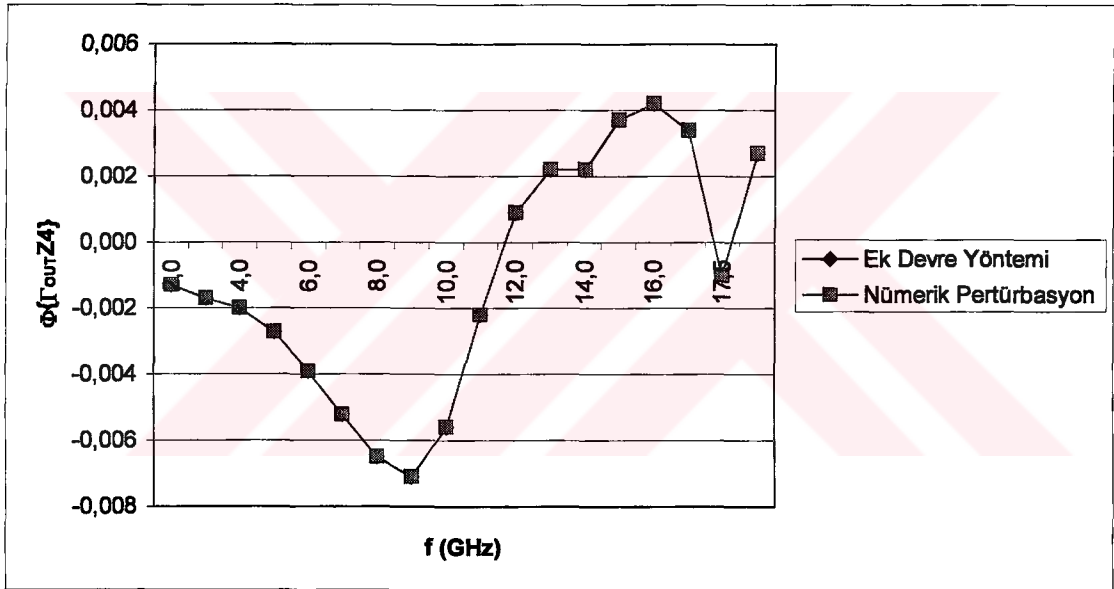
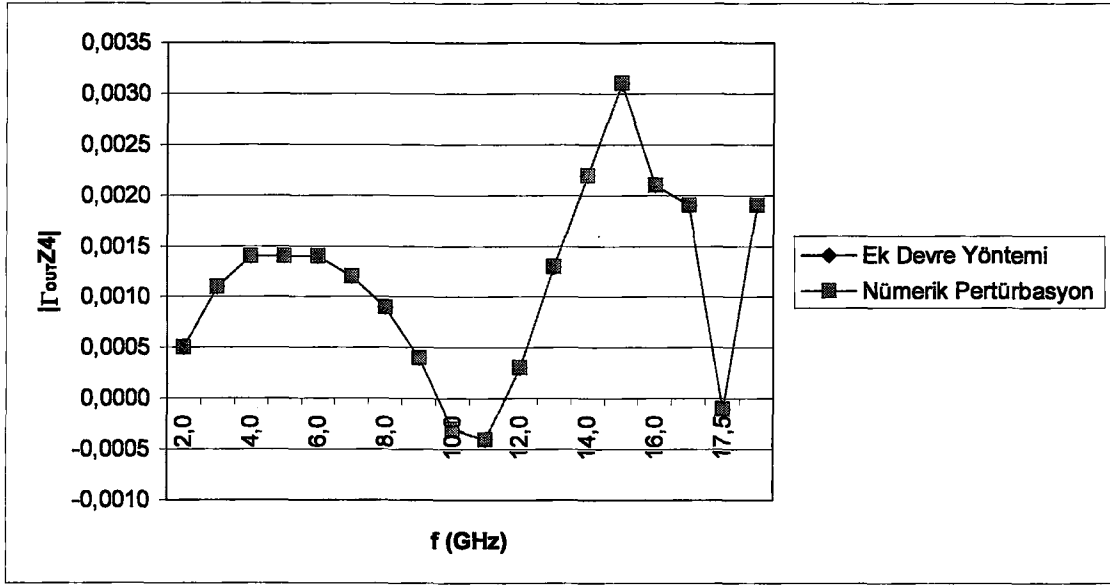




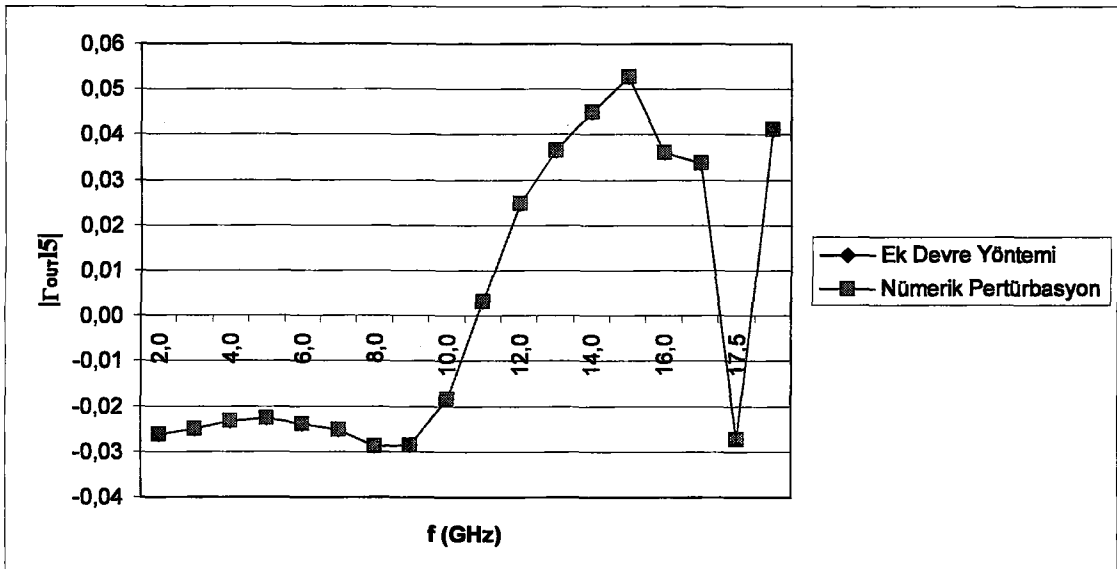
c.2)

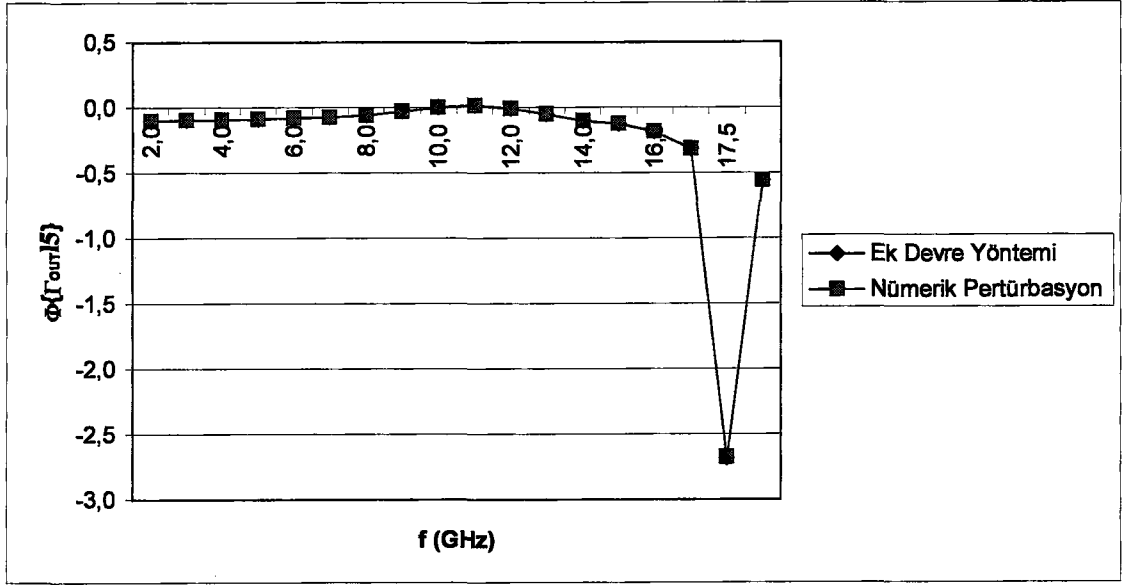


d.1)

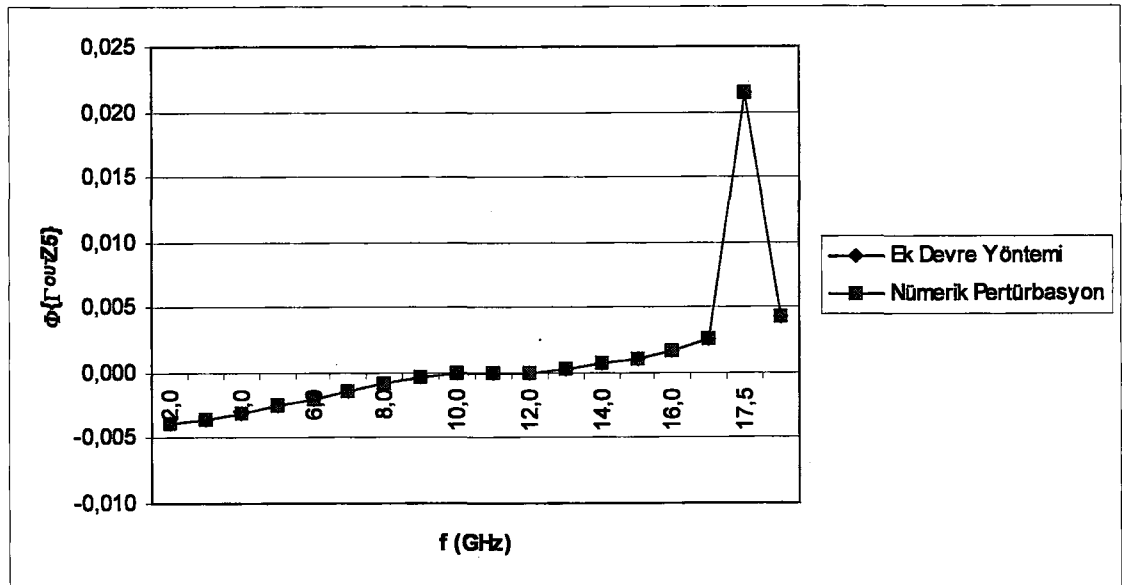
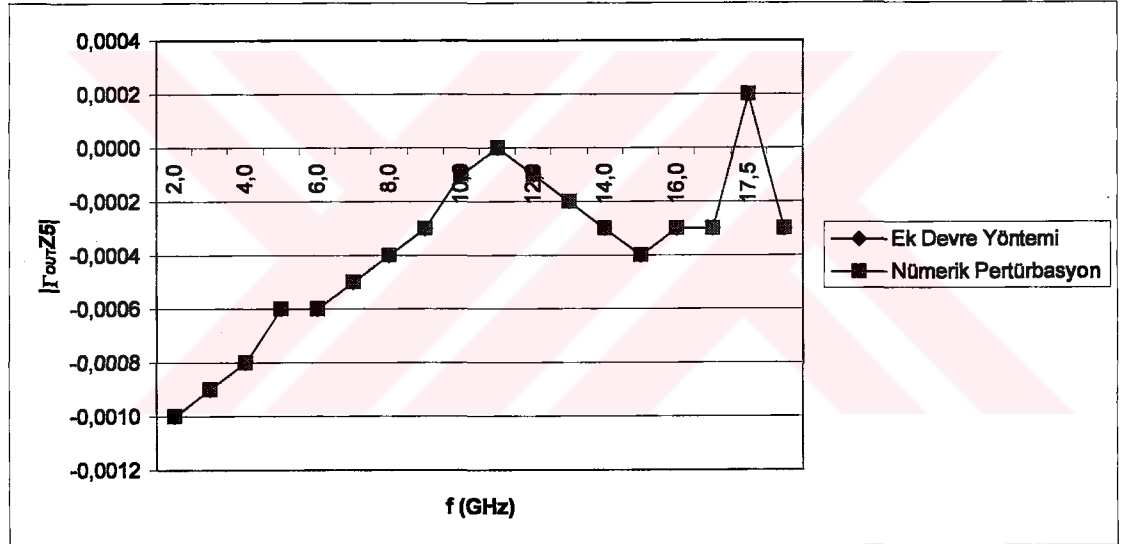


d.2)

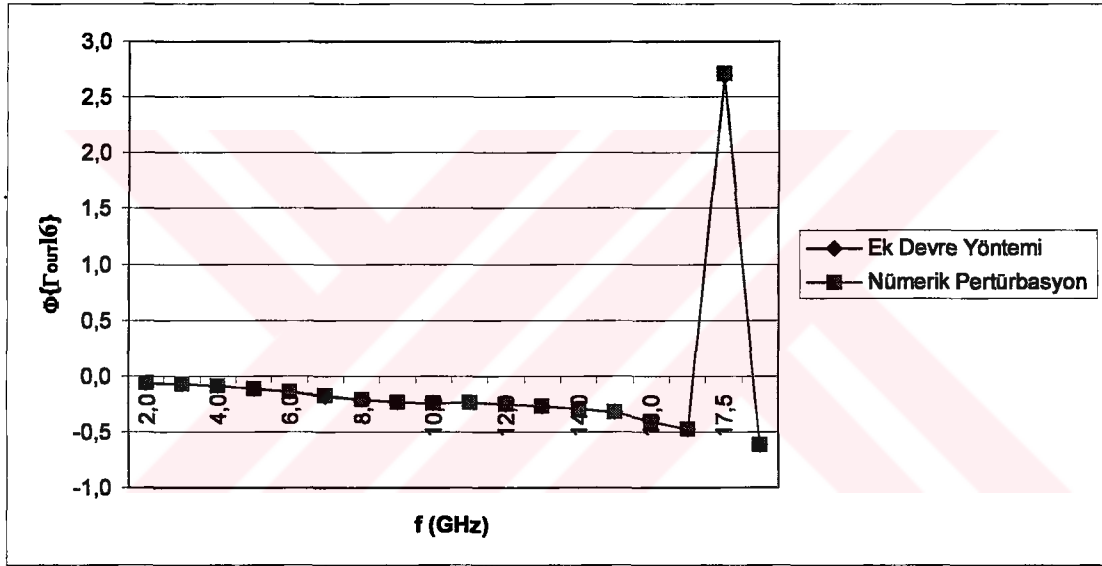
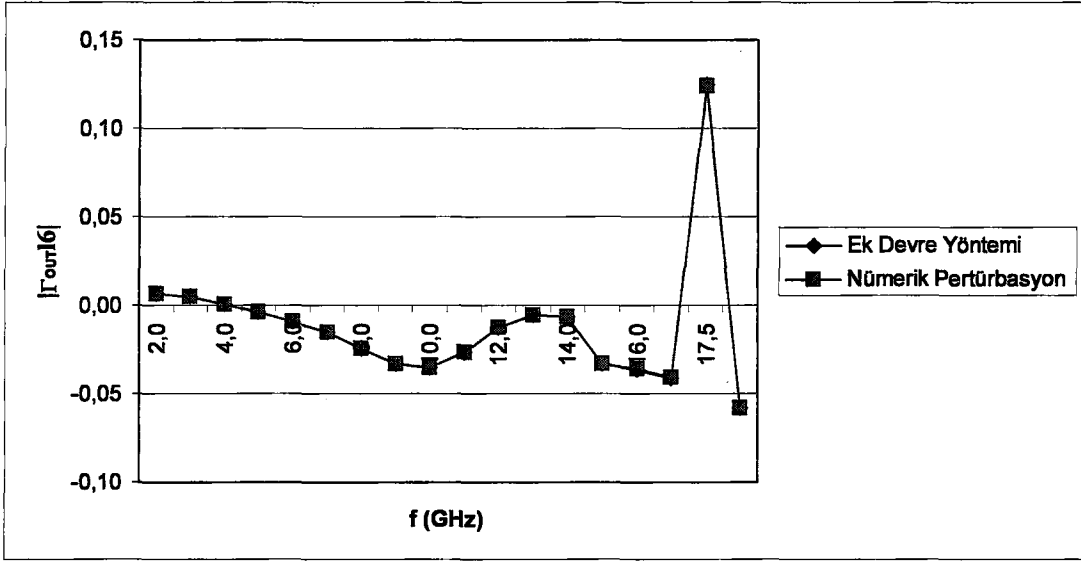




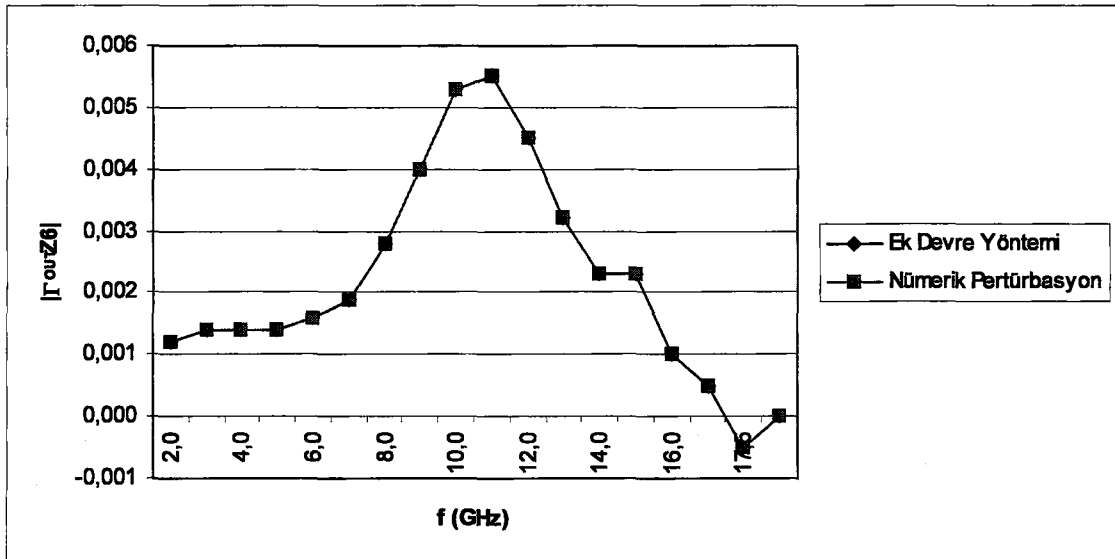
e.1)

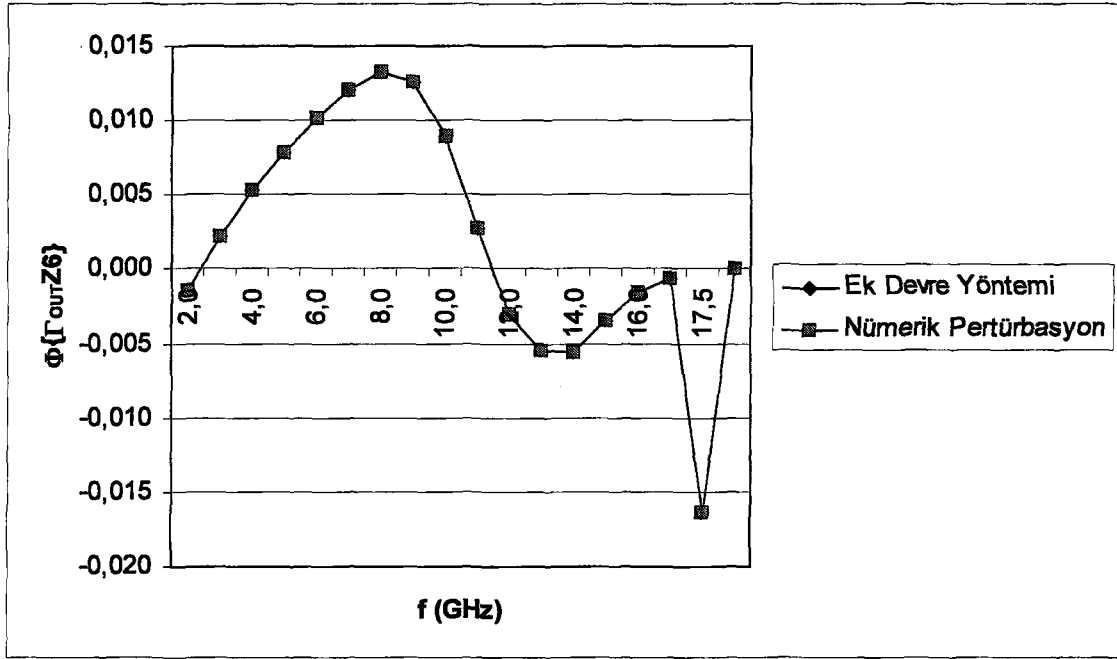


e.2)



f.1)





f.2)

Şekil 6.24 IMC(T tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T tipi) devresi için
a)1) ℓ_1 , 2) Z_{01} b)1) ℓ_2 , 2) Z_{02} c)1) ℓ_3 , 2) Z_{03} d)1) ℓ_4 , 2) Z_{04} e)1) ℓ_5 , 2) Z_{05} f)1) ℓ_6 , 2) Z_{06} 'e göre
çıkış yansıma katsayısı duyarlılığı – frekans değerleri

6.3 Bilgisayar Programı

IMC(T - tipi) –Transistor (NE329S01)-OMC(T- Tipi) devresinin duyarlılıklarının ek devre yöntemi, nümerik pertürbasyon ve kazanç çarpımları yaklaşımlarıyla bulunmasını sağlayacak programlar örnek olarak verilmiştir.

6.3.1 Kazanç Duyarlılıkları

6.3.1.1 Ek Devre Yöntemi

```
In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N18');
```

```
% Kaynak ve Yük Empedanslari
```

```
Zg=50;
```

```
Zl=50;
```

```
Zn=50;
```

```
Yn=1/Zn;
```

```
% z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedansları
```

```
Zo(1)=36.310161516996139;
```

Zo(2)=180.88547960005533;

Zo(3)=53.040858817204942;

Zo(4)=129.00600743174357;

Zo(5)=166.34671619271171;

Zo(6)=94.108668574893557;

l(1)=15.88636643315235;

l(2)=14.008911065162144;

l(3)=13.377572651120596;

l(4)=13.711417580320823;

l(5)=0.67396510436800605;

l(6)=0.83214166475481877;

Yo(2)=1/Zo(2);

Yo(5)=1/Zo(5);

% S Parametrelerinin hesaplanması

S = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));

S = S(:,1:4);

% Thetaların Hesabı

Theta=(2.*pi./300000000)*kron([l]*1e-2,In(:,2)*1e9);

Beta=(2.*pi./300000000)*(In(:,2)*1e9);

for n=1:18

S111 = (Zo(1)^2-Zn^2)/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));

S122 = (Zo(1)^2-Zn^2)/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));

S112 = -i*2*Zo(1)*Zn*csc(Theta(n,1))/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));

S121 = -i*2*Zo(1)*Zn*csc(Theta(n,1))/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));

S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);

S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);

S211 = Yo(2)*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));

S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));

S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));

S222 = Yo(2)*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));

$$\begin{aligned} S511 &= Y_0(5) * i * \cot(\Theta(n, 5)) / (2 * Y_n - (i * Y_0(5) * \cot(\Theta(n, 5)))); \\ S512 &= 2 * Y_n / (2 * Y_n - (i * Y_0(5) * \cot(\Theta(n, 5)))); \\ S521 &= 2 * Y_n / (2 * Y_n - (i * Y_0(5) * \cot(\Theta(n, 5)))); \\ S522 &= Y_0(5) * i * \cot(\Theta(n, 5)) / (2 * Y_n - (i * Y_0(5) * \cot(\Theta(n, 5)))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S11 &= S(n,1); \\ S12 &= S(n,3); \\ S21 &= S(n,2); \\ S22 &= S(n,4); \end{aligned}$$

[illegible]

$$\mathbf{c}=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];$$

ang=inv(W)*c;

c2=[0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1];

alpha=inv(W.)*c2;

% a12'nin Z01 e gore kısmi türevi

G1=([alpha(2,1) alpha(3,1)]*[ang(2,1); ang(3,1)]-[alpha(1,1) alpha(4,1)]*[ang(1,1); ang(4,1)])./(2.*Zo(1));

% a12'nin Z02 e gore kısmi türevi

G2=([alpha(4,1) alpha(5,1)]*[ang(4,1); ang(5,1)]-[alpha(3,1) alpha(6,1)]*[ang(3,1); ang(6,1)])./(2.*Zo(2));

% a12'nin Z03 e gore kısmi türevi

G3=([alpha(6,1) alpha(7,1)]*[ang(6,1); ang(7,1)]-[alpha(5,1) alpha(8,1)]*[ang(5,1); ang(8,1)])./(2.*Zo(3));

% a12'nin Z04 e gore kısmi türevi

G4=([alpha(10,1) alpha(11,1)]*[ang(10,1); ang(11,1)]-[alpha(9,1) alpha(12,1)]*[ang(9,1); ang(12,1)])./(2.*Zo(4));

% a12'nin Z05 e gore kısmi türevi

G5=([alpha(12,1) alpha(13,1)]*[ang(12,1); ang(13,1)]-[alpha(11,1) alpha(14,1)]*[ang(11,1); ang(14,1)])./(2.*Zo(5));

% a12'nin Z06 e gore kısmi türevi

G6=([alpha(14,1) alpha(15,1)]*[ang(14,1); ang(15,1)]-[alpha(13,1) alpha(16,1)]*[ang(13,1); ang(16,1)])./(2.*Zo(6));

% a12'nin l1 e gore kısmi türevi

G11=i.*Zo(1).*Beta(n).*[alpha(2,1)-alpha(1,1) alpha(3,1)-alpha(4,1)]*[1 cos(Theta(n,1)); cos(Theta(n,1)) 1]*[ang(2,1)-ang(1,1); ang(3,1)-ang(4,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,1)).^2));

% a12'nin l2 e gore kısmi türevi

G12=i.*Zo(2).*Beta(n).*[alpha(4,1)-alpha(3,1) alpha(5,1)-alpha(6,1)]*[1 1;1 1]*[ang(4,1)-ang(3,1); ang(5,1)-ang(6,1)]./(2.*Zn.*(cos(Theta(n,2)).^2));

% a12'nin l3 e gore kısmi türevi

G13=i.*Zo(3).*Beta(n).*[alpha(6,1)-alpha(5,1) alpha(7,1)-alpha(8,1)]*[1 cos(Theta(n,3)); cos(Theta(n,3)) 1]*[ang(6,1)-ang(5,1); ang(7,1)-ang(8,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,3)).^2));

% a12'nin l4 e gore kısmi türevi

```
G14=i.*Zo(4).*Beta(n).*[alpha(10,1)-alpha(9,1) alpha(11,1)-alpha(12,1)]*[1 cos(Theta(n,4));
cos(Theta(n,4)) 1]*[ang(10,1)-ang(9,1); ang(11,1)-ang(12,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,4)).^2));
```

```
% a12'nin 15 e gore kısmi türevi
```

```
G15=i.*Zo(5).*Beta(n).*[alpha(12,1)-alpha(11,1) alpha(13,1)-alpha(14,1)]*[1 1;1
1]*[ang(12,1)-ang(11,1); ang(13,1)-ang(14,1)]./(2.*Zn.*(cos(Theta(n,5)).^2));
```

```
% a12'nin 16 e gore kısmi türevi
```

```
G16=i.*Zo(6).*Beta(n).*[alpha(14,1)-alpha(13,1) alpha(15,1)-alpha(16,1)]*[1
cos(Theta(n,6)); cos(Theta(n,6)) 1]*[ang(14,1)-ang(13,1); ang(15,1)-
ang(16,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,6)).^2));
```

```
GTZ01(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G1);
```

```
GTZ02(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G2);
```

```
GTZ03(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G3);
```

```
GTZ04(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G4);
```

```
GTZ05(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G5);
```

```
GTZ06(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G6);
```

```
GTI01(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G11);
```

```
GTI02(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G12);
```

```
GTI03(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G13);
```

```
GTI04(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G14);
```

```
GTI05(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G15);
```

```
GTI06(n,1)=2*real(conj(ang(16,1))*G16);
```

```
End
```

```
display(GTZ01);
```

```
display(GTZ02);
```

```
display(GTZ03);
```

```
display(GTZ04);
```

```
display(GTZ05);
```

```
display(GTZ06);
```

```
display(GTI01);
```

```
display(GTI02);
```

```
display(GTI03);
```

```
display(GTI04);
```

```
display(GTl05);
```

```
display(GTl06);
```

6.3.1.2 Nümerik Pertürbasyon

6.3.1.2.1 Hat Uzunluğu(l)' na Göre Nümerik Pertürbasyon

```
In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N18');
```

```
% Kaynak ve Yük Empedanslari
```

```
Zg=50;
```

```
Zl=50;
```

```
Zn=50;
```

```
Yn=1/Zn
```

```
% z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedanslari
```

```
for n=1:18
```

```
h=0.0001;
```

```
lo=15.88616643315235:h:15.88636643315235;
```

```
for k=1:2
```

```
l(1)=lo(k);
```

```
Z1=36.310161516996139;
```

```
Z2=180.88547960005533;
```

```
Z3=53.040858817204942;
```

```
Z4=129.00600743174357;
```

```
Z5=166.34671619271171;
```

```
Z6=94.108668574893557;
```

```
%l(1)=15.88636643315235;
```

```
l(2)=14.008911065162144;
```

```
l(3)=13.377572651120596;
```

```
l(4)=13.711417580320823;
```

```
l(5)=0.67396510436800605;
```

```
l(6)=0.83214166475481877;
```

```
Y2=1/Z2;
```

```
Y5=1/Z5;
```

```
% S Parametrelerinin hesaplanması
```

```
Sn = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));
```

S = Sn(:,1:4);

% Thetalarin Hesabi

Theta=(2.*pi./300000000)*kron([1]*1e-2,In(:,2)*1e9);

Beta=(2.*pi./300000000)*(In(:,2)*1e9);

S111 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S122 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S112 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S121 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);

S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);

S211 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S222 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S311 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S322 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S312 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S321 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S411 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));

S422 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));

S412 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));

S421 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));

S511 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));

S512 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));

S521 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));

S522 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));

S611 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));

```

S622 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S612 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S621 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));

```

```
S11=S(n,1);
```

```
S12=S(n,3);
```

```
S21=S(n,2);
```

```
S22=S(n,4);
```

```

W = [-S1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 1 -S11 -S12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -S121 -S122
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 1 -S211 -S212 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -S221 -S222 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1 0 0 0 0 0 0 0; 0
0 0 0 0 0 1 -S11 -S12 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 -S21 -S22 1 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 1 -
S411 -S412 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 -S421 -S422 1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S511 -
S512 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S521 -S522 1 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S611 -S612 0; 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S621 -S622 1; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S7];

```

```
c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
```

```
ang=inv(W)*c;
```

```
c2=[0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1];
```

```
alpha=inv(W.)*c2;
```

```
GT(k,1)=abs(ang(16,1))^2;
```

```
end
```

```
GTD(n,1)=diff(GT)/(h*10^-2);
```

```
end
```

```
display(GTD);
```

```
figure, plot(In(:,2),GTD,'kx'),grid;
```

6.3.1.2.2 Karakteristik Empedans(Z_0)' a Göre Nümerik Pertürbasyon

```
In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N18');
```

```
% Kaynak ve Yük Empedanslari
```

```
Zg=50;
```

```
Zl=50;
```

```
Zn=50;
```

$Y_n = 1/Z_n$

% z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedansları

for n=1:18

h=0.0001;

lo=36.309961516996139:h:36.310161516996139;

for k=1:2

$Z_1 = l_0(k)$;

% $Z_1 = 36.310161516996139$;

$Z_2 = 180.88547960005533$;

$Z_3 = 53.040858817204942$;

$Z_4 = 129.00600743174357$;

$Z_5 = 166.34671619271171$;

$Z_6 = 94.108668574893557$;

$l(1) = 15.88636643315235$;

$l(2) = 14.008911065162144$;

$l(3) = 13.377572651120596$;

$l(4) = 13.711417580320823$;

$l(5) = 0.67396510436800605$;

$l(6) = 0.83214166475481877$;

$Y_2 = 1/Z_2$;

$Y_5 = 1/Z_5$;

% S Parametrelerinin hesaplanması

$S_n = \text{MATCOMP}(\ln(:, [3:2:9, 12]), \ln(:, [4:2:10, 13]));$

$S = S_n(:, 1:4)$;

% Thetaların Hesabı

$\Theta = (2 \cdot \pi / 300000000) \cdot \text{kron}([1] \cdot 1e-2, \ln(:, 2) \cdot 1e9)$;

$\beta = (2 \cdot \pi / 300000000) \cdot (\ln(:, 2) \cdot 1e9)$;

$S_{111} = (Z_1^2 - Z_n^2) / (Z_1^2 + Z_n^2 - (i^2 \cdot Z_1 \cdot Z_n \cdot \cot(\Theta(n, 1))))$;

$S_{122} = (Z_1^2 - Z_n^2) / (Z_1^2 + Z_n^2 - (i^2 \cdot Z_1 \cdot Z_n \cdot \cot(\Theta(n, 1))))$;

$S_{112} = -i^2 \cdot Z_1 \cdot Z_n \cdot \csc(\Theta(n, 1)) / (Z_1^2 + Z_n^2 - (i^2 \cdot Z_1 \cdot Z_n \cdot \cot(\Theta(n, 1))))$;

$S_{121} = -i^2 \cdot Z_1 \cdot Z_n \cdot \csc(\Theta(n, 1)) / (Z_1^2 + Z_n^2 - (i^2 \cdot Z_1 \cdot Z_n \cdot \cot(\Theta(n, 1))))$;

$S_1 = (Z_g - Z_n) / (Z_g + Z_n)$;

$$S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);$$

$$S211 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));$$

$$S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));$$

$$S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));$$

$$S222 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));$$

$$S311 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));$$

$$S322 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));$$

$$S312 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));$$

$$S321 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));$$

$$S411 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));$$

$$S422 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));$$

$$S412 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));$$

$$S421 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));$$

$$S511 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));$$

$$S512 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));$$

$$S521 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));$$

$$S522 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));$$

$$S611 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));$$

$$S622 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));$$

$$S612 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));$$

$$S621 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));$$

$$S11=S(n,1);$$

$$S12=S(n,3);$$

$$S21=S(n,2);$$

$$S22=S(n,4);$$

$$W = [-S1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; 1 \ -S111 \ -S112 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ -S121 \ -S122$$

$$1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 1 \ -S211 \ -S212 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ -S221 \ -S222 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

```

0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1 0 0 0 0 0 0 0; 0
0 0 0 0 0 1 -S11 -S12 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 -S21 -S22 1 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 1 -
S411 -S412 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S421 -S422 1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S511 -
S512 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S521 -S522 1 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S611 -S612 0; 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S621 -S622 1; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S7];

```

```

c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
ang=inv(W)*c;
c2=[0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1];
alpha=inv(W.)*c2;
GT(k,1)=abs(ang(16,1))^2;
end
GTD(n,1)=diff(GT)/h;
end
display(GTD);
figure, plot(In(:,2),GTD,'kx'),grid;

```

6.3.1.3 Kazanç Çarpımı Yaklaşımı

```

Const = DLMREAD('Dosya_Const.csv',';',0,0,'A1..J1');
In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N18');

```

%Kaynak ve Yük Empedansları

```

n=18;
Zs_const=50;
Rs_const=real(Zs_const);
Zl_const=50;
Rl_const=real(Zl_const);

```

%Optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedansları

```

Zo(1)=36.310161516996139;
Zo(2)=180.88547960005533;
Zo(3)=53.040858817204942;
Zo(4)=129.00600743174357;

```

Zo(5)=166.34671619271171;

Zo(6)=94.108668574893557;

l(1)=15.88636643315235;

l(2)=14.008911065162144;

l(3)=13.377572651120596;

l(4)=13.711417580320823;

l(5)=0.67396510436800605;

l(6)=0.83214166475481877;

% S Parametrelerinin hesaplanması

S = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));

G_opt=S(:,5);

S = S(:,1:4);

Zopt=50*(1+G_opt)/(1-G_opt);

Ropt=real(Zopt);

RN =In(:,14).*Const(2);

% ABCD Parametrelerinin Hesabı

A = ((1+S(:,1)).*(1-S(:,4))+S(:,2).*S(:,3))./(2.*S(:,2)));

B = 50.*((1+S(:,1)).*(1+S(:,4))-S(:,2).*S(:,3))./(2.*S(:,2)));

C = (1/50).*((1-S(:,1)).*(1-S(:,4))-S(:,2).*S(:,3))./(2.*S(:,2)));

D = ((1-S(:,1)).*(1+S(:,4))+S(:,2).*S(:,3))./(2.*S(:,2)));

% Thetaların Hesabı

Theta=(2*pi./Const(3)).*kron([1]*1e-2,In(:,2)*1e9); % l cm. cinsinden ve frekans GHz cinsinden olduğu için 0.01 ve 1*10^9 ile çarpılıyor.

Beta=(2*pi./Const(3)).*(In(:,2).*1e9);

% Duyarlılık Hesaplanması

for n=1:18

```

E1=[cos(Theta(n,1)),i.*Zo(1).*sin(Theta(n,1));i.*sin(Theta(n,1))./Zo(1),cos(Theta(n,1))];
E3=[cos(Theta(n,3)),i.*Zo(3).*sin(Theta(n,3));i.*sin(Theta(n,3))./Zo(3),cos(Theta(n,3))];
E4=[cos(Theta(n,4)),i.*Zo(4).*sin(Theta(n,4));i.*sin(Theta(n,4))./Zo(4),cos(Theta(n,4))];
E6=[cos(Theta(n,6)),i.*Zo(6).*sin(Theta(n,6));i.*sin(Theta(n,6))./Zo(6),cos(Theta(n,6))];
E2=[1,0;-i./(Zo(2).*tan(Theta(n,2))),1];
E5=[1,0;-i./(Zo(5).*tan(Theta(n,5))),1];

```

```

Ea=E1*E2;
Eb=Ea*E3;
Ec=Eb*[A(n),B(n);C(n),D(n)];
Ed=Ec*E4;
Ee=Ed*E5;

```

```

Ef=E5*E6;
Eg=E4*Ef;
Eh=[A(n),B(n);C(n),D(n)]*Eg;
Eq=E3*Eh;
Ek=E2*Eq;

```

```

A1=E1;
A2=E2;
A3=E3;
A4=[A(n),B(n);C(n),D(n)];
A5=E4;
A6=E5;
A7=E6;

```

```

%1. kat
Zlk=(Ek(1,1).*Zl_const+Ek(1,2))./(Ek(2,1).*Zl_const+Ek(2,2));
Zsk=Zs_const;
Rlk=real(Zlk);
Xlk=imag(Zlk);
Rsk=real(Zsk);
Xsk=imag(Zsk);

```

```

S1k=(abs(Zlk).^2)+(abs(Zsk).^2)+2.*(Rsk.*Rlk+Xsk.*Xlk);
S2k=(abs(Zlk).^2)*(abs(Zsk).^2);
S3k=4.*Xsk.*Xlk+(abs(Zlk).^2)+(abs(Zsk).^2);
S4k=Xlk+Xsk;
S5k=Xsk.*(abs(Zlk).^2)+Xlk.*(abs(Zsk).^2);
Pk=S1k+(S2k/Zo(1).^2+Zo(1).^2-S3k).*(sin(Theta(n,1))).^2+(Zo(1).*S4k-
S5k/Zo(1)).*sin(2.*Theta(n,1)));
Gp1=Rl_const./[abs(Ek(2,1).*Rl_const+Ek(2,2))^2.*real((Ek(1,1)*Rl_const+Ek(1,2))/(Ek(2,
1)*Rl_const+Ek(2,2)))];

```

```

GTZo1(n,1)=[4.*Rsk.*Rlk./(Pk.^2)].*[2.*(Zo(1)-
S2k./Zo(1).^3).*sin(Theta(n,1)).^2+(S4k+S5k./Zo(1).^2).*sin(2.*Theta(n,1))]*Gp1;
GTl1(n,1)=[4*Rsk*Rlk*Beta(n)/(Pk.^2)].*[(S2k/(Zo(1)).^2+Zo(1).^2-S3k)+2*(Zo(1)*S4k-
S5k/Zo(1)).*cos(2*Theta(n,1))]*Gp1;

```

```
%2.kat
```

```

Zlq=(Eq(1,1).*Zl_const+Eq(1,2))./(Eq(2,1).*Zl_const+Eq(2,2));
Zs2=(E1(1,2)+E1(2,2).*Zs_const)./(E1(1,1)+E1(2,1).*Zs_const);
Rs2=real(Zs2);
Xs2=imag(Zs2);
T1q=(abs(Zlq).^2)+(abs(Zs2).^2)+2.*(Rs2.*Rlq+Xs2.*Xlq);
T2q=(abs(Zlq).^2).*(abs(Zs2).^2);
T3q=Xs2.*(abs(Zlq).^2)+Xlq.*(abs(Zs2).^2);
Pq=T1q+(1/(Zo(2).*tan(Theta(n,2)))).*(T2q/(Zo(2).*tan(Theta(n,2)))+2.*T3q);
Ga2=1;
Gp2=Rl_const./[abs(Eq(2,1).*Rl_const+Eq(2,2))^2.*real((Eq(1,1)
+Eq(1,2))/(Eq(2,1)*Rl_const+Eq(2,2)))];

```

```

GTZo2(n,1)=[4.*Rs2.*Rlq.*2/(Pq.^2.*Zo(2).^2)].*[T2q/(Zo(2)+T3q].*Gp2.*Ga2;
GTl2(n,1)=[4.*Rs2.*Rlq.*2*Beta(n)./(Pq.^2.*Zo(2).^2)].*[T2q/(Zo(2).*tan(Theta(n,2)))+T3q
]*Ga2*Gp2;

```

```
%3. kat
```

```

Zlh=(Eh(1,1).*Zl_const+Eh(1,2))./(Eh(2,1).*Zl_const+Eh(2,2));
Zsa=(Ea(1,2)+Ea(2,2).*Zs_const)./(Ea(1,1)+Ea(2,1).*Zs_const);
Rlh=real(Zlh);

```

```

Xlh=imag(Zlh);
S1h=(abs(Zlh).^2)+(abs(Zsa).^2)+2.*(Rsa.*Rlh+Xsa.*Xlh);
S2h=(abs(Zlh).^2)*(abs(Zsa).^2);
S3h=4.*Xsa.*Xlh+(abs(Zlh).^2)+(abs(Zsa).^2);
S4h=Xlh+Xsa;
S5h=Xsa.*(abs(Zlh).^2)+Xlh.*(abs(Zsa).^2);
S5h/Zo(3)).*sin(2.*Theta(n,3));
Ga3=1;
Gp3=Rl_const./[abs(Eh(2,1).*Rl_const+Eh(2,2))^2.*real((Eh(1,1)*Rl_const+Eh(1,2))/(Eh(2,
1)+Eh(2,2))))];

GTZo3(n,1)=-[4.*Rsa.*Rlh./(Ph.^2)].*[2.*(Zo(3)-
S2h./Zo(3).^3).*sin(Theta(n,3)).^2+(S4h+S5h./Zo(3).^2).*sin(2.*Theta(n,3))]*Gp3*Ga3;
GTl3(n,1)=-[4.*Rsa.*Rlh.*Beta(n)/(Ph.^2)].*[(S2h/(Zo(3)).^2+Zo(3).^2-
S3h)*sin(2*Theta(n,3))+2*(Zo(3)-S5h)*cos(2*Theta(n,3))]*Gp3*Ga3;
%4. kat
Zlf=(Ef(1,1).*Zl_const+Ef(1,2))./(Ef(2,1).*Zl_const+Ef(2,2));
Zsc=(Ec(1,2)+Ec(2,2).*Zs_const)./(Ec(1,1)+Ec(2,1).*Zs_const);
Rlf=real(Zlf);
Xlf=imag(Zlf);
Rsc=real(Zsc);
Xsc=imag(Zsc);
S1f=(abs(Zlf).^2)+(abs(Zsc).^2)+2.*(Rsc.*Rlf+Xsc.*Xlf);
S2f=(abs(Zlf).^2)*(abs(Zsc).^2);
S3f=4.*Xsc.*Xlf+(abs(Zlf).^2)+(abs(Zsc).^2);
S4f=Xlf+Xsc;
S5f=Xsc.*(abs(Zlf).^2)+Xlf.*(abs(Zsc).^2);
Pf=S1f+(S2f/Zo(4).^2+Zo(4).^2-S3f).*(sin(Theta(n,4))).^2+(Zo(4).*S4f-
S5f/Zo(4)).*sin(2.*Theta(n,4));
Gp4=1;
GTZo4(n,1)=-[4.*Rsc.*Rlf./(Pf.^2)].*[2.*(Zo(4)-
S2f./Zo(4).^3).*sin(Theta(n,4)).^2+(S4f+S5f./Zo(4).^2).*sin(2.*Theta(n,4))]*Gp4*Ga4;
GTl4(n,1)=-[4.*Rsc.*Rlf.*Beta(n)/(Pf.^2)].*[(S2f/(Zo(4)).^2+Zo(4).^2-
S3f)*sin(2*Theta(n,4))+2*(Zo(4)*S4f-S5f/Zo(4))*cos(2*Theta(n,4))]*Gp4*Ga4;

```

%5. kat

$$Zl6 = (E6(1,1) * Zl_const + E6(1,2)) / (E6(2,1) * Zl_const + E6(2,2));$$

$$Zsd = (Ed(1,2) + Ed(2,2) * Zs_const) / (Ed(1,1) + Ed(2,1) * Zs_const);$$

$$Rl6 = \text{real}(Zl6);$$

$$Xl6 = \text{imag}(Zl6);$$

$$Rsd = \text{real}(Zsd);$$

$$Xsd = \text{imag}(Zsd);$$

$$T1d = (\text{abs}(Zl6).^2) + (\text{abs}(Zsd).^2) + 2 * (Rsd * Rl6 + Xsd * Xl6);$$

$$T2d = (\text{abs}(Zl6).^2) * (\text{abs}(Zsd).^2);$$

$$T3d = Xsd * (\text{abs}(Zl6).^2) + Xl6 * (\text{abs}(Zsd).^2);$$

$$Pd = T1d + (1 / (Zo(5) * \tan(\text{Theta}(n,5)))) * (T2d / (Zo(5) * \tan(\text{Theta}(n,5))) + 2 * T3d);$$

$$Ga5 = [\text{real}(Zs_const)] / [\text{abs}(Ed(1,1) +$$

$$Zs_const).^2 * \text{real}((Ed(1,2) + Ed(2,2) * Zs_const) / ((Ed(1,1) + Ed(2,1) * Zs_const)))];$$

$$Gp5 = 1;$$

$$GTZo5(n,1) = [4 * Rsd * Rl6 * 2 / (Pd.^2 * Zo(5).^2 * \tan(\text{Theta}(n,5)))] * [T2d / (Zo(5)$$

$$* \tan(\text{Theta}(n,5))) + T3d] * Ga5 * Gp5;$$

$$GTl5(n,1) = [4 * Rsd * Rl6 * 2 * \text{Beta}(n) / (Pd.^2 * Zo(5) * \sin(\text{Theta}(n,5)).^2)] * [T2d / (Zo(5) * \tan(\text{Theta}(n,5))) + T3d] * Ga5 * Gp5;$$

%6. kat

$$Zl = Zl_const;$$

$$Zse = (Ee(1,2) + Ee(2,2) * Zs_const) / (Ee(1,1) + Ee(2,1) * Zs_const);$$

$$Rl = \text{real}(Zl);$$

$$Xl = \text{imag}(Zl);$$

$$Rse = \text{real}(Zse);$$

$$Xse = \text{imag}(Zse);$$

$$S1e = (\text{abs}(Zl).^2) + (\text{abs}(Zse).^2) + 2 * (Rse * Rl + Xse * Xl);$$

$$S2e = (\text{abs}(Zl).^2) * (\text{abs}(Zse).^2);$$

$$S3e = 4 * Xse * Xl + (\text{abs}(Zl).^2) + (\text{abs}(Zse).^2);$$

$$S4e = Xl + Xse;$$

$$S5e = Xse * (\text{abs}(Zl).^2) + Xl * (\text{abs}(Zse).^2);$$

$$Pe = S1e + (S2e / Zo(6).^2 + Zo(6).^2 - S3e) * (\sin(\text{Theta}(n,6))).^2 + (Zo(6) * S4e -$$

$$S5e / Zo(6)) * \sin(2 * \text{Theta}(n,6));$$

$$Ga6 = [\text{real}(Zs_const)] / [\text{abs}(Ee(1,1) + Ee(2,1)).^2 * \text{real}((Ee(1,2) + Ee(2,2) * Zs_const) / ((Ee(1,1) + Ee(2,1) * Zs_const)))];$$

```

GTZo6(n,1)=-[4.*Rse.*Rl./(Pe.^2)].*[2.*(Zo(6)-
S2e./Zo(6).^3).^2+(S4e+S5e./Zo(6).^2).*sin(2.*Theta(n,6))]*Ga6;
GTl6(n,1)=-[4*Rse*Rl*Beta(n)/(Pe.^2)].*[(S2e/(Zo(6)).^2+Zo(6).^2-
S3e)*sin(2*Theta(n,6))+2*(Zo(6)*S4e-S5e/Zo(6))*cos(2*Theta(n,6))]*Ga6;
end
display(GTl1);
display(GTZo1);
display(GTl2);
display(GTZo2);
display(GTl3);
display(GTZo3);
display(GTl4);
display(GTZo4);
display(GTl5);
display(GTZo5);
display(GTl6);
display(GTZo6);

```

6.3.2 Gürültü Duyarlılıkları

6.3.2.1 Ek Devre Yöntemi

6.3.2.1.1 Hat Uzunluğu(l)' nun Ek Devre Yöntemi Hesabı

```

In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N10');
%           Kaynak ve Yük Empedanslari
Zg=50;

%   z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedanslari
Zo(1)=36.310161516996139;
Zo(2)=180.88547960005533;
Zo(3)=53.040858817204942;
l(1)=15.88636643315235;
l(2)=14.008911065162144;
l(3)=13.377572651120596;
Yo(2)=1/Zo(2);
%           S Parametrelerinin hesaplanması

```

```

S = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));
G_opt=S(:,5);
S = S(:,1:4);
Zopt=50*(1+G_opt)/(1-G_opt);
Ropt=real(Zopt);
Rn =In(:,14).*50;
for n=1:10
Zl=conj(Zopt(n,1));
Zn=50;
Yn=1./Zn;
%           Thetalarin Hesabi
Theta=(2.*pi./3000000000)*kron([1]*1e-2,In(:,2)*1e9);
Beta=(2.*pi./3000000000)*(In(:,2)*1e9);
S111 = (Zo(1)^2-Zn^2)/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));
S122 = (Zo(1)^2-Zn^2)/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));
S112 = -i*2*Zo(1)*Zn*csc(Theta(n,1))/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));
S121 = -i*2*Zo(1)*Zn*csc(Theta(n,1))/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));
S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);
S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);
S211 = Yo(2)*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));
S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));
S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));
S222 = Yo(2)*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));

S311 = (Zo(3)^2-Zn^2)/(Zo(3)^2+Zn^2-(i*2*Zo(3)*Zn*cot(Theta(n,3))));
S322 = (Zo(3)^2-Zn^2)/(Zo(3)^2+Zn^2-(i*2*Zo(3)*Zn*cot(Theta(n,3))));
S312 = -i*2*Zo(3)*Zn*csc(Theta(n,3))/(Zo(3)^2+Zn^2-(i*2*Zo(3)*Zn*cot(Theta(n,3))));
S321 = -i*2*Zo(3)*Zn*csc(Theta(n,3))/(Zo(3)^2+Zn^2-(i*2*Zo(3)*Zn*cot(Theta(n,3))));
W=[-S1 1 0 0 0 0 0; 1 -S111 -S112 0 0 0 0; 0 -S121 -S122 1 0 0 0; 0 0 1 -S211 -S212 0
0 0; 0 0 0 -S221 -S222 1 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1; 0 0 0 0 0 0 1 -
S7];
c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
c2=[0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1];
ang=inv(W)*c;

```

```

alpha=inv(W.)*c2;
% a12'nin Z01 e gore kısmi türevi
G1=(alpha(2,1) alpha(3,1))*[ang(2,1); ang(3,1)]-[alpha(1,1) alpha(4,1)]*[ang(1,1);
ang(4,1)]/(2.*Zo(1));
% a12'nin Z02 e gore kısmi türevi
G2=(alpha(4,1) alpha(5,1))*[ang(4,1); ang(5,1)]-[alpha(3,1) alpha(6,1)]*[ang(3,1);
ang(6,1)]/(2.*Zo(2));
% a12'nin Z03 e gore kısmi türevi
G3=(alpha(6,1) alpha(7,1))*[ang(6,1); ang(7,1)]-[alpha(5,1) alpha(8,1)]*[ang(5,1);
ang(8,1)]/(2.*Zo(3));
% a12'nin l1 e gore kısmi türevi
G11=i.*Zo(1).*Beta(n).*[alpha(2,1)-alpha(1,1) alpha(3,1)-alpha(4,1)]*[1 cos(Theta(n,1));
cos(Theta(n,1)) 1]*[ang(2,1)-ang(1,1); ang(3,1)-ang(4,1)]/(2.*Zn.*(sin(Theta(n,1)).^2));
% a12'nin l2 e gore kısmi türevi
G12=i.*Zo(2).*Beta(n).*[alpha(4,1)-alpha(3,1) alpha(5,1)-alpha(6,1)]*[1 1;1 1]*[ang(4,1)-
ang(3,1); ang(5,1)-ang(6,1)]/(2.*Zn.*(cos(Theta(n,2)).^2));
% a12'nin l3 e gore kısmi türevi
G13=i.*Zo(3).*Beta(n).*[alpha(6,1)-alpha(5,1) alpha(7,1)-alpha(8,1)]*[1 cos(Theta(n,3));
cos(Theta(n,3)) 1]*[ang(6,1)-ang(5,1); ang(7,1)-ang(8,1)]/(2.*Zn.*(sin(Theta(n,3)).^2));

DGTZ01=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G1);
DGTZ03=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G3);
DGTZ02=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G2);
DGTl01=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G11);
DGTl03=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G13);
DGTl02=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G12);
GT=(1-(abs(S7))^2)*abs(ang(8,1))^2;
DNoise(n,1)=(-4*Rn(n,1).*Ropt(n,1)./((abs(Zopt(n,1))).^2.*(GT.^2))).*DGTl01*10^-3;
end
display(DNoise);

```

6.3.2.1.2 Karakteristik Empedans(Z_0)' ın Ek Devre Yöntemi Hesabı

```
In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N10');
```

```
% Kaynak ve Yük Empedanslari
```

```

Zg=50;
% z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedansları
Zo(1)=36.310161516996139;
Zo(2)=180.88547960005533;
Zo(3)=53.040858817204942;
l(1)=15.88636643315235;
l(2)=14.008911065162144;
l(3)=13.377572651120596;
Yo(2)=1/Zo(2);
% S Parametrelerinin hesaplanması
S = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));
G_opt=S(:,5);
S = S(:,1:4);
Zopt=50*(1+G_opt)/(1-G_opt);
Ropt=real(Zopt);
Rn =In(:,14).*50;
for n=1:10
Zl=conj(Zopt(n,1));
Zn=50;
Yn=1./Zn;
% Thetaların Hesabı
Theta=(2.*pi./3000000000)*kron([l]*1e-2,In(:,2))*1e9);
Beta=(2.*pi./3000000000)*(In(:,2))*1e9);
S111 = (Zo(1)^2-Zn^2)/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));
S122 = (Zo(1)^2-Zn^2)/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));
S112 = -i*2*Zo(1)*Zn*csc(Theta(n,1))/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));
S121 = -i*2*Zo(1)*Zn*csc(Theta(n,1))/(Zo(1)^2+Zn^2-(i*2*Zo(1)*Zn*cot(Theta(n,1))));

S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);
S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);

S211 = Yo(2)*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));
S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));
S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Yo(2)*cot(Theta(n,2))));

```

$$S222 = Y_0(2) * i * \cot(\Theta(n,2)) / (2 * Y_n - (i * Y_0(2) * \cot(\Theta(n,2))));$$

$$S311 = (Z_0(3)^2 - Z_n^2) / (Z_0(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_0(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$S322 = (Z_0(3)^2 - Z_n^2) / (Z_0(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_0(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$S312 = -i^2 * Z_0(3) * Z_n * \csc(\Theta(n,3)) / (Z_0(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_0(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$S321 = -i^2 * Z_0(3) * Z_n * \csc(\Theta(n,3)) / (Z_0(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_0(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$W = [-S1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; \ 1 \ -S111 \ -S112 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; \ 0 \ -S121 \ -S122 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; \ 0 \ 0 \ 1 \ -S211 \ -S212 \ 0 \ 0 \ 0; \ 0 \ 0 \ 0 \ -S221 \ -S222 \ 1 \ 0 \ 0; \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -S311 \ -S312 \ 0; \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -S321 \ -S322 \ 1; \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -S7];$$

$$c = [1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];$$

$$c2 = [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1];$$

$$\text{ang} = \text{inv}(W) * c;$$

$$\text{alpha} = \text{inv}(W.') * c2;$$

% a12'nin Z01 e gore kısmi türevi

$$G1 = ([\alpha(2,1) \ \alpha(3,1)] * [\text{ang}(2,1); \ \text{ang}(3,1)] - [\alpha(1,1) \ \alpha(4,1)] * [\text{ang}(1,1); \ \text{ang}(4,1)]) / (2 * Z_0(1));$$

% a12'nin Z02 e gore kısmi türevi

$$G2 = ([\alpha(4,1) \ \alpha(5,1)] * [\text{ang}(4,1); \ \text{ang}(5,1)] - [\alpha(3,1) \ \alpha(6,1)] * [\text{ang}(3,1); \ \text{ang}(6,1)]) / (2 * Z_0(2));$$

% a12'nin Z03 e gore kısmi türevi

$$G3 = ([\alpha(6,1) \ \alpha(7,1)] * [\text{ang}(6,1); \ \text{ang}(7,1)] - [\alpha(5,1) \ \alpha(8,1)] * [\text{ang}(5,1); \ \text{ang}(8,1)]) / (2 * Z_0(3));$$

% a12'nin l1 e gore kısmi türevi

$$G11 = i * Z_0(1) * \text{Beta}(n) * [\alpha(2,1) - \alpha(1,1) \ \alpha(3,1) - \alpha(4,1)] * [1 \ \cos(\Theta(n,1)); \ \cos(\Theta(n,1)) \ 1] * [\text{ang}(2,1) - \text{ang}(1,1); \ \text{ang}(3,1) - \text{ang}(4,1)] / (2 * Z_n * (\sin(\Theta(n,1)).^2));$$

% a12'nin l2 e gore kısmi türevi

$$G12 = i * Z_0(2) * \text{Beta}(n) * [\alpha(4,1) - \alpha(3,1) \ \alpha(5,1) - \alpha(6,1)] * [1 \ 1; \ 1 \ 1] * [\text{ang}(4,1) - \text{ang}(3,1); \ \text{ang}(5,1) - \text{ang}(6,1)] / (2 * Z_n * (\cos(\Theta(n,2)).^2));$$

% a12'nin l3 e gore kısmi türevi

$$G13 = i * Z_0(3) * \text{Beta}(n) * [\alpha(6,1) - \alpha(5,1) \ \alpha(7,1) - \alpha(8,1)] * [1 \ \cos(\Theta(n,3)); \ \cos(\Theta(n,3)) \ 1] * [\text{ang}(6,1) - \text{ang}(5,1); \ \text{ang}(7,1) - \text{ang}(8,1)] / (2 * Z_n * (\sin(\Theta(n,3)).^2));$$

$$\text{DGTZ01} = (1 - (\text{abs}(S7))^2) * 2 * \text{real}(\text{conj}(\text{ang}(8,1)) * G1);$$

$$\text{DGTZ03} = (1 - (\text{abs}(S7))^2) * 2 * \text{real}(\text{conj}(\text{ang}(8,1)) * G3);$$

```

DGTZ02=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G2);
DGTI01=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G11);
DGTI03=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G13);
DGTI02=(1-(abs(S7))^2)*2*real(conj(ang(8,1))*G12);
GT=(1-(abs(S7))^2)*abs(ang(8,1))^2;
DNoise(n,1)=(-4*Rn(n,1).*Ropt(n,1)./((abs(Zopt(n,1))).^2.*(GT.^2))).*DGTZ01;
end
display(DNoise);

```

6.3.2.2 Nümerik Pertürbasyon

6.3.2.2.1 Hat Uzunluğu(l)' na Göre Nümerik Pertürbasyon

```

In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N10');
%           Kaynak ve Yük Empedanslari
Zg=50;
%   z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedanslari
for n=1:10
Z1=36.310161516996139;
Z2=180.88547960005533;
Z3=53.040858817204942;
h=0.0001;
lo=15.88616643315235:h:15.88636643315235;
for k=1:2
l(1)=lo(k);
%l(1)=15.88636643315235;
l(2)=14.008911065162144;
l(3)=13.377572651120596;
Y2=1/Z2;
Fmin =10.^(In(:,14).*0.1);
%           S Parametrelerinin hesaplanması
S = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));
G_opt=S(:,5);
S = S(:,1:4);
Zopt=50*(1+G_opt)./(1-G_opt);
Ropt=real(Zopt);

```

```

Rn =ln(:,14).*50;
Zl=conj(Zopt(n,1));
Zn=50;
Yn=1/Zn;
%          Thetalarin Hesabi
Theta=(2.*pi./3000000000)*kron([I]*1e-2,ln(:,2)*1e9);
Beta=(2.*pi./3000000000)*(ln(:,2)*1e9);
S111 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S122 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S112 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S121 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);
S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);

S211 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S222 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S311 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S322 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S312 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S321 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

W=[-S1 1 0 0 0 0 0; 1 -S111 -S112 0 0 0 0; 0 -S121 -S122 1 0 0 0; 0 0 1 -S211 -S212 0
0 0; 0 0 0 -S221 -S222 1 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1; 0 0 0 0 0 0 1 -
S7];
c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
c2=[0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1];
ang=inv(W)*c;
alpha=inv(W.)*c2;
Gt(k,1)=(1-(abs(S7))^2)*abs(ang(8,1))^2;
end

```

```

noise=(4*Rn(n,1).*Ropt(n,1).*((1./Gt)-1))./((abs(Zopt(n,1))).^2)+Fmin(n,1);
Dnoise(n,1)=diff(noise)./(h*10^-2)*10^-3;
end
display(Dnoise);

```

6.3.2.2.2 Karakteristik Empedans(Z_0)' a Göre Nümerik Pertürbasyon

```

In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N10');
%           Kaynak ve Yük Empedanslari
Zg=50;
%   z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedanslari
for n=1:10
%Z1=36.310161516996139;
Z2=180.88547960005533;
Z3=53.040858817204942;
h=0.0001;
lo=36.309961516996139:h:36.310161516996139;
for k=1:2
Z1=lo(k);
l(1)=15.88636643315235;
l(2)=14.008911065162144;
l(3)=13.377572651120596;
Y2=1/Z2;
Fmin =10.^(In(:,14).*0.1);
%           S Parametrelerinin hesaplanması
S = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));
G_opt=S(:,5);
S = S(:,1:4);
Zopt=50*(1+G_opt)./(1-G_opt);
Ropt=real(Zopt);
Rn =In(:,14).*50;
Zl=conj(Zopt(n,1));
Zn=50;
Yn=1/Zn;
%           Thetaların Hesabi

```

```

Theta=(2.*pi./3000000000)*kron([1]*1e-2,In(:,2)*1e9);
Beta=(2.*pi./3000000000)*(In(:,2)*1e9);
S111 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S122 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S112 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S121 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);

S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);
S211 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S222 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S311 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S322 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S312 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S321 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

W=[-S1 1 0 0 0 0 0; 1 -S111 -S112 0 0 0 0; 0 -S121 -S122 1 0 0 0; 0 0 1 -S211 -S212 0
0 0; 0 0 0 -S221 -S222 1 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1; 0 0 0 0 0 0 1 -
S7];
c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
c2=[0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1];
ang=inv(W)*c;
alpha=inv(W.)*c2;
Gt(k,1)=(1-(abs(S7))^2)*abs(ang(8,1))^2;
End

noise=(4*Rn(n,1).*Ropt(n,1).*((1./Gt)-1))./((abs(Zopt(n,1))).^2)+Fmin(n,1);
Dnoise(n,1)=diff(noise)./h;
end
display(Dnoise);

```

6.3.3 Yansıma Katsayıları Duyarlılıkları

6.3.3.1 Ek Devre Yöntemi

```

In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N18');

%           Kaynak ve Yük Empedansları
Zg=50;
Zl=50;
Zn=50;
Yn=1/Zn
%   z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedansları
Zo(1)=36.310161516996139;
Zo(2)=180.88547960005533;
Zo(3)=53.040858817204942;
Zo(4)=129.00600743174357;
Zo(5)=166.34671619271171;
Zo(6)=94.108668574893557;
l(1)=15.88636643315235;
l(2)=14.008911065162144;
l(3)=13.377572651120596;
l(4)=13.711417580320823;
l(5)=0.67396510436800605;
l(6)=0.83214166475481877;
Yo(2)=1/Zo(2);
Yo(5)=1/Zo(5);
%           S Parametrelerinin hesaplanması
S = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));
S = S(:,1:4);

%           Thetaların Hesabı
Theta=(2.*pi./3000000000)*kron([l]*1e-2,In(:,2)*1e9);
Beta=(2.*pi./3000000000)*(In(:,2)*1e9);

for n=1:18

```

$$S111 = (Z_o(1)^2 - Z_n^2) / (Z_o(1)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(1) * Z_n * \cot(\Theta(n,1))));$$

$$S122 = (Z_o(1)^2 - Z_n^2) / (Z_o(1)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(1) * Z_n * \cot(\Theta(n,1))));$$

$$S112 = -i^2 * Z_o(1) * Z_n * \csc(\Theta(n,1)) / (Z_o(1)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(1) * Z_n * \cot(\Theta(n,1))));$$

$$S121 = -i^2 * Z_o(1) * Z_n * \csc(\Theta(n,1)) / (Z_o(1)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(1) * Z_n * \cot(\Theta(n,1))));$$

$$S1 = (Z_g - Z_n) / (Z_g + Z_n);$$

$$S7 = (Z_l - Z_n) / (Z_l + Z_n);$$

$$S211 = Y_o(2) * i * \cot(\Theta(n,2)) / (2 * Y_n - (i * Y_o(2) * \cot(\Theta(n,2))));$$

$$S212 = 2 * Y_n / (2 * Y_n - (i * Y_o(2) * \cot(\Theta(n,2))));$$

$$S221 = 2 * Y_n / (2 * Y_n - (i * Y_o(2) * \cot(\Theta(n,2))));$$

$$S222 = Y_o(2) * i * \cot(\Theta(n,2)) / (2 * Y_n - (i * Y_o(2) * \cot(\Theta(n,2))));$$

$$S311 = (Z_o(3)^2 - Z_n^2) / (Z_o(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$S322 = (Z_o(3)^2 - Z_n^2) / (Z_o(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$S312 = -i^2 * Z_o(3) * Z_n * \csc(\Theta(n,3)) / (Z_o(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$S321 = -i^2 * Z_o(3) * Z_n * \csc(\Theta(n,3)) / (Z_o(3)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(3) * Z_n * \cot(\Theta(n,3))));$$

$$S411 = (Z_o(4)^2 - Z_n^2) / (Z_o(4)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(4) * Z_n * \cot(\Theta(n,4))));$$

$$S422 = (Z_o(4)^2 - Z_n^2) / (Z_o(4)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(4) * Z_n * \cot(\Theta(n,4))));$$

$$S412 = -i^2 * Z_o(4) * Z_n * \csc(\Theta(n,4)) / (Z_o(4)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(4) * Z_n * \cot(\Theta(n,4))));$$

$$S421 = -i^2 * Z_o(4) * Z_n * \csc(\Theta(n,4)) / (Z_o(4)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(4) * Z_n * \cot(\Theta(n,4))));$$

$$S511 = Y_o(5) * i * \cot(\Theta(n,5)) / (2 * Y_n - (i * Y_o(5) * \cot(\Theta(n,5))));$$

$$S512 = 2 * Y_n / (2 * Y_n - (i * Y_o(5) * \cot(\Theta(n,5))));$$

$$S521 = 2 * Y_n / (2 * Y_n - (i * Y_o(5) * \cot(\Theta(n,5))));$$

$$S522 = Y_o(5) * i * \cot(\Theta(n,5)) / (2 * Y_n - (i * Y_o(5) * \cot(\Theta(n,5))));$$

$$S611 = (Z_o(6)^2 - Z_n^2) / (Z_o(6)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(6) * Z_n * \cot(\Theta(n,6))));$$

$$S622 = (Z_o(6)^2 - Z_n^2) / (Z_o(6)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(6) * Z_n * \cot(\Theta(n,6))));$$

$$S612 = -i^2 * Z_o(6) * Z_n * \csc(\Theta(n,6)) / (Z_o(6)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(6) * Z_n * \cot(\Theta(n,6))));$$

$$S621 = -i^2 * Z_o(6) * Z_n * \csc(\Theta(n,6)) / (Z_o(6)^2 + Z_n^2 - (i^2 * Z_o(6) * Z_n * \cot(\Theta(n,6))));$$

$$S11 = S(n,1);$$

$$S12 = S(n,3);$$

$$S21 = S(n,2);$$

```

S22=S(n,4);
W = [-S1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 1 -S111 -S112 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -S121 -S122
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 1 -S211 -S212 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -S221 -S222 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1 0 0 0 0 0 0 0; 0
0 0 0 0 0 1 -S11 -S12 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 -S21 -S22 1 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 1 -
S411 -S412 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 -S421 -S422 1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S511 -
S512 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S521 -S522 1 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S611 -S612 0; 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S621 -S622 1; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S7];

```

```

c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
ang=inv(W)*c;
c2=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
alpha=inv(W.').*c2;

```

% a12'nin Z01 e gore kısmi türevi

```

G1=([alpha(2,1) alpha(3,1)]*[ang(2,1); ang(3,1)]-[alpha(1,1) alpha(4,1)]*[ang(1,1);
ang(4,1)])/(2.*Zo(1));

```

% a12'nin Z02 e gore kısmi türevi

```

G2=([alpha(4,1) alpha(5,1)]*[ang(4,1); ang(5,1)]-[alpha(3,1) alpha(6,1)]*[ang(3,1);
ang(6,1)])/(2.*Zo(2));

```

% a12'nin Z03 e gore kısmi türevi

```

G3=([alpha(6,1) alpha(7,1)]*[ang(6,1); ang(7,1)]-[alpha(5,1) alpha(8,1)]*[ang(5,1);
ang(8,1)])/(2.*Zo(3));

```

% a12'nin Z04 e gore kısmi türevi

```

G4=([alpha(10,1) alpha(11,1)]*[ang(10,1); ang(11,1)]-[alpha(9,1) alpha(12,1)]*[ang(9,1);
ang(12,1)])/(2.*Zo(4));

```

% a12'nin Z05 e gore kısmi türevi

```

G5=([alpha(12,1) alpha(13,1)]*[ang(12,1); ang(13,1)]-[alpha(11,1) alpha(14,1)]*[ang(11,1);
ang(14,1)])/(2.*Zo(5));

```

% a12'nin Z06 e gore kısmi türevi

```

G6=([alpha(14,1) alpha(15,1)]*[ang(14,1); ang(15,1)]-[alpha(13,1) alpha(16,1)]*[ang(13,1);
ang(16,1)])/(2.*Zo(6));

```

% a12'nin l1 e gore kısmi türevi

G11=i.*Zo(1).*Beta(n).*[alpha(2,1)-alpha(1,1) alpha(3,1)-alpha(4,1)]*[1 cos(Theta(n,1));
cos(Theta(n,1)) 1]*[ang(2,1)-ang(1,1); ang(3,1)-ang(4,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,1)).^2));

% a12'nin l2 e gore kısmi türevi

G12=i.*Zo(2).*Beta(n).*[alpha(4,1)-alpha(3,1) alpha(5,1)-alpha(6,1)]*[1 1;1 1]*[ang(4,1)-
ang(3,1); ang(5,1)-ang(6,1)]./(2.*Zn.*(cos(Theta(n,2)).^2));

% a12'nin l3 e gore kısmi türevi

G13=i.*Zo(3).*Beta(n).*[alpha(6,1)-alpha(5,1) alpha(7,1)-alpha(8,1)]*[1 cos(Theta(n,3));
cos(Theta(n,3)) 1]*[ang(6,1)-ang(5,1); ang(7,1)-ang(8,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,3)).^2));

% a12'nin l4 e gore kısmi türevi

G14=i.*Zo(4).*Beta(n).*[alpha(10,1)-alpha(9,1) alpha(11,1)-alpha(12,1)]*[1 cos(Theta(n,4));
cos(Theta(n,4)) 1]*[ang(10,1)-ang(9,1); ang(11,1)-ang(12,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,4)).^2));

% a12'nin l5 e gore kısmi türevi

G15=i.*Zo(5).*Beta(n).*[alpha(12,1)-alpha(11,1) alpha(13,1)-alpha(14,1)]*[1 1;1
1]*[ang(12,1)-ang(11,1); ang(13,1)-ang(14,1)]./(2.*Zn.*(cos(Theta(n,5)).^2));

% a12'nin l6 e gore kısmi türevi

G16=i.*Zo(6).*Beta(n).*[alpha(14,1)-alpha(13,1) alpha(15,1)-alpha(16,1)]*[1
cos(Theta(n,6)); cos(Theta(n,6)) 1]*[ang(14,1)-ang(13,1); ang(15,1)-
ang(16,1)]./(2.*Zn.*(sin(Theta(n,6)).^2));

yaZ01(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G1/ang(1,1));

yaZ02(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G2/ang(1,1));

yaZ03(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G3/ang(1,1));

yaZ04(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G4/ang(1,1));

yaZ05(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G5/ang(1,1));

yaZ06(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G6/ang(1,1));

yal01(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G11/ang(1,1))*10^-3;

yal02(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G12/ang(1,1))*10^-3;

yal03(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G13/ang(1,1))*10^-3;

yal04(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G14/ang(1,1))*10^-3;

yal05(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G15/ang(1,1))*10^-3;

yal06(n,1)=abs(ang(1,1))*real(G16/ang(1,1))*10^-3;

imyaZ01(n,1)=imag(G1/ang(1,1));

imyaZ02(n,1)=imag(G2/ang(1,1));

imyaZ03(n,1)=imag(G3/ang(1,1));

```

imyaZ04(n,1)=imag(G4/ang(1,1));
imyaZ05(n,1)=imag(G5/ang(1,1));
imyaZ06(n,1)=imag(G6/ang(1,1));
imyal01(n,1)=imag(Gl1/ang(1,1))*10^-3;
imyal02(n,1)=imag(Gl2/ang(1,1))*10^-3;
imyal03(n,1)=imag(Gl3/ang(1,1))*10^-3;
imyal04(n,1)=imag(Gl4/ang(1,1))*10^-3;
imyal05(n,1)=imag(Gl5/ang(1,1))*10^-3;
imyal06(n,1)=imag(Gl6/ang(1,1))*10^-3;
end
display(yaZ01);
display(yaZ02);
display(yaZ03);
display(yaZ04);
display(yaZ05);
display(yaZ06);
display(yal01);
display(yal02);
display(yal03);
display(yal04);
display(yal05);
display(yal06);
display(imyaZ01);
display(imyaZ02);
display(imyaZ03);
display(imyaZ04);
display(imyaZ05);
display(imyaZ06);
display(imyal01);
display(imyal02);
display(imyal03);
display(imyal04);
display(imyal05);
display(imyal06);

```

6.3.3.2 Nümerik Pertürbasyon

6.3.3.2.1 Hat Uzunluğu(l)' na Göre Nümerik Pertürbasyon

```
In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N18');
```

```
% Kaynak ve Yük Empedanslari
```

```
Zg=50;
```

```
Zl=50;
```

```
Zn=50;
```

```
Yn=1/Zn
```

```
% z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedanslari
```

```
for n=1:18
```

```
h=0.0001;
```

```
lo=15.88616643315235:h:15.88636643315235;
```

```
for k=1:2
```

```
l(1)=lo(k);
```

```
Z1=36.310161516996139;
```

```
Z2=180.88547960005533;
```

```
Z3=53.040858817204942;
```

```
Z4=129.00600743174357;
```

```
Z5=166.34671619271171;
```

```
Z6=94.108668574893557;
```

```
%l(1)=15.88636643315235;
```

```
l(2)=14.008911065162144;
```

```
l(3)=13.377572651120596;
```

```
l(4)=13.711417580320823;
```

```
l(5)=0.67396510436800605;
```

```
l(6)=0.83214166475481877;
```

```
Y2=1/Z2;
```

```
Y5=1/Z5;
```

```
% S Parametrelerinin hesaplanması
```

```
Sn = MATCOMP(In(:,[3:2:9,12]),In(:,[4:2:10,13]));
```

```
S = Sn(:,1:4);
```

```
% Thetaların Hesabı
```

```

Theta=(2.*pi./3000000000)*kron([I]*1e-2,In(:,2)*1e9);
Beta=(2.*pi./3000000000)*(In(:,2)*1e9);
S111 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S122 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S112 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S121 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));
S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);
S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);
S211 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S222 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));
S311 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S322 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S312 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S321 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));
S411 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));
S422 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));
S412 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));
S421 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));
S511 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S512 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S521 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S522 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S611 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S622 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S612 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S621 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S11=S(n,1);
S12=S(n,3);
S21=S(n,2);
S22=S(n,4);
W = [-S1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 1 -S111 -S112 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -S121 -S122
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 1 -S211 -S212 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -S221 -S222 1 0 0 0 0

```

```

0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1 0 0 0 0 0 0 0; 0
0 0 0 0 0 1 -S11 -S12 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 -S21 -S22 1 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 1 -
S411 -S412 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 -S421 -S422 1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S511 -
S512 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S521 -S522 1 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S611 -S612 0; 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S621 -S622 1; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S7];
c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
ang=inv(W)*c;
c2=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
alpha=inv(W.)*c2;
giryansi(k,1)=ang(1,1);
end
gy=diff(giryansi)/(h*10^-2)*10^-3;
re(n,1)=abs(ang(1,1))*real(gy/ang(1,1));
im(n,1)=imag(gy/ang(1,1));
end
display(re);
display(im);

```

6.3.3.2.2 Karakteristik Empedans(Z_0)' a Göre Nümerik Pertürbasyon

```
In = DLMREAD('Dosya_Input.csv',';',0,0,'A1..N18');
```

```

%           Kaynak ve Yük Empedanslari
Zg=50;
Zl=50;
Zn=50;
Yn=1/Zn
%   z optimize edilecek hat parçalarının karakteristik empedanslari
for n=1:18
h=0.0001;
lo=36.309961516996139:h:36.310161516996139;
for k=1:2
Z1=lo(k);
%Z1=36.310161516996139;
Z2=180.88547960005533;

```

Z3=53.040858817204942;

Z4=129.00600743174357;

Z5=166.34671619271171;

Z6=94.108668574893557;

l(1)=15.88636643315235;

l(2)=14.008911065162144;

l(3)=13.377572651120596;

l(4)=13.711417580320823;

l(5)=0.67396510436800605;

l(6)=0.83214166475481877;

Y2=1/Z2;

Y5=1/Z5;

% S Parametrelerinin hesaplanmasi

Sn = MATCOMP(In(:, [3:2:9,12]), In(:, [4:2:10,13]));

S = Sn(:, 1:4);

% Thetalarin Hesabi

Theta=(2.*pi./300000000)*kron([l]*1e-2, In(:,2)*1e9);

Beta=(2.*pi./300000000)*(In(:,2)*1e9);

S111 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S122 = (Z1^2-Zn^2)/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S112 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S121 = -i*2*Z1*Zn*csc(Theta(n,1))/(Z1^2+Zn^2-(i*2*Z1*Zn*cot(Theta(n,1))));

S1=(Zg-Zn)/(Zg+Zn);

S7=(Zl-Zn)/(Zl+Zn);

S211 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S212 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S221 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S222 = Y2*i*cot(Theta(n,2))/(2*Yn-(i*Y2*cot(Theta(n,2))));

S311 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S322 = (Z3^2-Zn^2)/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S312 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S321 = -i*2*Z3*Zn*csc(Theta(n,3))/(Z3^2+Zn^2-(i*2*Z3*Zn*cot(Theta(n,3))));

S411 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));

```

S422 = (Z4^2-Zn^2)/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));
S412 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));
S421 = -i*2*Z4*Zn*csc(Theta(n,4))/(Z4^2+Zn^2-(i*2*Z4*Zn*cot(Theta(n,4))));
S511 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S512 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S521 = 2*Yn/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S522 = Y5*i*cot(Theta(n,5))/(2*Yn-(i*Y5*cot(Theta(n,5))));
S611 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S622 = (Z6^2-Zn^2)/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S612 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S621 = -i*2*Z6*Zn*csc(Theta(n,6))/(Z6^2+Zn^2-(i*2*Z6*Zn*cot(Theta(n,6))));
S11=S(n,1);
S12=S(n,3);
S21=S(n,2);
S22=S(n,4);
W = [-S1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 1 -S111 -S112 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -S121 -S122
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 1 -S211 -S212 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -S221 -S222 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 1 -S311 -S312 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -S321 -S322 1 0 0 0 0 0 0 0; 0
0 0 0 0 0 1 -S11 -S12 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 -S21 -S22 1 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 1 -
S411 -S412 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 -S421 -S422 1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S511 -
S512 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S521 -S522 1 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S611 -S612 0; 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -S621 -S622 1; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -S7];
c=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
ang=inv(W)*c;
c2=[1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
alpha=inv(W.)*c2;
giryansi(k,1)=ang(1,1);
end
gy=diff(giryansi)/h;
re(n,1)=abs(ang(1,1))*real(gy/ang(1,1));
im(n,1)=imag(gy/ang(1,1));
end
display(re);
display(im);

```

7. SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ile birlikte, haberleşme alanında hız ve mükemmellik daha da önem kazanmaktadır. Dolayısıyla, hataların minimize edilmesi önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir.

Hataların minimize edilmesi optimizasyon ile mümkün olmaktadır. Özellikle mikrodalga kuvvetlendiricilerinin optimizasyonu ve tasarımı literatürde sıklıkla çalışılmış bir konudur. Optimizasyon teknikleri genel olarak “gradyant” ve “sezgisel” olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadırlar. Gradyant temelli algoritmalar, mühendislik optimizasyon problemlerindeki uygulamalara bir çözüm olarak ortaya çıkmışlardır. Bu algoritmaların en etkilileri, hedef fonksiyonunun en az birinci dereceden türevine ihtiyaç duyanlardır.

Bu çalışmada, gradyant temelli algoritmalarından ek devre yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, dalga yaklaşımı ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım ile güç dalgaları ve ya dalga değişkenleri teşkil edilmiş, bu dalga değişkenlerinin pasif devre parametrelerine göre gradyantı alınarak formüller elde edilmiştir. İkinci olarak, dalga yaklaşımına nümerik türev de uygulanmıştır. Teşkil edilen dalga değişkenlerine de nümerik pertürbasyon uygulanabilmektedir. Son olarak, daha önce başka bir çalışmada uygulanan Kazanç Çarpımı Yaklaşımı ele alınarak, elde edilen sonuçlar bu sonuçlarla karşılaştırılmış ve doğruluğu sorgulanmıştır.

Bu çalışmanın getirdiği en büyük yenilik dalga yaklaşımıdır. Dalga değişkenleri yardımıyla her türlü optimizasyon uygulanabilmektedir. Dalga Yaklaşımı’nda dalga değişkenleri bir kere hesaplanmakta, bu hesap üzerinden her türlü(yansıma katsayıları, grup gecikmesi, kayıplar) hesap yapılabilmektedir. Bu da, işlem kolaylığı ve hız sağlamaktadır. Ayrıca Ek Devre Yöntemi ile, devre topolojisi nasıl olursa olsun tüm değişkenler hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmanın ilk aşamasında, basit devreler(seri hat, paralel hat, IMC, OMC) incelenmiş; daha sonra bu devreler geliştirilerek çalışmanın asıl amacı olan kuvvetlendiricinin devre parametrelerine göre duyarlılığı hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise, Matlab programlama dilinde sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar Kazanç Çarpımı Yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler karşılaştırılırsa, Ek Devre Yöntemi ile Kazanç Çarpımı Yöntemi sonuçlarının tamamen örtüştüğü, Nümerik Pertürbasyon Yaklaşımı’nın ise bu değerlerden 10^{-3} mertebesinde farklı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada ayrıca, gürültü duyarlılıkları da hesaplanmıştır. Yine 3 yöntem kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gürültü duyarlılığı hesaplanırken, basit gürültü tanım ve formülleri kullanılmıştır. Çalışmanın geleceği açısından, gürültü duyarlılıkları kaynak kitaplarda işlenen Dalga Yaklaşımı ile Gürültü Duyarlılıkları ile hesaplanabilir. Yapılan hesaplamalara ek olarak, giriş ve çıkış yansıma katsayılarının duyarlılıkları da hesaplanmıştır.

Kullanılan kuvvetlendiricinin izin verdiği sınırlarda yapılan çalışma, daha yüksek kalitede olan başka bir kuvvetlendirici için daha iyi değerler elde edilebilir. Ayrıca, ek devre yöntemi farklı topolojilerde uygulanarak, en uygun sonuçlar elde edilip kuvvetlendirici için en uygun topoloji seçilebilir.



EKLER

Çizelge 7.1 NE329S01 ' in S parametreleri, $V_{DS}=2V$, $I_D=10\text{ mA}$

Frekans	S_{11}		S_{21}		S_{12}		S_{22}	
GHz	Modül	Açı(Derece)	Modül	Açı(Derece)	Modül	Açı(Derece)	Modül	Açı(Derece)
2	0,955	-25,3	5,347	150	0,027	73,3	0,546	-21,3
3	0,91	-38,5	5,210	135,7	0,039	64,8	0,526	-32
4	0,853	-51,3	5,015	121,7	0,049	55,4	0,498	-41,2
5	0,791	-63,5	4,817	108,7	0,056	47,4	0,476	-49
6	0,741	-74,6	4,688	96,6	0,061	42	0,453	-54,9
7	0,657	-85,8	4,608	83,2	0,071	34,5	0,422	-66,4
8	0,558	-101,3	4,484	69,5	0,076	29	0,368	-76
9	0,497	-122,7	4,349	55,7	0,084	21,01	0,309	-87,3
10	0,464	-142,7	4,183	42,1	0,092	14,09	0,248	-104,1
11	0,443	-163,1	4,025	28,07	0,1	06,02	0,198	-123
12	0,426	172,3	3,848	15	0,106	-0,5	0,154	-140,5
13	0,433	148,4	3,627	01,01	0,109	-8,3	0,123	-170,8
14	0,468	127,4	3,396	-12,6	0,111	-15	0,129	145,9
15	0,525	106,8	3,149	-25,7	0,112	-22,7	0,19	116
16	0,55	93	2,895	-38,4	0,112	-28,5	0,274	97,8
17	0,631	82,5	2,618	-51,5	0,11	-35	0,36	82,6
17,5	0,661	76,5	2,490	-57,4	0,111	-37,6	0,388	77,4
18	0,685	71	2,364	-63,6	0,11	-38,9	0,414	72,4

Çizelge 7.2 NE329S01 ' in gürültü parametreleri, $V_{DS}=2V$, $I_D=10\text{ mA}$

Frekans	Γ_{opt}	NF_{opt}		$R_n / 50$
GHz		Modül	Açı(Derece)	
2	0,26	0,93	14	0,38
3	0,26	0,88	19,06	0,35
4	0,27	0,8	29	0,33
5	0,28	0,71	39,6	0,28
6	0,29	0,65	48	0,25
7	0,29	0,58	56,7	0,22
8	0,31	0,49	72	0,18
9	0,32	0,4	89,4	0,13
10	0,33	0,36	102	0,11
11	0,33	0,3	116,8	0,09
12	0,35	0,27	139	0,08
13	0,38	0,24	163,5	0,06
14	0,43	0,24	-176	0,07
15	0,48	0,25	-153	0,07
16	0,57	0,3	-122	0,1
17	0,66	0,39	-82,6	0,16
17,5	0,7	0,43	-68,6	0,19
18	0,73	0,47	-58	0,22

KAYNAKLAR

Altunç, S., (2003), Kaskad Bağlı İki - Kapılının Kazanç Duyarlılık Analizi ve Dağılım Parametrelili Mikrodalga Kuvvetlendiriciler' e Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Dobrowolski, J.A., (1991), Introduction to Computer Methods for Microwave Circuit Analysis and Design, Artech House, London.

Dobrowolski, J.A., (1996), Computer-Aided Analysis, Modeling and Design of Microwave Networks, Artech House, London.

Güneş, F., Cengiz, Y. ve Aliyev, I., (2002), "A Computer - Aided Optimization of Microwave Amplifiers Based Upon The Active Device Characterisation", URSI 2002 Congress, 18-20 Sep. 2002, İstanbul.

Güneş, M. ve Howson D. P., (1980), CAD Optimisation of the Broadband Low-Noise Microwave Transistor Amplifier, University of Bradford, Bradford.

Nikolova, N. K.; Bandler W. J.; Bakr, M. H., (2004), Adjoint Techniques for Sensitivity Analysis in High-Frequency Structure CAD, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 52:403-419.

Ouchi, K.; Keyser, J.; Exact Numerical Perturbation Technical Report 2005-1-2, Department of Computer Science, Texas A&M University, Texas.
<http://www.cs.tamu.edu/academics/tr/tamu-cs-tr-2005-1-2>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.04.1979	
Doğum yeri	DÜZCE	
Lise	1993-1996	Bolu İzzet Baysal Anadolu Lisesi
Lisans	1997-2002	İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik - Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programı

