

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

139736

**KASKAD BAĞLI İKİ – KAPILININ KAZANÇ
DUYARLILIK ANALİZİ ve DAĞILMIŞ PARAMETRELİ
MİKRODALGA KUVVETLENDİRİCİLERİNE
UYGULAMASI**

- 139736 -

Elektronik ve Hab. Müh. Serhat ALTUNÇ

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ
Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Herman SEDEF
: Prof. Dr. Celal KOCATEPE

[Signatures]

İSTANBUL, 2003

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1 GİRİŞ.....	1
2 KAZANÇ ÇARPIMI YAKLAŞIMI	4
2.1 M-Kaskad Bağlı İki – Kapılıdan Oluşan Bir Devrenin Kazanç Duyarlılıkları	4
2.2 Uygulama: Bir Kuvvetlendiricinin Dağılmış Parametrelili Uydurma Devrelerine Göre Kazanç Duyarlılığı	6
2.2.1 Bir Seri - Hat Devresinin Kazanç Duyarlılıkları	7
2.2.2 Bir Paralel - Hat Devresinin Kazanç Duyarlılıkları	8
2.2.3 T-Tipi Devre İçin Kazanç Duyarlılıkları.....	9
2.2.3.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları	10
2.2.3.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları	11
2.2.3.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin Duyarlılıkları	11
2.2.4 Π -Tipi Devre İçin Kazanç Duyarlılıkları	12
2.2.4.1 Kazancın ilk Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları ...	13
2.2.4.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları ..	13
2.2.4.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin Duyarlılıkları	14
2.2.5 IMC(T - Tipi)-Transistor-OMC(T - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları	15
2.2.5.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları	16
2.2.5.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları	17
2.2.5.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin Duyarlılıkları	17
2.2.5.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_4, Z_{04} İçin Duyarlılıkları	18
2.2.5.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_5, Z_{05} İçin Duyarlılıkları	18

2.2.5.6	Kazancın Altıncı Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_6, Z_{06} İçin Duyarlılıkları	19
2.2.6	IMC(Π -Tipi) – Transistor – OMC(Π -Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları	20
2.2.6.1	Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları	21
2.2.6.2	Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları ..	21
2.2.6.3	Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin Duyarlılıkları	22
2.2.6.4	Kazancın Dördüncü Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_4, Z_{04} İçin Duyarlılıkları	23
2.2.6.5	Kazancın Beşinci Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_5, Z_{05} İçin Duyarlılıkları	23
2.2.6.6	Kazancın Altıncı Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_6, Z_{06} İçin Duyarlılıkları	24
3	KASKAD BAĞLI İKİ-KAPILININ ZİNCİR DUYARLILIK MATRİSİ YAKLAŞIMI ile KAZANÇ DUYARLILIK ANALİZİ	25
3.1	Uygulama: Dağılmış Parametrelili Mikrodalga Kuvvetlendiricinin Pasif Değişkenlere Göre Kazanç Duyarlılığı	27
3.1.1	Bir Seri – Hat İki-Kapılısının Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi.....	27
3.1.1.1	Kazancın Seri - Hat Uzunluğu ℓ ' e Göre Duyarlılığı	28
3.1.1.2	Kazancın Seri- Hat Karakteristik Empedansı Z_0 ' ya Göre Duyarlılığı.....	29
3.1.2	Bir Paralel - Hat İki - Kapılısının Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi	30
3.1.2.1	Kazancın Paralel - Hat Parametresi ℓ ' e Göre Duyarlılığı	31
3.1.2.2	Kazancın Paralel - Hat Parametresi Z_0 ' ya Göre Duyarlılığı	31
3.1.3	Bir T - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi.....	32
3.1.3.1	Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları.....	34
3.1.3.2	Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	35
3.1.3.3	Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları.....	37
3.1.4	Bir Π - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri İle Temsil Edilmesi.....	38
3.1.4.1	Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	40
3.1.4.2	Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları.....	41
3.1.4.3	Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	42
3.1.5	IMC(T - Tipi)-Transistor-OMC(T - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi	44
3.1.5.1	Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları.....	44
3.1.5.2	Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	46
3.1.5.3	Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları.....	47
3.1.5.4	Kazancın Dördüncü Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları	48
3.1.5.5	Kazancın Beşinci Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	50
3.1.5.6	Kazancın Altıncı Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları	51
3.1.6	IMC(Π - Tipi)-Transistor-OMC(Π - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi	53
3.1.6.1	Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	53
3.1.6.2	Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları.....	55
3.1.6.3	Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	56

3.1.6.4	Kazancın Dördüncü Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	57
3.1.6.5	Kazancın Beşinci Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları	59
3.1.6.6	Kazancın Altıncı Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları	60
4	NUMERİK PERTÜRBASYON YAKLAŞIMI	62
5	ÖRNEK ÇALIŞMALAR ve SONUÇLAR.....	63
5.1	Çizelge ve Şekiller.....	63
5.1.1	Uygun Z_S, Z_L İle Sonlandırılmış, Belirli Bir Frekans Bandında Belirli Z_0, ℓ ' lere Sahip Devreler İçin G_T, F, V_i Değerlerine Ait Çizelge ve Şekiller.....	63
5.1.2	Uygun Z_S, Z_L İle Sonlandırılmış, Belirli Bir Frekans Bandında Belirli Z_0, ℓ ' lere Sahip Devreler İçin Kazanç Duyarlılıklarına Ait Çizelge ve Şekiller.....	68
5.1.2.1	Seri ve Paralel – Hat İki – Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları.....	68
5.1.2.2	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	70
5.1.2.3	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	82
5.2	Bilgisayar Programı.....	94
5.2.1	Kazanç Çarpımı Yaklaşımı	94
5.2.2	Zincir Duyarlılık Matrisi Yaklaşımı.....	100
5.2.3	Numerik Pertürbasyon Yaklaşımı	105
6	SONUÇLAR	107
	EKLER.....	108
Ek 1	a)Uygun Z_S ve Z_L ile Sonlandırılmış Bir Seri - Hattın Hat Parametreleri ℓ, Z_0 'ya Göre Duyarlılık Formüllerinin Çıkarılması..... b)Uygun Z_S ve Z_L ile Sonlandırılmış Bir Paralel - Hattın Hat Parametreleri ℓ, Z_0 'ya Göre Duyarlılık Formüllerinin Çıkarılması.....	108 110
Ek 2	NE329S01 Transistorunun Parametreleri.....	112
	KAYNAKLAR.....	113
	ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGE LİSTESİ

$[E]$	İki – kapılının matrisiyel formda ABCD 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_A	Elde edilebilir güç kazancı
G_p	Çalışma güç kazancı
G_T	Transdüser güç kazancı
I_{DS}	Bir mikrodalga transistorun kutuplama akımı
ℓ	Transmisyon hattının uzunluğu
P_{AVs}	Kaynaktan elde edilebilir maksimum güç
P_L	Yüke aktarılan güç
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_S	Reel ve imajiner kısımlarıyla iki-kapılı devrenin kaynak empedansı

KISALTMA LİSTESİ

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



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	M – Kaskad bağlı devre..... 4
Şekil 2.2	IMC(T – Tipi) – Transistor – OMC(T – Tipi) devresi 6
Şekil 2.3	IMC(Π – Tipi) – Transistor – OMC(Π – Tipi) devresi 6
Şekil 2.4	Seri – Hat devresi 7
Şekil 2.5	Paralel – Hat devresi..... 8
Şekil 2.6	T – Tipi devre 9
Şekil 2.7	Π - Tipi Devre 12
Şekil 2.8	IMC(T - Tipi) – Transistor – OMC(T – Tipi) devresi..... 15
Şekil 2.9	IMC(Π -Tipi) – Transistor – OMC(Π -Tipi) devresi 20
Şekil 3.1	T – Tipi devre 32
Şekil 3.2	Π - Tipi devre 38
Şekil 5.1	$Z_S = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi 63
Şekil 5.2	$Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi 64
Şekil 5.3	$GT_{req}(\omega) = 12 \text{ dB}, V_{req}(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-OMC(T - Tipi) devresi için kazanç–frekans eğrisi 64
Şekil 5.4	$GT_{req}(\omega) = 12 \text{ dB}, V_{req}(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için gürültü – frekans eğrisi..... 65
Şekil 5.5	$GT_{req}(\omega) = 12 \text{ dB}, V_{req}(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(T - Tipi) devresi için duran dalga oranı – frekans eğrisi..... 65
Şekil 5.6	$Z_S = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç - frekans eğrisi 66
Şekil 5.7	$Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(Π - Tipi) devresi için kazanç –frekans eğrisi 66
Şekil 5.8	$GT_{req}(\omega) = 12 \text{ dB}, V_{req}(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç – frekans eğrisi 67
Şekil 5.9	$GT_{req}(\omega) = 12 \text{ dB}, V_{req}(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(Π - Tipi) devresi için gürültü – frekans eğrisi 67
Şekil 5.10	$GT_{req}(\omega) = 12 \text{ dB}, V_{req}(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(Π - Tipi) –Transistor(NE329S01)-IMC(Π - Tipi) devresi için duran dalga oranı–frekans eğrisi..... 68
Şekil 5.11	Seri – Hat iki – kapılısının hat uzunluğuna ($\ell = 15.886 \text{ cm}$) göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi..... 69
Şekil 5.12	Seri – Hat iki – kapılısının karakteristik empedansa($Z_0 = 36.310 \Omega$) göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrisi..... 69
Şekil 5.13	Paralel – Hat iki – kapılısının hat uzunluğuna ($\ell = 14.009 \text{ cm}$) göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrisi..... 70

Şekil 5.14	Paralel – Hat iki – kapılısının karakteristik empedansa ($Z_0 = 180.885 \Omega$) göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrisi.....	70
Şekil 5.15	IMC(T - Tipi) devresi için a) $1)\ell_1$ 2) Z_{01} a) $1)\ell_2$ 2) Z_{02} a) $1)\ell_3$ 2) Z_{03} ' e göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrileri	71
Şekil 5.16	OMC (T - Tipi) devresi için a) $1)\ell_4$ 2) Z_{04} b) $1)\ell_5$ 2) Z_{05} c) $1)\ell_6$ 2) Z_{06} ' ya göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrileri	74
Şekil 5.17	IMC(T Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T Tipi) devresi için a) $1)\ell_1$, 2) Z_{01} ; b) $1)\ell_1$, 2) Z_{01} ; c) $1)\ell_1$, 2) Z_{01} ' e göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrileri	77
Şekil 5.18	IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için a) $1)\ell_4$, 2) Z_{04} ; b) $1)\ell_5$, 2) Z_{05} ; c) $1)\ell_6$, 2) Z_{06} ' ya göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrileri	80
Şekil 5.19	IMC(Π - Tipi) devresi için a) $1)\ell_1$, 2) Z_{01} ; b) $1)\ell_2$, 2) Z_{02} ; c) $1)\ell_3$, 2) Z_{03} ' e göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrileri	83
Şekil 5.20	a) $1)\ell_4$, 2) Z_{04} ; b) $1)\ell_5$, 2) Z_{05} ; c) $1)\ell_6$, 2) Z_{06} ' ya göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrileri	86
Şekil 5.21	IMC(Π - Tipi) –Transistor(NE329S01)-OMC(Π - Tipi) devresi için a) $1)\ell_1$, 2) Z_{01} b) $1)\ell_2$, 2) Z_{02} ; c) $1)\ell_3$ 2) Z_{03} ' e göre kazanç duyarlılığı –frekans eğrileri89	
Şekil 5.22	IMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(Π - Tipi) devresi için a) $1)\ell_4$, 2) Z_{04} b) $1)\ell_5$, 2) Z_{05} ; c) $1)\ell_6$, 2) Z_{06} ' ya göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri	92
Şekil 5.23	Analitik ve Pertürbasyon yaklaşımıyla gürültü duyarlılığını hesaplariken, CPU zamanının değişken sayısına göre değişiminin karşılaştırılması.....	94

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	T -Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan nominal parametre vektörü (x^0) olan, hatların uzunluk ve karakteristik empedansları	2
Çizelge 5.1	T - Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan hatların uzunluk ve karakteristik empedansları	63
Çizelge 5.2	$Z_S = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri	63
Çizelge 5.3	$Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri	64
Çizelge 5.4	$GTreq(\omega) = 12 \text{ dB}, Vireq(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri	64
Çizelge 5.5	$GTreq(\omega) = 12 \text{ dB}, Vireq(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(T - Tipi) devresi için gürültü değerleri	64
Çizelge 5.6	$GTreq(\omega) = 12 \text{ dB}, Vireq(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(T - Tipi) devresi için duran dalga oranı değerleri	65
Çizelge 5.7	$Z_S = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç değerleri	65
Çizelge 5.8	$Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i), Z_L = 50 \Omega, i = 1\text{GHz}.....11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(Π - Tipi) devresi için kazanç değerleri	66
Çizelge 5.9	$GTreq(\omega) = 12 \text{ dB}, Vireq(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan IMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-OMC(Π -Tipi) devresi için kazanç değerleri	66
Çizelge 5.10	$GTreq(\omega) = 12 \text{ dB}, Vireq(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(Π - Tipi) - Transistor(NE329S01)-IMC(Π -Tipi) devresi için gürültü değerleri	67
Çizelge 5.11	$GTreq(\omega) = 12 \text{ dB}, Vireq(\omega) = 1.0 \text{ Freq}(\omega_i) = 0.46\text{dB}$ olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(Π - Tipi) devresi için duran dalga oranı değerleri	67
Çizelge 5.12	Seri – Hat iki – kapılısının $\ell = 15.886 \text{ cm}, Z_0 = 36.310 \Omega$ için hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri	68
Çizelge 5.13	Paralel – Hat iki – kapılısının $\ell = 14.009 \text{ cm}, Z_0 = 180.885 \Omega$ hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri	69
Çizelge 5.14	IMC(T - Tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri	70
Çizelge 5.15	OMC(T - Tipi) devresi için a) ℓ_4, Z_{04} b) ℓ_5, Z_{05} c) ℓ_6, Z_{06} olan hat uzunlukları ve karakteristik empedanslara göre kazanç duyarlılığı değerleri	73
Çizelge 5.16	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} 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri	76
Çizelge 5.17	IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için a) ℓ_4, Z_{04} b) ℓ_5, Z_{05} c) ℓ_6, Z_{06} 'ya göre kazanç duyarlılığı değerleri	79
Çizelge 5.18	IMC(Π - Tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri	82
Çizelge 5.19	OMC(Π - Tipi) devresi için a) ℓ_4, Z_{04} b) ℓ_5, Z_{05} c) ℓ_6, Z_{06} 'ya göre kazanç duyarlılığı değerleri	85

Çizelge 5.20	IMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(Π - Tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} ' e göre kazanç duyarlılığı değerleri	88
Çizelge 5.21	IMC(Π - Tipi) – Transistor (NE329S01) - OMC(Π - Tipi) devresi için a) ℓ_4, Z_{04} b) ℓ_5, Z_{05} c) ℓ_6, Z_{06} ' ya göre kazanç duyarlılığı değerleri	91
Çizelge 2.1	NE329S01 ' in S parametreleri, $V_{DS}=2V$, $I_D=10\text{ mA}$	112
Çizelge 2.2	NE329S01 ' in gürültü parametreleri, $V_{DS}=2V$, $I_D=10\text{ mA}$	112



ÖZET

Bu tezdeki orijinal çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: İlk çalışmada, belirli kaynak Z_S ve yük Z_L empedanslarına sahip kaskad bağlı iki – kapılıların devre parametrelerine göre duyarlılıklarının üç farklı yaklaşımla analiz edilmiştir. Bu yaklaşımlar “ Kazanç Çarpımı ” , “ Zincir Duyarlılık Matrisi ” ve “ Numerik Pertürbasyon ” olarak adlandırılabilir.

İkinci çalışmada, bu yaklaşımlar ile Dağılmış-Parametrelili mikrodalga kuvvetlendiricilere uygulanarak devredeki transmisyon hatların fiziksel uzunluk ve karakteristik empedanslarına göre bütün analitik kazanç duyarlılıkları analitik olarak formüle edilmiştir.

Üçüncü çalışmada, bu analitik kazanç duyarlılıkları bir uyumlu performans (F, V_i, G_T) üçlüsüne sahip olan kuvvetlendirici konfigürasyonu için uygulanmış ve numerik pertürbasyon yaklaşımı ile birlikte duyarlılıklar hesaplanmıştır.

Sonuç olarak ise, bütün bilgisayar sonuçları karşılaştırılmış ve çok iyi bir uyum içinde oldukları tespit edilmiştir.

Bu çalışmadaki yaklaşımlar, gürültü ve VSWR gibi diğer performans ölçü bileşenlerinin aktif ve pasif devre değişkenlere göre duyarlılıklarının analitik formülasyonunun elde edilmesi şeklinde genişletilebilir. Bütün çalışma aktif devrelerin gradyan-tabanlı kazanç, gürültü ve VSWR performans optimizasyonlarında çok verimli bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca, analitik temelli olan bu çalışma sistemlerin gerçekleştirilmesi ve üretimi aşamasındaki tolerans analizi konusunda çok iyi referans olacaktır.

Anahtar kelimeler : Duyarlılık, kazanç, pertürbasyon, zincir

ABSTRACT

Original works in this thesis can be ordered as follows: Firstly is to analyse the sensitivity of the cascaded two-ports with respect to the circuit parameters by the three different approaches with the given source Z_S and load Z_L impedances. These approaches can be named as “ The Gain – Factorization ” , “ The Chain- Parameter Sensitivity ” and “ The Numerical Perturbation ” .

Secondly, these general approaches are applied to the sensitivities of a microwave amplifier with the distributed parameters. So all the analytical gain sensitivity expressions are obtained with respect to the physical lengths and characteristic impedances of the transmission line segments of the circuit. Thirdly, these expressions are utilized in the evaluation of all the gain sensitivities for the amplifier configured with respect to a compatible performance (F, V_i, G_T) triplet, together with the numerical perturbation approach.

Finally, all the computed results are compared together and found that they are all agreed very well.

Complete work is expected to expand to the sensitivities of the other performance measure components such as noise and VSWR with respect to the all the passive and active parameters of the circuits. Then these resulted works can be utilized in the efficient gradient- based optimization of the gain, noise and VSWR performances of the active circuits. Besides, these analytical works can be excellent references in the tolerance analysis of the system in the realization and production stages.

Keywords : Sensitivity, gain, perturbation, chain

1. GİRİŞ

Bir elektrik devresi tasarımının önemli bir problemi elektrik ve gürültü performansının Optimize edilmesidir. Verimli gradyant – temelli optimizasyon metodları, devre duyarlılıklarının hesaplanmasını talep ederler. Ayrıca, kullanılan sentez yönteminden sonuçlanan nominal değerlerle yapılmış bir devre tasarımı idealize edilmiş belirli bir durumdur. Oysa bir mikrodalga devresinin realistik bir biçimde tasarımında, devre parametrelerinin imalat(toleranslar), yaşlanma yada çevresel faktörler(örneğin sıcaklık) gibi nedenlerle değişebileceği hesaba katılmalıdır.

Tolerans analizi, idealleştirilmiş bir devre modelinin “ürün imal etme” sürecine dönüştürülme ihtiyacı ile geliştirilmiştir ve burada amaç, imal edilen devrelerin kalitesini kestirebilmektir. Tolerans analizi, gerek deterministik ve gerekse istatistiksel temeller üzerine yapılsın, her iki halde de, ”duyarlılık” kavramına gereksinim duyulur.

Duyarlılık temel olarak, türetilen bir ‘F’ fonksiyonunun bir ‘x’ parametresine göre türevidir:

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

Daha geniş kullanıma sahip olan Normalize Duyarlılık tanımları:

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

yada

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

şeklindedir.

(1.3) eşitliğinden

$$\frac{\partial F}{F} = S_x(F) \frac{\partial x}{x} \quad (1.4)$$

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

Genel bir çerçeve içinde “duyarlılık” problemini ele alırsak, k adet reel değişkenin (devre parametresi) ve m adet devre fonksiyonunun oluşturduğu iki vektör kümesini ele almalıyız:

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_k]^T \quad (1.5)$$

$$F(x) = [F_1(x), F_2(x), \dots, F_m(x)]^T \quad (1.6)$$

Ayrıca, devrenin fiziksel tasarım parametre vektörü x^0 'nominal parametre' vektörü olarak adlandırılacaktır:

$$x^0 = [x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0]^T \quad (1.7)$$

Buna göre x devre parametre vektörü,

$$x = x^0 + \Delta x \quad (1.8)$$

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

$$\Delta x = [\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_k]^T \quad (1.9)$$

Bizim ele aldığımız sistemde, F devre fonksiyonu;

$$F(x) = [G_{T1}(x), G_{T2}(x), \dots, G_{Tm}(x)]^T \quad (1.10)$$

şeklindedir. Reel değişkenler (x) ise,

$$x = [\ell_1, Z_{01}, \ell_2, Z_{02}, \dots, \ell_m, Z_{0m}]^T \quad (1.11)$$

şeklindedir. 'nominal parametre' vektörü (x^0) ise,

Çizelge 1.1 T - Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan nominal parametre vektörü (x^0) olan, MMIC teknolojisinin izin verdiği 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)		
$\ell_1 = 14.608 \text{ cm}$	$\ell_2 = 13.970 \text{ cm}$	$\ell_3 = 0.503 \text{ cm}$	$\ell_4 = 15.191 \text{ cm}$	$\ell_5 = 13.678 \text{ cm}$	$\ell_6 = 15.197 \text{ cm}$
$Z_{01} = 85.185 \Omega$	$Z_{02} = 51.995 \Omega$	$Z_{03} = 167.184 \Omega$	$Z_{04} = 199.988 \Omega$	$Z_{05} = 114.411 \Omega$	$Z_{06} = 193.972 \Omega$

Devre parametreleri diferansiyel değişim vektörü $\Delta x(\Delta \ell = 0.0001 \text{ cm}, \Delta Z_0 = 0.0001 \Omega)$ ise bütün devreler için sabit alınmıştır.

Ayrıca, günümüzde duyarlılık kavramı gelişen teknolojiyle, mikrodalga devrelerinin tasarımında çok daha büyük bir önem kazanmıştır. Bilgisayar destekli duyarlılık analizi bize bir kaskad bağlı devrenin simülasyonunu ve istenen tasarım özelliklerinin sağlanıp sağlanmadığını gösterir. Kaskad bağlı devre simülasyonu bize, kaskad bağlı devre performansının ve tasarımcının profesyonel deneyiminden, zekasından ve önsezgi gücünden kaynaklanan sonuçların nasıl iyileştirilebileceği hakkında bilgi vermez. Optimizasyon metodlarıyla ilintili duyarlılık analizi bize tasarım prosedürünü daha algoritmik olmasını ve sonuçta devre tasarımının otomasyonunu sağlar.

Bilgisayar simülasyonunda, gerçek kaskad bağlı devre ölçümleri basitleştirilmiş matematiksel tanımlarla sınırlı bir doğruluk veren kaskad bağlı devre veya sistem modeli kullanılır. Bundan dolayı simülasyon sonuçları daima gerçek ölçüm sonuçlarından farklıdır, oysa İdeal olmayan kaskad bağlı devreler ve sistemler genelde değişen çevre koşullarında çalışmak zorunda kalırlar. (Sıcaklık Deęiřimi, Atmosferik Basınç, Elektromagnetik Radyasyon, Nem). Devre elemanlarının değeri doğal yaşlanmayla değişir. Bu etkenleride göz önüne alarak çevre koşul parametrelerine göre kaskad bağlı devre veya sistem duyarlılıklarını hesaplayabiliriz. Kaskad bağlı devre duyarlılıkları hakkındaki bilgiler daha geniş olarak optimal tolerans işlemi ve üretim sonrası bilgisayar destekli genel bakım ve düzen sağlanmasında kullanılabilir.

Ayrıca duyarlılık analizi bize simülasyon hatalarının kestirimini sağlar bu şekilde duyarlılık analizini kullanarak, kaskad bağlı devre parametrelerini artan duyarlılık değerine göre yerleştiririz. Sonuç olarak prosedür, duyarlılığın aşırı değerleri için devre parametrelerinin tanımlanmasına öncülük eder böylece bizde duyarlılıkları önemsiz olan elemanları elimine ederek modelimizi basitleştirir. Bu sayede bir kaskad bağlı devrenin parazitik elemanların bulunması durumunda cevap varyasyonlarının kestirimi yapılabilir.

Duyarlılık fonksiyonları, devrede aktif yada pasif herhangi bir eleman parametresine göre türevleri içerebilmektedir. Düşük gürültülü, yüksek kazançlı ve düşük giriş VSWR' lı aktif devrelerin bilgisayar ile tasarımında da, performans fonksiyonlarının duyarlılıklarının analitik ifadeleri, bu fonksiyonların bilgisayar kullanılarak perturbasyon metodu ile hesaplanmasındaki zorlukları ortadan kaldırıp, hızı artırır.

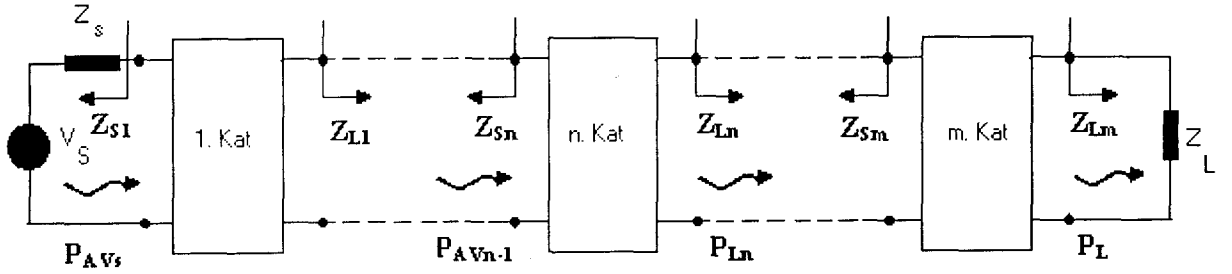
Bu çalışmada duyarlılık analizi, üç farklı yöntem ile bulunmuş ve bu sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. KAZANÇ ÇARPIMI YAKLAŞIMI

2.1 M - Kaskad Bağlı İki – Kapılıdan Oluşan Bir Devrenin Kazanç Duyarlılıkları

M - kaskad bağlı iki-kapılı devrenin transdüser kazancı G_T , n. bileşen devrenin parametrelerine göre duyarlılık fonksiyonlarını elde edebilmek amacıyla, aşağıdaki şekilde faktörize edilebilir :

$$G_T = G_{A(n-1)} G_{T_n} G_{P(m-n)} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 M – kaskad bağlı devre

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVs}} = \frac{P_{AVn-1}}{P_{AVs}} \frac{P_{Ln}}{P_{AVn-1}} \frac{P_L}{P_{Ln}} = G_{A(n-1)} G_{T_n} G_{P(m-n)} \quad (2.2)$$

(2.2)' de G_{T_n} , iki- kapılı devrenin transdüser kazancı olup, devre parametre vektörü x ' in fonksiyonudur :

$$G_{T_n} = G_{T_n}(x) \quad (2.3)$$

$$x = [\ell_1 Z_{o1} \ell_2 Z_{o2} , \dots , \ell_m Z_{om}]^T \quad (2.4)$$

Burada x , $2m \times 1$ boyutlu pasif değişken vektörüdür. $G_{A(n-1)}$ ve $G_{P(m-n)}$ n. iki-kapılı devre parametreleri x ' den tamamen bağımsız olup, sırası ile ilk (n-1) katın “elde edilebilir” ve son (m-n) katın “çalışma” kazançları çarpımına eşittir:

$$G_{A(n-1)} = \prod_{i=1}^{n-1} G_{A_i} \quad (2.5)$$

$$G_{A(n-1)} = \frac{R_s}{|A_{1..(n-1)} + C_{1..(n-1)}Z_S|^2 \text{Real} \left\{ \frac{B_{1..(n-1)} + D_{1..(n-1)}Z_S}{A_{1..(n-1)} + C_{1..(n-1)}Z_S} \right\}} \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} A_{1..(n-1)} & B_{1..(n-1)} \\ C_{1..(n-1)} & D_{1..(n-1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_{n-1} & B_{n-1} \\ C_{n-1} & D_{n-1} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

(2.7)' de belirtilen $A_{1..(n-1)}$, $B_{1..(n-1)}$, $C_{1..(n-1)}$, $D_{1..(n-1)}$ (n-1). kata kadar olan katların ABCD parametrelerinin çarpımıdır, yani (n-1) katın eşdeğer ABCD parametreleridir.

$$G_{P(m-n)} = \prod_{i=n+1}^m G_{P_i} \quad (2.8)$$

$$G_{P(m-n)} = \frac{R_L}{|D_{(n+1)..m} + C_{(n+1)..m} Z_L|^2 \text{Real} \left\{ \frac{A_{(n+1)..m} Z_L + B_{(n+1)..m}}{C_{(n+1)..m} Z_L + D_{(n+1)..m}} \right\}} \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} A_{(n+1)..m} & B_{(n+1)..m} \\ C_{(n+1)..m} & D_{(n+1)..m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{n+1} & B_{n+1} \\ C_{n+1} & D_{n+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{n+2} & B_{n+2} \\ C_{n+2} & D_{n+2} \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_m & B_m \\ C_m & D_m \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

(2.10)'da belirtilen $A_{(n+1)..m}$, $B_{(n+1)..m}$, $C_{(n+1)..m}$, $D_{(n+1)..m}$ (n+1). kattan m.kata kadar olan katların ABCD parametrelerinin çarpımıdır, yani eşdeğer ABCD parametreleridir.

Buna göre, m - kaskad bağlı devrenin toplam transduser güç kazancı G_T nin n. devre parametresi x_n ' e göre duyarlılığı:

$$\frac{\partial G_T}{\partial x_n} = G_{A(n-1)} \frac{\partial G_{Tn}}{\partial x_n} G_{P(m-n)} \quad (2.11)$$

şeklindedir(Güneş, 1980).

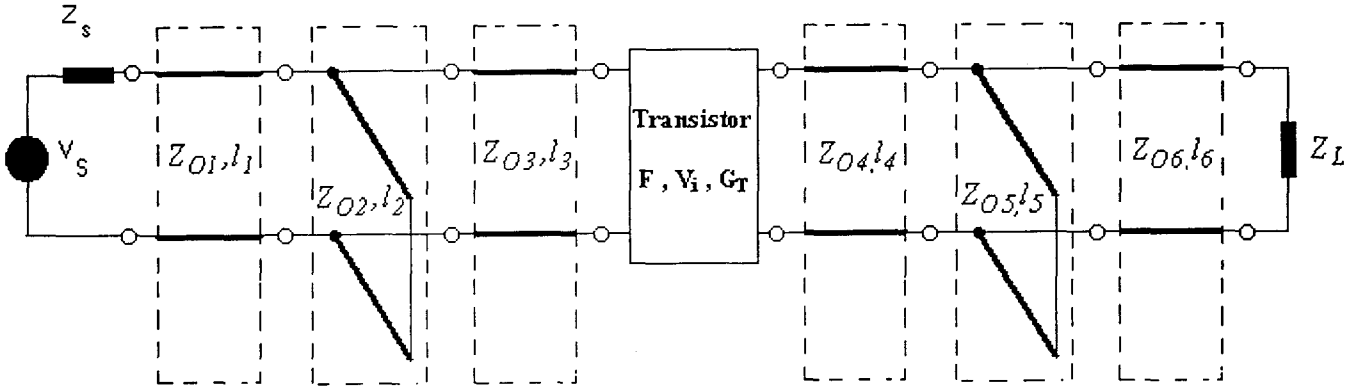
Buna göre $D_x(G_T)$ nin duyarlılık matrisi, $1 \times 2m$ boyutunda bir matristir:

$$D_x(G_T) = \begin{bmatrix} D_{x_1}(G_T) & \dots & D_{x_n}(G_T) & \dots & D_{x_{2m}}(G_T) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

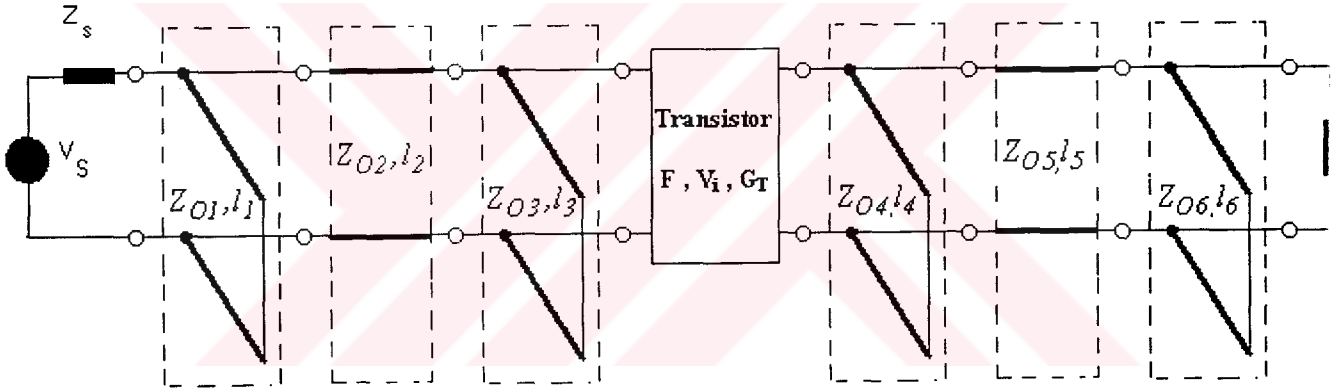
Burada

$$D_{x_n}(G_T) = \left[\frac{\partial G_T}{\partial x_n} \right] \quad (2.13)$$

şeklinde ve $\frac{\partial G_T}{\partial x_n}$ ise (2.11) ile verildiği biçimde elde edilebilir.



Şekil 2.2 IMC(T – Tipi) – Transistor – OMC(T – Tipi) devresi



Şekil 2.3 IMC(Π – Tipi) – Transistor – OMC(Π – Tipi) devresi

Aşağıdaki alt bölümde kazanç çarpımı yaklaşımı, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’ deki mikrodalga kuvvetlendiricilerinin pasif devre değişkenlerine göre kazanç duyarlılıklarına uygulanacaktır.

2.2 Uygulama: Bir Kuvvetlendiricinin Dağılmış Parametrelili Uydurma Devrelerine Göre Duyarlılığı

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’ deki, Seri ve Paralel - Hat, dağılmış parametrelili elemanlarının T- ya da π - konfigürasyonlarının oluşturdukları giriş ve çıkış uydurma devreleri ile bir mikrodalga kuvvetlendiricisini ele alıp, toplam G_T kazancının hat fiziksel uzunlukları ℓ_i ile ve karakteristik empedansı Z_{oi} , $i=1, \dots, 6$ ya göre duyarlılık fonksiyonları elde

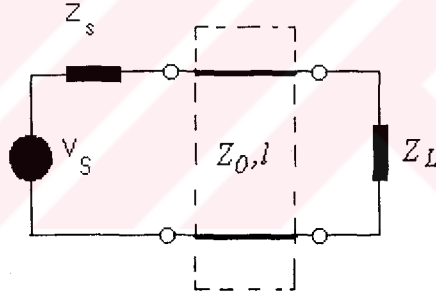
edelim. Buna göre devrenin x parametre vektörü ve ∇ gradyant operatörü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$x = [\ell_1, Z_{01}, \ell_2, Z_{02}, \dots, \ell_6, Z_{06}]^T \quad (2.14)$$

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial \ell_1}, \frac{\partial}{\partial Z_{01}}, \dots, \frac{\partial}{\partial \ell_6}, \frac{\partial}{\partial Z_{06}} \right]^T \quad (2.15)$$

herbir dağılmış parametrelili elemanı, bir iki-kapılı ile karakterize edip ve (2.13) ilişkisini kullanarak, n . iki kapılı devresinin x_n parametresine göre $D_{x_n} (G_T)$ duyarlılık fonksiyonu elde edilebilir. Buna göre, aşağıda seri ve paralel - hattın iki-kapılı ile karakterizasyonu ve $\frac{\partial G_T}{\partial x_n}$ fonksiyonu ele alınacaktır.

2.2.1 Bir Seri - Hat Devresinin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 2.4 Seri – Hat devresi

$$G_T = \frac{4 R_S R_L}{P} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

$$P = |AZ_L + B + (CZ_L + D)|^2 \quad (2.17)$$

$$R_S = \text{Real } Z_S, R_L = \text{Real } Z_L \quad (2.18)$$

$$A = \cos \beta \ell, B = jZ_0 \sin \beta \ell, C = \frac{j \sin \beta \ell}{Z_0}, D = \cos \beta \ell \quad (2.19)$$

şeklindedir, ABCD parametrelerini (19), (20) yerine koyarsak

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_2}{Z_0^2} + Z_0^2 - S_3 \right) \sin 2\beta \ell + 2 \left(Z_0 S_4 - \frac{S_5}{Z_0} \right) \cos 2\beta \ell \right\} \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left(2 \left(Z_0 - \frac{S_2}{Z_0^3} \right) \sin^2 \beta \ell + \left(S_4 + \frac{S_5}{Z_0^2} \right) \sin 2\beta \ell \right) \quad (2.21)$$

şeklinde bulunur, burada

$$P = S_1 + \left(\frac{S_2}{Z_0} + Z_0^2 - S_3 \right) \sin^2 \beta \ell + (Z_0 S_4 - S_5 Z_1) \sin 2\beta \ell \quad (2.22)$$

$$S_1 = |Z_L|^2 + |Z_S|^2 + 2(R_S R_L + X_S X_L) \quad (2.23)$$

$$S_2 = |Z_L|^2 |Z_S|^2 \quad (2.24)$$

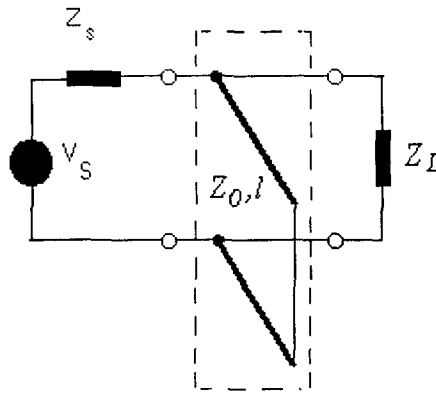
$$S_3 = 4 X_S X_L + |Z_L|^2 + |Z_S|^2 \quad (2.25)$$

$$S_4 = X_L + X_S \quad (2.26)$$

$$S_5 = X_S |Z_L|^2 + X_L |Z_S|^2 \quad (2.27)$$

şeklindedir.

2.2.2 Bir Paralel - Hat Devresinin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 2.5 Paralel – Hat devresi

$$A \approx 1, B = 0, C = -\frac{j}{Z_0 \tan \beta \ell}, D = 1 \quad (2.28)$$

(2.28)'deki ABCD Parametrelerini (2.16), (2.17)' de yerine koyalım

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = \frac{4R_S R_L}{P^2} \frac{2\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + T_3 \right) \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = \frac{4R_S R_L}{P^2} \frac{2}{Z_0^2 \tan^2 \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + T_3 \right) \quad (2.30)$$

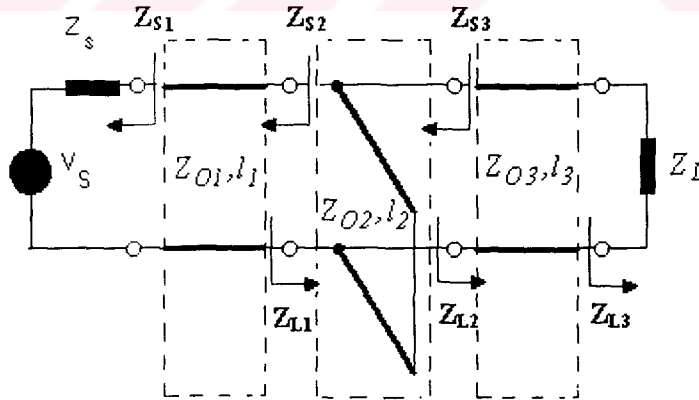
$$P \approx T_1 + \frac{1}{Z_0 \tan \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + 2T_3 \right) \quad (2.31)$$

$$T_1 = |Z_L|^2 + |Z_S|^2 + 2(R_S R_L + X_S X_L) \quad (2.32)$$

$$T_2 = |Z_L|^2 |Z_S|^2 \quad (2.33)$$

$$T_3 = X_S |Z_L|^2 + X_L |Z_S|^2 \quad (2.34)$$

2.2.3 T-Tipi Devre İçin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 2.6 T – Tipi devre

$$[E_1] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_1 & jZ_{01} \sin \beta \ell_1 \\ \frac{j \sin \beta \ell_1}{Z_{01}} & \cos \beta \ell_1 \end{bmatrix} \quad (1.\text{Seri} - \text{Hat}) \quad (2.35)$$

$$[E_3] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_3 & jZ_{03} \sin \beta \ell_3 \\ \frac{j \sin \beta \ell_3}{Z_{03}} & \cos \beta \ell_3 \end{bmatrix} \quad (2.\text{Seri} - \text{Hat}) \quad (2.36)$$

$$[E_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{03} \tan \beta \ell_2} & 1 \end{bmatrix} \quad (1.\text{Paralel} - \text{Hat}) \quad (2.37)$$

$$[E_{T12}] = [E_1][E_2] \quad (2.38)$$

$$[E_{T23}] = [E_2][E_3] \quad (2.39)$$

Devre pasif olduğu için bütün $G_A = 1$, $G_P = 1$ ' dir

2.2.3.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = G_{A1} \frac{\partial G_{T1}}{\partial \ell_1} G_{P1} = -\frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{21}}{Z_{01}^2} + Z_{01}^2 - S_{31} \right) \sin 2\beta \ell_1 + 2 \left(Z_{01} S_{41} - \frac{S_{51}}{Z_{01}} \right) \cos 2\beta \ell_1 \right\} \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = G_{A1} \frac{\partial G_{T1}}{\partial Z_{01}} G_{P1} = -\frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \left\{ 2 \left(Z_{01} - \frac{S_{21}}{Z_{01}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_1 + \left(S_{41} + \frac{S_{51}}{Z_{01}^2} \right) \sin 2\beta \ell_1 \right\} \quad (2.41)$$

$$P_1 = S_{11} + \left(\frac{S_{21}}{Z_{01}} + Z_{01}^2 - S_{31} \right) \sin^2 \beta \ell_1 + (Z_{01} S_{41} - S_{51} Z_{01}) \sin 2\beta \ell_1 \quad (2.42)$$

$$S_{11} = |Z_{L1}|^2 + |Z_{S1}|^2 + 2(R_{S1}R_{L1} + X_{S1}X_{L1}) \quad (2.43)$$

$$S_{21} = |Z_{L1}|^2 |Z_{S1}|^2 \quad (2.44)$$

$$S_{31} = 4X_{S1}X_{L1} + |Z_{L1}|^2 + |Z_{S1}|^2 \quad (2.45)$$

$$S_{41} = X_{L1} + X_{S1} \quad (2.46)$$

$$S_{51} = X_{S1}|Z_{L1}|^2 + X_{L1}|Z_{S1}|^2 \quad (2.47)$$

$$Z_{L1} = \frac{E_{T23}(1,1)Z_L + E_{T23}(1,2)}{E_{T23}(2,1)Z_L + E_{T23}(2,2)} \quad , \quad Z_{S1} = Z_S \quad (2.48)$$

2.2.3.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = G_{A2} \frac{\partial G_{T_2}}{\partial \ell_2} G_{P2} = \frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \frac{2\beta}{Z_{02} \sin^2 \beta \ell_2} \left(\frac{T_{22}}{Z_{02} \operatorname{tg} \beta \ell_2} + T_{32} \right) \quad (2.49)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = G_{A2} \frac{\partial G_{T_2}}{\partial Z_{02}} G_{P2} = \frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \frac{2}{Z_{02}^2 \operatorname{tg} \beta \ell_2} \left(\frac{T_{22}}{Z_{02} \operatorname{tg} \beta \ell_2} + T_{32} \right) \quad (2.50)$$

$$P_2 = T_{12} + \frac{1}{Z_{02} \operatorname{tg} \beta \ell_2} \left(\frac{T_{22}}{Z_{02} \operatorname{tg} \beta \ell_2} + 2T_{32} \right) \quad (2.51)$$

$$T_{12} = |Z_{L2}|^2 + |Z_{S2}|^2 + 2(R_{S2}R_{L2} + X_{S2}X_{L2}) \quad (2.52)$$

$$T_{22} = |Z_{L2}|^2 |Z_{S2}|^2 \quad (2.53)$$

$$T_{32} = X_{S2}|Z_{L2}|^2 + X_{L2}|Z_{S2}|^2 \quad (2.54)$$

$$Z_{L2} = \frac{E_3(1,1)Z_L + E_3(1,2)}{E_3(2,1)Z_L + E_3(2,2)}, \quad Z_{S2} = \frac{E_1(1,2) + E_1(2,2)Z_S}{E_1(1,1) + E_1(2,1)Z_S} \quad (2.55)$$

2.2.3.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = G_{A3} \frac{\partial G_{T_3}}{\partial \ell_3} G_{P3} = -\frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{23}}{Z_{03}^2} + Z_{03}^2 - S_{33} \right) \sin 2\beta \ell_3 + 2 \left(Z_{03} S_{43} - \frac{S_{53}}{Z_{03}} \right) \cos 2\beta \ell_3 \right\} \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = G_{A3} \frac{\partial G_{T_3}}{\partial Z_{03}} G_{P3} = -\frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \left\{ 2 \left(Z_{03} - \frac{S_{23}}{Z_{03}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_3 + \left(S_{43} + \frac{S_{53}}{Z_{03}^2} \right) \sin 2\beta \ell_3 \right\} \quad (2.57)$$

$$P_3 = S_{13} + \left(\frac{S_{23}}{Z_{03}} + Z_{03}^2 - S_{33} \right) \sin^2 \beta \ell_3 + (Z_{03} S_{43} - S_{53} Z_{03}) \sin 2\beta \ell_3 \quad (2.58)$$

$$S_{13} = |Z_{L3}|^2 + |Z_{S3}|^2 + 2(R_{S3}R_{L3} + X_{S3}X_{L3}) \quad (2.59)$$

$$S_{23} = |Z_{L3}|^2 |Z_{S3}|^2 \quad (2.60)$$

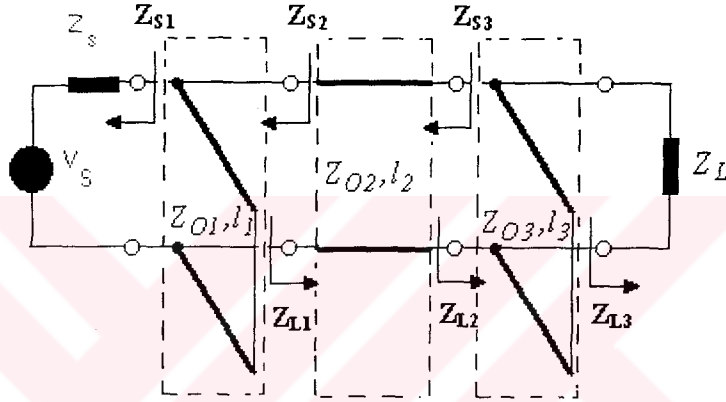
$$S_{33} = 4X_{S3}X_{L3} + |Z_{L3}|^2 + |Z_{S3}|^2 \quad (2.61)$$

$$S_{43} = X_{L3} + X_{S3} \quad (2.62)$$

$$S_{53} = X_{S3} |Z_{L3}|^2 + X_{L3} |Z_{S3}|^2 \quad (2.63)$$

$$Z_{L3} = Z_L \quad , \quad Z_{S3} = \frac{E_{T12}(1,2) + E_{T12}(2,2)Z_S}{E_{T12}(1,1) + E_{T12}(2,1)Z_S} \quad (2.64)$$

2.2.4 Π -Tipi Devre İçin Kazanç Duyarlılıkları



Şekil 2.7 Π -Tipi devre

$$[E_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (1. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.65)$$

$$[E_3] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{03} \tan \beta \ell_3} & 1 \end{bmatrix} \quad (2. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.66)$$

$$[E_2] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_2 & jZ_{02} \sin \beta \ell_2 \\ \frac{j \sin \beta \ell_2}{Z_{02}} & \cos \beta \ell_2 \end{bmatrix} \quad (1. \text{ Seri - Hat}) \quad (2.67)$$

$$[E_{\Pi 12}] = [E_1][E_2] \quad (2.68)$$

$$[E_{\Pi 23}] = [E_2][E_3] \quad (2.69)$$

Devre pasif olduğu için bütün $G_A = 1$, $G_P = 1$.

2.2.4.1 Kazancın ilk Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = G_{A1} \frac{\partial G_{T1}}{\partial \ell_1} G_{P1} = \frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \frac{2\beta}{Z_{01} \sin^2 \beta \ell_1} \left(\frac{T_{21}}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} + T_{31} \right) \quad (2.70)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = G_{A1} \frac{\partial G_{T1}}{\partial Z_{01}} G_{P1} = \frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \frac{2}{Z_{01}^2 \tan \beta \ell_1} \left(\frac{T_{21}}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} + T_{31} \right) \quad (2.71)$$

$$P_1 = T_{11} + \frac{1}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} \left(\frac{T_{21}}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} + 2T_{31} \right) \quad (2.72)$$

$$T_{11} = |Z_{L1}|^2 + |Z_{S1}|^2 + 2(R_{S1}R_{L1} + X_{S1}X_{L1}) \quad (2.73)$$

$$T_{21} = |Z_{L1}|^2 |Z_{S1}|^2 \quad (2.74)$$

$$T_{31} = X_{S1}|Z_{L1}|^2 + X_{L1}|Z_{S1}|^2 \quad (2.75)$$

$$Z_{L1} = \frac{E_{\Pi 23}(1,1)Z_L + E_{\Pi 23}(1,2)}{E_{\Pi 23}(2,1)Z_L + E_{\Pi 23}(2,2)}, \quad Z_{S1} = Z_S \quad (2.76)$$

2.2.4.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = G_{A2} \frac{\partial G_{T2}}{\partial \ell_2} G_{P2} = -\frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{22}}{Z_{02}^2} + Z_{02}^2 - S_{32} \right) \sin 2\beta \ell_2 + 2 \left(Z_{02}S_{42} - \frac{S_{52}}{Z_{02}} \right) \cos 2\beta \ell_2 \right\} \quad (2.77)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = G_{A2} \frac{\partial G_{T2}}{\partial Z_{02}} G_{P2} = -\frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \left\{ 2 \left(Z_{02} - \frac{S_{22}}{Z_{02}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_2 + \left(S_{42} + \frac{S_{52}}{Z_{02}^2} \right) \sin 2\beta \ell_2 \right\} \quad (2.78)$$

$$P_2 = S_{12} + \left(\frac{S_{22}}{Z_{02}} + Z_{02}^2 - S_{32} \right) \sin^2 \beta \ell_2 + (Z_{02}S_{42} - S_{52}Z_{02}) \sin 2\beta \ell_2 \quad (2.79)$$

$$S_{12} = |Z_{L2}|^2 + |Z_{S2}|^2 + 2(R_{S2}R_{L2} + X_{S2}X_{L2}) \quad (2.80)$$

$$S_{22} = |Z_{L2}|^2 |Z_{S2}|^2 \quad (2.81)$$

$$S_{32} = 4X_{S2}X_{L2} + |Z_{L2}|^2 + |Z_{S2}|^2 \quad (2.82)$$

$$S_{42} = X_{L2} + X_{S2} \quad (2.83)$$

$$S_{52} = X_{S2}|Z_{L2}|^2 + X_{L2}|Z_{S2}|^2 \quad (2.84)$$

$$Z_{L2} = \frac{E_3(1,1)Z_L + E_3(1,2)}{E_3(2,1)Z_L + E_3(2,2)} \quad , \quad Z_{S2} = \frac{E_1(1,2) + E_1(2,2)Z_S}{E_1(1,1) + E_1(2,1)Z_S} \quad (2.85)$$

2.2.4.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin

Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = G_{A3} \frac{\partial G_{T3}}{\partial \ell_3} G_{P3} = \frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \frac{2\beta}{Z_{03} \sin^2 \beta \ell_3} \left(\frac{T_{23}}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} + T_{33} \right) \quad (2.86)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = G_{A3} \frac{\partial G_{T3}}{\partial Z_{03}} G_{P3} = \frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \cdot \frac{2}{Z_{03}^2 \operatorname{tg} \beta \ell_3} \left(\frac{T_{23}}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} + T_{33} \right) \quad (2.87)$$

$$P_3 = T_{13} + \frac{1}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} \left(\frac{T_{23}}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} + 2T_{33} \right) \quad (2.88)$$

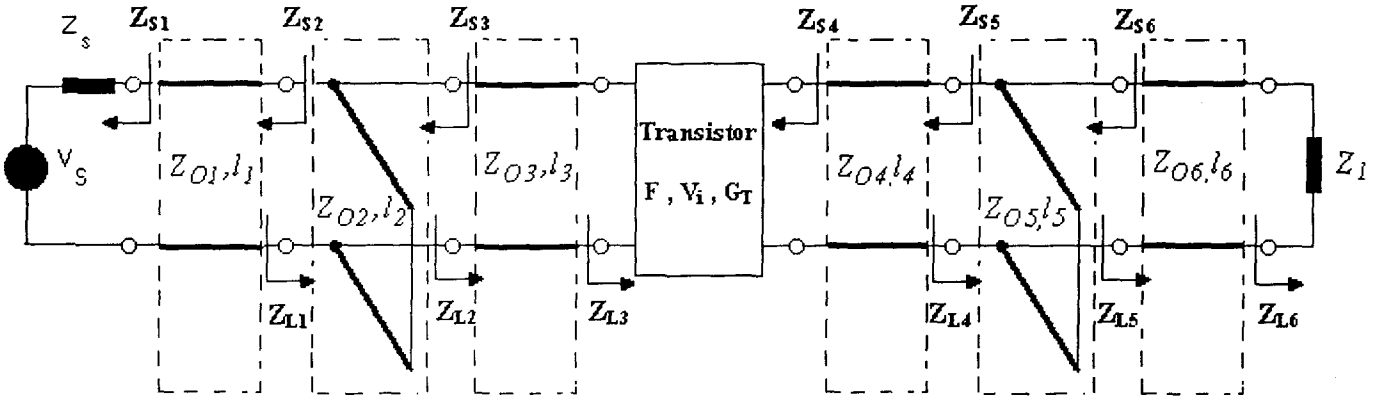
$$T_{13} = |Z_{L3}|^2 + |Z_{S3}|^2 + 2(R_{S3}R_{L3} + X_{S3}X_{L3}) \quad (2.89)$$

$$T_{23} = |Z_{L3}|^2 |Z_{S3}|^2 \quad (2.90)$$

$$T_{33} = X_{S3}|Z_{L3}|^2 + X_{L3}|Z_{S3}|^2 \quad (2.91)$$

$$Z_{L3} = Z_L \quad , \quad Z_{S3} = \frac{E_{\Pi 12}(1,2) + E_{\Pi 12}(2,2)Z_S}{E_{\Pi 12}(1,1) + E_{\Pi 12}(2,1)Z_S} \quad (2.92)$$

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



Şekil 2.8 IMC(T - Tipi) – Transistor – OMC(T – Tipi) devresi

$$[E_1] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_1 & jZ_{O1} \sin \beta \ell_1 \\ \frac{j \sin \beta \ell_1}{Z_{O1}} & \cos \beta \ell_1 \end{bmatrix} \quad (1. \text{ Seri - Hat}) \quad (2.93)$$

$$[E_3] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_3 & jZ_{O3} \sin \beta \ell_3 \\ \frac{j \sin \beta \ell_3}{Z_{O3}} & \cos \beta \ell_3 \end{bmatrix} \quad (2. \text{ Seri - Hat}) \quad (2.94)$$

$$[E_4] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_4 & jZ_{O4} \sin \beta \ell_4 \\ \frac{j \sin \beta \ell_4}{Z_{O4}} & \cos \beta \ell_4 \end{bmatrix} \quad (3. \text{ Seri - Hat}) \quad (2.95)$$

$$[E_6] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_6 & jZ_{O6} \sin \beta \ell_6 \\ \frac{j \sin \beta \ell_6}{Z_{O6}} & \cos \beta \ell_6 \end{bmatrix} \quad (4. \text{ Seri - Hat}) \quad (2.96)$$

$$[E_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{O2} \tan \beta \ell_2} & 1 \end{bmatrix} \quad (1. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.97)$$

$$[E_5] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{O5} \tan \beta \ell_5} & 1 \end{bmatrix} \quad (2. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.98)$$

$$[E_{T12}] = [E_1][E_2] \quad (2.99)$$

$$[E_{T123}] = [E_1][E_2][E_3][E_T] \quad (2.100)$$

$$[E_{T1234}] = [E_1][E_2][E_3][E_T][E_4] \quad (2.101)$$

$$[E_{T12345}] = [E_1][E_2][E_3][E_T][E_4][E_5] \quad (2.102)$$

$$[E_{T56}] = [E_5][E_6] \quad (2.103)$$

$$[E_{T456}] = [E_T][E_4][E_5][E_6] \quad (2.104)$$

$$[E_{T3456}] = [E_3][E_T][E_4][E_5][E_6] \quad (2.105)$$

$$[E_{T23456}] = [E_2][E_3][E_T][E_4][E_5][E_6] \quad (2.106)$$

2.2.5.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = G_{AI} \frac{\partial G_{T1}}{\partial \ell_1} G_{P1} = -\frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{21}}{Z_{01}^2} + Z_{01}^2 - S_{31} \right) \sin 2\beta \ell_1 + 2 \left(Z_{01}S_{41} - \frac{S_{51}}{Z_{01}} \right) \cos 2\beta \ell_1 \right\} \quad (2.107)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = G_{AI} \frac{\partial G_{T1}}{\partial Z_{01}} G_{P1} = -\frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \left\{ 2 \left(Z_{01} - \frac{S_{21}}{Z_{01}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_1 + \left(S_{41} + \frac{S_{51}}{Z_{01}^2} \right) \sin 2\beta \ell_1 \right\} \quad (2.108)$$

$$P_1 = S_{11} + \left(\frac{S_{21}}{Z_{01}} + Z_{01}^2 - S_{31} \right) \sin^2 \beta \ell_1 + (Z_{01}S_{41} - S_{51}Z_{01}) \sin 2\beta \ell_1 \quad (2.109)$$

$$S_{11} = |Z_{L1}|^2 + |Z_{S1}|^2 + 2(R_{S1}R_{L1} + X_{S1}X_{L1}) \quad (2.110)$$

$$S_{21} = |Z_{L1}|^2 |Z_{S1}|^2 \quad (2.111)$$

$$S_{31} = 4X_{S1}X_{L1} + |Z_{L1}|^2 + |Z_{S1}|^2 \quad (2.112)$$

$$S_{41} = X_{L1} + X_{S1} \quad (2.113)$$

$$S_{51} = X_{S1}|Z_{L1}|^2 + X_{L1}|Z_{S1}|^2 \quad (2.114)$$

$$Z_{L1} = \frac{E_{T23456}(1,1)Z_L + E_{T23456}(1,2)}{E_{T23456}(2,1)Z_L + E_{T23456}(2,2)} \quad , \quad Z_{S1} = Z_S \quad (2.115)$$

2.2.5.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel-Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = G_{A2} \frac{\partial G_{T_2}}{\partial \ell_2} G_{P2} = \frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \frac{2\beta}{Z_{02} \sin^2 \beta \ell_2} \left(\frac{T_{22}}{Z_{02} \tan \beta \ell_2} + T_{32} \right) \quad (2.116)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = G_{A2} \frac{\partial G_{T_2}}{\partial Z_{02}} G_{P2} = \frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \frac{2}{Z_{02}^2 \tan \beta \ell_2} \left(\frac{T_{22}}{Z_{02} \tan \beta \ell_2} + T_{32} \right) \quad (2.117)$$

$$P_2 = T_{12} + \frac{1}{Z_{02} \tan \beta \ell_2} \left(\frac{T_{22}}{Z_{02} \tan \beta \ell_2} + 2T_{32} \right) \quad (2.118)$$

$$T_{12} = |Z_{L2}|^2 + |Z_{S2}|^2 + 2(R_{S2}R_{L2} + X_{S2}X_{L2}) \quad (2.119)$$

$$T_{22} = |Z_{L2}|^2 |Z_{S2}|^2 \quad (2.120)$$

$$T_{32} = X_{S2}|Z_{L2}|^2 + X_{L2}|Z_{S2}|^2 \quad (2.121)$$

$$Z_{L2} = \frac{E_{T3456}(1,1)Z_L + E_{T3456}(1,2)}{E_{T3456}(2,1)Z_L + E_{T3456}(2,2)} \quad , \quad Z_{S2} = \frac{E_1(1,2) + E_1(2,2)Z_S}{E_1(1,1) + E_1(2,1)Z_S} \quad (2.122)$$

2.2.5.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin Duyarlılıkları :

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = G_{A3} \frac{\partial G_{T_3}}{\partial \ell_3} G_{P3} = -\frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{23}}{Z_{03}^2} + Z_{03}^2 - S_{33} \right) \sin 2\beta \ell_3 + 2 \left(Z_{03}S_{43} - \frac{S_{53}}{Z_{03}} \right) \cos 2\beta \ell_3 \right\} \quad (2.123)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = G_{A3} \frac{\partial G_{T_3}}{\partial Z_{03}} G_{P3} = -\frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \left\{ 2 \left(Z_{03} - \frac{S_{23}}{Z_{03}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_3 + \left(S_{43} + \frac{S_{53}}{Z_{03}^2} \right) \sin 2\beta \ell_3 \right\} \quad (2.124)$$

$$P_3 = S_{13} + \left(\frac{S_{23}}{Z_{03}} + Z_{03}^2 - S_{33} \right) \sin^2 \beta \ell_3 + (Z_{03}S_{43} - S_{53}Z_{03}) \sin 2\beta \ell_3 \quad (2.125)$$

$$S_{13} = |Z_{L3}|^2 + |Z_{S3}|^2 + 2(R_{S3}R_{L3} + X_{S3}X_{L3}) \quad (2.126)$$

$$S_{23} = |Z_{L3}|^2 |Z_{S3}|^2 \quad (2.127)$$

$$S_{33} = 4X_{S3}X_{L3} + |Z_{L3}|^2 + |Z_{S3}|^2 \quad (2.128)$$

$$S_{43} = X_{L3} + X_{S3} \quad (2.129)$$

$$S_{53} = X_{S3} |Z_{L3}|^2 + X_{L3} |Z_{S3}|^2 \quad (2.130)$$

$$Z_{L3} = \frac{E_{T456}(1,1)Z_L + E_{T456}(1,2)}{E_{T456}(2,1)Z_L + E_{T456}(2,2)} \quad , \quad Z_{S3} = \frac{E_{T12}(1,2) + E_{T12}(2,2)Z_S}{E_{T12}(1,1) + E_{T12}(2,1)Z_S} \quad (2.131)$$

2.2.5.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_4, Z_{04} İçin

Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_4} = G_{A4} \frac{\partial G_{T4}}{\partial \ell_4} G_{P4} = -\frac{4R_{S4}R_{L4}}{P_4^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{24}}{Z_{04}^2} + Z_{04}^2 - S_{34} \right) \sin 2\beta \ell_4 + 2 \left(Z_{04} S_{44} - \frac{S_{54}}{Z_{04}} \right) \cos 2\beta \ell_4 \right\} \quad (2.132)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{04}} = G_{A4} \frac{\partial G_{T4}}{\partial Z_{04}} G_{P4} = -\frac{4R_{S4}R_{L4}}{P_4^2} \left\{ 2 \left(Z_{04} - \frac{S_{24}}{Z_{04}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_4 + \left(S_{44} + \frac{S_{54}}{Z_{04}^2} \right) \sin 2\beta \ell_4 \right\} \quad (2.133)$$

$$P_4 = S_{14} + \left(\frac{S_{24}}{Z_{04}} + Z_{04}^2 - S_{34} \right) \sin^2 \beta \ell_4 + (Z_{04} S_{44} - S_{54} Z_{04}) \sin 2\beta \ell_4 \quad (2.134)$$

$$S_{14} = |Z_{L4}|^2 + |Z_{S4}|^2 + 2(R_{S4}R_{L4} + X_{S4}X_{L4}) \quad (2.135)$$

$$S_{24} = |Z_{L4}|^2 |Z_{S4}|^2 \quad (2.136)$$

$$S_{34} = 4X_{S4}X_{L4} + |Z_{L4}|^2 + |Z_{S4}|^2 \quad (2.137)$$

$$S_{44} = X_{L4} + X_{S4} \quad (2.138)$$

$$S_{54} = X_{S4} |Z_{L4}|^2 + X_{L4} |Z_{S4}|^2 \quad (2.139)$$

$$Z_{L4} = \frac{E_{T56}(1,1)Z_L + E_{T56}(1,2)}{E_{T56}(2,1)Z_L + E_{T56}(2,2)} \quad , \quad Z_{S4} = \frac{E_{T123}(1,2) + E_{T123}(2,2)Z_S}{E_{T123}(1,1) + E_{T123}(2,1)Z_S} \quad (2.140)$$

2.2.5.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Paralel – Hat İçin Parametreleri ℓ_5, Z_{05} İçin

Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_5} = G_{A5} \frac{\partial G_{T5}}{\partial \ell_5} G_{P5} = \frac{4R_{S5}R_{L5}}{P_5^2} \frac{2\beta}{Z_{05} \sin^2 \beta \ell_5} \left(\frac{T_{25}}{Z_{05} \operatorname{tg} \beta \ell_5} + T_{35} \right) \quad (2.141)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{05}} = G_{A5} \frac{\partial G_{T5}}{\partial Z_{05}} G_{P5} = \frac{4R_{S5}R_{L5}}{P_5^2} \frac{2}{Z_{05}^2 \operatorname{tg} \beta \ell_5} \left(\frac{T_{25}}{Z_{05} \operatorname{tg} \beta \ell_5} + T_{35} \right) \quad (2.142)$$

$$P_5 = T_{15} + \frac{1}{Z_{05} \operatorname{tg} \beta \ell_5} \left(\frac{T_{25}}{Z_{05} \operatorname{tg} \beta \ell_5} + 2T_{35} \right) \quad (2.143)$$

$$T_{15} = |Z_{L5}|^2 + |Z_{S5}|^2 + 2(R_{S5}R_{L5} + X_{S5}X_{L5}) \quad (2.144)$$

$$T_{25} = |Z_{L5}|^2 |Z_{S5}|^2 \quad (2.145)$$

$$T_{35} = X_{S5}|Z_{L5}|^2 + X_{L5}|Z_{S5}|^2 \quad (2.146)$$

$$Z_{L5} = \frac{E_6(1,1)Z_L + E_6(1,2)}{E_{56}(2,1)Z_L + E_6(2,2)} \quad , \quad Z_{S5} = \frac{E_{T1234}(1,2) + E_{T1234}(2,2)Z_S}{E_{T1234}(1,1) + E_{T1234}(2,1)Z_S} \quad (2.147)$$

2.2.5.6 Kazancın Altıncı Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_6, Z_{06} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_6} = G_{A6} \frac{\partial G_{T6}}{\partial \ell_6} G_{P6} = -\frac{4R_{S6}R_{L6}}{P_6^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{26}}{Z_{06}^2} + Z_{06}^2 - S_{36} \right) \sin 2\beta \ell_6 + 2 \left(Z_{06}S_{46} - \frac{S_{56}}{Z_{06}} \right) \cos 2\beta \ell_6 \right\} \quad (2.148)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{06}} = G_{A6} \frac{\partial G_{T6}}{\partial Z_{06}} G_{P6} = -\frac{4R_{S6}R_{L6}}{P_6^2} \left\{ 2 \left(Z_{06} - \frac{S_{26}}{Z_{06}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_6 + \left(S_{46} + \frac{S_{56}}{Z_{06}^2} \right) \sin 2\beta \ell_6 \right\} \quad (2.149)$$

$$P_6 = S_{16} + \left(\frac{S_{26}}{Z_{06}} + Z_{06}^2 - S_{36} \right) \sin^2 \beta \ell_6 + (Z_{06}S_{46} - S_{56}Z_{06}) \sin 2\beta \ell_6 \quad (2.150)$$

$$S_{16} = |Z_{L6}|^2 + |Z_{S6}|^2 + 2(R_{S6}R_{L6} + X_{S6}X_{L6}) \quad (2.151)$$

$$S_{26} = |Z_{L6}|^2 |Z_{S6}|^2 \quad (2.152)$$

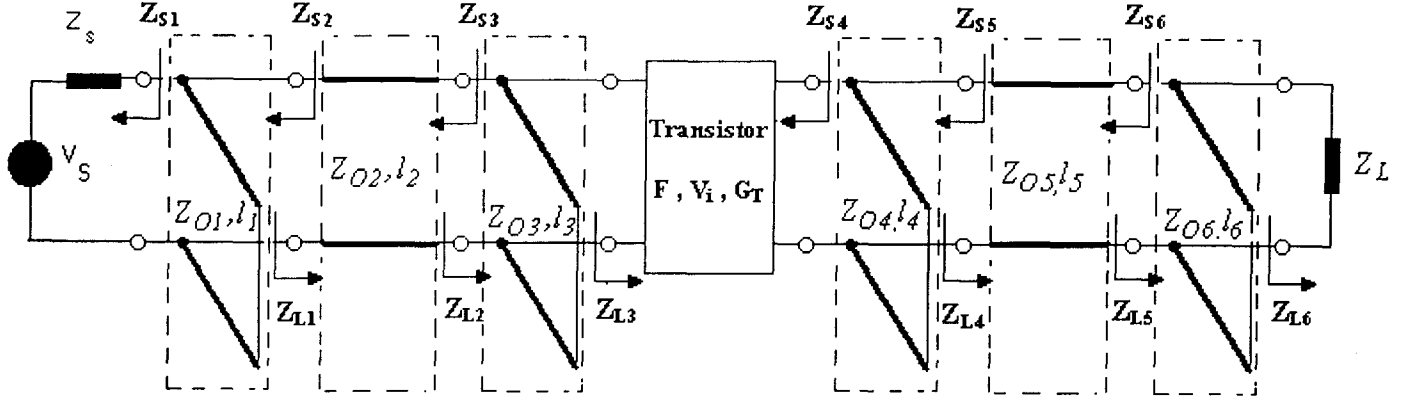
$$S_{36} = 4X_{S6}X_{L6} + |Z_{L6}|^2 + |Z_{S6}|^2 \quad (2.153)$$

$$S_{46} = X_{L6} + X_{S6} \quad (2.154)$$

$$S_{56} = X_{S6}|Z_{L6}|^2 + X_{L6}|Z_{S6}|^2 \quad (2.155)$$

$$Z_{L6} = Z_L \quad , \quad Z_{S6} = \frac{E_{T12345}(1,2) + E_{T12345}(2,2)Z_S}{E_{T12345}(1,1) + E_{T12345}(2,1)Z_S} \quad (2.156)$$

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



Şekil 2.9 IMC(Π -Tipi) – Transistor – OMC(Π -Tipi) devresi

$$[E_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{O1} \tan \beta \ell_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (1. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.157)$$

$$[E_3] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{O3} \tan \beta \ell_3} & 1 \end{bmatrix} \quad (2. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.158)$$

$$[E_4] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{O4} \tan \beta \ell_4} & 1 \end{bmatrix} \quad (3. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.159)$$

$$[E_6] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{O6} \tan \beta \ell_6} & 1 \end{bmatrix} \quad (4. \text{ Paralel - Hat}) \quad (2.160)$$

$$[E_2] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_2 & jZ_{O3} \sin \beta \ell_2 \\ \frac{j \sin \beta \ell_2}{Z_{O3}} & \cos \beta \ell_2 \end{bmatrix} \quad (1. \text{ Seri - Hat}) \quad (2.161)$$

$$[E_5] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_5 & jZ_{O5} \sin \beta \ell_5 \\ \frac{j \sin \beta \ell_5}{Z_{O5}} & \cos \beta \ell_5 \end{bmatrix} \quad (2. \text{ Seri - Hat}) \quad (2.162)$$

$$[E_{\Pi 12}] = [E_1][E_2] \quad (2.163)$$

$$[E_{\Pi 123}] = [E_1][E_2][E_3][E_T] \quad (2.164)$$

$$[E_{\Pi 1234}] = [E_1][E_2][E_3][E_T][E_4] \quad (2.165)$$

$$[E_{\Pi 12345}] = [E_1][E_2][E_3][E_T][E_4][E_5] \quad (2.166)$$

$$[E_{\Pi 56}] = [E_5][E_6] \quad (2.167)$$

$$[E_{\Pi 456}] = [E_T][E_4][E_5][E_6] \quad (2.168)$$

$$[E_{\Pi 3456}] = [E_3][E_T][E_4][E_5][E_6] \quad (2.169)$$

$$[E_{\Pi 23456}] = [E_2][E_3][E_T][E_4][E_5][E_6] \quad (2.170)$$

2.2.6.1 Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_1, Z_{01} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = G_{A1} \frac{\partial G_{T1}}{\partial \ell_1} G_{P1} = \frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \frac{2\beta}{Z_{01} \sin^2 \beta \ell_1} \left(\frac{T_{21}}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} + T_{31} \right) \quad (2.171)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = G_{A1} \frac{\partial G_{T1}}{\partial Z_{01}} G_{P1} = \frac{4R_{S1}R_{L1}}{P_1^2} \frac{2}{Z_{01}^2 \tan \beta \ell_1} \left(\frac{T_{21}}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} + T_{31} \right) \quad (2.172)$$

$$P_1 = T_{11} + \frac{1}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} \left(\frac{T_{21}}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} + 2T_{31} \right) \quad (2.173)$$

$$T_{11} = |Z_{L1}|^2 + |Z_{S1}|^2 + 2(R_{S1}R_{L1} + X_{S1}X_{L1}) \quad (2.174)$$

$$T_{21} = |Z_{L1}|^2 |Z_{S1}|^2 \quad (2.175)$$

$$T_{31} = X_{S1}|Z_{L1}|^2 + X_{L1}|Z_{S1}|^2 \quad (2.176)$$

$$Z_{L1} = \frac{E_{\Pi 23456}(1,1)Z_L + E_{\Pi 23456}(1,2)}{E_{\Pi 23456}(2,1)Z_L + E_{\Pi 23456}(2,2)} \quad , \quad Z_{S1} = Z_S \quad (2.177)$$

2.2.6.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_2, Z_{02} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = G_{A2} \frac{\partial G_{T2}}{\partial \ell_2} G_{P2} = -\frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{22}}{Z_{02}^2} + Z_{02}^2 - S_{32} \right) \sin 2\beta \ell_2 + 2 \left(Z_{02}S_{42} - \frac{S_{52}}{Z_{02}} \right) \cos 2\beta \ell_2 \right\} \quad (2.178)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = G_{A2} \frac{\partial G_{I2}}{\partial Z_{02}} G_{P2} = -\frac{4R_{S2}R_{L2}}{P_2^2} \left\{ 2\left(Z_{02} - \frac{S_{22}}{Z_{02}^3}\right) \sin^2 \beta \ell_2 + \left(S_{42} + \frac{S_{52}}{Z_{02}^2}\right) \sin 2\beta \ell_2 \right\} \quad (2.179)$$

$$P_2 = S_{12} + \left(\frac{S_{22}}{Z_{02}} + Z_{02}^2 - S_{32} \right) \sin^2 \beta \ell_2 + (Z_{02} S_{42} - S_{52} Z_{02}) \sin 2\beta \ell_2 \quad (2.180)$$

$$S_{12} = |Z_{L2}|^2 + |Z_{S2}|^2 + 2(R_{S2}R_{L2} + X_{S2}X_{L2}) \quad (2.181)$$

$$S_{22} = |Z_{L2}|^2 |Z_{S2}|^2 \quad (2.182)$$

$$S_{32} = 4X_{S2}X_{L2} + |Z_{L2}|^2 + |Z_{S2}|^2 \quad (2.183)$$

$$S_{42} = X_{L2} + X_{S2} \quad (2.184)$$

$$S_{52} = X_{S2}|Z_{L2}|^2 + X_{L2}|Z_{S2}|^2 \quad (2.185)$$

$$Z_{L2} = \frac{E_{\Pi 3456}(1,1)Z_L + E_{\Pi 3456}(1,2)}{E_{\Pi 3456}(2,1)Z_L + E_{\Pi 3456}(2,2)} \quad , \quad Z_{S2} = \frac{E_1(1,2) + E_1(2,2)Z_S}{E_1(1,1) + E_1(2,1)Z_S} \quad (2.186)$$

2.2.6.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_3, Z_{03} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = G_{A3} \frac{\partial G_{I3}}{\partial \ell_3} G_{P3} = \frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \frac{2\beta}{Z_{03} \sin^2 \beta \ell_3} \left(\frac{T_{23}}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} + T_{33} \right) \quad (2.187)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = G_{A3} \frac{\partial G_{I3}}{\partial Z_{03}} G_{P3} = \frac{4R_{S3}R_{L3}}{P_3^2} \frac{2}{Z_{03}^2 \operatorname{tg} \beta \ell_3} \left(\frac{T_{23}}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} + T_{33} \right) \quad (2.188)$$

$$P_3 = T_{13} + \frac{1}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} \left(\frac{T_{23}}{Z_{03} \operatorname{tg} \beta \ell_3} + 2T_{33} \right) \quad (2.189)$$

$$T_{13} = |Z_{L3}|^2 + |Z_{S3}|^2 + 2(R_{S3}R_{L3} + X_{S3}X_{L3}) \quad (2.190)$$

$$T_{23} = |Z_{L3}|^2 |Z_{S3}|^2 \quad (2.191)$$

$$T_{33} = X_{S3}|Z_{L3}|^2 + X_{L3}|Z_{S3}|^2 \quad (2.192)$$

$$Z_{L3} = \frac{E_{\Pi 456}(1,1)Z_L + E_{\Pi 456}(1,2)}{E_{\Pi 456}(2,1)Z_L + E_{\Pi 456}(2,2)} \quad , \quad Z_{S3} = \frac{E_{\Pi 12}(1,2) + E_{\Pi 12}(2,2)Z_S}{E_{\Pi 12}(1,1) + E_{\Pi 12}(2,1)Z_S} \quad (2.193)$$

2.2.6.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_4, Z_{04} İçin

Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_4} = G_{A4} \frac{\partial G_{T_4}}{\partial \ell_4} G_{P4} = \frac{4R_{S4}R_{L4}}{P_4^2} \frac{2\beta}{Z_{04} \sin^2 \beta \ell_4} \left(\frac{T_{24}}{Z_{04} \operatorname{tg} \beta \ell_4} + T_{34} \right) \quad (2.194)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{04}} = G_{A4} \frac{\partial G_{T_4}}{\partial Z_{04}} G_{P4} = \frac{4R_{S4}R_L}{P_4^2} \frac{2}{Z_{04}^2 \operatorname{tg} \beta \ell_4} \left(\frac{T_{24}}{Z_{04} \operatorname{tg} \beta \ell_4} + T_{34} \right) \quad (2.195)$$

$$P_4 = T_{14} + \frac{1}{Z_{04} \operatorname{tg} \beta \ell_4} \left(\frac{T_{24}}{Z_{04} \operatorname{tg} \beta \ell_4} + 2T_{34} \right) \quad (2.196)$$

$$T_{14} = |Z_{L4}|^2 + |Z_{S4}|^2 + 2(R_{S4}R_{L4} + X_{S4}X_{L4}) \quad (2.197)$$

$$T_{24} = |Z_{L4}|^2 |Z_{S4}|^2 \quad (2.198)$$

$$T_{34} = X_{S14}|Z_{L4}|^2 + X_{L4}|Z_{S4}|^2 \quad (2.199)$$

$$Z_{L4} = \frac{E_{\Pi 56}(1,1)Z_L + E_{\Pi 56}(1,2)}{E_{\Pi 56}(2,1)Z_L + E_{\Pi 56}(2,2)} \quad , \quad Z_{S4} = \frac{E_{\Pi 123}(1,2) + E_{\Pi 123}(2,2)Z_S}{E_{\Pi 123}(1,1) + E_{\Pi 123}(2,1)Z_S} \quad (2.200)$$

2.2.6.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Seri – Hat Parametreleri ℓ_5, Z_{05} İçin Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_5} = G_{A5} \frac{\partial G_{T_5}}{\partial \ell_5} G_{P5} = -\frac{4R_{S5}R_{L5}}{P_5^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_{25}}{Z_{05}^2} + Z_{05}^2 - S_{35} \right) \sin 2\beta \ell_5 + 2 \left(Z_{05}S_{45} - \frac{S_{55}}{Z_{05}} \right) \cos 2\beta \ell_5 \right\} \quad (2.201)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{05}} = G_{A5} \frac{\partial G_{T_5}}{\partial Z_{05}} G_{P5} = -\frac{4R_{S5}R_{L5}}{P_5^2} \left\{ 2 \left(Z_{05} - \frac{S_{25}}{Z_{05}^3} \right) \sin^2 \beta \ell_5 + \left(S_{45} + \frac{S_{55}}{Z_{05}^2} \right) \sin 2\beta \ell_5 \right\} \quad (2.202)$$

$$P_5 = S_{15} + \left(\frac{S_{25}}{Z_{05}} + Z_{05}^2 - S_{35} \right) \sin^2 \beta \ell_5 + (Z_{05}S_{45} - S_{55}Z_{05}) \sin 2\beta \ell_5 \quad (2.203)$$

$$S_{15} = |Z_{L5}|^2 + |Z_{S5}|^2 + 2(R_{S5}R_{L5} + X_{S5}X_{L5}) \quad (2.204)$$

$$S_{25} = |Z_{L5}|^2 |Z_{S5}|^2 \quad (2.205)$$

$$S_{35} = 4X_{S5}X_{L5} + |Z_{L5}|^2 + |Z_{S5}|^2 \quad (2.206)$$

$$S_{45} = X_{L5} + X_S \quad (2.207)$$

$$S_{55} = X_{S5}|Z_{L5}|^2 + X_{L5}|Z_{S5}|^2 \quad (2.208)$$

$$Z_{L5} = \frac{E_6(1,1)Z_L + E_6(1,2)}{E_6(2,1)Z_L + E_6(2,2)} \quad , \quad Z_{S5} = \frac{E_{\Pi 1234}(1,2) + E_{\Pi 1234}(2,2)Z_S}{E_{\Pi 1234}(1,1) + E_{\Pi 1234}(2,1)Z_S} \quad (2.209)$$

2.2.6.6 Kazancın Altıncı Kat Olan Paralel – Hat Parametreleri ℓ_6, Z_{06} İçin

Duyarlılıkları

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_6} = G_{A6} \frac{\partial G_{T_6}}{\partial \ell_6} G_{P6} = \frac{4R_{S6}R_{L6}}{P_6^2} \frac{2\beta}{Z_{06} \sin^2 \beta \ell_6} \left(\frac{T_{26}}{Z_{06} \operatorname{tg} \beta \ell_6} + T_{36} \right) \quad (2.210)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{06}} = G_{A6} \frac{\partial G_{T_6}}{\partial Z_{06}} G_{P6} = \frac{4R_{S6}R_{L6}}{P_6^2} \cdot \frac{2}{Z_{06}^2 \operatorname{tg} \beta \ell_6} \left(\frac{T_{26}}{Z_{06} \operatorname{tg} \beta \ell_6} + T_{36} \right) \quad (2.211)$$

$$P_6 = T_{16} + \frac{1}{Z_{06} \operatorname{tg} \beta \ell_6} \left(\frac{T_{26}}{Z_{06} \operatorname{tg} \beta \ell_6} + 2T_{36} \right) \quad (2.212)$$

$$T_{16} = |Z_{L6}|^2 + |Z_{S6}|^2 + 2(R_{S6}R_{L6} + X_{S6}X_{L6}) \quad (2.213)$$

$$T_{26} = |Z_{L6}|^2 |Z_{S6}|^2 \quad (2.214)$$

$$T_{36} = X_{S6}|Z_{L6}|^2 + X_{L6}|Z_{S6}|^2 \quad (2.215)$$

$$Z_{L6} = Z_L \quad , \quad Z_{S6} = \frac{E_{\Pi 12345}(1,2) + E_{\Pi 12345}(2,2)Z_S}{E_{\Pi 12345}(1,1) + E_{\Pi 12345}(2,1)Z_S} \quad (2.216)$$

3. KASKAD BAĞLI İKİ KAPILININ ZİNCİR DUYARLILIK MATRİSİ YAKLAŞIMI ile KAZANÇ DUYARLILIK ANALİZİ

M adet kaskad bağlı iki - kapılının zincir matrisi :

$$E = E_1 \cdot E_2 \dots E_{n+1} \cdot E_n \cdot E_{n+1} \dots E_m \quad (3.1)$$

olarak ifade edilebilir (Dobrowolski, 1991).

Burada E_n , n. alt iki-kapılı için zincir matrisidir. E zincir matrisi 2m adet değişkene bağlıdır ve bu değişkenler dağılmış parametrelili bir mikrodalga kuvvetlendiricisi için

$$x = [\ell_1, Z_{o1}, \ell_2, Z_{o2}, \dots, \ell_m, Z_{om}]^T \quad (3.2)$$

şeklindedir.

Eğer n. alt iki-kapılı için değişkeni x_n olarak alırsak, E zincir matrisinin x_n değişkenine göre duyarlılığı:

$$\frac{\partial E}{\partial x_n} \Delta = E_1 \cdot E_2 \dots E_{n-1} \cdot \frac{\partial E_n}{\partial x_n} \cdot E_{n+1} \dots E_m \quad (3.3)$$

olarak tanımlanabilir.

Bir iki- kapılının ABCD parametreleri cinsinden G_T aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$G_T = \frac{4R_S R_L}{P} \quad (3.4)$$

Burada,

$$P = |AZ_L + B + Z_S(CZ_L + D)|^2 \quad (3.5)$$

ifadeyi açarsak,

$$P = (AZ_L + B + Z_S(CZ_L + D)) (AZ_L + B + Z_S(CZ_L + D))^* \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edebiliriz ve

$$M = (AZ_L + B + Z_S(CZ_L + D)) \quad (3.7)$$

olarak tanımlarsak,

$$P = (M) (M)^* \quad (3.8)$$

haline gelir. Burada,

$$T_{i(1,...,4)}^{\Delta} = A, B, C, D \quad (3.9)$$

$$T_{i(1,...,4)}^* = A^*, B^*, C^*, D^* \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Buna göre G_T Kazanç fonksiyonunun bir x_n devre parametresine göre duyarlılığı :

$$\frac{\partial G_T}{\partial x_n} = \sum_{i=1}^4 \frac{\partial G_T}{\partial T_i} \frac{\partial T_i}{\partial x_n} + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \frac{\partial T_i^*}{\partial x_n} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılabilir, burada T_i eşdeğer iki- kapılı devrenin bir zincir parametresidir.

Kazanç duyarlılık foksiyonu matrisiyel formda da,

$$\frac{\partial G_T}{\partial x_n} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial x_n} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial x_n} \right] \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilebilir, burada

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial x_n} \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial E(1,1)}{\partial x_n} & \frac{\partial E(1,2)}{\partial x_n} & \frac{\partial E(2,1)}{\partial x_n} & \frac{\partial E(2,2)}{\partial x_n} \end{bmatrix}^T \quad (3.15)$$

$$\left[\frac{\partial T_i^*}{\partial x_n} \right] = \left[\frac{\partial T_i}{\partial x_n} \right]^* \quad (3.16)$$

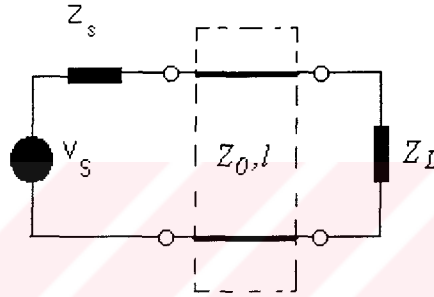
şeklinde ifade edilebilir.

3.1 Uygulama : Dağılmış Parametrelili Mikrodalga Kuvvetlendiricisinin Pasif Değişkenlere Göre Kazanç Duyarlılığı

(3.12) ile verilen kazanç duyarlılık fonksiyonunda x_n Seri yada Paralel - Hattın ℓ fiziksel uzunluğu veya Z_0 karakteristik empedansıdır.

Aşağıda Seri ve Paralel – Hat ve bunların kombinasyonlarından oluşan devreler için pasif değişkenlere göre duyarlılıklar hesaplanmaktadır.

3.1.1 Bir Seri – Hat İki-Kapılısının Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi



Şekil 2.4 Seri – Hat devresi

$$[E] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

En genel hali ABCD parametreleri (3.17)' deki şeklide ifade edilebilir.

$$[E] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell & jZ_0 \sin \beta \ell \\ \frac{j \sin \beta \ell}{Z_0} & \cos \beta \ell \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

ABCD Parametrelerinin Seri - Hat parametrelerine (ℓ , Z_0) göre türevleri,

$$\left[\frac{\partial E}{\partial \ell} \right] = \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell & jZ_0 \beta \cos \beta \ell \\ \frac{j \beta \cos \beta \ell}{Z_0} & -\beta \sin \beta \ell \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$\left[\frac{\partial E}{\partial Z_0} \right] = \begin{bmatrix} 0 & j \sin \beta \ell \\ -\frac{j \sin \beta \ell}{Z_0^2} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

şeklindedir. Ayrıca,

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L M_s^* & M_s^* & Z_S Z_L M_s^* & Z_S M_s^* \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L^* M_s & M_s & Z_S^* Z_L^* M_s & Z_S^* M_s \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

şeklinde gösterilebilir.

3.1.1.1 Kazancın Seri - Hat Uzunluğu (ℓ)' e Göre Duyarlılığı

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial \ell} \right] \quad (3.23)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell} \right] = \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell & jZ_0 \beta \cos \beta \ell & \frac{j\beta \cos \beta \ell}{Z_0} & -\beta \sin \beta \ell \end{bmatrix}^T \quad (3.24)$$

$$\left[\frac{\partial T_I^*}{\partial \ell} \right] = \left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell} \right]^* \quad (3.25)$$

özelliği ile;

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell} \right]^* = \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell & -jZ_0 \beta \cos \beta \ell & -\frac{j\beta \cos \beta \ell}{Z_0} & -\beta \sin \beta \ell \end{bmatrix}^T \quad (3.26)$$

şeklindedir, buradan hareketle duyarlılık,

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M_s^* & M_s^* & Z_S Z_L M_s^* & Z_S M_s^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.27)$$

$$\left. \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell & jZ_0 \beta \cos \beta \ell & \frac{j\beta \cos \beta \ell}{Z_0} & -\beta \sin \beta \ell \end{bmatrix}^T \right.$$

$$\left. - \begin{bmatrix} Z_L^* M_s & M_s & Z_S^* Z_L^* M_s & Z_S^* M_s \end{bmatrix} \right\}$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell & -j Z_0 \beta \cos \beta \ell & -\frac{j \beta \cos \beta \ell}{Z_0} & -\beta \sin \beta \ell \end{bmatrix}^T \right\}$$

şeklinde ifade edilebilir.

3.1.1.2 Kazancın Seri- Hat Karakteristik Empedansı (Z_0)' ya Göre Duyarlılığı

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_0} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial Z_0} \right] \quad (3.28)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_0} \right] = \begin{bmatrix} 0 & j \sin \beta \ell & -\frac{j \sin \beta \ell}{Z_0^2} & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3.29)$$

şeklindedir.

$$\left[\frac{\partial T_I^*}{\partial Z_0} \right] = \left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_0} \right]^* \quad (3.30)$$

özelliliği ile;

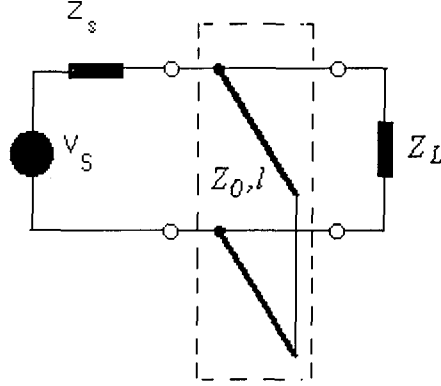
$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_0} \right]^* = \begin{bmatrix} 0 & -j \sin \beta \ell & \frac{j \sin \beta \ell}{Z_0^2} & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = \frac{-4 R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M_s^* & M_s^* & Z_S Z_L M_s^* & Z_S M_s^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.32)$$

$$\left. \begin{bmatrix} 0 & j \sin \beta \ell & -\frac{j \sin \beta \ell}{Z_0^2} & 0 \end{bmatrix}^T \right. \\ \left. - \begin{bmatrix} Z_L^* M_s & M_s & Z_S^* Z_L^* M_s & Z_S^* M_s \end{bmatrix} \right\}$$

$$\left. \begin{bmatrix} 0 & -j \sin \beta \ell & \frac{j \sin \beta \ell}{Z_0^2} & 0 \end{bmatrix}^T \right\}$$

3.1.2 Bir Paralel - Hat İki - Kapılısının Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi



Şekil 2.5 Paralel – Hat devresi

$$[E] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_0 \tan \beta \ell} & 1 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

ABCD parametrelerinin Paralel - Hat parametrelerine (ℓ , Z_0) göre türevleri,

$$\left[\frac{\partial E}{\partial \ell} \right] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{j\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

$$\left[\frac{\partial E}{\partial Z_0} \right] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{j}{Z_0^2 \tan \beta \ell} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

şeklindedir. Ayrıca,

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_l} \right] = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L M_p^* & M_p^* & Z_S Z_L M_p^* & Z_S M_p^* \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_l^*} \right] = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L^* M_p & M_p & Z_S^* Z_L^* M_p & Z_S^* M_p \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

şeklinde ifade edilebilir.

3.1.2.1 Kazancın Paralel - Hat Parametresi ℓ' e Göre Duyarlılığı

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial \ell} \right] \quad (3.38)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell} \right] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{j\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3.39)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell} \right]^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{j\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3.40)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M_p^* & M_p^* & Z_S Z_L M_p^* & Z_S M_p^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.41)$$

$$\left. \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{j\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \right\}$$

$$- \begin{bmatrix} Z_L^* M_p & M_p & Z_S^* Z_L^* M_p & Z_S^* M_p \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{j\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \right\}$$

3.1.2.2 Kazancın Paralel - Hat Parametresi Z_0 ' ya Göre Duyarlılığı

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_0} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial Z_0} \right] \quad (3.42)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_0} \right] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{j}{Z_0^2 \tan \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3.43)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_0} \right]^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{j}{Z_0^2 \tan \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3.44)$$

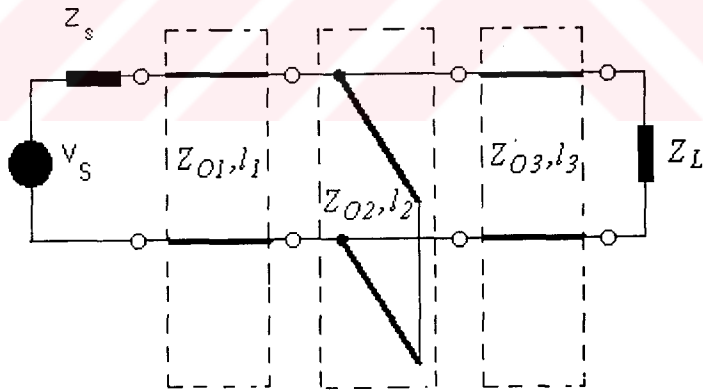
$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = \frac{-4R_S R_L}{p^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M_p^* & M_p^* & Z_S Z_L M_p^* & Z_S M_p^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.45)$$

$$\left. \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{j}{Z_0^2 \tan \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \right.$$

$$\left. - \begin{bmatrix} Z_L^* M_p & M_p & Z_S^* Z_L^* M_p & Z_S^* M_p \end{bmatrix} \right.$$

$$\left. \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{j}{Z_0^2 \tan \beta \ell} & 0 \end{bmatrix}^T \right\}$$

3.1.3 Bir T - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi



Şekil 3.1 T- Tipi devre

Toplam üç kattan oluşmuş olan T - Tipi devrenin ABCD parametreleri hesaplanırken ayrı ayrı üç hattın hesabı yapılır (Seri veya Paralel) ve aşağıda da formülize edildiği gibi çarpılıp eşdeğeri bulunur.

$$\begin{bmatrix} E_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{seri} \\ \text{hat} \end{bmatrix}_1 \times \begin{bmatrix} \text{şönt} \\ \text{hat} \end{bmatrix}_2 \times \begin{bmatrix} \text{seri} \\ \text{hat} \end{bmatrix}_3 \quad (3.46)$$

$$[E_T] = [E_1][E_2][E_3] \quad (3.47)$$

$$[E_T] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_T(1,1) & E_T(1,2) \\ E_T(2,1) & E_T(2,2) \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

$$[E_1] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_1 & jZ_{01} \sin \beta \ell_1 \\ \frac{j \sin \beta \ell_1}{Z_{01}} & \cos \beta \ell_1 \end{bmatrix} \text{ (1. Seri - Hat)} \quad (3.49)$$

$$[E_3] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_3 & jZ_{03} \sin \beta \ell_3 \\ \frac{j \sin \beta \ell_3}{Z_{03}} & \cos \beta \ell_3 \end{bmatrix} \text{ (2.Seri - Hat)} \quad (3.50)$$

$$[E_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{02} \tan \beta \ell_2} & 1 \end{bmatrix} \text{ (1. Paralel - Hat)} \quad (3.51)$$

$$[E_1]^* = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_1 & -jZ_{01} \sin \beta \ell_1 \\ -\frac{j \sin \beta \ell_1}{Z_{01}} & \cos \beta \ell_1 \end{bmatrix} \text{ (1. Seri - Hat)} \quad (3.52)$$

$$[E_3]^* = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_3 & -jZ_{03} \sin \beta \ell_3 \\ -\frac{j \sin \beta \ell_3}{Z_{03}} & \cos \beta \ell_3 \end{bmatrix} \text{ (2. Seri - Hat)} \quad (3.53)$$

$$[E_2]^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{j}{Z_{02} \tan \beta \ell_2} & 1 \end{bmatrix} \text{ (1.Paralel - Hat)} \quad (3.54)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] = \frac{-4R_S R_L}{P^2} [Z_L M_T^* \quad M_T^* \quad Z_S Z_L M_T^* \quad Z_S M_T^*] \quad (3.55)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] = \frac{-4R_S R_L}{P^2} [Z_L^* M_T \quad M_T \quad Z_S^* Z_L^* M_T \quad Z_S^* M_T] \quad (3.56)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_{n(1,2,3)}} \right] = \begin{bmatrix} E_{T_{\ell n}}(1,1) & E_{T_{\ell n}}(1,2) & E_{T_{\ell n}}(2,1) & E_{T_{\ell n}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.57)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_{n(1,2,3)}} \right]^* = \left[E_{T_{\ell n}}(1,1)^* \quad E_{T_{\ell n}}(1,2)^* \quad E_{T_{\ell n}}(2,1)^* \quad E_{T_{\ell n}}(2,2)^* \right]^T \quad (3.58)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{On(1,2,3)}} \right] = \left[E_{T_{ZOn}}(1,1) \quad E_{T_{ZOn}}(1,2) \quad E_{T_{ZOn}}(2,1) \quad E_{T_{ZOn}}(2,2) \right]^T \quad (3.59)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{On(1,2,3)}} \right]^* = \left[E_{T_{ZOn}}(1,1)^* \quad E_{T_{ZOn}}(1,2)^* \quad E_{T_{ZOn}}(2,1)^* \quad E_{T_{ZOn}}(2,2)^* \right]^T \quad (3.60)$$

3.1.3.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

ℓ_1 için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_1} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_1} \right] \quad (3.61)$$

$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial \ell_1} \right]^\Delta = \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell_1 & jZ_{01} \beta \cos \beta \ell_1 \\ j\beta \cos \beta \ell_1 & -\beta \sin \beta \ell_1 \end{bmatrix} [E_2] [E_3] \quad (3.62)$$

$$[E_{T_{\ell_1}}]^\Delta = \left[\frac{\partial E_{T_{\ell_1}}}{\partial \ell_1} \right] \quad (3.63)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_T^* \quad M_T^* \quad Z_S Z_L M_T^* \quad Z_S M_T^*] \quad (3.64)$$

$$\begin{aligned} & \cdot [E_{T_{\ell_1}}(1,1) \quad E_{T_{\ell_1}}(1,2) \quad E_{T_{\ell_1}}(2,1) \quad E_{T_{\ell_1}}(2,2)]^T \\ & - [Z_L^* M_T \quad M_T \quad Z_S^* Z_L^* M_T \quad Z_S^* M_T] \\ & \cdot [E_{T_{\ell_1}}(1,1)^* \quad E_{T_{\ell_1}}(1,2)^* \quad E_{T_{\ell_1}}(2,1)^* \quad E_{T_{\ell_1}}(2,2)^*]^T \} \end{aligned}$$

Z_{01} için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] \left[\frac{\partial T_1}{\partial Z_{01}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] \left[\frac{\partial T_1^*}{\partial Z_{01}} \right] \quad (3.65)$$

$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial Z_{01}} \right]^\Delta = \begin{bmatrix} 0 & j \sin \beta \ell_1 \\ -j \sin \beta \ell_1 & 0 \\ Z_{01}^2 & 0 \end{bmatrix} [E_2] [E_3] \quad (3.66)$$

$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial Z_{01}} \right]^* \stackrel{\Delta}{=} \begin{bmatrix} 0 & -j \sin \beta \ell_1 \\ j \sin \beta \ell_1 & 0 \\ Z_{01}^2 & 0 \end{bmatrix} [E_2]^* [E_3]^* \quad (3.67)$$

$$[E_{T_{Z_{01}}}]^\Delta = \left[\frac{\partial E_T}{\partial Z_{01}} \right] \quad (3.68)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_T^* \quad M_T^* \quad Z_S Z_L M_T^* \quad Z_S M_T^*] \quad (3.69)$$

$$\begin{aligned} & [E_{T_{Z_{01}}} (1,1) \quad E_{T_{Z_{01}}} (1,2) \quad E_{T_{Z_{01}}} (2,1) \quad E_{T_{Z_{01}}} (2,2)]^T \\ & - [Z_L^* M_T \quad M_T \quad Z_S^* Z_L^* M_T \quad Z_S^* M_T] \\ & \cdot [E_{T_{Z_{01}}} (1,1)^* \quad E_{T_{Z_{01}}} (1,2)^* \quad E_{T_{Z_{01}}} (2,1)^* \quad E_{T_{Z_{01}}} (2,2)^*]^T \end{aligned}$$

3.1.3.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_2 için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] \left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_2} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] \left[\frac{\partial T_1^*}{\partial \ell_2} \right] \quad (3.70)$$

$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial \ell_2} \right]^\Delta = [E_1] \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{02} \sin^2 \beta \ell_2 & 0 \end{bmatrix} [E_3] \quad (3.71)$$

$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial \ell_2} \right]^* \stackrel{\Delta}{=} [E_1]^* \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{02} \sin^2 \beta \ell_2 & 0 \end{bmatrix} [E_3]^* \quad (3.72)$$

$$\left[E_{T_{\ell 2}} \right]^{\Delta} = \left[\frac{\partial E_T}{\partial \ell_2} \right] \quad (3.73)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_T^* \quad M_T^* \quad Z_S Z_L M_T^* \quad Z_S M_T^*] \quad (3.74)$$

$$\begin{aligned} & \cdot [E_{T_{\ell 2}}(1,1) \quad E_{T_{\ell 2}}(1,2) \quad E_{T_{\ell 2}}(2,1) \quad E_{T_{\ell 2}}(2,2)]^T \\ & - [Z_L^* M_T \quad M_T \quad Z_S^* Z_L^* M_T \quad Z_S^* M_T] \\ & \cdot [E_{T_{\ell 2}}(1,1)^* \quad E_{T_{\ell 2}}(1,2)^* \quad E_{T_{\ell 2}}(2,1)^* \quad E_{T_{\ell 2}}(2,2)^*]^T \} \end{aligned}$$

Z_{02} için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{02}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{02}} \right] \quad (3.75)$$

$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial Z_{02}} \right]^{\Delta} = [E_1] \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{02}^2 \tan \beta_{\ell_2} & 0 \end{bmatrix} [E_3] \quad (3.76)$$

$$\left[E_{T_{Z_{02}}} \right]^{\Delta} = \left[\frac{\partial E_T}{\partial Z_{02}} \right] \quad (3.77)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_T^* \quad M_T^* \quad Z_S Z_L M_T^* \quad Z_S M_T^*] \quad (3.78)$$

$$\begin{aligned} & \cdot [E_{T_{Z_{02}}}(1,1) \quad E_{T_{Z_{02}}}(1,2) \quad E_{T_{Z_{02}}}(2,1) \quad E_{T_{Z_{02}}}(2,2)]^T \\ & - [Z_L^* M_T \quad M_T \quad Z_S^* Z_L^* M_T \quad Z_S^* M_T] \\ & \cdot [E_{T_{Z_{02}}}(1,1)^* \quad E_{T_{Z_{02}}}(1,2)^* \quad E_{T_{Z_{02}}}(2,1)^* \quad E_{T_{Z_{02}}}(2,2)^*]^T \} \end{aligned}$$

3.1.3.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_3 için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_3} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_3} \right] \quad (3.79)$$

$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial \ell_3} \right]^\Delta = [E_1] [E_2] \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell_3 & j Z_{03} \beta \cos \beta \ell_3 \\ \frac{j \beta \cos \beta \ell_3}{Z_{03}} & -\beta \sin \beta \ell_3 \end{bmatrix} \quad (3.80)$$

$$[E_{T_{\ell_3}}]^\Delta = \left[\frac{\partial E_T}{\partial \ell_3} \right] \quad (3.81)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = \frac{-4 R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_T^* \quad M_T^* \quad Z_S Z_L M_T^* \quad Z_S M_T^*] \quad (3.82)$$

$$\begin{aligned} & \cdot [E_{T_{\ell_3}}(1,1) \quad E_{T_{\ell_3}}(1,2) \quad E_{T_{\ell_3}}(2,1) \quad E_{T_{\ell_3}}(2,2)]^T \\ & - [Z_L^* M_T \quad M_T \quad Z_S^* Z_L^* M_T \quad Z_S^* M_T] \\ & \cdot [E_{T_{\ell_3}}(1,1)^* \quad E_{T_{\ell_3}}(1,2)^* \quad E_{T_{\ell_3}}(2,1)^* \quad E_{T_{\ell_3}}(2,2)^*]^T \} \end{aligned}$$

Z_{03} için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{03}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{03}} \right] \quad (3.83)$$

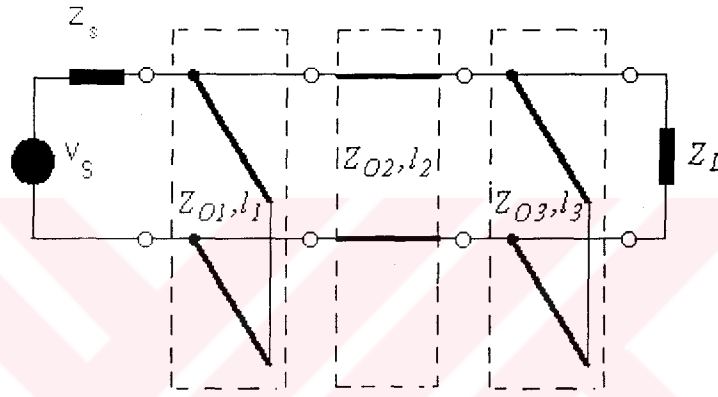
$$\left[\frac{\partial E_T}{\partial Z_{03}} \right]^\Delta = [E_1] [E_2] \begin{bmatrix} 0 & j \sin \beta \ell_3 \\ \frac{-j \sin \beta \ell_3}{Z_{03}^2} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.84)$$

$$[E_{T_{Z_{03}}}]^\Delta = \left[\frac{\partial E_T}{\partial Z_{03}} \right] \quad (3.85)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = \frac{-4 R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_T^* \quad M_T^* \quad Z_S Z_L M_T^* \quad Z_S M_T^*] \quad (3.86)$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot \begin{bmatrix} E_{T_{Z_{O3}}}(1,1) & E_{T_{Z_{O3}}}(1,2) & E_{T_{Z_{O3}}}(2,1) & E_{T_{Z_{O3}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \\
 & - \begin{bmatrix} Z_L^* M_T & M_T & Z_S^* Z_{l_1}^* M_T & Z_S^* M_T \end{bmatrix} \\
 & \cdot \begin{bmatrix} E_{T_{Z_{O3}}}(1,1)^* & E_{T_{Z_{O3}}}(1,2)^* & E_{T_{Z_{O3}}}(2,1)^* & E_{T_{Z_{O3}}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \}
 \end{aligned}$$

3.1.4 Bir Π - Tipi Devrenin Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi



Şekil 3.2 Π - Tipi devre

Toplam üç kattan oluşmuş olan Π - Tipi devrenin ABCD parametreleri hesaplanırken ayrı ayrı üç hattın hesabı yapılır (Seri veya Paralel) ve aşağıda da formülize edildiği gibi çarpılıp eşdeğeri bulunur.

$$[E_{\Pi}] = \begin{bmatrix} \text{paralel} \\ \text{hat} \end{bmatrix}_1 \times \begin{bmatrix} \text{seri} \\ \text{hat} \end{bmatrix}_2 \times \begin{bmatrix} \text{paralel} \\ \text{hat} \end{bmatrix}_3 \quad (3.87)$$

$$[E_{\Pi}] = [E_1][E_2][E_3] \quad (3.88)$$

$$[E_{\Pi}] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E(1,1) & E(1,2) \\ E(2,1) & E(2,2) \end{bmatrix} \quad (3.89)$$

$$[E_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{O1} \tan \beta \ell_1} & 1 \end{bmatrix} \text{ (1. Paralel - Hat)} \quad (3.90)$$

$$[E_3] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_{03} \tan \beta \ell_3} & 1 \end{bmatrix} \text{ (2. Paralel - Hat)} \quad (3.91)$$

$$[E_2] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_2 & jZ_{02} \sin \beta \ell_2 \\ \frac{j \sin \beta \ell_2}{Z_{02}} & \cos \beta \ell_2 \end{bmatrix} \text{ (1. Seri - Hat)} \quad (3.92)$$

$$[E_1]^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{j}{Z_{01} \tan \beta \ell_1} & 1 \end{bmatrix} \text{ (1. Paralel - Hat)} \quad (3.93)$$

$$[E_3]^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{j}{Z_{03} \tan \beta \ell_3} & 1 \end{bmatrix} \text{ (2. Paralel - Hat)} \quad (3.94)$$

$$[E_2]^* = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell_2 & -jZ_{02} \sin \beta \ell_2 \\ -\frac{j \sin \beta \ell_2}{Z_{02}} & \cos \beta \ell_2 \end{bmatrix} \text{ (1. Seri - Hat)} \quad (3.95)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] = \frac{-4R_S R_L}{P^2} [Z_L M_{\Pi}^* \quad M_{\Pi}^* \quad Z_S Z_L M_{\Pi}^* \quad Z_S M_{\Pi}^*] \quad (3.96)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] = \frac{-4R_S R_L}{P^2} [Z_L^* M_{\Pi} \quad M_{\Pi} \quad Z_S^* Z_L^* M_{\Pi} \quad Z_S^* M_{\Pi}] \quad (3.97)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_{n(1,2,3)}} \right] = [E_{\Pi_{\ell n}}(1,1) \quad E_{\Pi_{\ell n}}(1,2) \quad E_{\Pi_{\ell n}}(2,1) \quad E_{\Pi_{\ell n}}(2,2)]^T \quad (3.98)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_{n(1,2,3)}} \right]^* = [E_{\Pi_{\ell n}}(1,1)^* \quad E_{\Pi_{\ell n}}(1,2)^* \quad E_{\Pi_{\ell n}}(2,1)^* \quad E_{\Pi_{\ell n}}(2,2)^*]^T \quad (3.99)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{On(1,2,3)}} \right] = [E_{\Pi_{ZOn}}(1,1) \quad E_{\Pi_{ZOn}}(1,2) \quad E_{\Pi_{ZOn}}(2,1) \quad E_{\Pi_{ZOn}}(2,2)]^T \quad (3.100)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{On(1,2,3)}} \right]^* = [E_{\Pi_{ZOn}}(1,1)^* \quad E_{\Pi_{ZOn}}(1,2)^* \quad E_{\Pi_{ZOn}}(2,1)^* \quad E_{\Pi_{ZOn}}(2,2)^*]^T \quad (3.101)$$

3.1.4.1 Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

ℓ_1 için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_1} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_1} \right] \quad (3.102)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_1} \right]^{\Delta} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{01} \sin^2 \beta \ell_1 & 0 \end{bmatrix} [E_2] [E_3] \quad (3.103)$$

$$\left[E_{\Pi \ell_1} \right]^{\Delta} = \left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_1} \right] \quad (3.104)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^*] \quad (3.105)$$

$$[E_{\Pi \ell_1}(1,1) \quad E_{\Pi \ell_1}(1,2) \quad E_{\Pi \ell_1}(2,1) \quad E_{\Pi \ell_1}(2,2)]^T$$

$$- [Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M]$$

$$[E_{\Pi \ell_1}(1,1)^* \quad E_{\Pi \ell_1}(1,2)^* \quad E_{\Pi \ell_1}(2,1)^* \quad E_{\Pi \ell_1}(2,2)^*]^T$$

Z_{01} için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{01}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{01}} \right] \quad (3.106)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial Z_{01}} \right]^{\Delta} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{01}^2 \tan \beta \ell_1 & 0 \end{bmatrix} [E_2] [E_3] \quad (3.107)$$

$$\left[E_{\Pi Z_{01}} \right]^{\Delta} = \left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial Z_{01}} \right] \quad (3.108)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{01}} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_{\Pi}^* \quad M_{\Pi}^* \quad Z_S Z_L M_{\Pi}^* \quad Z_S M_{\Pi}^*] \quad (3.109)$$

$$[E_{\Pi Z_{01}}(1,1) \quad E_{\Pi Z_{01}}(1,2) \quad E_{\Pi Z_{01}}(2,1) \quad E_{\Pi Z_{01}}(2,2)]^T$$

$$-\begin{bmatrix} Z_L^* M_{\Pi} & M_{\Pi} & Z_S^* Z_L^* M_{\Pi} & Z_S^* M_{\Pi} \end{bmatrix} \\ \cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi_{Z_{01}}} (1,1)^* & E_{\Pi_{Z_{01}}} (1,2)^* & E_{\Pi_{Z_{01}}} (2,1)^* & E_{\Pi_{Z_{01}}} (2,2)^* \end{bmatrix}^T \Big\}$$

3.1.4.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

ℓ_2 için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_2} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_2} \right] \quad (3.110)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_2} \right]^{\Delta} = [E_1] \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell_2 & j Z_{02} \beta \cos \beta \ell_2 \\ \frac{j \beta \cos \beta \ell_2}{Z_{02}} & -\beta \sin \beta \ell_2 \end{bmatrix} [E_3] \quad (3.111)$$

$$[E_{\Pi_{\ell_2}}]^{\Delta} = \left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_2} \right] \quad (3.112)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = \frac{-4 R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.113)$$

$$\cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi_{\ell_2}} (1,1) & E_{\Pi_{\ell_2}} (1,2) & E_{\Pi_{\ell_2}} (2,1) & E_{\Pi_{\ell_2}} (2,2) \end{bmatrix}^T \\ - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\ \cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi_{\ell_2}} (1,1)^* & E_{\Pi_{\ell_2}} (1,2)^* & E_{\Pi_{\ell_2}} (2,1)^* & E_{\Pi_{\ell_2}} (2,2)^* \end{bmatrix}^T \Big\}$$

Z_{02} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{02}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{02}} \right] \quad (3.114)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial Z_{02}} \right]^{\Delta} = [E_1] \begin{bmatrix} 0 & j \sin \beta \ell_2 \\ \frac{-j \sin \beta \ell_2}{Z_{02}^2} & 0 \end{bmatrix} [E_3] \quad (3.115)$$

$$\left[E_{\Pi_{Z_{O2}}} \right]^\Delta = \left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial Z_{O2}} \right] \quad (3.116)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O2}} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_{\Pi}^* \quad M_{\Pi}^* \quad Z_S Z_L M_{\Pi}^* \quad Z_S M_{\Pi}^*] \quad (3.117)$$

$$- [E_{\Pi_{Z_{O2}}}(1,1) \quad E_{\Pi_{Z_{O2}}}(1,2) \quad E_{\Pi_{Z_{O2}}}(2,1) \quad E_{\Pi_{Z_{O2}}}(2,2)]^T$$

$$[Z_L^* M_{\Pi} \quad M_{\Pi} \quad Z_S^* Z_L^* M_{\Pi} \quad Z_S^* M_{\Pi}]$$

$$[E_{\Pi_{Z_{O2}}}(1,1)^* \quad E_{\Pi_{Z_{O2}}}(1,2)^* \quad E_{\Pi_{Z_{O2}}}(2,1)^* \quad E_{\Pi_{Z_{O2}}}(2,2)^*]^T$$

3.1.4.3 Kazancın üçüncü Kat Olan Paralel – Hat için Duyarlılıkları

ℓ_3 için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] \left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_3} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] \left[\frac{\partial T_1^*}{\partial \ell_3} \right] \quad (3.118)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_3} \right]^\Delta = [E_1] [E_2] \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{O3} \sin^2 \beta \ell_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.119)$$

$$\left[E_{\Pi_{\ell_3}} \right]^\Delta = \left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_3} \right] \quad (3.120)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^*] \quad (3.121)$$

$$[E_{\Pi_{\ell_3}}(1,1) \quad E_{\Pi_{\ell_3}}(1,2) \quad E_{\Pi_{\ell_3}}(2,1) \quad E_{\Pi_{\ell_3}}(2,2)]^T$$

$$- [Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M]$$

$$[E_{\Pi_{\ell_3}}(1,1)^* \quad E_{\Pi_{\ell_3}}(1,2)^* \quad E_{\Pi_{\ell_3}}(2,1)^* \quad E_{\Pi_{\ell_3}}(2,2)^*]^T \}$$

Z_{03} için :

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{03}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{03}} \right] \quad (3.122)$$

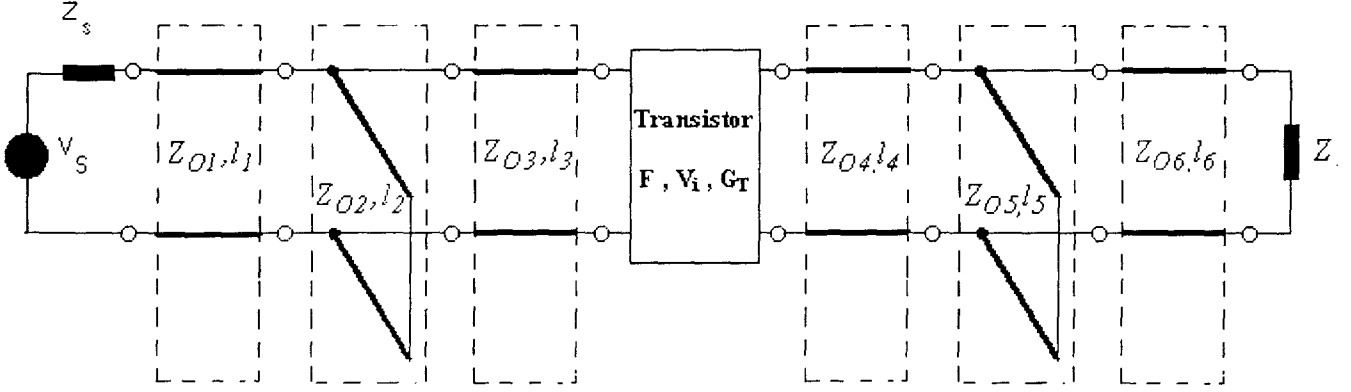
$$\left[\frac{\partial E_\Pi}{\partial Z_{03}} \right]^\Delta = [E_1] [E_2] \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{03}^2 \tan \beta \ell_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.123)$$

$$[E_{\Pi Z_{03}}]^\Delta = \left[\frac{\partial E_\Pi}{\partial Z_{03}} \right] \quad (3.124)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{03}} = \frac{-4R_S R_L}{P^2} \{ [Z_L M_\Pi^* \quad M_\Pi^* \quad Z_S Z_L M_\Pi^* \quad Z_S M_\Pi^*] \quad (3.125)$$

$$\begin{aligned} & \left[E_{\Pi Z_{03}}(1,1) \quad E_{\Pi Z_{03}}(1,2) \quad E_{\Pi Z_{03}}(2,1) \quad E_{\Pi Z_{03}}(2,2) \right]^T \\ & - [Z_L^* M_\Pi \quad M_\Pi \quad Z_S^* Z_L^* M_\Pi \quad Z_S^* M_\Pi] \\ & \cdot \left[E_{\Pi Z_{03}}(1,1)^* \quad E_{\Pi Z_{03}}(1,2)^* \quad E_{\Pi Z_{03}}(2,1)^* \quad E_{\Pi Z_{03}}(2,2)^* \right]^T \} \end{aligned}$$

3.1.5 IMC(T - Tipi)-Transistor-OMC(T - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıkları ABCD Parametreleri ile Temsil Edilmesi



Şekil 2.2 IMC(T - Tipi) – Transistor – OMC(T – Tipi) devresi

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L M_{TT}^* & M_{TT}^* & Z_S Z_L M_{TT}^* & Z_S M_{TT}^* \end{bmatrix} \quad (3.126)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \begin{bmatrix} Z_L^* M_{TT} & M_{TT} & Z_S^* Z_L^* M_{TT} & Z_S^* M_{TT} \end{bmatrix} \quad (3.127)$$

$$E_{TT} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.128)$$

$$A = E(1,1), B = E(1,2), C = E(2,1), D = E(2,2) \quad (3.129)$$

3.1.5.1 Kazancın İlk Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_1 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] \left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_1} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] \left[\frac{\partial T_1^*}{\partial \ell_1} \right] \quad (3.130)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_1} \right]^\Delta \frac{\partial E_1}{\partial \ell_1} E_2 E_3 E_T E_4 E_5 E_6 = \begin{bmatrix} -\beta \sin(\beta \ell_1) & j\beta Z_{01} \cos(\beta \ell_1) \\ \frac{j\beta \cos(\beta \ell_1)}{Z_{01}} & -\beta \sin(\beta \ell_1) \end{bmatrix} E_2 E_3 E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.131)$$

$$\left[E_{TT, \ell_1} \right]^\Delta \frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_1} \quad (3.132)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_1} \right] = \begin{bmatrix} E_{TT_{\ell_1}}(1,1) & E_{TT_{\ell_1}}(1,2) & E_{TT_{\ell_1}}(2,1) & E_{TT_{\ell_1}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.133)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.134)$$

$$\begin{aligned} & \left. \begin{bmatrix} E_{TT_{\ell_1}}(1,1) & E_{TT_{\ell_1}}(1,2) & E_{TT_{\ell_1}}(2,1) & E_{TT_{\ell_1}}(2,2) \end{bmatrix}^T \right. \\ & - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\ & \left. \begin{bmatrix} E_{TT_{\ell_1}}(1,1)^* & E_{TT_{\ell_1}}(1,2)^* & E_{TT_{\ell_1}}(2,1)^* & E_{TT_{\ell_1}}(2,2)^* \end{bmatrix} \right\} \end{aligned}$$

Z_{O1} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O1}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O1}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{O1}} \right] \quad (3.135)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O1}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_1}{\partial Z_{O1}} \begin{bmatrix} E_2 & E_3 & E_T & E_4 & E_5 & E_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & j \sin(\beta \ell_1) \\ -\frac{j \sin(\beta \ell_1)}{Z_{O1}^2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_2 & E_3 & E_T & E_4 & E_5 & E_6 \end{bmatrix} \quad (3.136)$$

$$\left[E_{TT_{Z_{O1}}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O1}} \quad (3.137)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O1}} \right] = \begin{bmatrix} E_{TT_{Z_{O1}}}(1,1) & E_{TT_{Z_{O1}}}(1,2) & E_{TT_{Z_{O1}}}(2,1) & E_{TT_{Z_{O1}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.138)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O1}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.139)$$

$$\left. - \begin{bmatrix} E_{TT_{Z_{O1}}}(1,1) & E_{TT_{Z_{O1}}}(1,2) & E_{TT_{Z_{O1}}}(2,1) & E_{TT_{Z_{O1}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \right.$$

$$\left. \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \right.$$

$$\left. \begin{bmatrix} E_{TT_{Z_{O1}}}(1,1)^* & E_{TT_{Z_{O1}}}(1,2)^* & E_{TT_{Z_{O1}}}(2,1)^* & E_{TT_{Z_{O1}}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\}$$

3.1.5.2 Kazancın İkinci Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_2 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell_2} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial \ell_2} \right] \quad (3.140)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_2} \right]^\Delta = E_1 \frac{\partial E_2}{\partial \ell_2} E_3 E_1 E_4 E_5 E_6 = E_1 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{02} \sin^2(\beta \ell_2) & 0 \end{bmatrix} E_3 E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.141)$$

$$\left[E_{TT\ell_2} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_2} \quad (3.142)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell_2} \right] = \left[E_{TT\ell_2}(1,1) \ E_{TT\ell_2}(1,2) \ E_{TT\ell_2}(2,1) \ E_{TT\ell_2}(2,2) \right]^T \quad (3.143)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.144)$$

$$\begin{aligned} & \left. \begin{bmatrix} E_{TT\ell_2}(1,1) & E_{TT\ell_2}(1,2) & E_{TT\ell_2}(2,1) & E_{TT\ell_2}(2,2) \end{bmatrix}^T \right. \\ & - \left. \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \right. \\ & \left. \left. \begin{bmatrix} E_{TT\ell_2}(1,1)^* & E_{TT\ell_2}(1,2)^* & E_{TT\ell_2}(2,1)^* & E_{TT\ell_2}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\} \right\} \end{aligned}$$

Z_{02} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{02}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_{02}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial Z_{02}} \right] \quad (3.145)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{02}} \right]^\Delta = E_1 \frac{\partial E_2}{\partial Z_{02}} E_3 E_T E_4 E_5 E_6 = E_1 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{02}^2 \text{tg}(\beta \ell_2) & 0 \end{bmatrix} E_2 E_3 E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.146)$$

$$\left[E_{TTZ_{02}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{02}} \quad (3.147)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O2}} \right] = \left[E_{TT_{Z_{O2}}}(1,1) \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(1,2) \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(2,1) \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(2,2) \right]^T \quad (3.148)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O2}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.149)$$

$$\cdot \left[E_{TT_{Z_{O2}}}(1,1) \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(1,2) \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(2,1) \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(2,2) \right]^T \\ - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\ \cdot \left[E_{TT_{Z_{O2}}}(1,1)^* \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(1,2)^* \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(2,1)^* \quad E_{TT_{Z_{O2}}}(2,2)^* \right]^T \}$$

3.1.5.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

ℓ_3 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_3} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_3} \right] \quad (3.150)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_3} \right]^\Delta = E_1 E_2 \frac{\partial E_3}{\partial \ell_3} E_T E_4 E_5 E_6 = E_1 E_2 \begin{bmatrix} -\beta \sin(\beta \ell_3) & j\beta Z_{03} \cos(\beta \ell_3) \\ j\beta \cos(\beta \ell_3) & -\beta \sin(\beta \ell_3) \end{bmatrix} \frac{1}{Z_{03}} E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.151)$$

$$\left[E_{TT_{\ell_3}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_3} \quad (3.152)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_3} \right] = \left[E_{TT_{\ell_3}}(1,1) \quad E_{TT_{\ell_3}}(1,2) \quad E_{TT_{\ell_3}}(2,1) \quad E_{TT_{\ell_3}}(2,2) \right]^T \quad (3.153)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.154)$$

$$\cdot \left[E_{TT_{\ell_3}}(1,1) \quad E_{TT_{\ell_3}}(1,2) \quad E_{TT_{\ell_3}}(2,1) \quad E_{TT_{\ell_3}}(2,2) \right]^T \\ - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} E_{TT_{\ell_3}}(1,1)^* & E_{TT_{\ell_3}}(1,2)^* & E_{TT_{\ell_3}}(2,1)^* & E_{TT_{\ell_3}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\}$$

Z_{O3} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O3}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_{O3}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial Z_{O3}} \right] \quad (3.155)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O3}} \right]^\Delta = E_1 E_2 \frac{\partial E_3}{\partial Z_{O3}} E_T E_4 E_5 E_6 = E_1 E_2 \begin{bmatrix} 0 & j \sin(\beta \ell_3) \\ -\frac{j \sin(\beta \ell_3)}{Z_{O3}^2} & 0 \end{bmatrix} E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.156)$$

$$\left[E_{TT_{Z_{O3}}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O3}} \quad (3.157)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_{O3}} \right] = \begin{bmatrix} E_{TT_{Z_{O3}}}(1,1) & E_{TT_{Z_{O3}}}(1,2) & E_{TT_{Z_{O3}}}(2,1) & E_{TT_{Z_{O3}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.158)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O3}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right\} \quad (3.159)$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} E_{TT_{Z_{O3}}}(1,1) & E_{TT_{Z_{O3}}}(1,2) & E_{TT_{Z_{O3}}}(2,1) & E_{TT_{Z_{O3}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \right. \\ \left. - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \right\}$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} E_{TT_{Z_{O3}}}(1,1) & E_{TT_{Z_{O3}}}(1,2) & E_{TT_{Z_{O3}}}(2,1) & E_{TT_{Z_{O3}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \right\}$$

3.1.5.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_4 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_4} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell_4} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial \ell_4} \right] \quad (3.160)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_4} \right]^\Delta = E_1 E_2 E_3 E_T \frac{\partial E_4}{\partial \ell_4} E_5 E_6 = E_1 E_2 E_3 E_T \begin{bmatrix} -\beta \sin(\beta \ell_4) & j\beta Z_{O4} \cos(\beta \ell_4) \\ \frac{j\beta \cos(\beta \ell_4)}{Z_{O4}} & -\beta \sin(\beta \ell_4) \end{bmatrix} E_5 E_6 \quad (3.161)$$

$$\left[E_{TT\ell_4} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_4} \quad (3.162)$$

$$\left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_4} \right] = \left[E_{TT\ell_4}(1,1) \quad E_{TT\ell_4}(1,2) \quad E_{TT\ell_4}(2,1) \quad E_{TT\ell_4}(2,2) \right]^T \quad (3.163)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_4} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left[Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^* \right] \quad (3.164)$$

$$\cdot \left[E_{TT\ell_4}(1,1) \quad E_{TT\ell_4}(1,2) \quad E_{TT\ell_4}(2,1) \quad E_{TT\ell_4}(2,2) \right]^T$$

$$- \left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right]$$

$$\cdot \left[E_{TT\ell_4}(1,1)^* \quad E_{TT\ell_4}(1,2)^* \quad E_{TT\ell_4}(2,1)^* \quad E_{TT\ell_4}(2,2)^* \right]^T \}$$

Z_{O4} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O4}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] \left[\frac{\partial T_1}{\partial Z_{O4}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] \left[\frac{\partial T_1^*}{\partial Z_{O4}} \right] \quad (3.165)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O4}} \right]^\Delta = E_1 E_2 E_3 E_T \frac{\partial E_4}{\partial Z_{O4}} E_5 E_6 = E_1 E_2 E_3 E_T \begin{bmatrix} 0 & j \sin(\beta \ell_4) \\ -\frac{j \sin(\beta \ell_4)}{Z_{O4}^2} & 0 \end{bmatrix} E_5 E_6 \quad (3.166)$$

$$\left[E_{TTZ_{O4}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O4}} \quad (3.167)$$

$$\left[\frac{\partial T_1}{\partial Z_{O4}} \right] = \left[E_{TTZ_{O4}}(1,1) \quad E_{TTZ_{O4}}(1,2) \quad E_{TTZ_{O4}}(2,1) \quad E_{TTZ_{O4}}(2,2) \right]^T$$

(3.168)

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O4}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \left[Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^* \right] \right. \quad (3.169)$$

$$\cdot \left[E_{TTZ_{O4}} \quad E_{TTZ_{O4}} \quad E_{TTZ_{O4}} \quad E_{TTZ_{O4}} \right]^T$$

$$-\left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right] \\ \cdot \left[E_{TT_{Z_{O4}}}(1,1)^* \quad E_{TT_{Z_{O4}}}(1,2)^* \quad E_{TT_{Z_{O4}}}(2,1)^* \quad E_{TT_{Z_{O4}}}(2,2)^* \right]^T \}$$

3.1.5.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_5 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_5} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell_5} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial \ell_5} \right] \quad (3.170)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_5} \right]^\Delta = E_1 \ E_2 \ E_3 \ E_T E_4 \frac{\partial E_5}{\partial \ell_5} E_6 = E_1 \ E_2 \ E_3 \ E_T E_4 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{O5} \sin^2(\beta \ell_5) & 0 \end{bmatrix} E_6 \quad (3.171)$$

$$\left[E_{TT_{\ell_5}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_5} \quad (3.172)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell_5} \right] = \left[E_{TT_{\ell_5}}(1,1) \quad E_{TT_{\ell_5}}(1,2) \quad E_{TT_{\ell_5}}(2,1) \quad E_{TT_{\ell_5}}(2,2) \right]^T \quad (3.173)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_5} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \left[Z_L^* M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^* \right] \right. \quad (3.174)$$

$$\cdot \left[E_{TT_{\ell_5}}(1,1) \quad E_{TT_{\ell_5}}(1,2) \quad E_{TT_{\ell_5}}(2,1) \quad E_{TT_{\ell_5}}(2,2) \right]^T$$

$$-\left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right]$$

$$\cdot \left[E_{TT_{\ell_5}}(1,1)^* \quad E_{TT_{\ell_5}}(1,2)^* \quad E_{TT_{\ell_5}}(2,1)^* \quad E_{TT_{\ell_5}}(2,2)^* \right]^T \}$$

Z_{O5} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O5}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_{O5}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial Z_{O5}} \right] \quad (3.175)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O5}} \right]^{\Delta} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 \frac{\partial E_5}{\partial Z_{O5}} E_6 = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{O5}^2 \text{tg}(\beta \ell_5) & 0 \end{bmatrix} E_6 \quad (3.176)$$

$$\left[E_{TTZ_{O5}} \right]^{\Delta} = \frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O5}} \quad (3.177)$$

$$\left[\frac{\partial T_1}{\partial Z_{O5}} \right] = \left[E_{TTZ_{O5}}(1,1) \quad E_{TTZ_{O5}}(1,2) \quad E_{TTZ_{O5}}(2,1) \quad E_{TTZ_{O5}}(2,2) \right]^T \quad (3.178)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O5}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.179)$$

$$\begin{aligned} & \left. \begin{bmatrix} E_{TTZ_{O5}}(1,1) & E_{TTZ_{O5}}(1,2) & E_{TTZ_{O5}}(2,1) & E_{TTZ_{O5}}(2,2) \end{bmatrix}^T \right. \\ & - \left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right] \\ & \left. \cdot \begin{bmatrix} E_{TTZ_{O5}}(1,1)^* & E_{TTZ_{O5}}(1,2)^* & E_{TTZ_{O5}}(2,1)^* & E_{TTZ_{O5}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\} \end{aligned}$$

3.1.5.6 Kazancın Altıncı Kat Olan Seri – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_6 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_6} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] \left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_6} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] \left[\frac{\partial T_1^*}{\partial \ell_6} \right] \quad (3.180)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_6} \right]^{\Delta} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \frac{\partial E_6}{\partial \ell_6} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \begin{bmatrix} -\beta \sin(\beta \ell_6) & j\beta Z_{O6} \cos(\beta \ell_6) \\ j\beta \cos(\beta \ell_6) & -\beta \sin(\beta \ell_6) \\ Z_{O6} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.181)$$

$$\left[E_{TT\ell_6} \right]^{\Delta} = \frac{\partial E_{TT}}{\partial \ell_6} \quad (3.182)$$

$$\left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_6} \right] = \left[E_{TT\ell_6}(1,1) \quad E_{TT\ell_6}(1,2) \quad E_{TT\ell_6}(2,1) \quad E_{TT\ell_6}(2,2) \right]^T \quad (3.183)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_6} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.184)$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \begin{bmatrix} E_{TT_{\ell_6}}(1,1) & E_{TT_{\ell_6}}(1,2) & E_{TT_{\ell_6}}(2,1) & E_{TT_{\ell_6}}(2,2) \end{bmatrix}^T \\
& - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\
& \cdot \begin{bmatrix} E_{TT_{\ell_6}}(1,1)^* & E_{TT_{\ell_6}}(1,2)^* & E_{TT_{\ell_6}}(2,1)^* & E_{TT_{\ell_6}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T
\end{aligned}$$

Z_{O6} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O6}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O6}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{O6}} \right] \quad (3.185)$$

$$\left[\frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O6}} \right]^\Delta = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \frac{\partial E_6}{\partial Z_{O6}} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \begin{bmatrix} 0 & j \sin(\beta \ell_6) \\ -\frac{j \sin(\beta \ell_6)}{Z_{O6}^2} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.186)$$

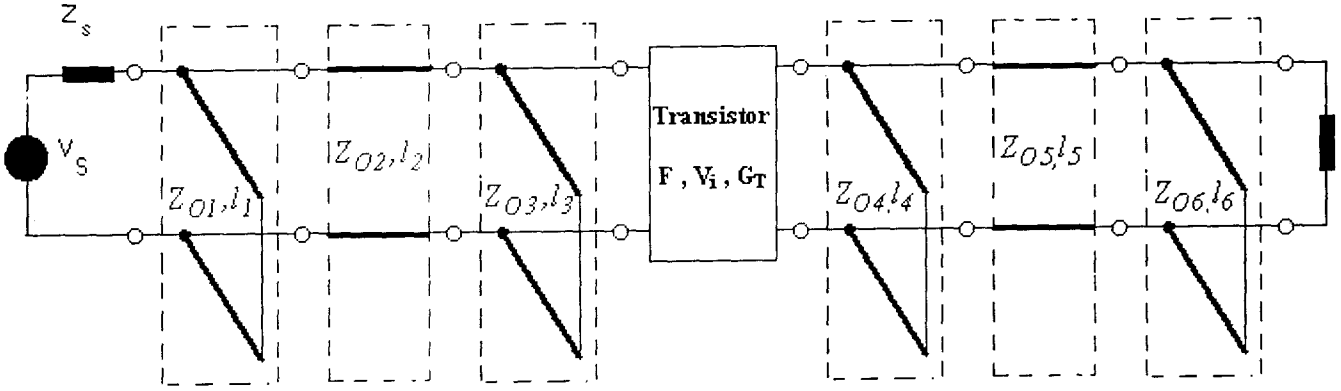
$$\left[E_{TTZ_{O6}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{TT}}{\partial Z_{O6}} \quad (3.187)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O6}} \right] = \begin{bmatrix} E_{TTZ_{O6}}(1,1) & E_{TTZ_{O6}}(1,2) & E_{TTZ_{O6}}(2,1) & E_{TTZ_{O6}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.188)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O6}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.189)$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \begin{bmatrix} E_{TTZ_{O6}}(1,1) & E_{TTZ_{O6}}(1,2) & E_{TTZ_{O6}}(2,1) & E_{TTZ_{O6}}(2,2) \end{bmatrix}^T \\
& - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\
& \cdot \left. \begin{bmatrix} E_{TTZ_{O6}}(1,1)^* & E_{TTZ_{O6}}(1,2)^* & E_{TTZ_{O6}}(2,1)^* & E_{TTZ_{O6}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\}
\end{aligned}$$

3.1.6 IMC(Π - Tipi) - Transistor- OMC(Π - Tipi) İçin Kazanç Duyarlılıklarının ABCD Parametreleri İle Temsil Edilmesi



Şekil 2.3 IMC(Π - Tipi) -Transistor - OMC(Π - Tipi) devresi

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left[Z_L M_{\Pi\Pi}^* \quad M_{\Pi\Pi}^* \quad Z_S Z_L M_{\Pi\Pi}^* \quad Z_S M_{\Pi\Pi}^* \right] \quad (3.190)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left[Z_L^* M_{\Pi\Pi} \quad M_{\Pi\Pi} \quad Z_S^* Z_L^* M_{\Pi\Pi} \quad Z_S^* M_{\Pi\Pi} \right] \quad (3.191)$$

$$E_{\Pi\Pi} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.192)$$

$$A = E(1,1), B = E(1,2), C = E(2,1), D = E(2,2) \quad (3.193)$$

3.1.6.1 Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_1 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_1} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_1} \right] \quad (3.194)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_1} \right] \overset{\Delta}{=} \frac{\partial E_1}{\partial \ell_1} E_2 E_3 E_T E_4 E_5 E_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{01} \sin^2 \beta \ell_1 & 0 \end{bmatrix} E_2 E_3 E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.195)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi\ell_1} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_1} \quad (3.196)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_1} \right] = \left[E_{\Pi\Pi\ell_1}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(2,2) \right]^T \quad (3.197)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_1} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \left[Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^* \right] \right. \quad (3.198)$$

$$\left. \begin{aligned} & \left[E_{\Pi\Pi\ell_1}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(2,2) \right]^T \\ & - \left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right] \\ & \cdot \left[E_{\Pi\Pi\ell_1}(1,1)^* \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(1,2)^* \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(2,1)^* \quad E_{\Pi\Pi\ell_1}(2,2)^* \right]^T \} \end{aligned}$$

Z_{O1} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O1}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O1}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{O1}} \right] \quad (3.199)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O1}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_1}{\partial Z_{O1}} E_2 E_3 E_4 E_5 E_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{O1}^2 \tan \beta \ell_1 & 0 \end{bmatrix} E_2 E_3 E_4 E_5 E_6 \quad (3.200)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi Z_{O1}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O1}} \quad (3.201)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O1}} \right] = \left[E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(2,2) \right]^T \quad (3.202)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O1}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \left[Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^* \right] \right. \quad (3.203)$$

$$\left. \begin{aligned} & \left[E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O1}}(2,2) \right]^T \\ & - \left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right] \end{aligned}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{Z_{01}}}(1,1)^* & E_{\Pi\Pi_{Z_{01}}}(1,2)^* & E_{\Pi\Pi_{Z_{01}}}(2,1)^* & E_{\Pi\Pi_{Z_{01}}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T$$

3.1.6.2 Kazancın İkinci Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

ℓ_2 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1} \right] \left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_2} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_1^*} \right] \left[\frac{\partial T_1^*}{\partial \ell_2} \right]$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_2} \right]^{\Delta} = E_1 \frac{\partial E_2}{\partial \ell_2} E_3 E_T E_4 E_5 E_6 = E_1 \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell_2 & jZ_{02} \beta \cos \beta \ell_2 \\ \frac{j\beta \cos \beta \ell_2}{Z_{02}} & -\beta \sin \beta \ell_2 \end{bmatrix}$$

$$\left[E_{\Pi\Pi_{\ell_2}} \right]^{\Delta} = \frac{\partial E_{\Pi}}{\partial \ell_2}$$

$$\left[\frac{\partial T_1}{\partial \ell_2} \right] = \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(2,2) \end{bmatrix}$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_2} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right.$$

$$\cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_2}}(2,2) \end{bmatrix}^T$$

$$\left. - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \right\}$$

$$\left[E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} \right]^{\Delta} = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O_2}} \quad (3.211)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O_2}} \right] = \left[E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (1,1) \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (1,2) \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (2,1) \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (2,2) \right]^T \quad (3.212)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O_2}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.213)$$

$$\begin{aligned} & \left[E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (1,1) \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (1,2) \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (2,1) \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (2,2) \right]^T \\ & - \left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right] \\ & \cdot \left\{ \left[E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (1,1)^* \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (1,2)^* \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (2,1)^* \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O_2}}} (2,2)^* \right]^T \right\} \end{aligned}$$

3.1.6.3 Kazancın Üçüncü Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_3 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_3} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_3} \right] \quad (3.214)$$

$$\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_3} \overset{\Delta}{=} E_1 E_2 \frac{\partial E_3}{\partial \ell_3} E_T E_4 E_5 E_6 = E_1 E_2 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{O_3} \sin^2 \beta \ell_3 & 0 \end{bmatrix} E_T E_4 E_5 E_6 \quad (3.215)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} \right]^{\Delta} = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_3} \quad (3.216)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_3} \right] = \left[E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (1,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (1,2) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (2,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (2,2) \right]^T \quad (3.217)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_3} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.218)$$

$$\cdot \left[E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (1,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (1,2) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (2,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_3}} (2,2) \right]^T$$

$$-\begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\ \cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{\ell_3}}(1,1)^* & E_{\Pi\Pi_{\ell_3}}(1,2)^* & E_{\Pi\Pi_{\ell_3}}(2,1)^* & E_{\Pi\Pi_{\ell_3}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \}$$

Z_{O3} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O3}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O3}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{O3}} \right] \quad (3.219)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O3}} \right]^\Delta = E_1 E_2 \frac{\partial E_3}{\partial Z_{O3}} E_1 E_4 E_5 E_6 = E_1 E_2 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{O3}^2 \tan \beta \ell_3 & 0 \end{bmatrix} E_4 E_5 E_6 \quad (3.220)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O3}} \quad (3.221)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O3}} \right] = \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.222)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O3}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L^* M^* & M^* & Z_S Z_L^* M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.223)$$

$$\cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \\ - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\ \cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{O3}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \}$$

3.1.6.4 Kazancın Dördüncü Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_4 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_4} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_4} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_4} \right] \quad (3.224)$$

$$\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_4} \overset{\Delta}{=} E_1 E_2 E_3 \frac{\partial E_4}{\partial \ell_4} E_5 E_6 = E_1 E_2 E_3 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{04} \sin^2 \beta \ell_4 & 0 \end{bmatrix} E_5 E_6 \quad (3.225)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_4} \right] = \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.226)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_4} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.227)$$

$$\left. \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(2,2) \end{bmatrix}^T \right.$$

$$\left. - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \right.$$

$$\left. \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(1,1)^* & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(1,2)^* & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(2,1)^* & E_{\Pi\Pi_{\ell_4}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\}$$

Z_{04} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{04}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{04}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_j^*} \right] \left[\frac{\partial T_j^*}{\partial Z_{04}} \right] \quad (3.228)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{04}} \right] \overset{\Delta}{=} E_1 E_2 E_3 E_T \frac{\partial E_4}{\partial Z_{04}} E_5 E_6 = E_1 E_2 E_3 E_T \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{04}^2 \tan \beta \ell_4 & 0 \end{bmatrix} E_5 E_6 \quad (3.229)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}} \right] \overset{\Delta}{=} \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{04}} \quad (3.230)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{04}} \right] = \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.231)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{04}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right. \quad (3.232)$$

$$\left. \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(1,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(1,2) & E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(2,1) & E_{\Pi\Pi_{Z_{04}}}(2,2) \end{bmatrix}^T \right.$$

$$-\left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right]$$

$$\cdot \left[E_{\Pi\Pi_{Z_{O4}}}(1,1)^* \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O4}}}(1,2)^* \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O4}}}(2,1)^* \quad E_{\Pi\Pi_{Z_{O4}}}(2,2)^* \right]^T \}$$

3.1.6.5 Kazancın Beşinci Kat Olan Seri – Hat için Duyarlılıkları

ℓ_5 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_5} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_5} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial \ell_5} \right] \quad (3.233)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_5} \right]^\Delta = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 \frac{\partial E_5}{\partial \ell_5} E_6 = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 \begin{bmatrix} -\beta \sin \beta \ell_5 & j Z_{05} \beta \cos \beta \ell_5 \\ \frac{j \beta \cos \beta \ell_5}{Z_{05}} & -\beta \sin \beta \ell_5 \end{bmatrix} E_6 \quad (3.234)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi_{\ell_5}} \right]^\Delta = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_5} \quad (3.235)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial \ell_5} \right] = \left[E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(2,2) \right]^T \quad (3.236)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_5} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right] \right. \quad (3.237)$$

$$\left. \cdot \left[E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(2,2) \right]^T \right\}$$

$$-\left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right]$$

$$\cdot \left[E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(1,1)^* \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(1,2)^* \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(2,1)^* \quad E_{\Pi\Pi_{\ell_5}}(2,2)^* \right]^T \}$$

Z_{O5} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O5}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O5}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{O5}} \right] \quad (3.238)$$

$$\left[\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O5}} \right]^{\Delta} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 \frac{\partial E_5}{\partial Z_{O5}} E_6 = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 \begin{bmatrix} 0 & j \sin \beta \ell_5 \\ -j \sin \beta \ell_5 & 0 \\ Z_{O5}^2 & 0 \end{bmatrix} E_6 \quad (3.239)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi Z_{O5}} \right]^{\Delta} = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O5}} \quad (3.240)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial Z_{O5}} \right] = \left[E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(2,2) \right]^T \quad (3.241)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O5}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \left[Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^* \right] \right. \quad (3.242)$$

$$\left. \begin{aligned} & \left[E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(2,2) \right]^T \\ & - \left[Z_L^* M \quad M \quad Z_S^* Z_L^* M \quad Z_S^* M \right] \\ & \left. \left[E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(1,1)^* \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(1,2)^* \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(2,1)^* \quad E_{\Pi\Pi Z_{O5}}(2,2)^* \right]^T \right\} \end{aligned}$$

3.1.6.6 Kazancın İlk Kat Olan Paralel – Hat İçin Duyarlılıkları

ℓ_6 için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell_6} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I} \right] \left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell_6} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_I^*} \right] \left[\frac{\partial T_I^*}{\partial \ell_6} \right] \quad (3.243)$$

$$\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_6}^{\Delta} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \frac{\partial E_6}{\partial \ell_6} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j\beta & 0 \\ Z_{O6} \sin^2 \beta \ell_6 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.244)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi \ell_6} \right]^{\Delta} = \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial \ell_6} \quad (3.245)$$

$$\left[\frac{\partial T_I}{\partial \ell_6} \right] = \left[E_{\Pi\Pi \ell_6}(1,1) \quad E_{\Pi\Pi \ell_6}(1,2) \quad E_{\Pi\Pi \ell_6}(2,1) \quad E_{\Pi\Pi \ell_6}(2,2) \right]^T \quad (3.246)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial \ell_6} \right] = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left\{ \left[Z_L M^* \quad M^* \quad Z_S Z_L M^* \quad Z_S M^* \right] \right. \quad (3.247)$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi\ell_6}(1,1) & E_{\Pi\Pi\ell_6}(1,2) & E_{\Pi\Pi\ell_6}(2,1) & E_{\Pi\Pi\ell_6}(2,2) \end{bmatrix}^T \\
& - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\
& \cdot \left\{ \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi\ell_6}(1,1)^* & E_{\Pi\Pi\ell_6}(1,2)^* & E_{\Pi\Pi\ell_6}(2,1)^* & E_{\Pi\Pi\ell_6}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\}
\end{aligned}$$

Z_{O6} için:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O6}} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i} \right] \left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O6}} \right] + \left[\frac{\partial G_T}{\partial T_i^*} \right] \left[\frac{\partial T_i^*}{\partial Z_{O6}} \right] \quad (3.248)$$

$$\frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O6}} \overset{\Delta}{=} E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \frac{\partial E_6}{\partial Z_{O6}} = E_1 E_2 E_3 E_T E_4 E_5 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 0 \\ Z_{O6}^2 \tan \beta \ell_6 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.249)$$

$$\left[E_{\Pi\Pi Z_{O6}} \right] \overset{\Delta}{=} \frac{\partial E_{\Pi\Pi}}{\partial Z_{O6}} \quad (3.250)$$

$$\left[\frac{\partial T_i}{\partial Z_{O6}} \right] = \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(1,1) & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(1,2) & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(2,1) & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(2,2) \end{bmatrix}^T \quad (3.251)$$

$$\left[\frac{\partial G_T}{\partial Z_{O6}} \right] = -\frac{4R_S R_L}{p^2} \left\{ \begin{bmatrix} Z_L M^* & M^* & Z_S Z_L M^* & Z_S M^* \end{bmatrix} \right\} \quad (3.252)$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(1,1) & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(1,2) & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(2,1) & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(2,2) \end{bmatrix}^T \\
& - \begin{bmatrix} Z_L^* M & M & Z_S^* Z_L^* M & Z_S^* M \end{bmatrix} \\
& \cdot \left\{ \begin{bmatrix} E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(1,1)^* & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(1,2)^* & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(2,1)^* & E_{\Pi\Pi Z_{O6}}(2,2)^* \end{bmatrix}^T \right\}
\end{aligned}$$

4. NUMERİK PERTÜRBASYON YAKLAŞIMI

Numerik türev, x değişkeninde meydana gelen Δx ($\Delta \ell = 0.0001 \text{ cm}, \Delta Z_0 = 0.0001 \Omega$) değişimine karşın, türetilebilir bir 'F' fonksiyonunda meydana gelen ΔF değişiminin, sıfıra giden Δx değişimine oranıdır.

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

şeklinde formüle edilebilir. Bu çalışmada numerik türev işlemi için Matlab bilgisayar dilindeki "diff" komutu ile G_T farkları alınmış ve bu değerler Δx ' e bölünmüştür.

5. ÖRNEK ÇALIŞMALAR ve SONUÇLAR

5.1 Çizelge ve Şekiller

5.1.1 Uygun Z_S, Z_L İle Sonlandırılmış, Belirli Bir Frekans Bandında Belirli

Z_0, ℓ ' lere Sahip Devreler İçin G_T, F, V_I Değerlerine Ait Çizelge ve Şekiller

Bu alt bölümdeki bütün çizelge ve şekiller Güneş vd. ' den (2002) alınmıştır.

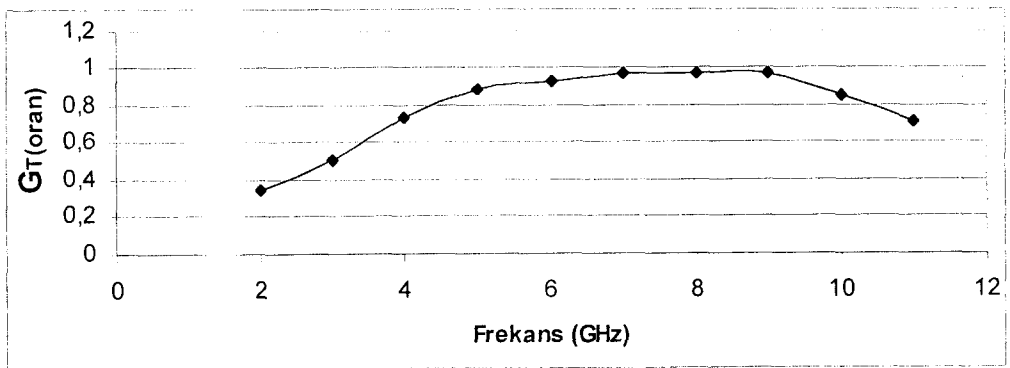
Çizelge 5.1 T - Tipi ve Π - Tipi devrelerde kullanılan hatların uzunluk ve karakteristik empedansları

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 5.2 $Z_S = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1 \text{GHz} \dots 11 \text{GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri

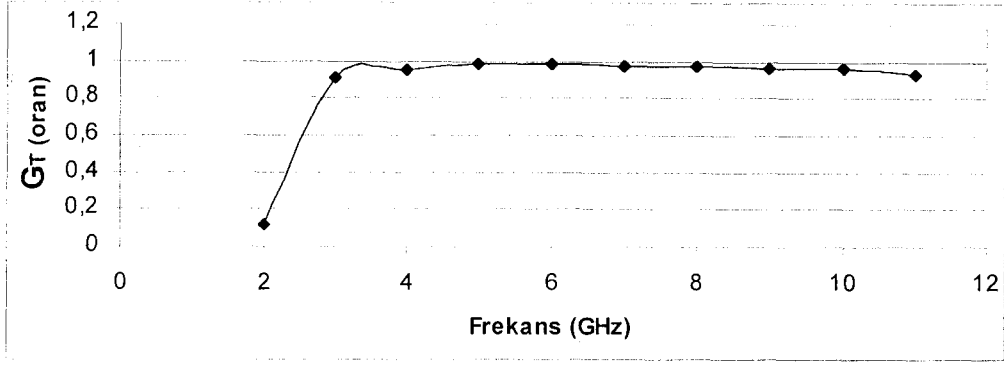
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.35	0.51	0.73	0.89	0.93	0.98	0.97	0.97	0.86	0.71



Şekil 5.1 $Z_S = 50 \Omega, Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i), i = 1 \text{GHz} \dots 11 \text{GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi

Çizelge 5.3 $Z_S = Z_{L,TR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri

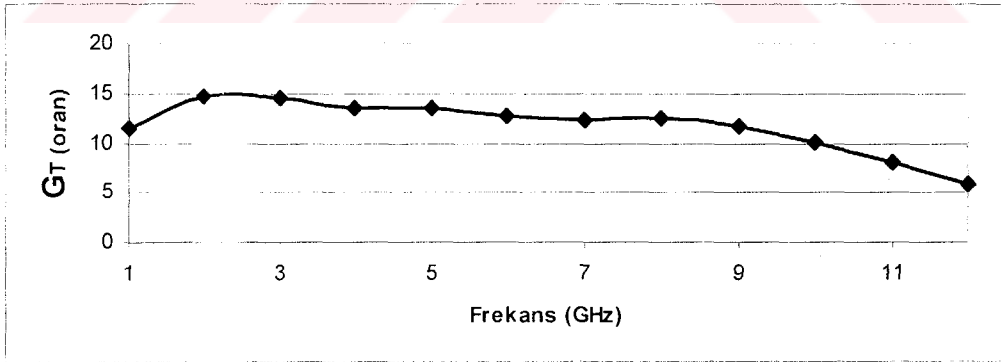
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.12	0.90	0.96	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.93



Şekil 5.2 $Z_S = Z_{L,TR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(T - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi

Çizelge 5.4 $G_{Treq}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $F_{req}(\omega) = 0.46 \text{ dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(T - Tipi) devresi için kazanç değerleri

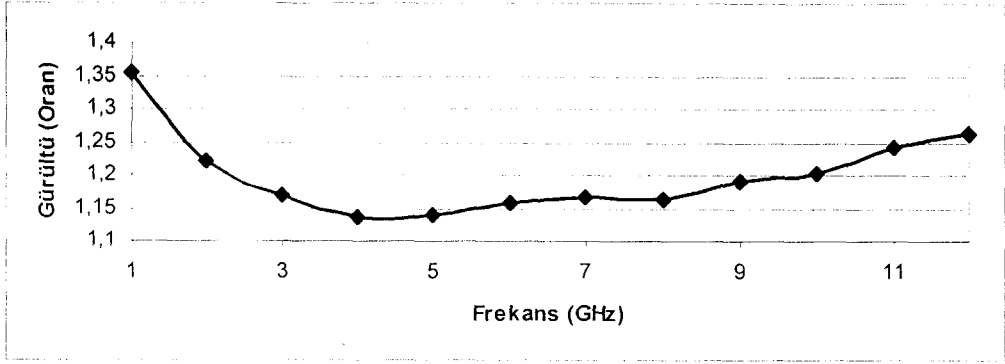
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
G_T (oran)	11.6	14.8	14.5	13.6	13.5	12.6	12.4	12.5	11.7	10.1	8.0	5.8



Şekil 5.3 $G_{Treq}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $F_{req}(\omega) = 0.46 \text{ dB}$ olan IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için kazanç – frekans eğrisi

Çizelge 5.5 $G_{Treq}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $F_{req}(\omega) = 0.46 \text{ dB}$ olan OMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - IMC(T - Tipi) devresi için gürültü değerleri

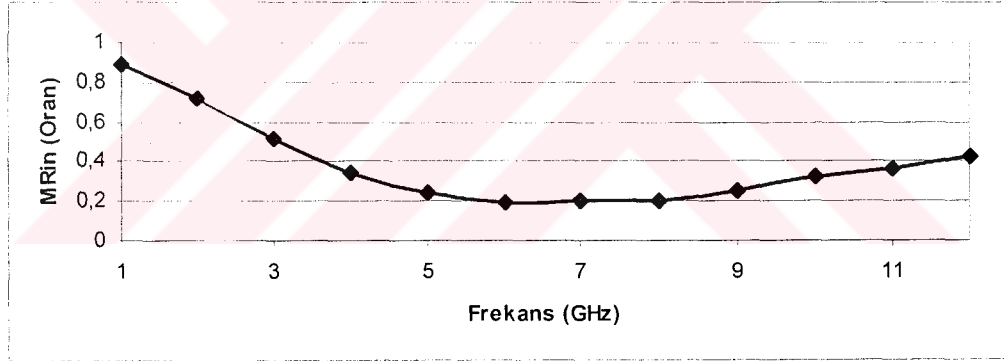
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
F (oran)	1.35	1.22	1.17	1.14	1.14	1.16	1.17	1.16	1.19	1.20	1.24	1.26



Şekil 5.4 $G_{Treq}(\omega) = 12$ 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 5.6 $G_{Treq}(\omega) = 12$ 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

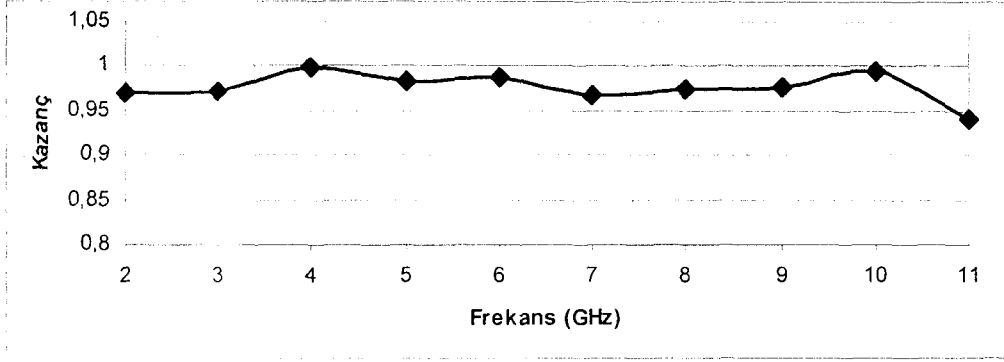
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MRin (Oran)	0.89	0.71	0.52	0.34	0.24	0.19	0.19	0.20	0.25	0.32	0.36	0.42



Şekil 5.5 $G_{Treq}(\omega) = 12$ 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 5.7 $Z_S = 50 \Omega$, $Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i)$, $i = 1$ GHz.....11 GHz ile sonlandırılmış IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç değerleri

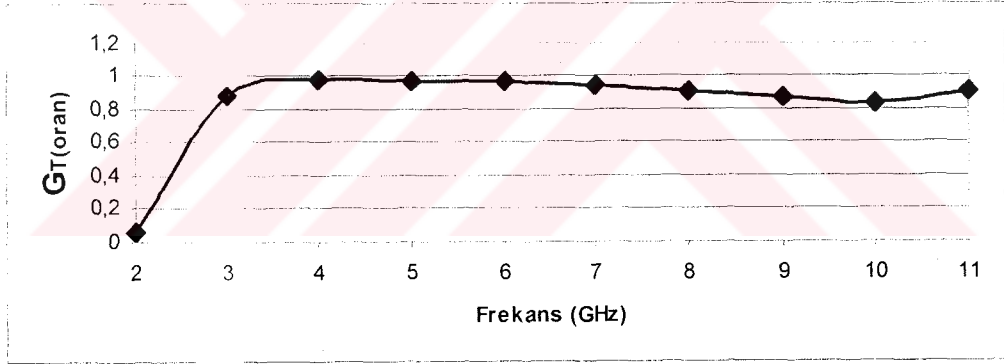
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.97	0.97	0.99	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98	0.99	0.94



Şekil 5.6 $Z_S = 50 \Omega$, $Z_L = Z_{STR}^*(\omega_i)$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç - frekans eğrisi

Çizelge 5.8 $Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(Π - Tipi) devresi için kazanç değerleri

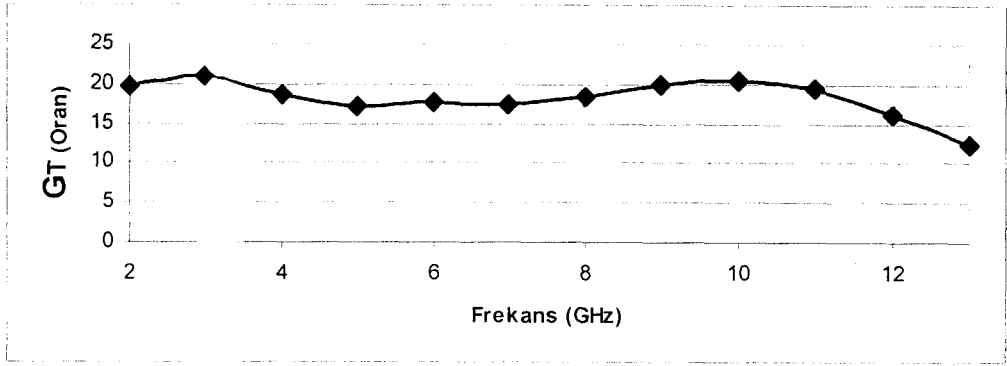
Frekans(GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	0.05	0.88	0.98	0.96	0.97	0.95	0.90	0.87	0.84	0.90



Şekil 5.7 $Z_S = Z_{LTR}^*(\omega_i)$, $Z_L = 50 \Omega$, $i = 1\text{GHz} \dots 11\text{GHz}$ ile sonlandırılmış OMC(Π - Tipi) devresi için kazanç -frekans eğrisi

Çizelge 5.9 $G_{Treq}(\omega) = 12 \text{ dB}$, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $F_{req}(\omega) = 0.46 \text{ dB}$ olan IMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-OMC(Π - Tipi) devresi kazanç değerleri

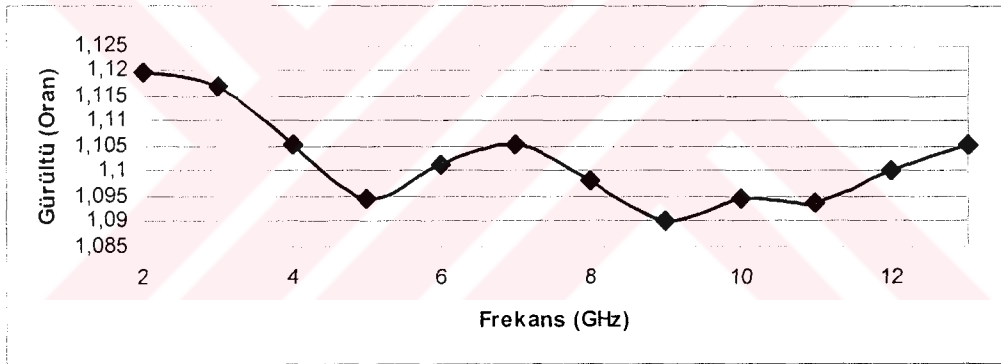
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
G_T	19.6	20.9	18.7	17.1	17.7	17.5	18.4	19.8	20.5	19.4	16.2	12.4



Şekil 5.8 $GT_{req}(\omega) = 12$ dB, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $Freq(\omega_i) = 0.46$ dB olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(Π - Tipi) devresi için kazanç –frekans eğrisi

Çizelge 5.10 $GT_{req}(\omega) = 12$ dB, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $Freq(\omega_i) = 0.46$ dB olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(Π - Tipi) devresi için edilen gürültü değerleri

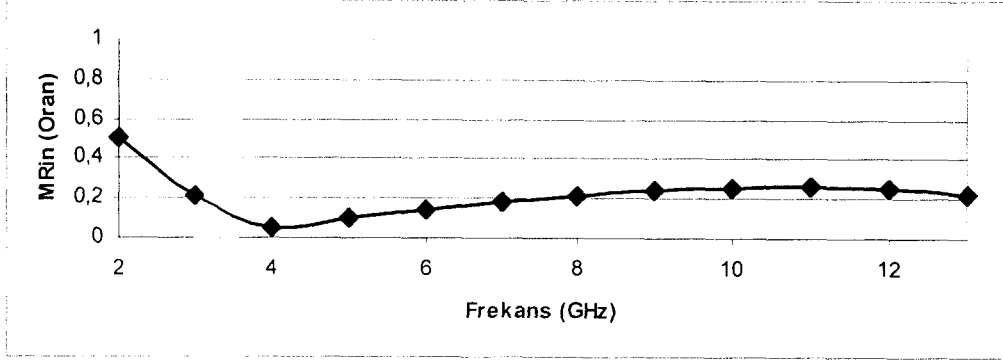
Frekans (GHz)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gürültü	1.12	1.12	1.11	1.09	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.10



Şekil 5.9 $GT_{req}(\omega) = 12$ dB, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $Freq(\omega_i) = 0.46$ dB olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(Π - Tipi) devresi için gürültü – frekans eğrisi

Çizelge 5.11 $GT_{req}(\omega) = 12$ dB, $V_{req}(\omega) = 1.0$ $Freq(\omega_i) = 0.46$ dB olan OMC(Π - Tipi) – Transistor(NE329S01)-IMC(Π - 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 5.10 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

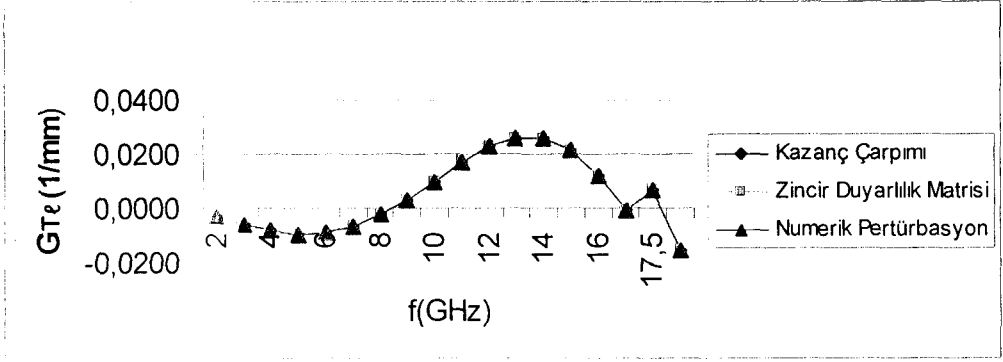
5.1.2 Uygun Z_S, Z_L ile Sonlandırılmış, Belirli Bir Frekans Bandında Belirli Z_0, ℓ 'lere Sahip Devreler İçin Kazanç Duyarlıklarına Ait Çizelge ve Şekiller

Burada, ilk yaklaşım analitik yöntemler olan Kazanç Çarpımı ve zincir duyarlılık matrisi yaklaşımı ikinci yaklaşım ise numerik pertürbasyon yaklaşımı 'dır

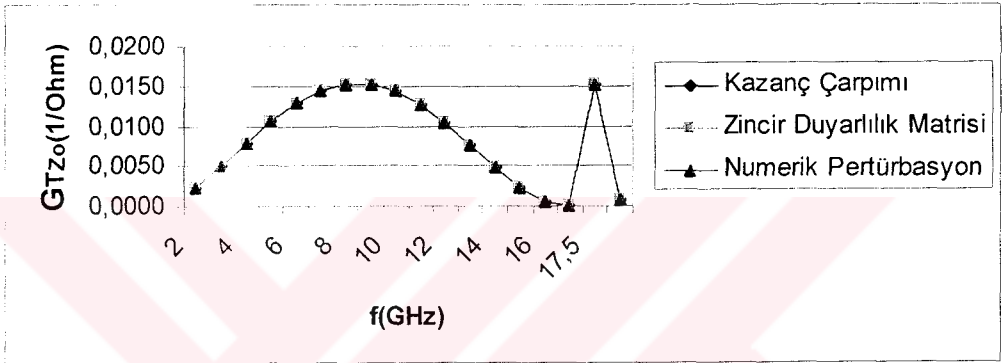
5.1.2.1 Seri –Hat ve Parelel – Hat İki – Kapılısının Kazanç Duyarlılıkları

Çizelge 5.12 Seri – hat iki – kapılısının $\ell = 15.886$ cm, $Z_0 = 36.310 \Omega$ için hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri

f (GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	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
3	-0.0056	0.0050	-0.0056	0.0050
4	-0.0080	0.0078	-0.0080	0.0078
5	-0.0093	0.0106	-0.0093	0.0106
6	-0.0089	0.0129	-0.0089	0.0129
7	-0.0066	0.0145	-0.0066	0.0145
8	-0.0025	0.0153	-0.0025	0.0153
9	0.0032	0.0153	0.0032	0.0153
10	0.0100	0.0144	0.0100	0.0144
11	0.0168	0.0127	0.0168	0.0127
12	0.0226	0.0104	0.0226	0.0104
13	0.0261	0.0076	0.0261	0.0076
14	0.0260	0.0048	0.0260	0.0048
15	0.0212	0.0022	0.0212	0.0022
16	0.0119	0.0005	0.0119	0.0005
17	-0.0011	0.0000	-0.0011	0.0000
17.5	0.0068	0.0153	0.0067	0.0153
18	-0.0154	0.0007	-0.0154	0.0007



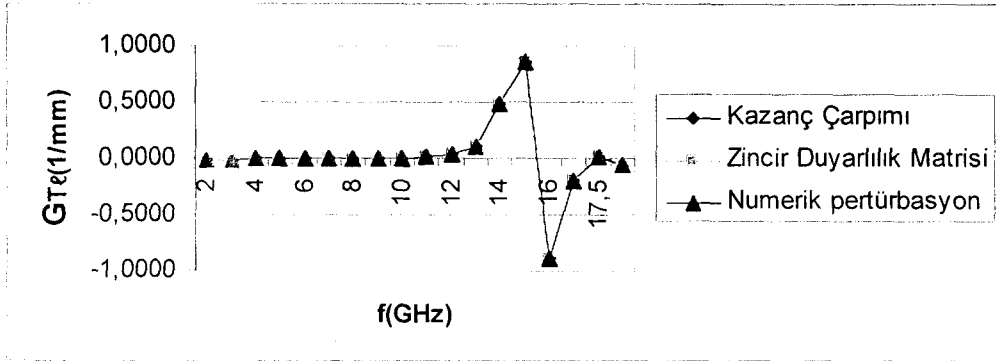
Şekil 5.11 Seri – hat iki – kapısının hat uzunluğuna ($\ell = 15.886$ cm) göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi



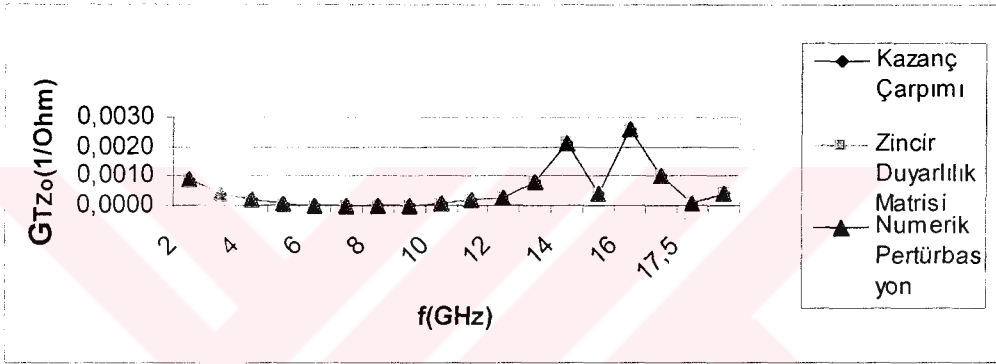
Şekil 5.12 Seri – hat iki – kapısının karakteristik empedansa ($Z_0 = 36.310 \Omega$) göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi

Çizelge 5.13 Paralel – Hat iki – kapısının $\ell = 14.009$ cm, $Z_0 = 180.885 \Omega$ hat uzunluğu ve karakteristik empedansa göre kazanç duyarlılığı değerleri

f (GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	GT_{ℓ} (1/mm)	GT_{Z_0} (1/Ohm)	GT_{ℓ} (1/mm)	GT_{Z_0} (1/Ohm)
2	-0.0185	0.0009	-0.0185	0.0009
3	-0.0091	0.0004	-0.0091	0.0004
4	-0.0052	0.0002	-0.0052	0.0002
5	-0.0031	0.0001	-0.0031	0.0001
6	-0.0018	0.0000	-0.0018	0.0000
7	-0.0007	0.0000	-0.0007	0.0000
8	0.0006	0.0000	0.0006	0.0000
9	0.0024	0.0000	0.0024	0.0000
10	0.0057	0.0001	0.0057	0.0001
11	0.0129	0.0002	0.0129	0.0002
12	0.0322	0.0003	0.0322	0.0003
13	0.1013	0.0008	0.1013	0.0008
14	0.4832	0.0021	0.4832	0.0021
15	0.8505	0.0004	0.8502	0.0004
16	-0.8859	0.0026	-0.8858	0.0026
17	-0.1883-	0.0010	-0.1883	0.0010
17.5	0.0095	0.0001	0.0095	0.0001
18	-0.0625-	0.0004	-0.0625	0.0004



Şekil 5.13 Paralel – hat iki – kapılısının hat uzunluğuna ($\ell = 14.009$ cm) göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrisi



Şekil 5.14 Paralel – hat iki – kapılısının karakteristik empedansa ($Z_0 = 180.885 \Omega$) göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrisi

5.1.2.2 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 5.14 IMC(T-Tipi) devresi için a) ℓ_1, Z_{01} b) ℓ_2, Z_{02} c) ℓ_3, Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri

a)

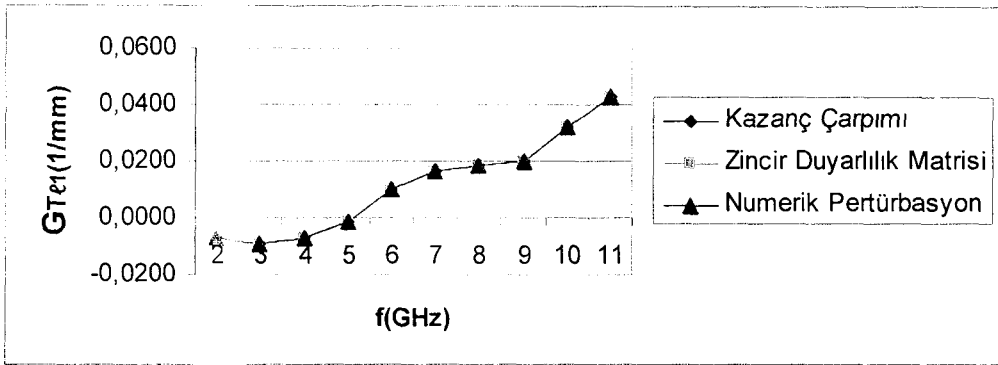
Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon		
f(GHz)	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$
2	-0.0074	0.0048	-0.0074	0.0048
3	-0.0096	0.0020	-0.0096	0.0020
4	-0.0069	-0.0054	-0.0069	-0.0054
5	-0.0011	-0.0101	-0.0011	-0.0101
6	0.0103	-0.0119	0.0103	-0.0119
7	0.0167	-0.0051	0.0167	-0.0051
8	0.0183	0.0012	0.0183	0.0012
9	0.0199	0.0038	0.0199	0.0038
10	0.0325	0.0079	0.0325	0.0079
11	0.0429	0.0114	0.0429	0.0114

b)

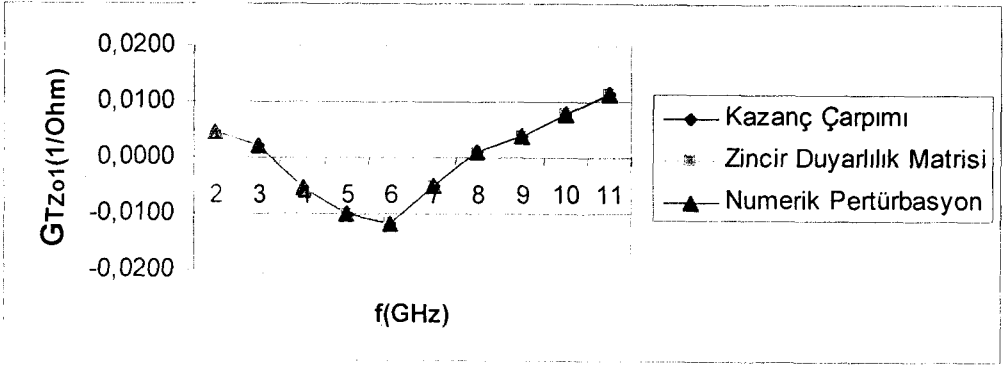
Kazanç Çarpımı ve Zincir Numerik Pertürbasyon				
f(GHz)	$GT_{t2}(1/mm)$	$GT_{Zo2}(1/Ohm)$	$GT_{t2}(1/mm)$	$GT_{Zo2}(1/Ohm)$
2	-0.0129	0.0006	-0.0129	0.0006
3	0.0021	-0.0001	0.0021	-0.0001
4	0.0094	-0.0003	0.0094	-0.0003
5	0.0081	-0.0002	0.0081	-0.0002
6	0.0034	0.0000	0.0034	0.0000
7	-0.0023	0.0000	-0.0023	0.0000
8	-0.0043	0.0000	-0.0043	0.0000
9	-0.0043	0.0000	-0.0043	0.0000
10	-0.0049	-0.0001	-0.0049	-0.0001
11	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000

c)

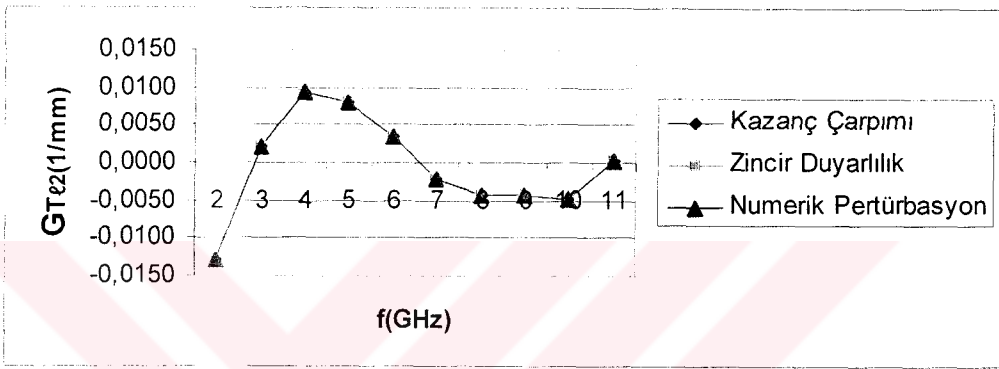
Kazanç Çarpımı ve Zincir Numerik Pertürbasyon				
f(GHz)	$GT_{t3}(1/mm)$	$GT_{Zo3}(1/Ohm)$	$GT_{t3}(1/mm)$	$GT_{Zo3}(1/Ohm)$
2	-0.0198	-0.0042	-0.0198	-0.0042
3	-0.0339	-0.0037	-0.0339	-0.0037
4	-0.0358	-0.0006	-0.0358	-0.0006
5	-0.0217	0.0023	-0.0217	0.0023
6	0.0089	0.0064	0.0090	0.0064
7	0.0345	0.0056	0.0345	0.0056
8	0.0431	0.0030	0.0431	0.0030
9	0.0471	0.0006	0.0472	0.0006
10	0.0755	-0.0027	0.0755	-0.0027
11	0.0979	-0.0073	0.0979	-0.0073



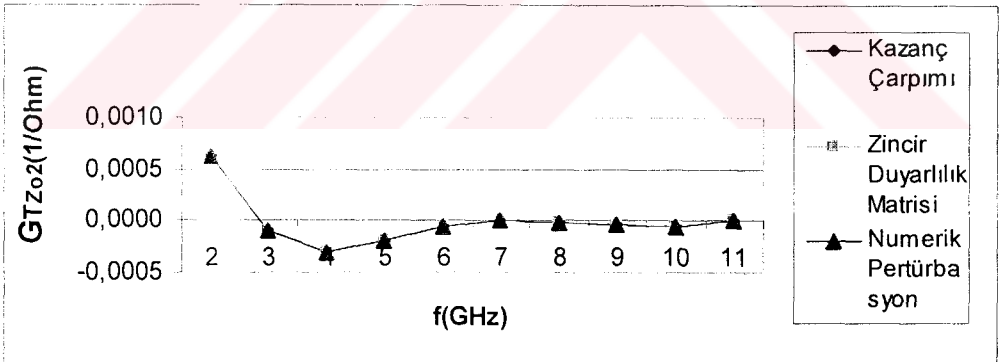
a1)



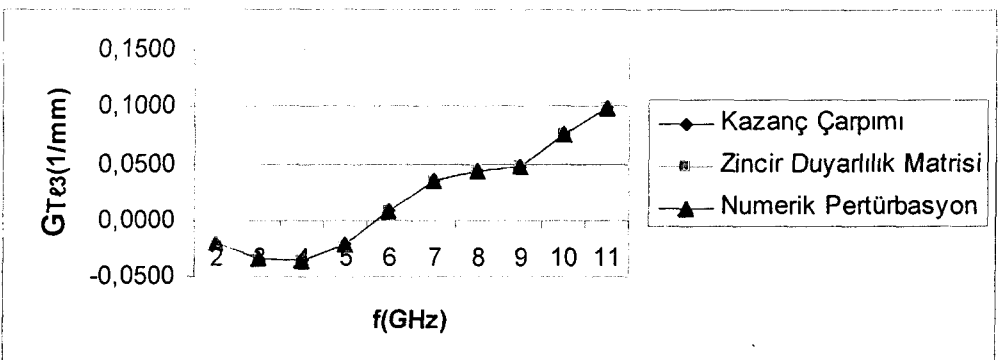
a2)



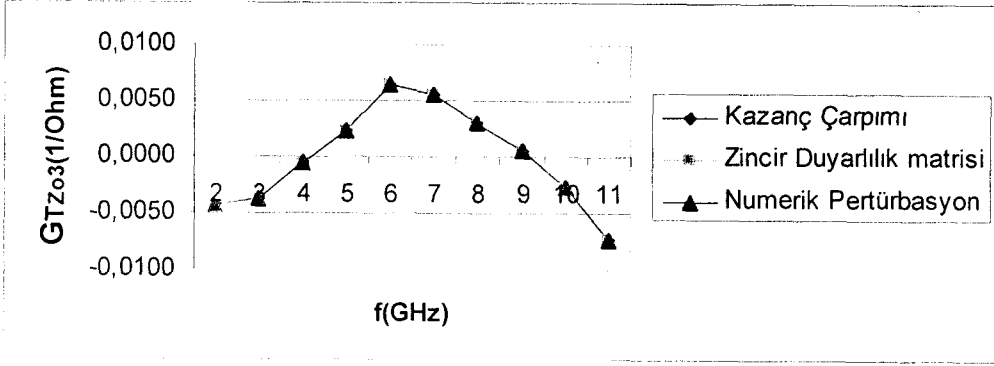
b1)



b2)



c1)



c2)

Şekil 5.15 IMC(T - Tipi) devresi için a) $1) \ell_1$ 2) Z_{01} a) $1) \ell_2$ 2) Z_{02} a) $1) \ell_3$ 2) Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrileri

Çizelge 5.15 OMC(T - Tipi) devresi için a) ℓ_4 , Z_{04} b) ℓ_5 , Z_{05} c) ℓ_6 , Z_{06} olan hat uzunlukları ve karakteristik empedanslara göre kazanç duyarlılığı değerleri

a)

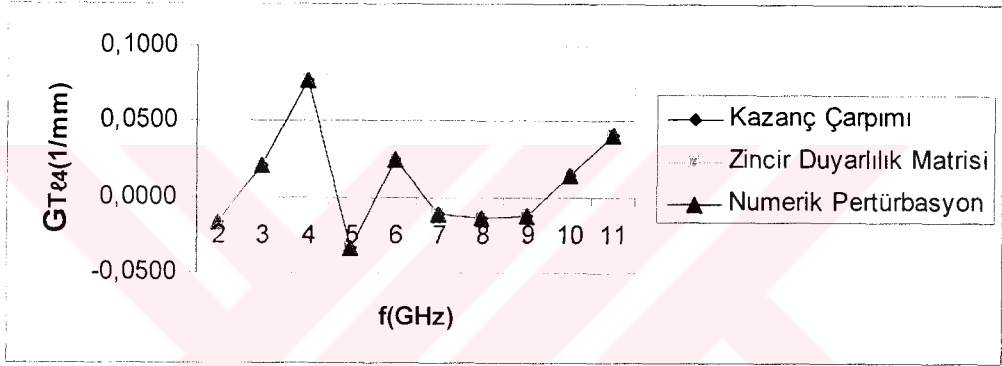
f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	GT _{ℓ_4} (1/mm)	GT _{Z_{04}} (1/Ohm)	GT _{ℓ_4} (1/mm)	GT _{Z_{04}} (1/Ohm)
2	-0.0170	0.0016	-0.0170	0.0016
3	0.0204	-0.0011	0.0205	-0.0011
4	0.0768	-0.0059	0.0769	-0.0059
5	-0.0346	0.0020	-0.0345	0.0020
6	0.0245	-0.0022	0.0246	-0.0022
7	-0.0106	-0.0004	-0.0106	-0.0004
8	-0.0143	0.0000	-0.0143	0.0000
9	-0.0121	0.0006	-0.0121	0.0006
10	0.0149	-0.0001	0.0149	-0.0001
11	0.0408	0.0003	0.0408	0.0003

b)

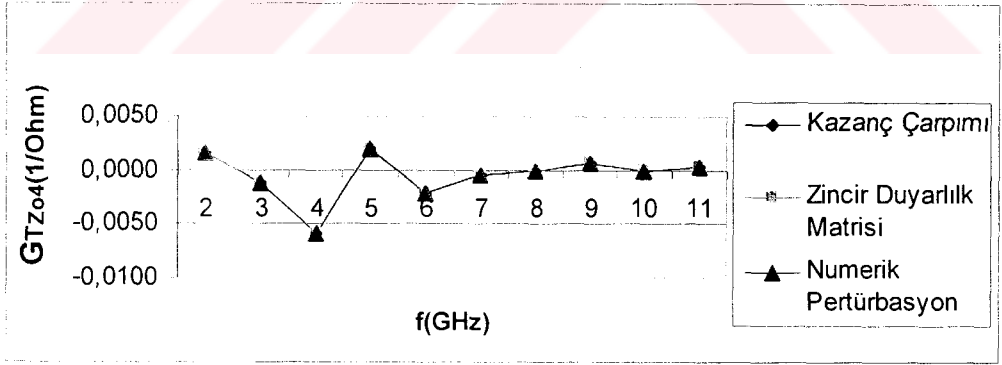
f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	GT _{ℓ_5} (1/mm)	GT _{Z_{05}} (1/Ohm)	GT _{ℓ_5} (1/mm)	GT _{Z_{05}} (1/Ohm)
2	0.0124	0.0005	0.0124	0.0005
3	-0.0364	-0.0013	-0.0364	-0.0013
4	0.0072	0.0002	0.0072	0.0002
5	0.0010	0.0000	0.0010	0.0000
6	0.0202	0.0005	0.0202	0.0005
7	0.0177	0.0003	0.0177	0.0003
8	0.0155	0.0002	0.0155	0.0002
9	0.0061	0.0001	0.0061	0.0001
10	0.0213	0.0001	0.0213	0.0001
11	0.0052	0.0000	0.0052	0.0000

c)

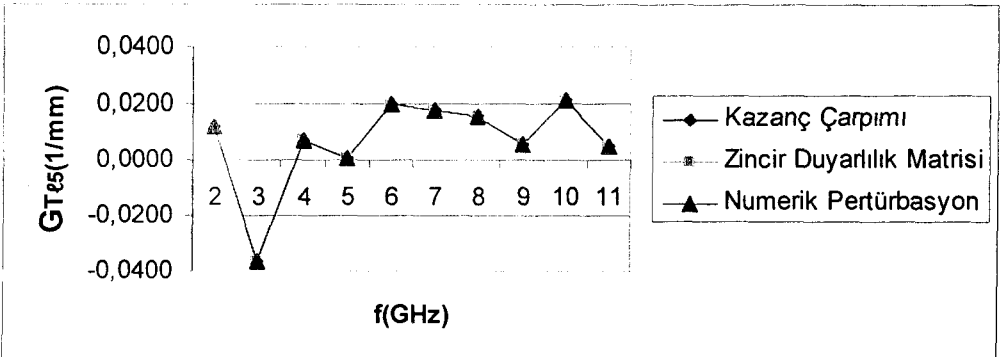
Kazanç Çarpımı ve Zincir			Numerik Pertürbasyon	
f(GHz)	$GT_{t6}(1/mm)$	$GT_{z06}(1/Ohm)$	$GT_{t6}(1/mm)$	$GT_{z06}(1/Ohm)$
2	-0.0063	-0.0010	-0.0063	-0.0010
3	0.0149	0.0031	0.0149	0.0031
4	0.0218	0.0028	0.0218	0.0028
5	-0.0108	-0.0019	-0.0108	-0.0019
6	0.0146	0.0000	0.0146	0.0000
7	0.0075	-0.0022	0.0076	-0.0022
8	0.0100	-0.0030	0.0100	-0.0030
9	0.0069	-0.0037	0.0069	-0.0037
10	0.0343	-0.0032	0.0343	-0.0032
11	0.0353	-0.0051	0.0353	-0.0051



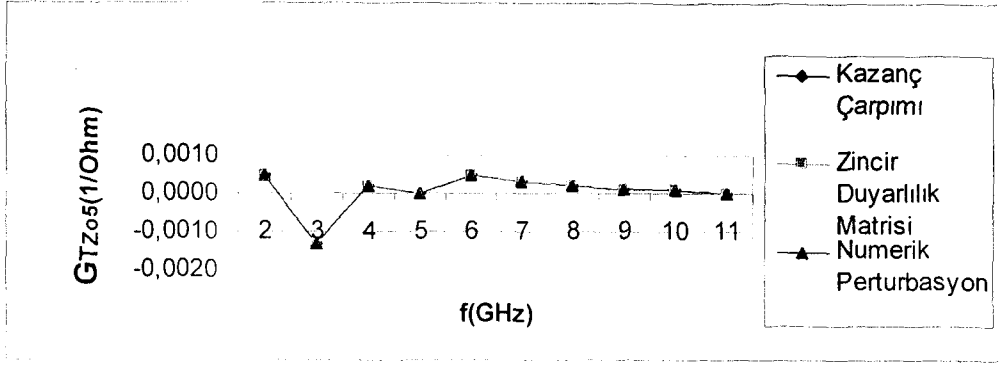
a1)



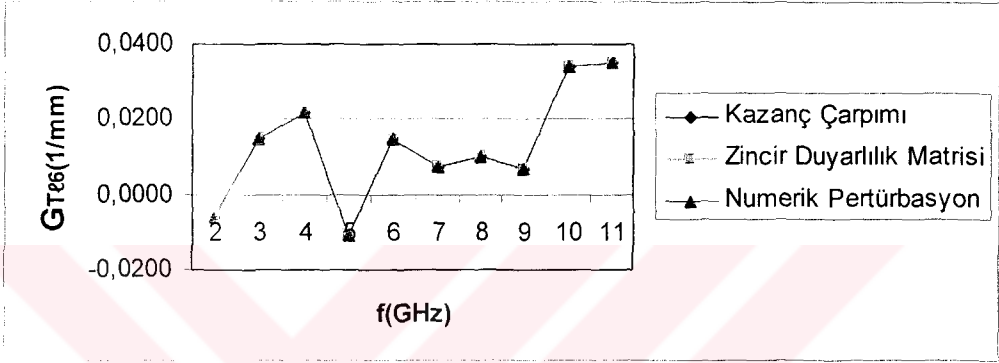
a2)



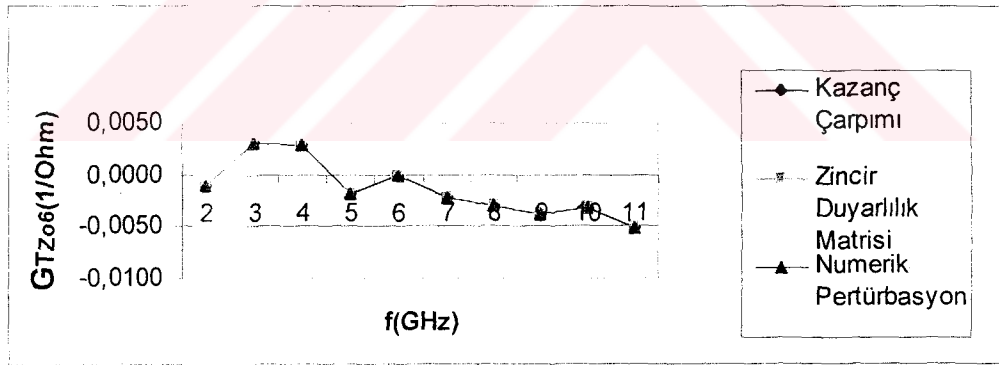
b1)



b2)



c1)



c2)

Şekil 5.16 OMC(T - Tipi) devresi için a) 1) ℓ_4 2) Z_{04} b) 1) ℓ_5 2) Z_{05} c) 1) ℓ_6 2) Z_{06} 'ya göre kazanç duyarlılığı - frekans eğrileri

Çizelge 5.16 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} ’ e göre kazanç duyarlılığı – frekans değerleri

a)

Kazanç Çarpımı ve Zincir			Numerik Pertürbasyon	
f(GHz)	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$
2	-0.2457	0.1533	-0.2457	0.1533
3	-0.2748	0.0640	-0.2748	0.0640
4	-0.1439	-0.0866	-0.1439	-0.0866
5	-0.0008	-0.1534	-0.0008	-0.1534
6	0.1343	-0.1524	0.1343	-0.1524
7	0.2214	-0.0478	0.2214	-0.0478
8	0.2365	0.0405	0.2365	0.0405
9	0.2649	0.0813	0.2649	0.0813
10	0.3490	0.1158	0.3490	0.1158
11	0.4077	0.1439	0.4077	0.1439
12	0.3670	0.1280	0.3669	0.1280
13	0.2992	0.0925	0.2991	0.0925
14	0.1961	0.0525	0.1960	0.0525
15	-0.0062	0.0001	-0.0062	0.0001
16	-0.2320	-0.0100	-0.2320	-0.0100
17	-0.2552	0.0009	-0.2552	0.0009
17.5	1.1436	-0.0160	1.1437	-0.0160
18	-0.1955	0.0071	-0.1954	0.0071

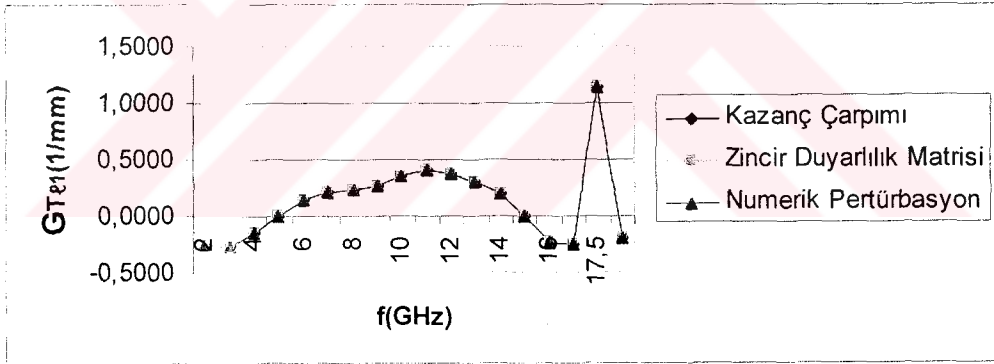
b)

Kazanç Çarpımı ve Zincir			Numerik Pertürbasyon	
f(GHz)	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_2}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{02}}(1/\text{Ohm})$
2	-0.4007	0.0195	-0.4007	0.0195
3	0.0426	-0.0018	0.0427	-0.0018
4	0.1649	-0.0054	0.1649	-0.0054
5	0.1184	-0.0027	0.1184	-0.0027
6	0.0429	-0.0006	0.0429	-0.0006
7	-0.0359	0.0002	-0.0359	0.0002
8	-0.0577	-0.0002	-0.0577	-0.0002
9	-0.0526	-0.0004	-0.0526	-0.0004
10	-0.0343	-0.0004	-0.0343	-0.0004
11	0.0556	0.0007	0.0556	0.0007
12	0.2689	0.0029	0.2690	0.0029
13	0.7548	0.0059	0.7553	0.0059
14	2.6069	0.0112	2.6096	0.0112
15	2.1690	0.0011	2.1583	0.0011
16	-2.7950	0.0081	-2.7927	0.0081
17	-0.7536	0.0041	-0.7528	0.0041
17.5	-0.3353	-0.0021	-0.3353	-0.0021
18	-0.1660	0.0011	-0.1658	0.0011

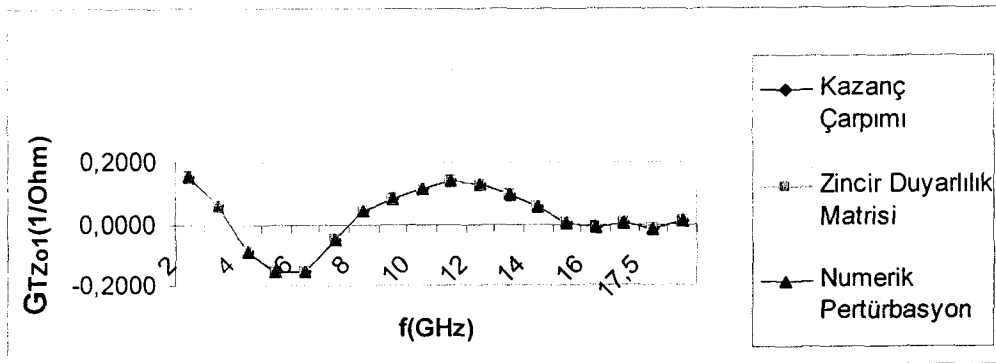
c)

Kazanç Çarpımı ve Zincir Numerik Pertürbasyon

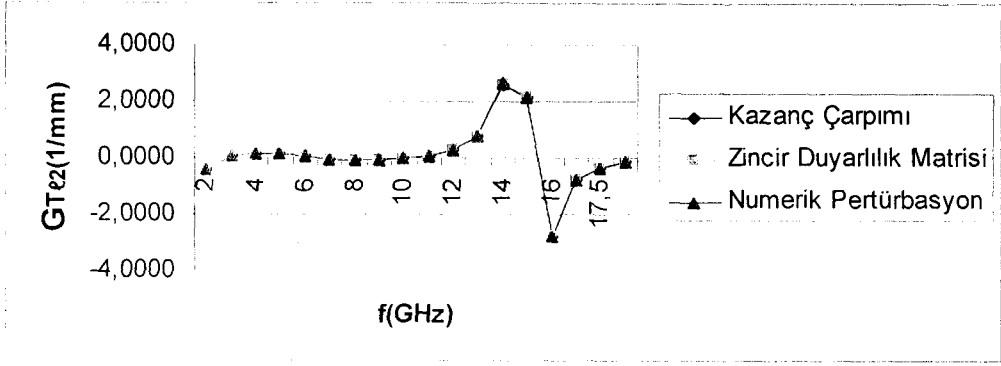
f(GHz)	GT _{L3} (1/mm)	GT _{Z03} (1/Ohm)	GT _{L3} (1/mm)	GT _{Z03} (1/Ohm)
2	-0.6937	-0.1283	-0.6937	-0.1283
3	-0.9377	-0.1128	-0.9377	-0.1128
4	-0.6847	-0.0243	-0.6846	-0.0243
5	-0.2879	0.0432	-0.2878	0.0432
6	0.1216	0.0831	0.1218	0.0831
7	0.4750	0.0721	0.4752	0.0721
8	0.5713	0.0373	0.5715	0.0373
9	0.6289	0.0075	0.6291	0.0075
10	0.7931	-0.0279	0.7932	-0.0279
11	0.8753	-0.0668	0.8753	-0.0668
12	0.7391	-0.0825	0.7391	-0.0825
13	0.6055	-0.0843	0.6055	-0.0843
14	0.5498	-0.0818	0.5497	-0.0818
15	0.0191	-0.0031	0.0191	-0.0031
16	-0.1558	-0.0060	-0.1559	-0.0060
17	-0.4000	-0.0035	-0.4001	-0.0035
17.5	2.6863	-0.0674	2.6868	-0.0674
18	-0.4893	-0.0025	-0.4894	-0.0025



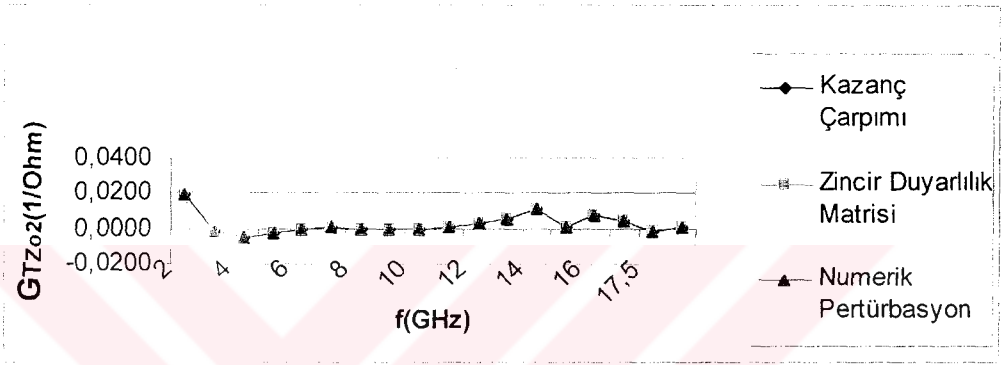
a1)



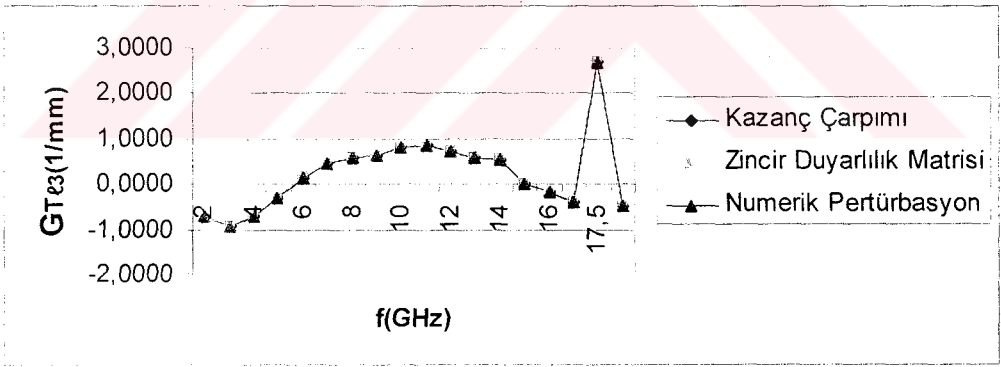
a2)



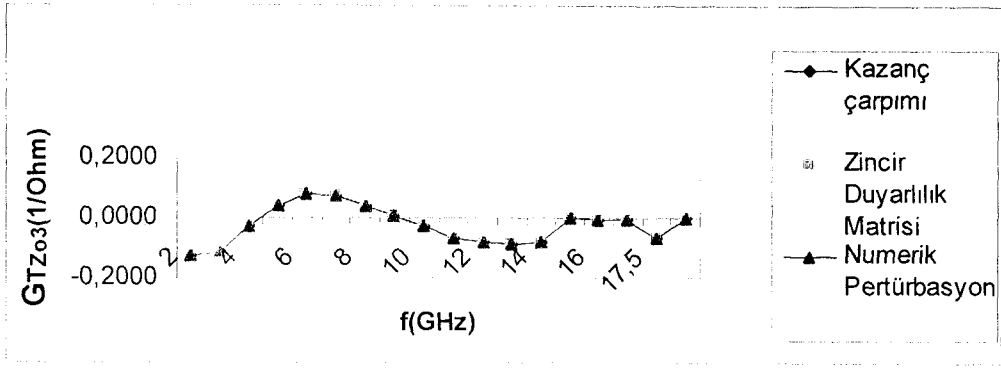
b1)



b2)



c1)



c2)

Şekil 5.17 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} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri

Çizelge 5.17 IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için
a) ℓ_4 , Z_{04} b) ℓ_5 , Z_{05} c) ℓ_6 , Z_{06} 'ya göre kazanç duyarlılığı değerleri

a)

Kazanç Çarpımı ve Zincir			Numerik Pertürbasyon	
f(GHz)	$GT_{\ell_4}(1/mm)$	$GT_{Z_{04}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_4}(1/mm)$	$GT_{Z_{04}}(1/Ohm)$
2	0.2116	-0.0285	0.2116	-0.0285
3	0.5216	-0.0794	0.5216	-0.0794
4	0.6163	-0.1074	0.6162	-0.1074
5	0.4864	-0.1091	0.4863	-0.1091
6	0.2418	-0.0995	0.2417	-0.0995
7	0.0269	-0.0769	0.0267	-0.0769
8	-0.1004	-0.0473	-0.1006	-0.0473
9	0.0178	-0.0154	0.0176	-0.0154
10	0.4628	0.0085	0.4626	0.0085
11	0.9850	0.0099	0.9848	0.0099
12	1.1528	-0.0070	1.1525	-0.0070
13	0.8926	-0.0223	0.8923	-0.0223
14	0.4341	-0.0223	0.4339	-0.0223
15	0.0164	-0.0008	0.0164	-0.0008
16	0.2990	-0.0150	0.2988	-0.0150
17	0.2683	-0.0238	0.2680	-0.0238
17.5	-0.5567	0.0001	-0.5542	0.0001
18	0.0581	-0.0254	0.0579	-0.0254

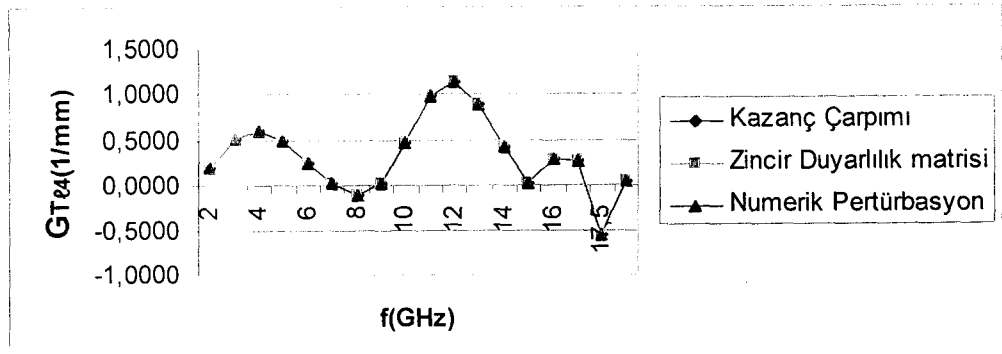
b)

Kazanç Çarpımı ve Zincir			Numerik Pertürbasyon	
f(GHz)	$GT_{\ell_5}(1/mm)$	$GT_{Z_{05}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_5}(1/mm)$	$GT_{Z_{05}}(1/Ohm)$
2	1.6402	0.0630	1.6403	0.0630
3	1.8821	0.0675	1.8822	0.0675
4	1.8332	0.0595	1.8333	0.0595
5	1.7496	0.0496	1.7496	0.0496
6	1.7474	0.0415	1.7474	0.0415

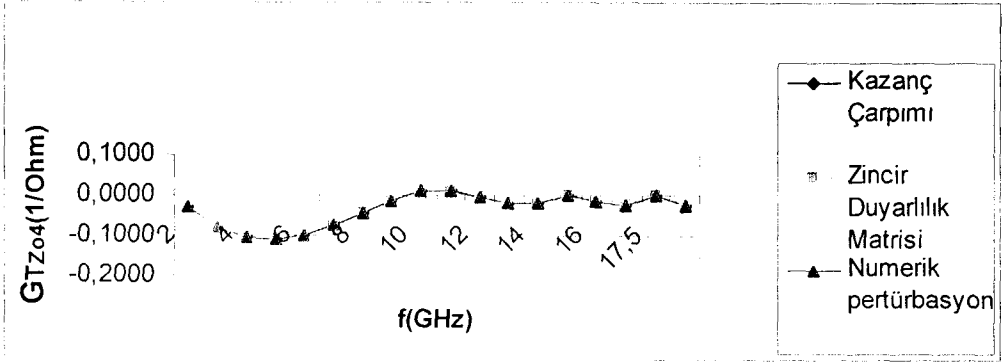
7	1.6236	0.0306	1.6237	0.0306
8	1.4408	0.0200	1.4408	0.0200
9	1.1279	0.0102	1.1279	0.0102
10	0.5651	0.0025	0.5651	0.0025
11	-0.0819	0.0000	-0.0819	0.0000
12	-0.5418	0.0016	-0.5418	0.0016
13	-0.6415	0.0036	-0.6415	0.0036
14	-0.4566	0.0034	-0.4566	0.0034
15	-0.0133	0.0001	-0.0133	0.0001
16	-0.2545	0.0022	-0.2544	0.0022
17	-0.4316	0.0036	-0.4314	0.0036
17.5	0.0293	-0.0002	0.0295	-0.0002
18	-0.5546	0.0041	-0.5542	0.0041

c)

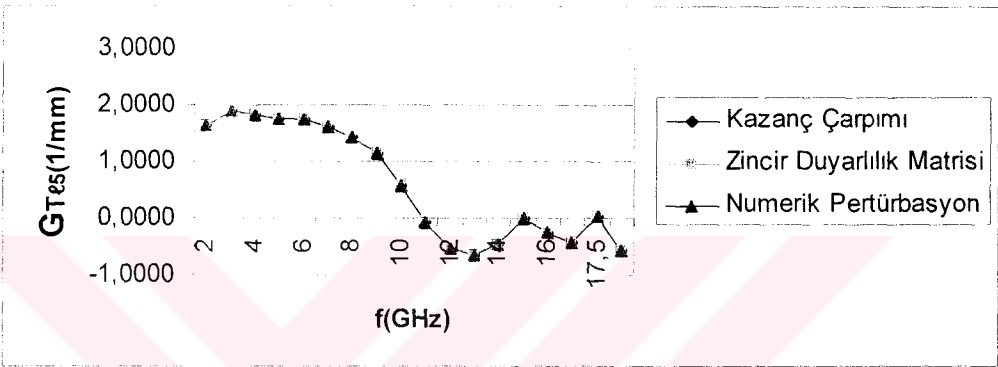
Kazanç Çarpımı ve Zincir			Numerik Pertürbasyon	
f(GHz)	GT _{t6} (1/mm)	GT _{Z06} (1/Ohm)	GT _{t6} (1/mm)	GT _{Z06} (1/Ohm)
2	-0.4012	-0.0723	-0.4012	-0.0723
3	-0.3696	-0.1049	-0.3696	-0.1049
4	-0.0618	-0.1077	-0.0619	-0.1077
5	0.2977	-0.1069	0.2976	-0.1069
6	0.6684	-0.1172	0.6682	-0.1172
7	0.9878	-0.1237	0.9876	-0.1237
8	1.2142	-0.1386	1.2140	-0.1386
9	1.3010	-0.1588	1.3008	-0.1588
10	1.0984	-0.1626	1.0982	-0.1626
11	0.6823	-0.1400	0.6821	-0.1400
12	0.2758	-0.0979	0.2755	-0.0979
13	0.0937	-0.0556	0.0935	-0.0556
14	0.0672	-0.0237	0.0670	-0.0237
15	0.0084	-0.0006	0.0084	-0.0006
16	0.2555	-0.0073	0.2554	-0.0073
17	0.5268	-0.0058	0.5265	-0.0058
17.5	-0.1356	0.0006	-0.1351	0.0006
18	0.7871	-0.0002	0.7868	-0.0002



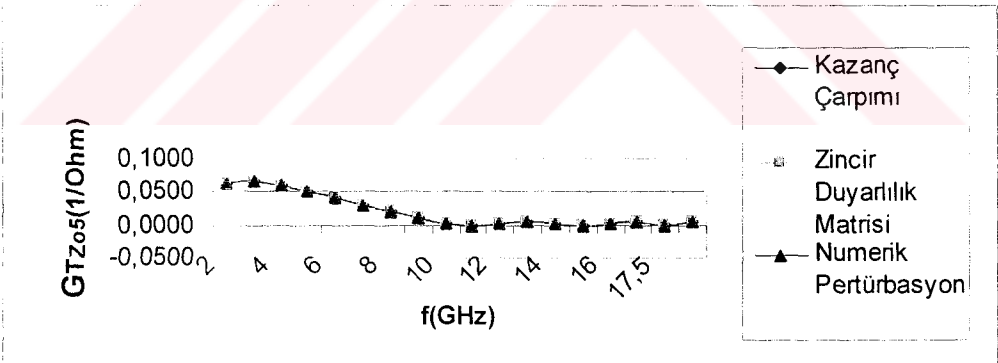
a1)



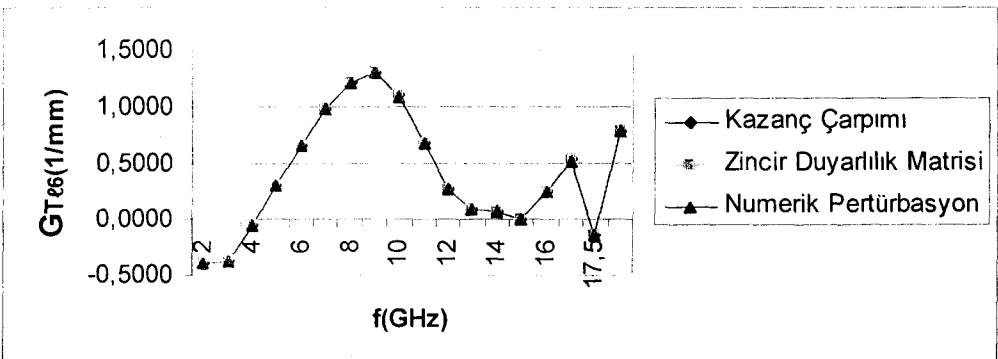
a2)



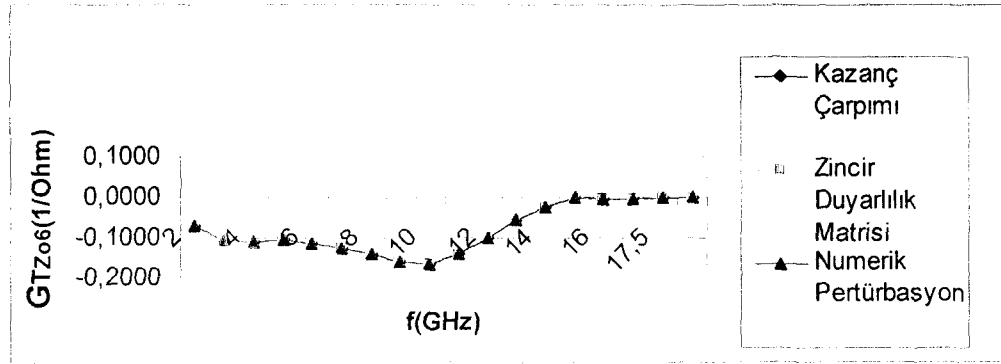
b1)



b2)



c1)



c2)

Şekil 5.18 IMC(T - Tipi) – Transistor(NE329S01) - OMC(T - Tipi) devresi için
a) 1) ℓ_4 , 2) Z_{04} ; b) 1) ℓ_5 , 2) Z_{05} ; c) 1) ℓ_6 , 2) Z_{06} 'ya göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri

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

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

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

Çizelge 5.18 IMC(Π - Tipi) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri

a)

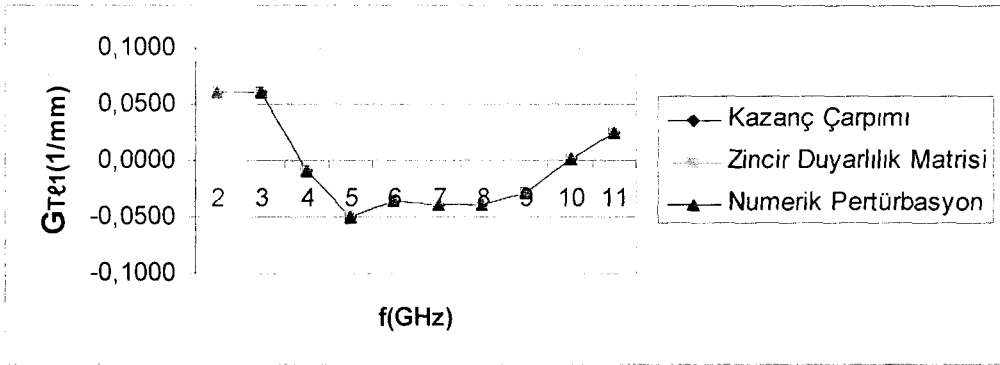
f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$	$GT_{\ell_1}(1/\text{mm})$	$GT_{Z_{01}}(1/\text{Ohm})$
2	0.0612	-0.0028	0.0614	-0.0028
3	0.0607	-0.0027	0.0608	-0.0027
4	-0.0094	0.0004	-0.0093	0.0004
5	-0.0495	0.0020	-0.0494	0.0020
6	-0.0353	0.0014	-0.0353	0.0014
7	-0.0392	0.0014	-0.0392	0.0014
8	-0.0399	0.0014	-0.0399	0.0014
9	-0.0285	0.0009	-0.0285	0.0009
10	0.0024	-0.0001	0.0024	-0.0001
11	0.0252	-0.0006	0.0252	-0.0006

b)

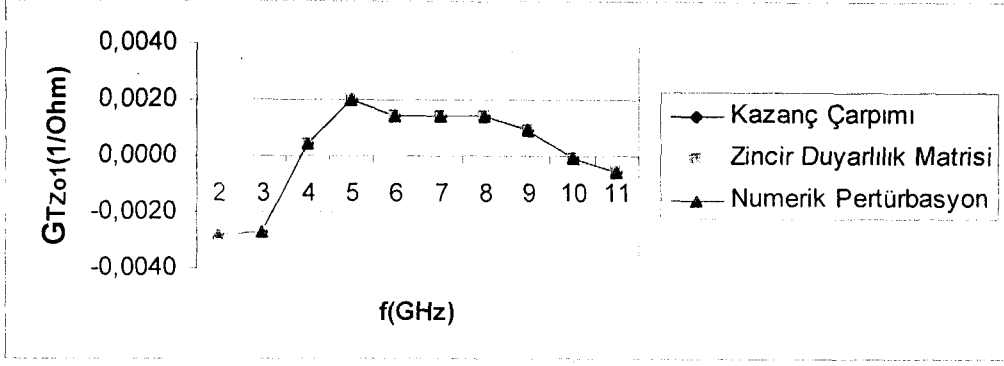
Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon		
f(GHz)	$GT_{l2}(1/mm)$	$GT_{Zo2}(1/Ohm)$	$GT_{l2}(1/mm)$	$GT_{Zo2}(1/Ohm)$
2	-0.0123	0.0036	-0.0121	0.0036
3	-0.0050	0.0039	-0.0049	0.0039
4	-0.0128	-0.0002	-0.0127	-0.0002
5	-0.0167	-0.0051	-0.0167	-0.0051
6	-0.0100	-0.0041	-0.0100	-0.0041
7	-0.0055	-0.0036	-0.0054	-0.0036
8	-0.0163	-0.0042	-0.0163	-0.0042
9	-0.0316	-0.0053	-0.0316	-0.0053
10	-0.0020	-0.0031	-0.0020	-0.0031
11	-0.0070	-0.0023	-0.0070	-0.0023

c)

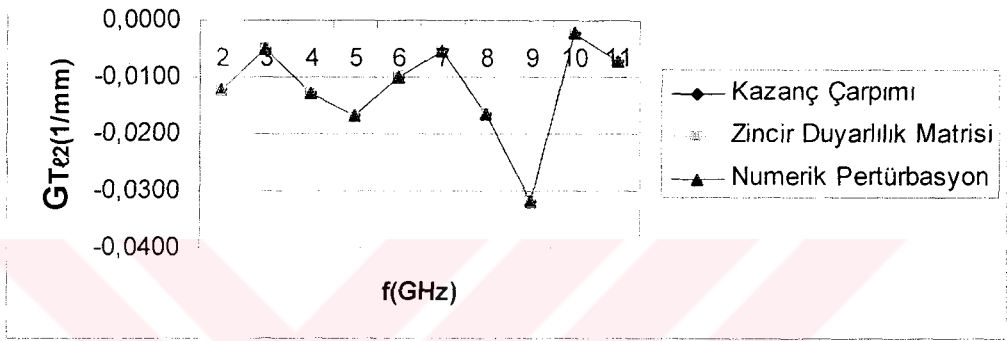
Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon		
f(GHz)	$GT_{l3}(1/mm)$	$GT_{Zo3}(1/Ohm)$	$GT_{l3}(1/mm)$	$GT_{Zo3}(1/Ohm)$
2	0.0149	0.0004	0.0160	0.0004
3	0.0188	0.0005	0.0191	0.0005
4	-0.0225	-0.0006	-0.0224	-0.0006
5	-0.0230	-0.0006	-0.0229	-0.0006
6	-0.0042	-0.0001	-0.0042	-0.0001
7	0.0082	0.0002	0.0082	0.0002
8	0.0077	0.0001	0.0077	0.0001
9	0.0046	0.0001	0.0046	0.0001
10	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000
11	-0.0013	0.0000	-0.0013	0.0000



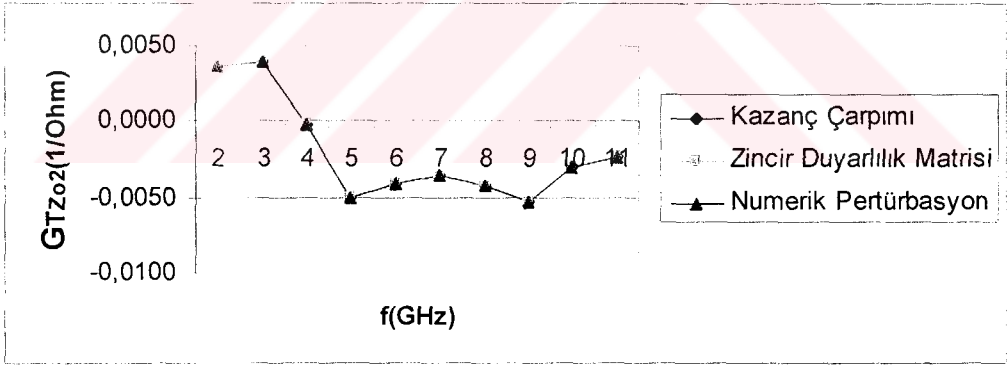
a1)



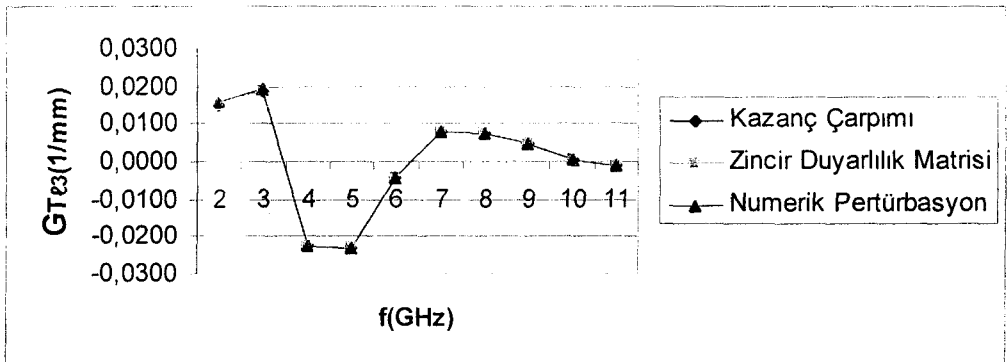
a2)



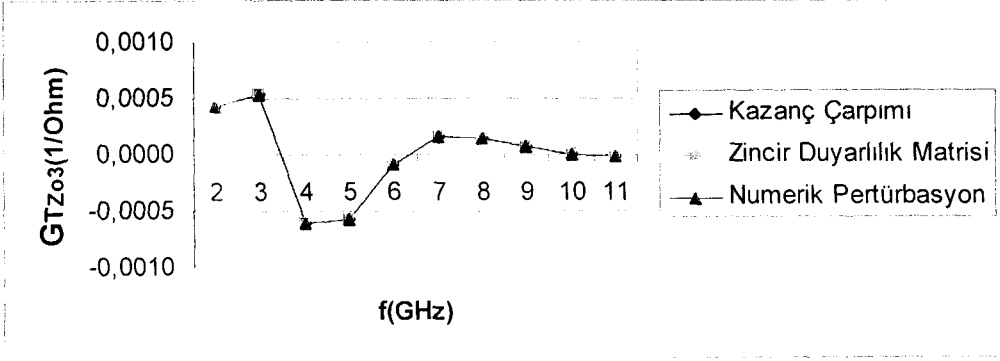
b1)



b2)



c1)



c2)

Şekil 5.19 IMC(Π- Tipi) devresi için a) 1)ℓ₁ 2)Z₀₁ b) 1)ℓ₂ 2)Z₀₂ c) 1)ℓ₃ 2)Z₀₃ 'e göre kazanç duyarlılığı frekans eğrileri

Çizelge 5.19 OMC(Π- Tipi) devresi için a)ℓ₄, Z₀₄ b)ℓ₅, Z₀₅ c)ℓ₆, Z₀₆ 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri

a)

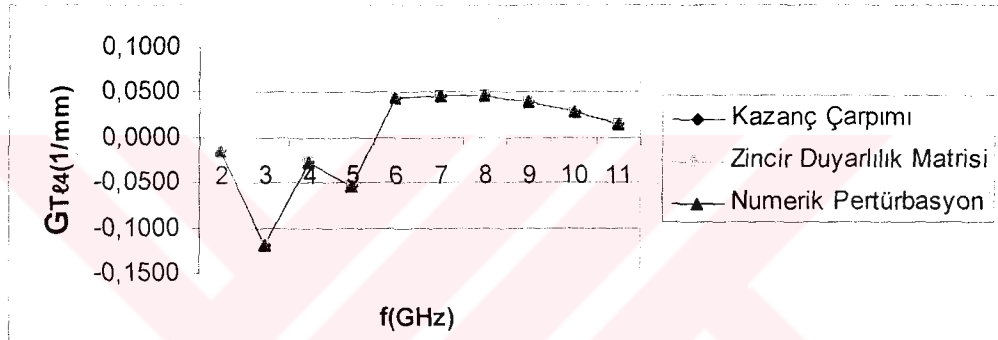
f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	GT _{ℓ4} (1/mm)	GT _{Z04} (1/Ohm)	GT _{ℓ4} (1/mm)	GT _{Z04} (1/Ohm)
2	-0.0147	0.0005	-0.0147	0.0005
3	-0.1184	0.0037	-0.1183	0.0037
4	-0.0272	0.0008	-0.0272	0.0008
5	-0.0531	0.0013	-0.0531	0.0013
6	0.0444	-0.0009	0.0444	-0.0009
7	0.0473	-0.0007	0.0473	-0.0007
8	0.0474	-0.0005	0.0474	-0.0005
9	0.0387	-0.0002	0.0387	-0.0002
10	0.0284	-0.0001	0.0284	-0.0001
11	0.0144	0.0000	0.0144	0.0000

b)

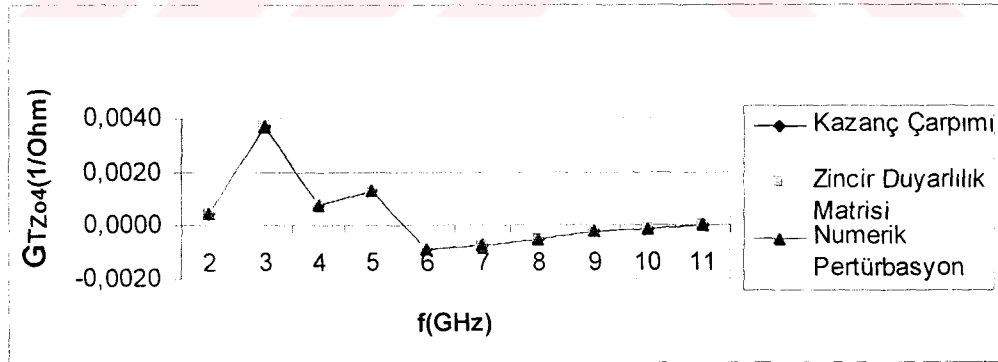
f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	GT _{ℓ5} (1/mm)	GT _{Z05} (1/Ohm)	GT _{ℓ5} (1/mm)	GT _{Z05} (1/Ohm)
2	0.0001	-0.0004	0.0001	-0.0004
3	-0.0484	0.0022	-0.0484	0.0022
4	-0.0180	0.0016	-0.0180	0.0016
5	-0.0362	0.0007	-0.0361	0.0007
6	0.0393	0.0007	0.0393	0.0007
7	0.0502	0.0003	0.0502	0.0003
8	0.0537	-0.0002	0.0537	-0.0002
9	0.0436	-0.0003	0.0436	-0.0003
10	-0.0168	-0.0012	-0.0168	-0.0012
11	-0.0454	-0.0003	-0.0454	-0.0003

c)

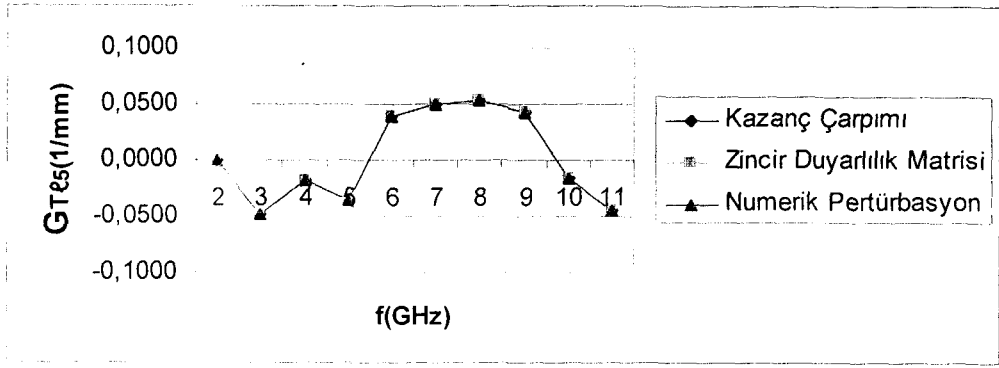
Kazanç Çarpımı ve Zincir			Numerik Pertürbasyon	
f(GHz)	$GT_{t6}(1/mm)$	$GT_{Zo6}(1/Ohm)$	$GT_{t6}(1/mm)$	$GT_{Zo6}(1/Ohm)$
2	-0.0052	0.0002	-0.0052	0.0002
3	0.0110	-0.0004	0.0110	-0.0004
4	0.0071	-0.0002	0.0071	-0.0002
5	0.0084	-0.0002	0.0084	-0.0002
6	-0.0071	0.0001	-0.0071	0.0001
7	-0.0090	0.0001	-0.0090	0.0001
8	-0.0092	0.0001	-0.0092	0.0001
9	-0.0066	0.0000	-0.0066	0.0000
10	0.0036	0.0000	0.0036	0.0000
11	0.0096	0.0001	0.0096	0.0001



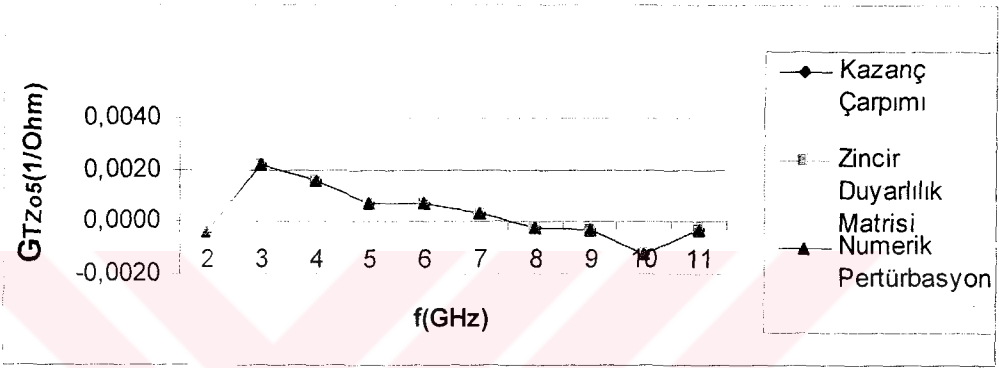
a1)



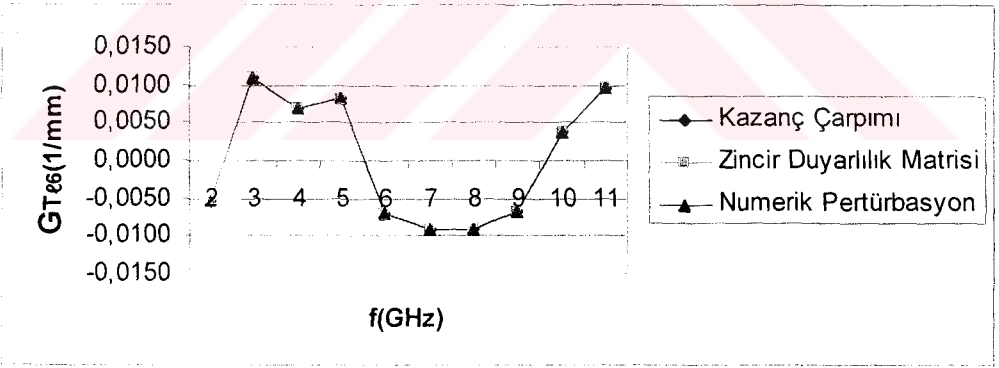
a2)



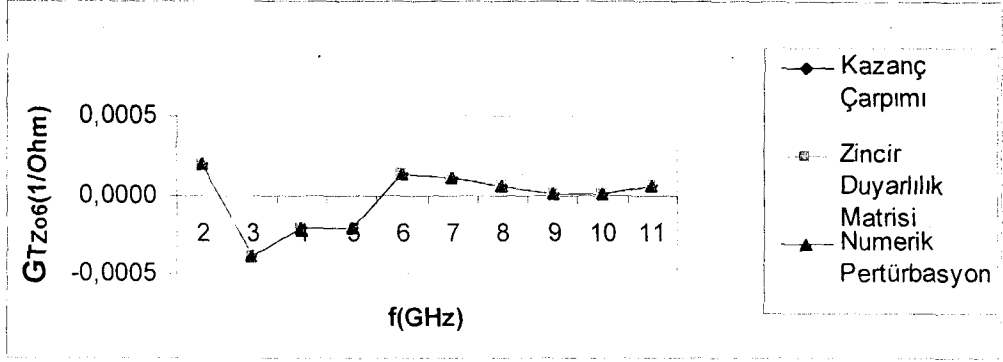
b1)



b2)



c1)



c2)

Şekil 5.20 OMC(II- Tipi) devresi için a) 1) ℓ_4 2) Z_{04} b) 1) ℓ_5 2) Z_{05} c) 1) ℓ_6 2) Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri

Çizelge 5.20 IMC(II- Tipi) –Transistor(NE329S01)-OMC(II) devresi için a) ℓ_1 , Z_{01} b) ℓ_2 , Z_{02} c) ℓ_3 , Z_{03} 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri

a)

f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_1}(1/mm)$	$GT_{Z_{01}}(1/Ohm)$
2	6.9679	-0.3149	6.9717	-0.3149
3	1.6313	-0.0721	1.6336	-0.0721
4	-0.1096	0.0047	-0.1084	0.0047
5	-0.6522	0.0268	-0.6514	0.0268
6	-0.8149	0.0317	-0.8143	0.0317
7	-0.9070	0.0331	-0.9065	0.0331
8	-0.9167	0.0311	-0.9161	0.0311
9	-0.5043	0.0156	-0.5038	0.0156
10	0.4051	-0.0113	0.4054	-0.0113
11	1.0077	-0.0250	1.0077	-0.0250
12	0.8794	-0.0189	0.8794	-0.0189
13	0.5417	-0.0099	0.5417	-0.0099
14	0.3565	-0.0053	0.3566	-0.0053
15	0.3233	-0.0038	0.3233	-0.0038
16	0.2611	-0.0022	0.2611	-0.0022
17	0.1727	-0.0010	0.1726	-0.0010
17.5	3.3181	0.0141	3.3142	0.0141
18	0.0373	-0.0001	0.0373	-0.0001

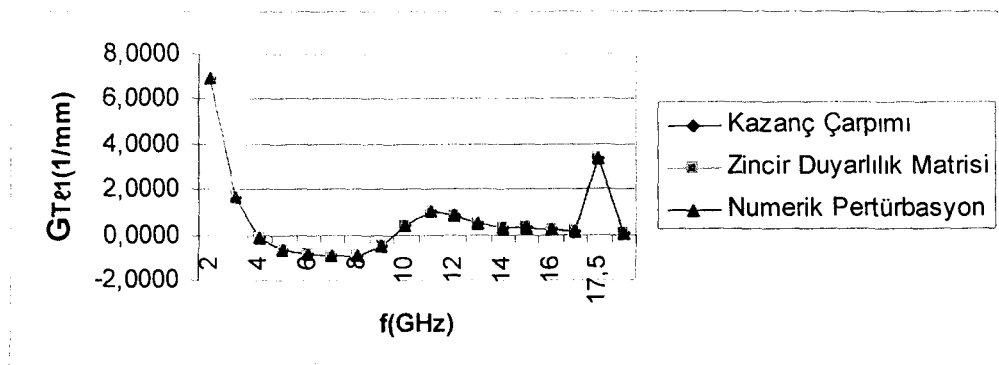
b)

f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_2}(1/mm)$	$GT_{Z_{02}}(1/Ohm)$
2	2.0835	-0.1208	2.0876	-0.1208
3	-0.1984	0.1104	-0.1968	0.1104
4	-0.3217	0.0039	-0.3210	0.0039
5	-0.2688	-0.0683	-0.2684	-0.0683
6	-0.3627	-0.1057	-0.3624	-0.1057
7	-0.3841	-0.1162	-0.3839	-0.1162

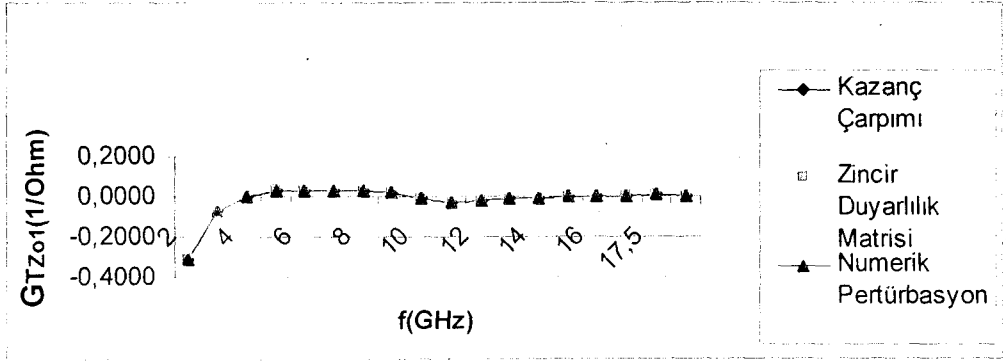
8	-0.7871	-0.1617	-0.7870	-0.1617
9	-1.2636	-0.2112	-1.2634	-0.2112
10	-1.0852	-0.1815	-1.0848	-0.1815
11	-0.3616	-0.1036	-0.3610	-0.1036
12	0.1158	-0.0457	0.1162	-0.0457
13	0.1973	-0.0181	0.1975	-0.0181
14	0.1158	-0.0061	0.1160	-0.0061
15	0.0226	0.0055	0.0227	0.0055
16	0.0054	0.0149	0.0055	0.0149
17	0.0110	0.0172	0.0110	0.0172
17.5	0.2024	-0.0164	0.2023	-0.0164
18	0.0010	0.0056	0.0010	0.0056

c)

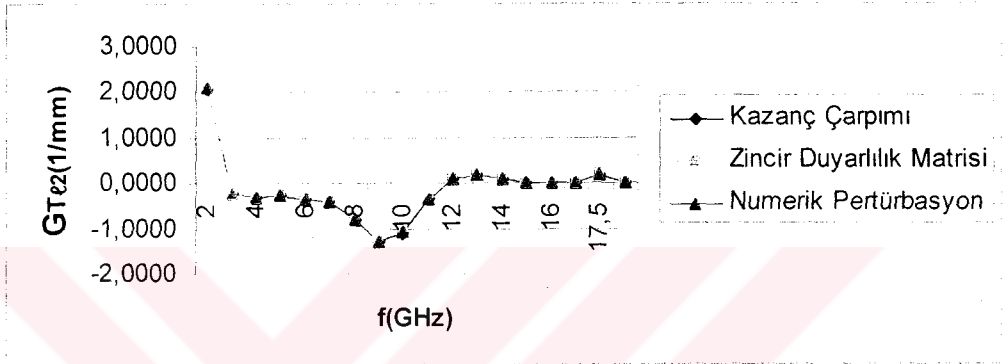
f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	$GT_{\Gamma 3}(1/mm)$	$GT_{Z03}(1/Ohm)$	$GT_{\Gamma 3}(1/mm)$	$GT_{Z03}(1/Ohm)$
2	8.5819	0.2506	8.6130	0.2506
3	0.3864	0.0109	0.3953	0.0109
4	-0.5363	-0.0143	-0.5340	-0.0143
5	-0.3666	-0.0091	-0.3659	-0.0091
6	-0.2317	-0.0053	-0.2314	-0.0053
7	0.0007	0.0000	0.0009	0.0000
8	-0.0040	-0.0001	-0.0039	-0.0001
9	-0.0398	-0.0006	-0.0397	-0.0006
10	-0.0523	-0.0006	-0.0523	-0.0006
11	-0.0356	-0.0003	-0.0356	-0.0003
12	0.0280	0.0002	0.0280	0.0002
13	0.0801	0.0003	0.0801	0.0003
14	0.1223	0.0002	0.1223	0.0002
15	0.1552	0.0000	0.1552	0.0000
16	0.1303	-0.0003	0.1303	-0.0003
17	0.0933	-0.0003	0.0933	-0.0003
17.5	0.1121	-0.0005	0.1121	-0.0005
18	0.0207	-0.0001	0.0207	-0.0001



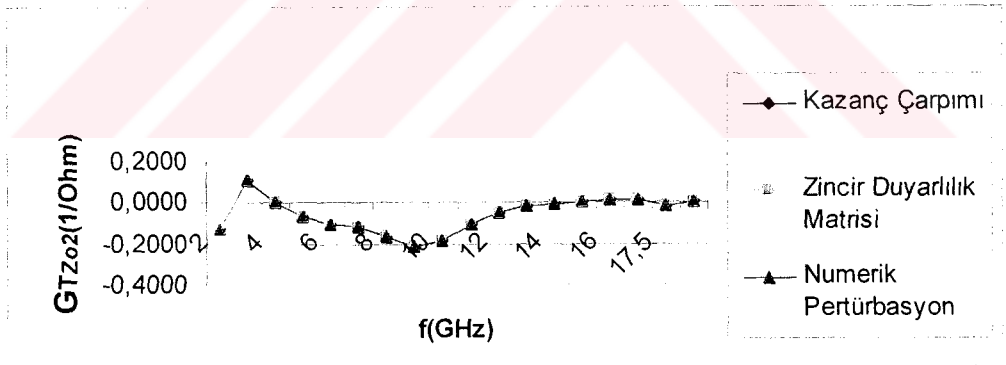
a1)



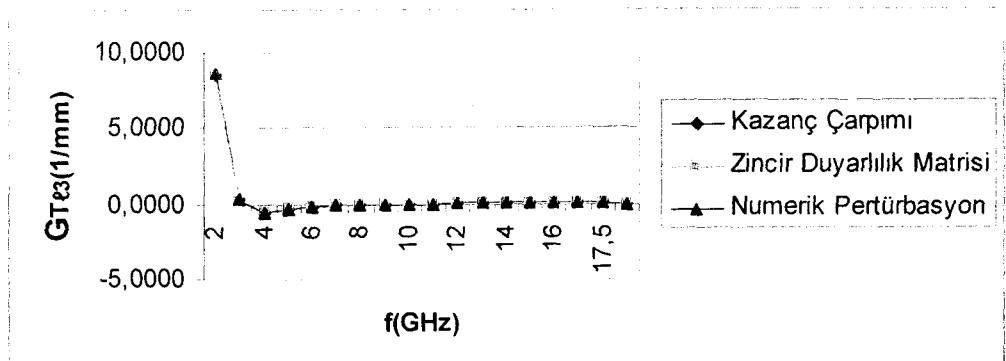
a2)



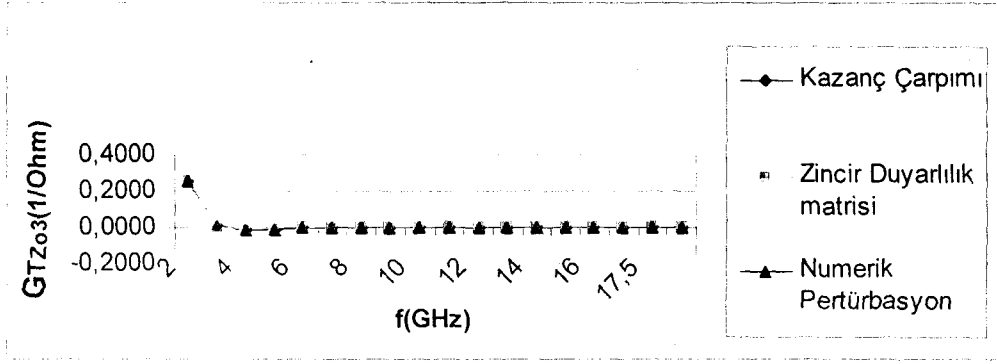
b1)



b2)



c1)



c2)

Şekil 5.21 IMC(II- Tipi) –Transistor(NE329S01)-OMC(II) 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 5.21 IMC(II- Tipi) –Transistor(NE329S01)-OMC(II) devresi için
a) ℓ_4 , Z_{04} b) ℓ_5 , Z_{05} c) ℓ_6 , Z_{06} 'e göre kazanç duyarlılığı değerleri

a)

f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	$GT_{\ell_4}(1/mm)$	$GT_{Z_{04}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_4}(1/mm)$	$GT_{Z_{04}}(1/Ohm)$
2	-2.6288	0.0878	-2.6287	0.0878
3	-2.1258	0.0658	-2.1257	0.0658
4	-1.5001	0.0415	-1.5000	0.0415
5	-1.1644	0.0277	-1.1643	0.0277
6	-1.0832	0.0211	-1.0831	0.0211
7	-0.8899	0.0133	-0.8898	0.0133
8	-0.6934	0.0072	-0.6933	0.0072
9	-0.4318	0.0026	-0.4318	0.0026
10	-0.2026	0.0004	-0.2026	0.0004
11	-0.1210	-0.0002	-0.1210	-0.0002
12	-0.1812	-0.0007	-0.1812	-0.0007
13	-0.1984	-0.0012	-0.1984	-0.0012
14	-0.0799	-0.0006	-0.0799	-0.0006
15	0.1820	0.0014	0.1821	0.0014
16	0.4816	0.0036	0.4818	0.0036
17	0.5877	0.0039	0.5879	0.0039
17.5	-0.0052	0.0000	-0.0052	0.0000
18	0.2156	0.0012	0.2157	0.0012

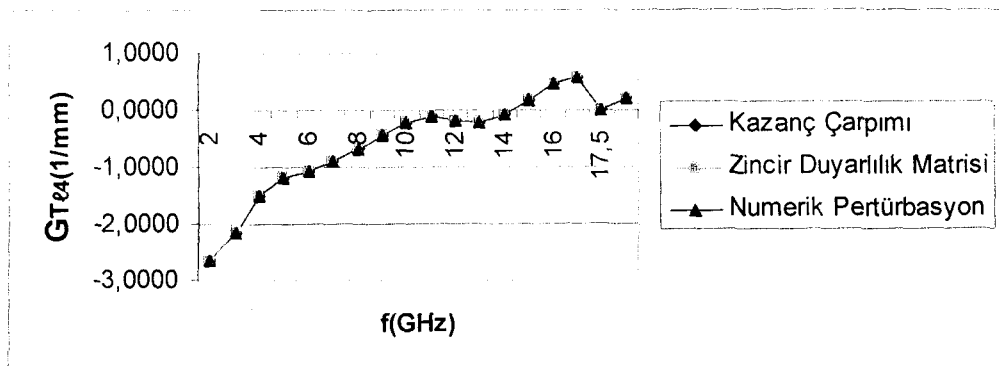
b)

f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	$GT_{\ell_5}(1/mm)$	$GT_{Z_{05}}(1/Ohm)$	$GT_{\ell_5}(1/mm)$	$GT_{Z_{05}}(1/Ohm)$
2	0.7455	-0.1912	0.7454	-0.1912
3	0.4982	-0.2562	0.4981	-0.2562
4	0.0115	-0.2621	0.0114	-0.2621
5	-0.5947	-0.2552	-0.5948	-0.2552
6	-1.4691	-0.2649	-1.4693	-0.2649
7	-2.3915	-0.2463	-2.3919	-0.2463

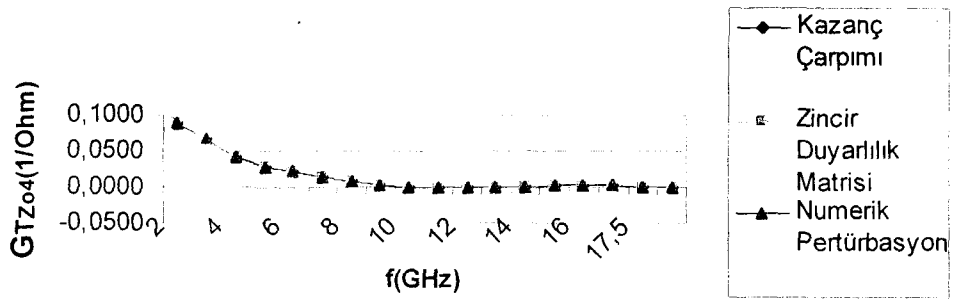
8	-3.3099	-0.2056	-3.3103	-0.2056
9	-3.7273	-0.1369	-3.7274	-0.1369
10	-2.8196	-0.0508	-2.8188	-0.0508
11	-0.3527	-0.0005	-0.3512	-0.0005
12	1.9909	-0.0178	1.9919	-0.0178
13	2.6871	-0.0549	2.6873	-0.0549
14	2.4903	-0.0762	2.4900	-0.0762
15	2.0179	-0.0786	2.0174	-0.0786
16	1.3586	-0.0622	1.3581	-0.0622
17	0.6058	-0.0330	0.6055	-0.0330
17.5	-0.0501	0.0002	-0.0501	0.0002
18	0.0495	-0.0058	0.0495	-0.0058

c)

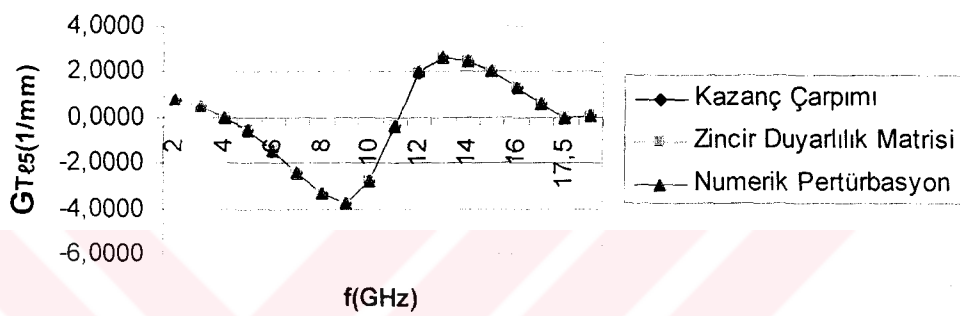
f(GHz)	Kazanç Çarpımı ve Zincir		Numerik Pertürbasyon	
	GT _{t6} (1/mm)	GT _{Z06} (1/Ohm)	GT _{t6} (1/mm)	GT _{Z06} (1/Ohm)
2	-1.8572	0.0712	-1.8571	0.0712
3	-1.2470	0.0433	-1.2469	0.0433
4	-0.6410	0.0192	-0.6409	0.0192
5	-0.2558	0.0063	-0.2558	0.0063
6	0.0178	-0.0003	0.0178	-0.0003
7	0.2450	-0.0031	0.2450	-0.0031
8	0.4310	-0.0029	0.4310	-0.0029
9	0.5165	-0.0008	0.5165	-0.0008
10	0.3848	0.0010	0.3848	0.0010
11	-0.0016	0.0000	-0.0016	0.0000
12	-0.3610	-0.0029	-0.3611	-0.0029
13	-0.4261	-0.0038	-0.4262	-0.0038
14	-0.2745	-0.0024	-0.2745	-0.0024
15	0.0871	0.0007	0.0874	0.0007
16	0.8146	0.0049	0.8156	0.0049
17	1.9304	0.0075	1.9324	0.0075
17.5	0.0054	0.0000	0.0054	0.0000
18	1.8872	0.0029	1.8863	0.0029



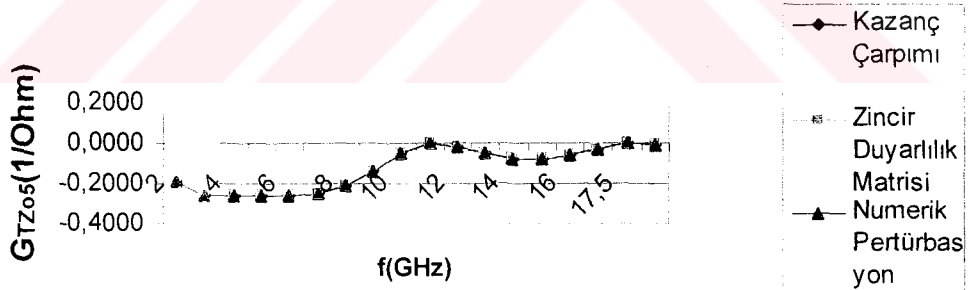
a1)



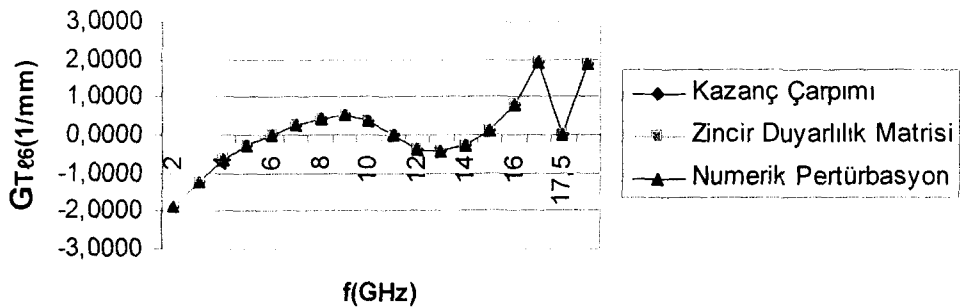
a2)



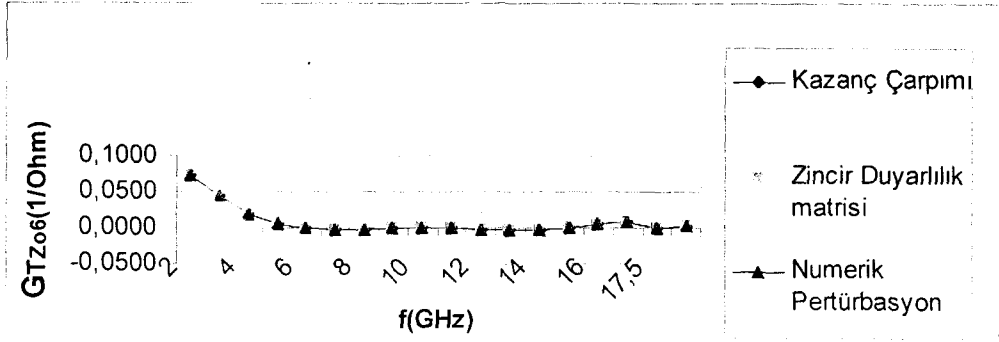
b1)



b2)

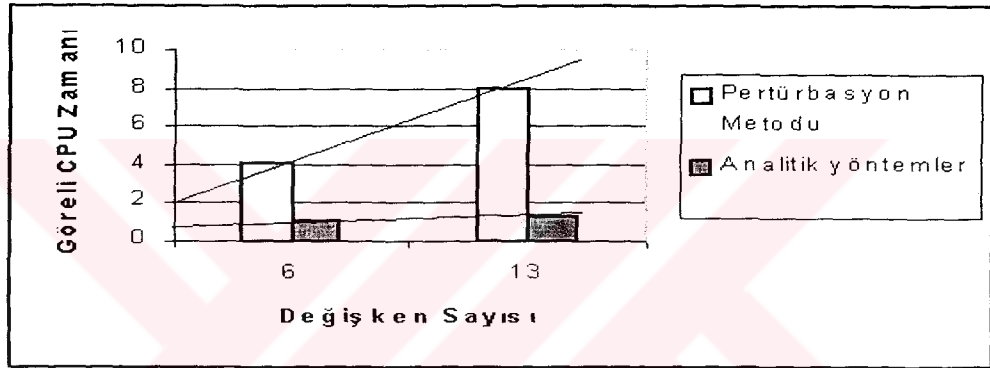


c1)



c2)

Şekil 5.22 IMC(Π-Tipi) –Transistor(NE329S01)-OMC(Π-Tipi) devresi için
a) 1) l_4 2) Z_{04} b) 1) l_5 2) Z_{05} c) 1) l_6 2) Z_{06} ' ya göre kazanç duyarlılığı – frekans eğrileri



Şekil 5.23 Analitik ve Pertürbasyon yaklaşımıyla gürültü duyarlılığını hesaplarırken, CPU zamanının değişken sayısına göre değişiminin karşılaştırılması (Paixao ve Jastrzebski, 1994)

5.2 Bilgisayar Programı

IMC(T-Tipi) –Transistor(NE329S01)-OMC(T-Tipi) devresinin duyarlılıklarının

kazanç çarpımları, zincir duyarlılık matrisi ve numerik pertürbasyon yaklaşımlarıyla

bulunmasını sağlayacak programlar örnek olarak verilmiştir.

5.2.1 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([l]*1e-2,ln(:,2)*1e9); % l cm. cinsinden ve frekans GHz cinsinden olduğu için 0.01 ve 1*10^9 ile çarpılıyor.

$$\text{Beta}=(2*\text{pi}./\text{Const}(3)).*(\text{ln}(:,2).*1\text{e}9);$$

% Duyarlılık Hesaplanması

for n=1:18

$$E1=[\cos(\text{Theta}(n,1)),i.*Z_0(1).*\sin(\text{Theta}(n,1));i.*\sin(\text{Theta}(n,1))./Z_0(1),\cos(\text{Theta}(n,1))];$$

$$E3=[\cos(\text{Theta}(n,3)),i.*Z_0(3).*\sin(\text{Theta}(n,3));i.*\sin(\text{Theta}(n,3))./Z_0(3),\cos(\text{Theta}(n,3))];$$

$$E4=[\cos(\text{Theta}(n,4)),i.*Z_0(4).*\sin(\text{Theta}(n,4));i.*\sin(\text{Theta}(n,4))./Z_0(4),\cos(\text{Theta}(n,4))];$$

$$E6=[\cos(\text{Theta}(n,6)),i.*Z_0(6).*\sin(\text{Theta}(n,6));i.*\sin(\text{Theta}(n,6))./Z_0(6),\cos(\text{Theta}(n,6))];$$

$$E2=[1,0;-i./(Z_0(2).*\tan(\text{Theta}(n,2))),1];$$

$$E5=[1,0;-i./(Z_0(5).*\tan(\text{Theta}(n,5))),1];$$

$$Ea=E1*E2;$$

$$Eb=Ea*E3;$$

$$Ec=Eb*[A(n),B(n);C(n),D(n)];$$

$$Ed=Ec*E4;$$

$$Ee=Ed*E5;$$

$$Ef=E5*E6;$$

$$Eg=E4*Ef;$$

$$Eh=[A(n),B(n);C(n),D(n)]*Eg;$$

$$Eq=E3*Eh;$$

$$Ek=E2*Eq;$$

$$A1=E1;$$

$$A2=E2;$$

$$A3=E3;$$

$$A4=[A(n),B(n);C(n),D(n)];$$

$$A5=E4;$$

$$A6=E5;$$

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;

GTI1(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;
GTI2(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;
```

```
GTI3(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=real(Zl6);
Xl6=imag(Zl6);
Rsd=real(Zsd);
Xsd=imag(Zsd);
T1d=(abs(Zl6).^2)+(abs(Zsd).^2)+2.*(Rsd*Rl6+Xsd.*Xl6);
T2d=(abs(Zl6).^2).*(abs(Zsd).^2);
T3d=Xsd.*(abs(Zl6).^2)+Xl6.*(abs(Zsd).^2);
Pd=T1d+(1/(Zo(5).*tan(Theta(n,5)))).*(T2d/(Zo(5).*tan(Theta(n,5)))+2.*T3d);
Ga5=[real(Zs_const)]./[abs(Ed(1,1)+
Zs_const).^2.*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(Theta(n,5)))].*[T2d/(Zo(5)
.*tan(Theta(n,5)))+T3d]*Ga5.*Gp5;
GTl5(n,1)=[4.*Rsd.*Rl6.*2*Beta(n)/(Pd.^2.*Zo(5).*sin(Theta(n,5)).^2)].*[T2d/(Zo(5).*tan(
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=real(Zl);
Xl=imag(Zl);
Rse=real(Zse);

```

```

Xse=imag(Zse);
S1e=(abs(Zl).^2)+(abs(Zse).^2)+2.*(Rse.*Rl+Xse.*Xl);
S2e=(abs(Zl).^2)*(abs(Zse).^2);
S3e=4.*Xse.*Xl+(abs(Zl).^2)+(abs(Zse).^2);
S4e=Xl+Xse;
S5e=Xse.*(abs(Zl).^2)+Xl.*(abs(Zse).^2);
Pe=S1e+(S2e/Zo(6).^2+Zo(6).^2-S3e).*(sin(Theta(n,6))).^2+(Zo(6).*S4e-
S5e/Zo(6)).*sin(2.*Theta(n,6)));
Ga6=[real(Zs_const)]./[abs(Ee(1,1)+Ee(2,1)).^2.*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);

```

5.2.2 Zincir Duyarlılık Matrisi 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=50;
Rs=real(Zs);

```

Zl=50;

Rl=real(Zl);

% 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;

% S Parametrelerinin hesaplanması

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

S = S(:,1:4);

% 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([l]*1e-2,ln(:,2)*1e9); % l cm. cinsinden ve frekans GHz cinsinden olduğu için 0.01 ve 1*10^9 ile çarpılıyor.

Beta=(2.*pi./Const(3))*(ln(:,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];
E=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*E6;
```

```
El1=[-Beta(n).*sin(Theta(n,1)),i.*Beta(n).*cos(Theta(n,1));(i.*Beta(n).*cos(Theta(n,1)))
./Zo(1),+Beta(n).*sin(Theta(n,1))]*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*E6;
EZo1=[0,i.*sin(Theta(n,1));+i.*sin(Theta(n,1))./(Zo(1).^2),0]*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*
E4*E5*E6;
El2=E1*[0,0;i.*Beta(n)./(Zo(2).*sin(Theta(n,2)).^2),0]*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*E
6;
EZo2=E1*[0,0;i./(Zo(2).^2.*tan(Theta(n,2))),0]*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*E6;
El3=E1*E2*[-Beta(n).*sin(Theta(n,3)),i.*Beta(n).*
cos(Theta(n,3));(i.*Beta(n).*cos(Theta(n,3)))./Zo(3),-
Beta(n)./sin(Theta(n,3))]*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*E6;
EZo3=E1*E2*[0,i.*sin(Theta(n,3));-
i.*sin(Theta(n,3))./(Zo(3).^2),0]*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*E6;
El4=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*[-
Beta(n).*cos(Theta(n,4)),i.*Beta(n).*Zo(4).*cos(Theta(n,4));(i.*Beta(n).*cos(Theta(n,4)))./Zo
(4),-Beta(n).*sin(Theta(n,4))]*E5*E6;
EZo4=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*[0,i.*sin(Theta(n,4));-
i.*sin(Theta(n,4))./(Zo(4).^2),0]*E5*E6;
El5=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*[0,0;i.*Beta(n)./(Zo(5).*sin(Theta(n,5)).^2),0]*E
6;
EZo5=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*[0,0;i./(Zo(5).^2.*tan(Theta(n,5))),0]*E6;
El6=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*[-
Beta(n).*sin(Theta(n,6)),i.*Beta(n).*Zo(6).*cos(Theta(n,6));(i.*Beta(n).*cos(Theta(n,6)))./Zo
(6),-Beta(n).*sin(Theta(n,6))];
```

EZo6=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*[0,i.*sin(Theta(n,6));-
i.*sin(Theta(n,6))./(Zo(6).^2),0];

%1. kat

P=abs(E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)]).^2;

GTl1(n,1)=-

[4.*Rs.*Rl./(P.^2)].*[[El1(1,1).*Zl+El1(1,2)+Zs.*(El1(2,1).*Zl+El1(2,2))].*[conj(E(1,1).*Zl
+E(1,2)+Zs.*[
Zl+E(2,2)])]+[conj(El1(1,1).*Zl+El1(1,2)+Zs.*(El1(2,1)./Zl+El1(2,2)))].*[E(1,1).*Zl+E(1,2)
+Zs.*[E(2,1)./Zl+E(2,2)]]];

GTZo1(n,1)=-

[4.*Rs.*Rl].*[[EZo1(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*(EZo1(2,1).*Zl+EZo1(2,2))].*[conj(E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)])]+[conj(EZo1(1,1).*Zl+EZo1(1,2)+Zs.*(EZo1(2,1).*Zl+EZo1(2,2)))].*[E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)]]];

%2.kat

GTl2(n,1)=-

[4.*Rs.*Rl./(P.^2)].*[[El2(1,1).*Zl+El2(1,2)+Zs.*(El2(2,1).*Zl+El2(2,2))].*[conj(E(1,1).*Zl
+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)])]+[conj(El2(1,1).*Zl+El2(1,2)+Zs.*(El2(2,1).*Zl+El2(2,2))
)].*[E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)]]];

GTZo2(n,1)=-

[4.*Rs.*Rl./(P.^2)].*[[EZo2(1,1).*Zl+EZo2(1,2)+Zs.*(EZo2(2,1).*Zl+EZo2(2,2))].*[conj(E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)])]+[conj(EZo2(1,1).*Zl+EZo2(1,2)+Zs.*(EZo2(2,1)
)].*[E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)]]];

%3.kat

GTl3(n,1)=-

[4.*Rs.*Rl./(P.^2)].*[[El3(1,1).*Zl+El3(1,2)+Zs.*(El3(2,1).*Zl+El3(2,2))].*[conj(E(1,1).*Zl
+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)])]+[-
(El3(1,1).*Zl+El3(1,2)+Zs.*(El3(2,1).*Zl+El3(2,2)))].*[E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+
E(2,2)]]];

GTZo3(n,1)=-[4.*Rs.*Rl./(P.^2)].*[[+EZo3(1,2)+Zs.*(EZo3(2,1).

Zl+EZo3(2,2))].[conj(E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)])]+[conj(EZo3(1,1).*Zl+
E(1,2)+Zs.*Zl+EZo3(2,2))].*[E(1,1).*Zl+E(1,2)+Zs.*[E(2,1).*Zl+E(2,2)]]];

%4.kat

GTl4(n,1)=-

$[4 \cdot R_s \cdot R_l / (P \cdot ^2)] \cdot [[E_{l4}(1,1) \cdot Z_l + E_{l4}(1,2) + Z_s \cdot (E_{l4}(2,1) \cdot Z_l + E_{l4}(2,2))] \cdot [\text{conj}(E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [Z_l + E(2,2)])] + [\text{conj}(E_{l4}(1,1) \cdot Z_l + E_{l4}(1,2) + Z_s \cdot (E_{l4}(2,1) \cdot Z_l + E_{l4}(2,2)))] \cdot [E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [Z_l + E(2,2)]]];$

GTZo4(n,1)=-

$[4 \cdot R_s \cdot R_l / (P \cdot ^2)] \cdot [[E_{Zo4}(1,1) \cdot Z_l + E_{Zo4}(1,2) + Z_s \cdot (E_{Zo4}(2,1) \cdot Z_l + E_{Zo4}(2,2))] \cdot [\text{conj}(E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)])] + [\text{conj}(E_{Zo4}(1,1) \cdot Z_l + E_{Zo4}(1,2) + Z_s \cdot (E_{Zo4}(2,1) \cdot Z_l +))] \cdot [E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)]]];$

%5.kat

GTl5(n,1)=-

$[4 \cdot R_s \cdot R_l / (P \cdot ^2)] \cdot [[E_{l5}(1,1) \cdot Z_l + E_{l5}(1,2) + Z_s \cdot (E_{l5}(2,1) \cdot Z_l + E_{l5}(2,2))] \cdot [\text{conj}(E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)])] + [\text{conj}(E_{l5}(1,1) \cdot Z_l + E_{l5}(1,2) + Z_s \cdot (E_{l5}(2,1) \cdot Z_l + E_{l5}(2,2)))]];$

GTZo5(n,1)=-

$[4 \cdot R_s \cdot R_l / (P \cdot ^2)] \cdot [[E_{Zo5}(1,1) \cdot Z_l + E_{Zo5}(1,2) + Z_s \cdot (E_{Zo5}(2,1) \cdot Z_l + E_{Zo5}(2,2))] \cdot [\text{conj}(E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)])] + [\text{conj}(E_{Zo5}(1,1) \cdot Z_l + E_{Zo5}(1,2) + Z_s \cdot (E_{Zo5}(2,1) \cdot Z_l +))] \cdot [E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)]]];$

%6.kat

GTl6(n,1)=-

$[4 \cdot R_s \cdot R_l / (P \cdot ^2)] \cdot [[E_{l6}(1,1) \cdot Z_l + E_{l6}(1,2) + Z_s \cdot (E_{l6}(2,1) \cdot Z_l + E_{l6}(2,2))] \cdot [\text{conj}(E(1,1) \cdot Z_l + [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)])] + [\text{conj}(E_{l6}(1,1) \cdot Z_l + E_{l6}(1,2) + Z_s \cdot (E_{l6}(2,1) \cdot Z_l + E_{l6}(2,2)))] \cdot [E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)]]];$

GTZo6(n,1)=- $[4 \cdot R_s \cdot R_l / (P \cdot ^2)] \cdot [[Z_l + E_{Zo6}(1,2) + Z_s \cdot (E_{Zo6}(2,1) \cdot Z_l + E_{Zo6}(2,2))] \cdot [\text{conj}(E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)])] + [\text{conj}(E_{Zo6}(1,1) \cdot Z_l + E_{Zo6}(1,2) + Z_s \cdot (E_{Zo6}(2,1) \cdot Z_l + E_{Zo6}(2,2)))] \cdot [E(1,1) \cdot Z_l + E(1,2) + Z_s \cdot [E(2,1) \cdot Z_l + E(2,2)]]];$

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);
```

5.2.3 Numerik Pertürbasyon Yaklaşımı

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

```
% Kaynak ve Yük Empedansları
```

```
Zs_const=50;
```

```
Rs_const=real(Zs_const);
```

```
Zl_const=50;
```

```
Rl_const=real(Zl_const);
```

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

```
h=0.0001;
```

```
lo=180.88537960005533:h:180.88547960005533;
```

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

```
z1=36.310161516996139;
```

```
%z2=180.88547960005533;
```

```
z3=53.040858817204942;
```

```
z4=129.00600743174357;
```

```
z5=166.34671619271171;
```

```
z6=94.108668574893557;
```

```
z2=lo(k);
```

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

```
l(2)=14.008912065162144;
```

```
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);

% ABCD Parametrelerinin Hesabi

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)));

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

E1=[cos(Theta(n,1)),i.*z1.*sin(Theta(n,1));i.*sin(Theta(n,1))./z1,cos(Theta(n,1))];

E3=[cos(Theta(n,3)),i.*z3.*sin(Theta(n,3));i.*sin(Theta(n,3))./z3,cos(Theta(n,3))];

E4=[cos(Theta(n,4)),i.*z4.*sin(Theta(n,4));i.*sin(Theta(n,4))./z4,cos(Theta(n,4))];

E6=[cos(Theta(n,6)),i.*z6.*sin(Theta(n,6));i.*sin(Theta(n,6))./z6,cos(Theta(n,6))];

E2=[1,0;-i./(z2.*tan(Theta(n,2))),1];

E5=[1,0;-i./(z5.*tan(Theta(n,5))),1];

M=E1*E2*E3*[A(n),B(n);C(n),D(n)]*E4*E5*E6;

Gt(k,1)=4*Rs_const*Rl_const/(

abs(M(1,1).*Zl_const+M(1,2)+Zs_const*(M(2,1).*Zl_const+M(2,2))).^2);

end

%display(Gt);

GtD(n,1)=diff(Gt)/h;

end

display(GtD);

plot(In(:,2),GtD,'kx'),grid;

6. SONUÇLAR

Günümüz insanı gelişen teknolojiyi de arkasına alarak herşeyin en hızlı ve en mükemmelini istemektedir, bu isteği karşılamak için bilimde günden güne optimizasyona daha da önem vermekte, hatayı minimize edip daha hassas tasarımlar yapmaya çalışmaktadır.

Bu bağlamda, bir mikrodalga kuvvetlendiricisi tasarımı, günümüzde haberleşme mühendisliğinin önemli bir ilgi odağıdır. Bu tasarım, genellikle kazanç (G_T), giriş VSWR (V_1) ve gürültü (F) gibi devre performans fonksiyonlarının uydurma devre parametrelerine göre optimizasyonunu gerektirir. Günümüzde optimizasyon yaklaşımları “gradyant” temelli ve “sezgisel” olmak üzere iki kategoride toplanabilir. Analitik fonksiyonlar ile beslenen ‘Gradyant’ yaklaşımları, kesin, hızlı ve tekrarlanabilir yaklaşımlardır.

Bu çalışmada genel olarak, kazancın basit bir yaklaşım ile bir pasif devre parametrelerine (hat uzunluk ve karakteristik empedansları) göre ‘duyarlılıkları’ teşkil edilerek bilgisayar ile kolaylıkla hesaplanacak analitik ifadeler elde edilmiştir. Bu fonksiyonlar optimizasyonda hedeflere hızlı yaklaşmayı sağlayarak çözüme ulaşılmasını sağlamışlardır. Çalışmada üç ayrı ‘Gradyant’ yaklaşımı kullanılmıştır. İlk iki çalışma analitik türevi, üçüncüsü ise numerik türevi temel almıştır. Bu yaklaşımların bilgisayar yardımıyla elde edilen sonuçlarını inceleyecek olursak, kullandığımız Z_S, Z_L sonlandırmaları için duyarlılıkların çok düşük olduğu görülür, ayrıca sonuçları karşılaştırdığımızda ilk iki yaklaşımın tamamen örtüştüğü, numerik pertürbasyon yaklaşımının ise bunlardan çok az farklı olduğu hatta nerdeyse üçünün tamamen örtüştüğü görülebilir. Ayrıca ileriye yönelik başka çalışmalara ufuk vermesi açısından bu çalışma, giriş VSWR, çıkış VSWR ve gürültü performans bileşenlerini içerecek biçimde genişletilebilir.

Duyarlılık fonksiyonları, tolerans analizinin de temel fonksiyonlarıdır. Bilgisayarla, doğruluk derecesinin çok sayıda ondalık basamaklara kadar elde edilebildiği günümüzde, performans ölçü fonksiyonlarının devre parametrelerine göre duyarlılıklarının tespit edilip frekansa göre değişimlerinin tayin edilmesi çok önemlidir. Böylece bu fonksiyonlar kullanılarak, devre konfigürasyonu ve tasarımı yeniden gözden geçirilip devre üretim kalitesi optimize edilebilir.

EKLER

EK1

a) Uygun Z_S ve Z_L ile Sonlandırılmış Bir Seri - Hattın Hat Parametreleri ℓ, Z_0 ' a Göre Duyarlılık Formüllerinin Çıkarılması:

$$G_T = \frac{4R_S R_L}{P} \text{ (Kazancın en genel hali ile ifadesidir.)} \quad (1)$$

$$[E_S] = \begin{bmatrix} \cos \beta \ell & jZ_0 \sin \beta \ell \\ \frac{j \sin \beta \ell}{Z_0} & \cos \beta \ell \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$P = |AZ_L + B + Z_S(CZ_L + D)|^2 \quad (3)$$

bu ifadeyi aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$P = (AZ_L + B + Z_S(CZ_L + D))(AZ_L + B + Z_S(CZ_L + D))^* \quad (4)$$

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (5)$$

$$Z_S = R_S + jX_S \quad (6)$$

Seri - Hat için ABCD parametrelerini (2), (4)' te yerine koyarsak

$$\begin{aligned} P = & (1 - \sin^2 \beta \ell) |Z_L|^2 - j Z_L Z_0 \frac{\sin 2\beta \ell}{2} - j Z_L^2 Z_S^* \frac{\sin 2\beta \ell}{2 Z_0} + Z_L Z_S^* (1 - \sin^2 \beta \ell) \quad (7) \\ & + j Z_L^* Z_0 \frac{\sin 2\beta \ell}{2} + Z_0^2 \sin^2 \beta \ell + Z_S^* Z_L^* \sin^2 \beta \ell + j Z_S^* Z_0 \frac{\sin 2\beta \ell}{2} \\ & + j Z_S Z_L^2 \frac{\sin 2\beta \ell}{2 Z_0} + Z_S Z_L \sin^2 \beta \ell + |Z_S|^2 |Z_L|^2 \frac{\sin^2 \beta \ell}{Z_0^2} + j |Z_S|^2 Z_L \frac{\sin 2\beta \ell}{2 Z_0} \\ & + j (1 - \sin^2 \beta \ell) Z_S Z_L^* - \frac{j Z_0 Z_S \sin 2\beta \ell}{2} - \frac{j |Z_S|^2 Z_L^* \sin 2\beta \ell}{2 Z_0} + (1 - \sin^2 \beta \ell) |Z_S|^2 \end{aligned}$$

uygun parantezlere alırsak,

$$\begin{aligned}
P = \sin^2 \beta \ell & \left(-|Z_L|^2 - Z_L Z_S^* + Z_0^2 + Z_L^* Z_S^* + Z_L Z_S + \frac{|Z_L|^2 |Z_S|^2}{Z_0^2} - Z_S Z_L^* - Z_S^2 \right) \quad (8) \\
& + \sin 2\beta \ell \left\{ \left(-\frac{jZ_0 Z_L}{2} - \frac{jZ_L^2 Z_S^*}{2Z_0} + \frac{jZ_0 Z_L^*}{2} + \frac{jZ_0 Z_S^*}{2} + \frac{jZ_S |Z_L|^2}{2Z_0} \right) \right. \\
& \left. + \left(\frac{jZ_S^2 Z_L}{2Z_0} - \frac{jZ_0 Z_S}{2} - \frac{j|Z_S|^2 Z_L^*}{2Z_0} \right) \right\} + \left(|Z_L|^2 + Z_L Z_S^* + Z_S Z_L^* + |Z_L|^2 \right)
\end{aligned}$$

(5), (6) 'yı (8)' de yerine koyarsak;

$$P = \sin^2 \beta \ell \left(-|Z_L|^2 - |Z_S|^2 + Z_0^2 + \frac{|Z_S|^2 |Z_L|^2}{Z_0^2} - 4X_S X_L \right) + \quad (9)$$

$$\sin 2\beta \ell \left(Z_0 (X_S + X_L) - \frac{|Z_L|^2 X_S + |Z_S|^2 X_L}{Z_0} \right) + |Z_L|^2 + |Z_S|^2 + 2(R_S R_L + X_S X_L)$$

$$P = S_1 + \left(\frac{S_2}{Z_0} + (Z_0^2 - S_3) \sin 2\beta \ell + (Z_0 S_4 - S_5 Z_1) \sin 2\beta \ell \right) \quad (10)$$

$$S_1 = |Z_L|^2 + |Z_S|^2 + 2(R_S R_L + X_S X_L) \quad (11)$$

$$S_2 = |Z_L|^2 |Z_S|^2 \quad (12)$$

$$S_3 = 4X_S X_L + |Z_L|^2 + |Z_S|^2 \quad (13)$$

$$S_4 = X_L + X_S \quad (14)$$

$$S_5 = X_S |Z_L|^2 + X_L |Z_S|^2 \quad (15)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \frac{\partial P}{\partial Z_0} \quad (16)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \frac{\partial P}{\partial \ell} \quad (17)$$

$$\frac{\partial P}{\partial Z_0} = \left(2\left(Z_0 - \frac{S_2}{Z_0^3}\right) \sin^2 \beta \ell + \left(S_4 + \frac{S_5}{Z_0^2}\right) \sin 2\beta \ell \right) \quad (18)$$

(18) denklemi, (16)' da yerine koyarsak

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \left(2\left(Z_0 - \frac{S_2}{Z_0^3}\right) \sin^2 \beta \ell + \left(S_4 + \frac{S_5}{Z_0^2}\right) \sin 2\beta \ell \right) \quad (19)$$

$$\frac{\partial P}{\partial \ell} = \beta \left\{ \left(\frac{S_2}{Z_0^2} + Z_0^2 - S^3 \right) \sin 2\beta \ell + 2\left(Z_0 S_4 - \frac{S_5}{Z_0}\right) \cos 2\beta \ell \right\} \quad (20)$$

(20) denklemini, (17)' de yerine koyarsak

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = -\frac{4R_S R_L}{P^2} \beta \left\{ \left(\frac{S_2}{Z_0^2} + Z_0^2 - S^3 \right) \sin 2\beta \ell + 2\left(Z_0 S_4 - \frac{S_5}{Z_0}\right) \cos 2\beta \ell \right\} \quad (21)$$

b) Uygun Z_S ve Z_L ile Sonlandırılmış Bir Paralel - Hattın Hat Parametreleri ℓ, Z_0 ' ya Göre Duyarlılık Formüllerinin Çıkarılması:

$$[E_P] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{j}{Z_0 \tan \beta \ell} & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Paralel - Hat için ABCD parametreleri (21)' i, (4) te yerine koyarsak

$$P = |Z_L|^2 + Z_L Z_S^* + \frac{j|Z_L|^2 Z_S^*}{Z_0 \tan \beta \ell} + |Z_S|^2 + Z_L^* Z_S + \frac{j|Z_S|^2 Z_L^*}{Z_0 \tan \beta \ell} \quad (23)$$

$$- \frac{j|Z_S|^2 Z_L}{Z_0 \tan \beta \ell} - \frac{j|Z_L|^2 Z_S}{Z_0 \tan \beta \ell} + \frac{j|Z_L|^2 |Z_S|^2}{Z_0^2 \tan^2 \beta \ell}$$

(5), (6) 'yı (22)' de yerine koyarsak,

$$P = |Z_L|^2 + |Z_S|^2 + 2(R_S R_L + X_S X_L) + 2 \frac{|Z_L|^2 X_S}{Z_0 \tan \beta \ell} + 2 \frac{|Z_S|^2 X_L}{Z_0 \tan \beta \ell} + \frac{|Z_L|^2 |Z_S|^2}{Z_0^2 \tan^2 \beta \ell} \quad (24)$$

elde edilir. Burada da

$$P \stackrel{\Delta}{=} T_1 + \frac{1}{Z_0 \tan \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + 2T_3 \right) \quad (25)$$

$$T_1 \stackrel{\Delta}{=} |Z_L|^2 + |Z_S|^2 + 2(R_S R_L + X_S X_L) \quad (26)$$

$$T_2 \stackrel{\Delta}{=} |Z_L|^2 |Z_S|^2 \quad (27)$$

$$T_3 \stackrel{\Delta}{=} X_S |Z_L|^2 + X_L |Z_S|^2 \quad (28)$$

şeklinde tanımlanabilir.

$$\frac{\partial P}{\partial Z_0} = - \frac{2}{Z_0^2 \tan \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + T_3 \right) \quad (29)$$

(28) denklemi (16)'da yerine konursa

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = \frac{4R_S R_L}{P^2} \cdot \frac{2}{Z_0^2 \tan \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + T_3 \right) \quad (30)$$

elde edilir.

$$\frac{\partial P}{\partial \ell} = - \frac{2\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + T_3 \right) \quad (31)$$

(31) denklemi (17)'da yerine konursa

$$\frac{\partial G_T}{\partial \ell} = \frac{4R_S R_L}{P^2} \cdot \frac{2\beta}{Z_0 \sin^2 \beta \ell} \left(\frac{T_2}{Z_0 \tan \beta \ell} + T_3 \right) \quad (32)$$

elde edilir.

EK 2

Çizelge 2.1 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
17.05	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 2.2 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
17.05	0.7	0.43	-68.6	0.19
18	0.73	0.47	-58	0.22

KAYNAKLAR

Carson, R.S., (1975), High – Fréquency Amplifiers, John Wiley & Sons, London.

Dobrowolski, J.A., (1991), Introduction to Computer Methods for Microwave Circuit Analysis and Design, 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., (1980), The Design of Low-Noise Microwave Bipolar Transistor Amplifiers, Doktora Tezi, University of Bradford, Bradford.

Paixao, P.P. ve Jastrzebski, A.K., (1994), “Analysis and Sensitivities of Noisy Network Using Nodal Approach”. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 42:1254-1260.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 15.05.1977

Doğum yeri Gercüş / BATMAN

Lise 1993-1996 Akşehir Lisesi

Lisans 1996-2000 İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik
Fakültesi Elektronik-Haberleşme
Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2000-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Elekt. - Haberleşme Mühendisliği
Anabilim Dalı Haberleşme Programı

Çalıştığı kurumlar

2001-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

