

T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

56059

SİMETRİK LC KAFES YAPILI FAZ KAYDIRICILARIN

ANALİZİ VE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Baran TANDER

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

(Elektronik Programı)

Danışman : Prof. Dr. Mahmut ÜN

MAYIS - 1996

ÖNSÖZ

Özellikle haberleşme sistemlerinde faz kaydırma birimleri önemli rol oynarlar. Simetrik kafes devreleri gerek büyük band genişlikleri, gerekse de geniş faz kaydırma bölgeleri itibarıyla bu birimler için oldukça elverişlidirler. Tezde bu yapıdaki devrelerin analizleri ve tasarımları anlatılmış, yapılan teorik hesaplamaların bilgisayar simülasyonlarıyla da desteklendiği görülmüştür.

Çalışmamın konuyla ilgilenenlere faydalı olmasını diler, tezin hazırlanmasında öncelikle benden vaktini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Mahmut ÜN'e ve optimizasyon konusunda Arş. Gör. Yük. Müh. Aziz KARAŞ'a, PSPICE konusunda da Arş. Gör. Elk. Müh. Atilla ÖZMEN' e bildiklerini benimle paylaştıkları için teşekkürlerimi sunarım.

Baran TANDER

İÇİNDEKİLER

Önsöz	I
İçindekiler	II
Öz, Abstract	III
I.Giriş: Kafes Devrelerinin Analizi	1
1.1. 2 - Kapılı Bir Devrenin z Parametreleri ve Transfer Fonksiyonu	1
1.2. Simetrik Kafes Devresinin Transfer Fonksiyonu ve z Parametrelerinin Hesabı	3
1.3. Simetrik Kafes Devresinin s_{21} Saçılma Parametresi	6
II. Materyal ve Metod: Simetrik LC Kafes Devrelerinin Faz Kaydırma Özellikleri	9
2.1. Simetrik LC Kafes Devrelerinin Faz Fonksiyonları	9
2.2. PIN Diyotlar	12
III. Bulgular: Simetrik LC Kafes Yapılı Faz Kaydırıcıların Analizi	14
3.1. Tip I Devresi	14
3.1.1. Tip I Devresi Kayıpsız Analiz	17
3.1.2. Tip I Devresi Kayıplı Analiz	20
3.2. Tip II Devresi	23
3.2.1. Tip II Devresi Kayıpsız Analiz	27
3.2.2. Tip II Devresi Kayıplı Analiz	30
3.3. Tip III Devresi	34
3.3.1. Tip III Devresi Kayıpsız Analiz	37
3.3.2. Tip III Devresi Kayıplı Analiz	40
IV. Tartışma ve Sonuç:	45
4.1. Normalize Eleman Değerlerinin Optimizasyonu	45
4.2. Sonuçlar	46
V. Özet	48
Summary	49
Kaynaklar	50
Ek 1	51
Ek 2	52
Ek 3	63
Özgeçmiş	103

ÖZ

SİMETRİK LC KAFES YAPILI FAZ KAYDIRICILARIN ANALİZİ VE TASARIMI

Bu tez çalışmasında, devre sentezindeki çok klasik ve basit yapılardan biri olan simetrik kafes devreleri faz kaydırıcı olarak ele alınmıştır. PIN diyotları vasıtasıyla iki konumlu olarak çalışması öngörülen bu devrelerin, çeşitli açılar için kayıplı ve kayıpsız analizleri yapılarak frekans domeninde dB cinsinden s_{21} saçılma parametresinin zayıflama ve faz karakteristikleri elde edilmiştir. MATLAB 4.0 programı kullanılarak kayıplı haldeki devrelerin eleman değerleri optimize edilmiş ve optimizasyon öncesindeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Grafiklerin çiziminde PSPICE 5 devre analiz programından yararlanılmıştır.

ABSTRACT

ANALYSIS AND DESIGN OF SYMMETRICAL LC LATTICE PHASE SHIFTERS

In this thesis, symmetrical lattice circuits, - one of the simplest and most classic structures in the network synthesis - are mentioned as phase shifters. Lossless and loss case analysis are carried out and attenuation and phase characteristics of the s_{21} scattering parameter are sketched in the frequency domain in dBs for various angles of these circuits which are predicted to work in two different states by the use of PIN diodes. The component values in the loss cases are optimized with the MATLAB 4.0 program and compared with the results obtained before the optimization. PSPICE 5 circuit analysis program is used for plotting the graphics.

I. GİRİŞ:

KAFES DEVRELERİNİN ANALİZİ

Bu giriş bölümünde öncelikle 2-kapılı bir devrenin z parametreleri kullanılarak genel halde transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Bunun vasıtasıyla simetrik LC kafes yapılı devrelerin z parametreleri yardımı ile, transfer fonksiyonu bulunmuş ve buradan devrenin s_{21} parametresine geçilmiştir.

1.1. 2-Kapılı Bir Devrenin z Parametreleri ve Transfer Fonksiyonu

Şekil 1.1' de v_g işaret kaynağıyla sürülen bir 2-kapılı görülmektedir. Devrede:

v_g = İşaret kaynağının gerilimi,

v_1 = 2-Kapılının giriş gerilimi,

v_2 = 2-Kapılının çıkış gerilimi (= v_L = Yük empedansı üzerindeki gerilim),

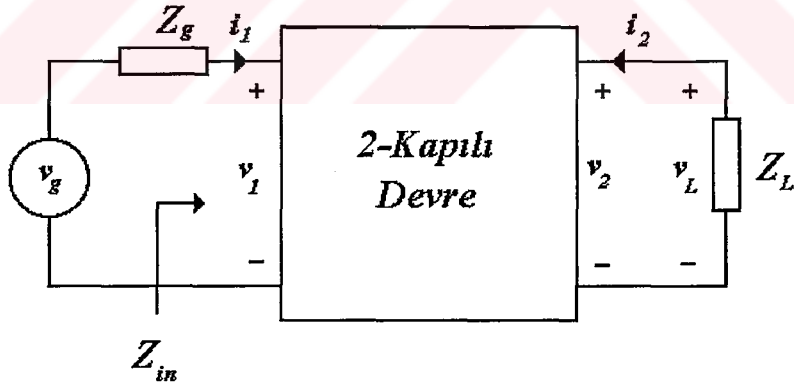
i_1 = 2-Kapılının girişinden çekilen akım,

i_2 = Yük empedansından çekilen akım,

Z_{in} = 2-Kapılının girişinden görülen empedans,

Z_g = İşaret kaynağının çıkış empedansı,

Z_L = Yük empedansı' dır.



Şekil 1.1 2-Kapılı bir devrenin modeli.

2-Kapılının z parametreleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$$v_1 = z_{11} i_1 + z_{12} i_2 \quad (1.2.a)$$

$$v_2 = z_{21} i_1 + z_{22} i_2 \quad (1.2.b)$$

Ayrıca devreden şu denklemler de yazılabilir:

$$v_1 = v_g - Z_g i_1 \quad (1.3.a)$$

$$v_2 = -i_2 Z_L \quad (1.3.b)$$

(1.3.b)' deki v_2 ' yi (1.2.b)' de yerine koyarak,

$$-i_2 Z_L = z_{21} i_1 + z_{22} i_2$$

$$i_2 (z_{22} + Z_L) = -z_{21} i_1$$

$$i_2 = -\frac{z_{21} i_1}{z_{22} + Z_L} \quad (1.4.a)$$

$$i_1 = -\frac{(z_{22} + Z_L)}{z_{21}} i_2 \quad (1.4.b)$$

elde edilir.

$$Z_{in} = \frac{v_1}{i_1} = \frac{z_{11} i_1 + z_{12} i_2}{i_1} \text{ dir.}$$

(1.4.a) denkleminde i_2 'yi yerine koyarsak Z_{in} giriş empedansı aşağıdaki şekilde olur:

$$Z_{in} = \frac{z_{11} i_1 - \left(\frac{z_{12} z_{21}}{z_{22} + Z_L} i_1 \right)}{i_1} = z_{11} - \frac{z_{12} z_{21}}{z_{22} + Z_L} \quad (1.5)$$

2-Kapılımmın v_2 / v_g transfer fonksiyonunu hesaplamak için (1.3.b) denkleminde, i_2 ' yi çekip, (1.2.a)' da yerine koyarak,

$$v_1 = z_{11} i_1 - \frac{z_{12}}{Z_L} v_2$$

yazılır. (1.2.a) ve (1.3.a) denklemlerinin eşitliğinden,

$$z_{11} i_1 - \frac{z_{12}}{Z_L} v_2 = v_g - i_1 Z_g$$

$$i_1 = \frac{z_{12}}{Z_L (z_{11} + Z_g)} v_2 + \frac{1}{z_{11} + Z_g} v_g \quad (1.6)$$

elde ederiz. (1.2.b)' deki i_2 ' yi bu kez (1.3.b)' de yerine koyarak,

$$v_2 = z_{21} i_1 - \frac{z_{22}}{Z_L} v_2$$

$$i_1 = \frac{1}{z_{21}} v_2 + \frac{z_{22}}{z_{21} Z_L} v_2 \quad (1.7)$$

bulunur. i_1 ' lerin eşitliğinden,

$$\frac{z_{12}}{Z_L(z_{11} + Z_g)} v_2 + \frac{1}{z_{11} + Z_g} v_g = \frac{1}{z_{21}} v_2 + \frac{z_{22}}{z_{21} Z_L} v_2$$

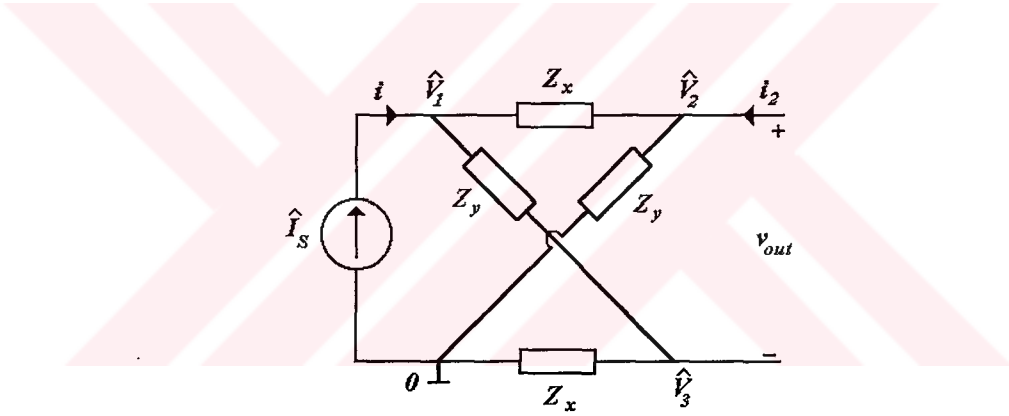
$$v_2 \left[\frac{1}{z_{21}} + \frac{z_{22}}{z_{21} Z_L} - \frac{z_{12}}{Z_L(z_{11} + Z_g)} \right] = \frac{1}{z_{11} + Z_g} v_g$$

$$v_2 \left[\frac{Z_L(z_{11} + Z_g) + z_{22}(z_{11} + Z_g) - z_{12} z_{21}}{z_{21} Z_L(z_{11} + Z_g)} \right] = \frac{1}{z_{11} + Z_g} v_g$$

$$\frac{v_2}{v_g} = H = \frac{z_{21} Z_L}{(z_{11} + Z_g)(z_{22} + Z_L) - z_{12} z_{21}} \quad (1.8)$$

1.2. Simetrik Kafes Devresinin Transfer Fonksiyonu ve z Parametrelerinin Hesabı

Şekil 1.2’ de bağımsız bir \hat{I}_S akım kaynağıyla sürülen genel halde simetrik bir kafes devresi gösterilmiştir. Düğüm gerilimleri metoduyla transfer fonksiyonu hesabı şöyledir:



Şekil 1.2 Simetrik kafes devresinde düğüm gerilimleri.

$$[\hat{I}] = [Y] \cdot [\hat{V}]$$

Düğüm gerilimleri matrisi,

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_S = i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_x + Y_y & -Y_x & -Y_y \\ -Y_x & Y_x + Y_y & 0 \\ -Y_y & 0 & Y_x + Y_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{V}_1 = v_{in} \\ \hat{V}_2 \\ \hat{V}_3 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

şeklindedir. Matrisi açarak \hat{V}_2 ve \hat{V}_3 ’ ü bulabiliriz:

$$-v_{in} Y_x + \hat{V}_2 (Y_x + Y_y) = 0$$

$$\hat{V}_2 = \frac{Y_x}{Y_x + Y_y} v_{in} \quad (1.10.a)$$

$$-v_{in} Y_y + \hat{V}_3 (Y_x + Y_y) = 0$$

$$\hat{V}_3 = \frac{Y_y}{Y_x + Y_y} v_{in} \quad (1.10.b)$$

Yukarıdaki bağıntılar yardımıyla transfer fonksiyonunu hesaplırsak,

$$v_{out} = \hat{V}_2 - \hat{V}_3 = v_{in} \left(\frac{Y_x}{Y_x + Y_y} - \frac{Y_y}{Y_x + Y_y} \right)$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = H = \frac{Y_x - Y_y}{Y_x + Y_y} = \frac{Z_y - Z_x}{Z_y + Z_x} \quad (1.11)$$

bulunur.

Simetrik bir kafes devresinin z parametrelerinin (1.2.a ve b) bağıntılarının kullanılarak hesaplanması için şekil 1.2' de çıkıştan akım akmayacağını düşüneceğiz ($i_2 = 0$). Girişten çekilen akım i , bütün empedansların üzerinden geçen akımlar birbirlerine eş ve $i / 2$ değerinde olacaktır. Buradan,

$$z_{11} = \frac{v_1}{i_1} \Big|_{i_2=0} = \frac{Z_x \frac{i}{2} + Z_y \frac{i}{2}}{i} = \frac{1}{2} (Z_x + Z_y) \quad (1.12.a)$$

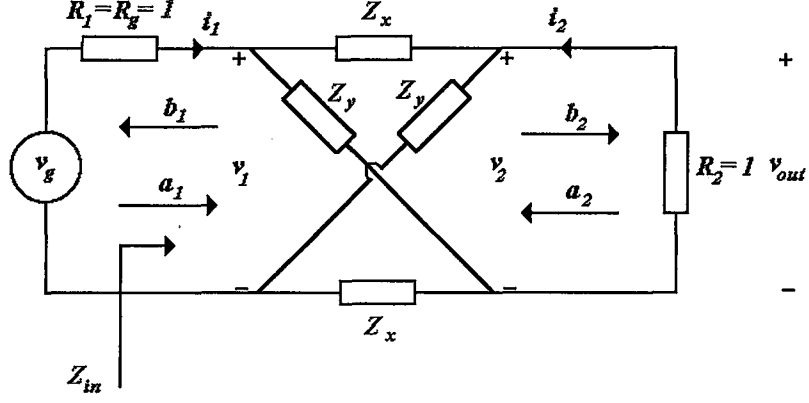
$$z_{21} = \frac{v_2}{i_1} \Big|_{i_2=0} = \frac{Z_x \frac{-i}{2} + Z_y \frac{i}{2}}{i} = \frac{1}{2} (Z_y - Z_x) \quad (1.12.b)$$

bulunur. Devrenin resiproklüğünü ($z_{12} = z_{21}$) ve simetrikliğini ($z_{11} = z_{22}$) de gözönüne alırsak Z matrisi,

$$[Z] = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} (Z_x + Z_y) & \frac{1}{2} (Z_y - Z_x) \\ \frac{1}{2} (Z_y - Z_x) & \frac{1}{2} (Z_x + Z_y) \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

şeklinde çıkar.

(1.8) bağıntısında bir 2-kapılımm genel halde transfer fonksiyonu verilmişti. Tezde Z_g ve Z_L empedansları 50Ω ' luk dirençler olarak düşünülüp, 50Ω ile normalize edilerek 1 olarak alınmıştır, bununla birlikte $Z_y = 1 / Z_x$ seçilmiştir. Bu yapı şekil 1.3' te gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Tezde incelenen normalize dirençler kullanılan yapıda gelen ve yansıyan güçler.

Yukarıda da açıklandığı gibi $z_{11} = z_{22}$ ve $z_{21} = z_{12}$ ' dir. Bu durumda devrenin transfer fonksiyonu,

$$\frac{v_2}{v_g} = \frac{z_{21}}{(z_{11} + 1)(z_{22} + 1) - z_{21}^2} = \frac{z_{21}}{z_{11}^2 + 2z_{11} + 1 - z_{21}^2} = \frac{z_{21}}{(z_{11} + 1)^2 - z_{21}^2} \quad (1.14)$$

olarak bulunur. z parametrelerini yerlerine koyarak,

$$\begin{aligned} \frac{v_2}{v_g} &= \frac{\frac{1}{2}(Z_y - Z_x)}{\left[\frac{1}{2}(Z_x + Z_y) + 1\right]^2 - \frac{1}{4}(Z_y - Z_x)^2} = \frac{1}{2} \left[\frac{Z_y - Z_x}{\frac{1}{4}(Z_x + Z_y)^2 + Z_x + Z_y - \frac{1}{4}(Z_x - Z_y)^2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \frac{Z_y - Z_x}{Z_x Z_y + Z_x + Z_y + 1} \end{aligned} \quad (1.15)$$

hesaplanır.

Ayrıca bu devrede girişten görülen normalize Z_{in} empedansı, (1.13) matrisindeki z parametreleri (1.5) denkleminde yerine konarak,

$$\begin{aligned} Z_{in} &= \frac{1}{2}(Z_x + Z_y) - \frac{\frac{1}{4}(Z_y - Z_x)^2}{\frac{1}{2}(Z_x + Z_y) + Z_L} = \frac{\frac{1}{4}(Z_x + Z_y)^2 + \frac{1}{2}(Z_x + Z_y) - \frac{1}{4}(Z_y - Z_x)^2}{\frac{1}{2}(Z_x + Z_y) + Z_L} \\ &= \frac{Z_x Z_y + \frac{1}{2}Z_x + \frac{1}{2}Z_y}{\frac{1}{2}Z_x + \frac{1}{2}Z_y + Z_L} = \frac{2Z_x Z_y + Z_x + Z_y}{Z_x + Z_y + 2Z_L} \end{aligned} \quad (1.16)$$

bulunur. $Z_L = 1$ olduğundan ve $Z_y = 1 / Z_x$ özel durumu için girişten görülen normalize empedans,

$$Z_{in} = \frac{Z_x + Z_y + 2}{Z_x + Z_y + 2} = 1 \quad (1.17.a)$$

çıkar. Girişten görülen empedans için simetrik LC kafes devrelerinde AP filtre karakteristiğinin gerçekleşmesi için genel halde,

$$Z_{in} = Z_x Z_y = Z_L^2 \quad (1.17.b)$$

olması istenir.

1.3. Simetrik Kafes Devresinin s_{21} Saçılma Parametresi

Bir 2-kapılının s_{ij} saçılma parametreleri aşağıdaki matrisle tanımlanmıştır:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

Burada S matrisi:

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix}$$

şekindedir ve bir 2-kapılının saçılma parametreleri matrisi adını alır. (1.18) matrisi açılarak,

$$b_1 = s_{11} a_1 + s_{12} a_2 \quad (1.19.a)$$

$$b_2 = s_{21} a_1 + s_{22} a_2 \quad (1.19.b)$$

yazılabilir. Burada, a_1 'in girişe gelen güç, b_1 'in girişten yansıyan güç, a_2 'nin çıkışa gelen güç, b_2 'nin çıkıştan yansıyan güç olduğu bilinmektedir. a ve b katsayıları tanım gereği,

$$a = \frac{I}{2} \left(\frac{V}{\sqrt{R_0}} + \sqrt{R_0} I \right) \quad (1.20.a)$$

$$b = \frac{I}{2} \left(\frac{V}{\sqrt{R_0}} - \sqrt{R_0} I \right) \quad (1.20.b)$$

şekindedir. Burada R_0 , keyfi seçilebilen, pozitif, birimsiz bir büyüklüktür ve *referans empedans faktörü* olarak bilinir.

s_{21} parametresi (1.19.a ve b) bağıntılarından çıkartılıp aşağıdaki gibi çıkıştan yansıyan gücün girişe gelen güce oranı olarak yazılabilir ve

$$s_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (1.21)$$

olarak *ileri iletim katsayısı* veya çıkış uygun bir dirençle sonlandırıldığında *ileri iletim kazancı* adını alır. Resiprok bir devrede s_{12} ve s_{21} parametrelerinin birbirlerine eşit olacakları açıktır.

s_{21} normalize değerler için matematiksel olarak incelenecek olursa şekil 1.3' ten faydalanarak a_1 ve b_2 bağıntılarını aşağıdaki şekilde yazabiliriz:

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{R_1}} + \sqrt{R_1} i_1 \right) \quad (1.22.a)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{R_2}} - \sqrt{R_2} i_2 \right) \quad (1.22.b)$$

Devrenin girişinden,

$$v_g - i_1 R_g = v_1 = i_1 Z_{in}$$

yazıp, buradan i_1 ' i çekerek,

$$i_1 = \frac{v_g}{R_g + Z_{in}}$$

buluruz. (1.22.a) bağıntısında v_1 ve i_1 yerine konularak aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$a_1 = \frac{1}{2\sqrt{R_1}} \left[\left(v_g - \frac{R_g v_g}{R_g + Z_{in}} \right) + \frac{R_1 v_g}{R_g + Z_{in}} \right]$$

Şekil 1.3' teki devrede $R_1 = R_g = R_0 = 1$ olduğundan a_1 şu şekli alacaktır:

$$a_1 = \frac{v_g}{2} \quad (1.23)$$

s_{21} parametresinin tanımı gereği $a_2 = 0$ olduğundan,

$$a_2 = 0 = \frac{1}{2} \left(\frac{v_2}{\sqrt{R_2}} + \sqrt{R_2} i_2 \right)$$

ve buradan,

$$\frac{v_2}{\sqrt{R_2}} = -\sqrt{R_2} i_2$$

çıkar. Bu bağıntıyı da R_2 ' nin 1 olduğunu düşünerek (1.22.b)' de yerine koyarsak,

$$b_2 = v_2 \quad (1.24)$$

elde edilir. O halde bu koşullar altında s_{21} parametresi aşağıdaki hali alacaktır:

$$s_{21} = \frac{v_2}{\frac{v_g}{2}} = 2 \frac{v_2}{v_g} \quad (1.25)$$

Bir 2-kapılıda s_{21} ile z parametreleri arasında (1.25)' e benzeyen aşağıdaki şekilde bir benzerlik vardır (Bkz. Ek 1: 2-Kapılı Bir Devrede s , y , z Parametreleri Dönüşüm Tablosu):

$$s_{21} = \frac{2z_{12}}{(z_{11} + 1)(z_{22} + 1) - z_{21}z_{12}} \quad (1.26)$$

(1.13) matrisinde görüldüğü gibi $z_{11} = z_{22}$ ve $z_{21} = z_{12}$ 'dir bu değerleri (1.26)' da yerine koyarsak,

$$s_{21} = \frac{2z_{21}}{(z_{11} + 1)^2 - z_{21}^2} \quad (1.27)$$

bulunur. Görülüyor ki (1.27) ifadesi (1.14)' ün iki katıdır. Bu koşul , genel olarak $Z_g = Z_L = R$, özel olarak da normalize $Z_g = Z_L = R = 1$ için geçerlidir. O halde (1.15)' i ikiyle çarparsak devrenin s_{21} parametresini bulmuş oluruz:

$$s_{21} = \frac{Z_y - Z_x}{Z_x + Z_y + Z_x Z_y + 1} \quad (1.28)$$

2. Bölümde simetrik LC kafes devrelerinin s_{21} parametrelerinin genlik ve fazları incelenecektir. Özel bir durum olarak $Z_y = 1 / Z_x$ olduğunu düşünürsek (1.28) şu şekli alır:

$$s_{21} = \frac{\frac{1}{Z_x} - Z_x}{Z_x + \frac{1}{Z_x} + 2} = \frac{1 - Z_x^2}{Z_x^2 + 2Z_x + 1} = \frac{1 - Z_x}{1 + Z_x} \quad (1.29)$$

Görülüyor ki Z_x empedansının reel kısmı $0'$ a eşit olursa (saf imajiner) s_{21} parametresinin mutlak değeri,

$$|s_{21}| = \frac{\sqrt{1 + (-Z_x)^2}}{\sqrt{1 + Z_x^2}} = 1 \quad (1.30)$$

olacaktır. Bu da ilgilenilen saçılma parametresinin genliğinin tüm frekans bandında birim kalması demektir. Bu durum simetrik kafes devrelerinin AP (All Pass = hep geçiren) özelliklerinden dolayı ortaya çıkar. Tezde $\omega_0 = 1$ normalize açısal frekansında bu koşul geçerli olacaktır. Bu da bize çok geniş bir frekans bandında istediğimiz genliğin elde edilmesini sağlayacaktır.

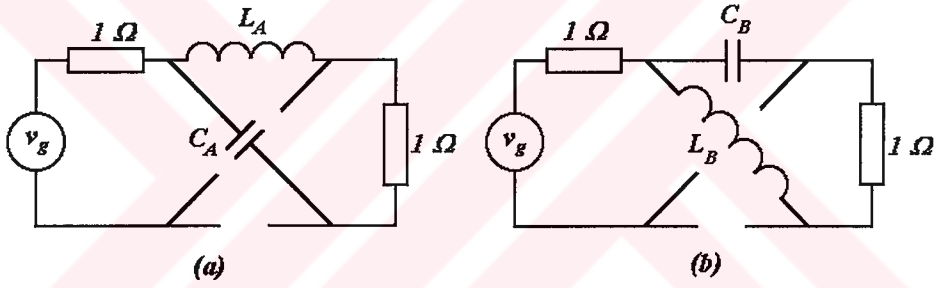
II. MATERYAL VE METOD:

SİMETRİK LC KAFES DEVRELERİNİN FAZ KAYDIRMA ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde geniş faz kaydırma bölgesi ($0^0 - 360^0$) ve band genişliği olan, 4 adet PIN diyodunun iletimde ve kesimde olması vasıtasıyla iki konumlu olarak çalışabilen faz kaydırıcılarına giriş yapılmıştır. Bu devrelerin çalışma prensibi all-pass simetrik LC kafes devrelerinin faz kaydırma özelliklerine dayanmaktadır. Ayrıca devrelerde kullanılan PIN diyotlarından da kısaca bahsedilmiştir.

2.1. Simetrik LC Kafes Devrelerinin Faz Fonksiyonları

Simetrik LC kafes devrelerinin yüksek frekanslarda bir faz kaydırıcısı olarak çalışabilecekleri bilinmekteydi (1. Bölüm). Şekil 2.1.(a) ve (b)' de iki değişik simetrik kafes devresi görülmektedir.



Şekil 2.1 Simetrik LC kafes devreleri.

(a) devresinde,

$$Z_x = sL_A = j\omega L_A \quad (2.1.a)$$

ve 1. bölümdeki simetrik kafes AP filtre özel durumu düşünülerek,

$$Z_y = \frac{1}{Z_x} = \frac{1}{sL_A} = \frac{1}{sC_A} = \frac{1}{j\omega L_A} \quad L_A = C_A \quad (2.1.b)$$

bulunur. Yukarıdaki empedanslar (1.28)' deki s_{21} bağıntısına konularak aşağıdaki transfer fonksiyonu elde edilir:

$$s_{21A} = \frac{\frac{1}{sL_A} - sL_A}{sL_A + 2 + \frac{1}{sL_A}} = \frac{(1 - sL_A)(1 + sL_A)}{(1 + sL_A)^2} = \frac{1 - j\omega L_A}{1 + j\omega L_A} \quad (2.2)$$

$$s_{21} = |s_{12}| e^{j\theta} \quad (2.3)$$

olduğundan, yukarıdaki fonksiyonun genlik ve faz ifadeleri,

$$|s_{12A}| = \frac{\sqrt{1 + (-\omega L_A)^2}}{\sqrt{1 + (\omega L_A)^2}} = 1 \quad (2.4.a)$$

$$\theta_A = \tan^{-1}(-\omega L_A) - \tan^{-1}(\omega L_A) = -2 \tan^{-1}(\omega L_A) \quad (2.4.b)$$

şeklinde bulunurlar.

(b) devresinin empedansları,

$$Z_x = \frac{1}{sC_B} = \frac{1}{j\omega C_B} \quad (2.5.a)$$

$$Z_y = \frac{1}{Z_x} = sC_B = sL_B = j\omega C_B \quad (C_B = L_B) \quad (2.5.b)$$

olarak bilinmektedir. (b) devresinin transfer fonksiyonu ve genlik ve faz ifadeleri aşağıdaki şekildedir:

$$s_{12B} = \frac{sC_B - \frac{1}{sC_B}}{sC_B + 2 + \frac{1}{sC_B}} = \frac{(sC_B - 1)(sC_B + 1)}{(sC_B + 1)^2} = \frac{1 - \frac{1}{sC_B}}{1 + \frac{1}{sC_B}} = \frac{1 + \frac{j}{\omega C_B}}{1 - \frac{j}{\omega C_B}} \quad (2.6)$$

$$|s_{12B}| = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega C_B}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{-1}{\omega C_B}\right)^2}} = 1 \quad (2.7.a)$$

$$\theta_B = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega C_B}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{-1}{\omega C_B}\right) = 2 \tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega C_B}\right) \quad (2.7.b)$$

İki devrenin faz açıları farkını θ_{net} olarak tanımlarsak,

$$\theta_{net} = \theta_B - \theta_A = 2 \tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega C_B}\right) + 2 \tan^{-1}(\omega L_A) \quad (2.8)$$

şeklini alır. $L_A = C_B^{-1}$ seçilirse $\omega_0 = 1$ normalize frekansında,

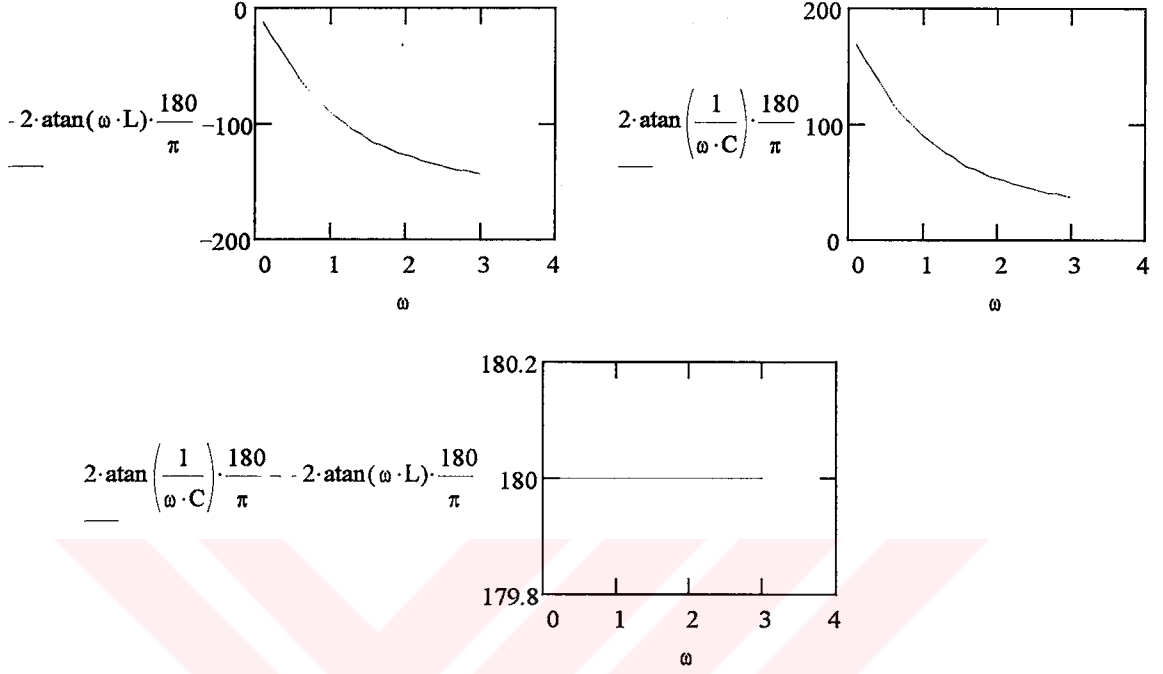
$$-\tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega C_B}\right) = \tan^{-1}(\omega L_A)$$

olacak ve aşağıdaki ifadeler yazılabilecektir:

$$-2 \tan^{-1}(\omega L_A) = -\frac{\theta_{net}}{2} \quad (2.9.a)$$

$$2 \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega C_B} \right) = \frac{\theta_{net}}{2} \quad (2.9.b)$$

(a) ve (b) devrelerinin faz karakteristikleri şekil 2.2' de verilmiştir:



Şekil 2.2 (a) ve (b) devrelerinin faz karakteristikleri ($L=C^{-1}=1$).

$$-180 \leq \theta_A = -\frac{\theta_{net}}{2} \leq 0 \text{ ve } 0 \leq \theta_B = \frac{\theta_{net}}{2} \leq 180 \text{ olduğundan } -180 \leq \theta_{net} = \theta_B - \theta_A \leq 180$$

olacaktır. Bu da bütün faz bölgesinin θ_{net} tarafından kaplanması demektir. Böylece bu tip simetrik LC kafes devreleri kullanılarak 0° ' den 360° ' ye kadar tüm açılarda faz kayması elde edilebilir. (2.9.a ve b) denklemlerinden,

$$\tan^{-1}(\omega L_A) = \frac{\theta_{net}}{4}$$

$$\tan \left| \tan^{-1}(\omega L_A) \right| = \frac{\theta_{net}}{4} = \omega L_A = \tan \left(\frac{\theta_{net}}{4} \right)$$

$$u = \tan \left| \frac{\theta_{net}}{4} \right| \quad (2.10)$$

bulunur. İleride anlatılacak devrelerdeki tüm eleman değerleri (2.1.a ve b) ve (2.5.a ve b) koşulları öngörüldüğünde diğer eleman değerleri de şu şekilde çıkacaktır:

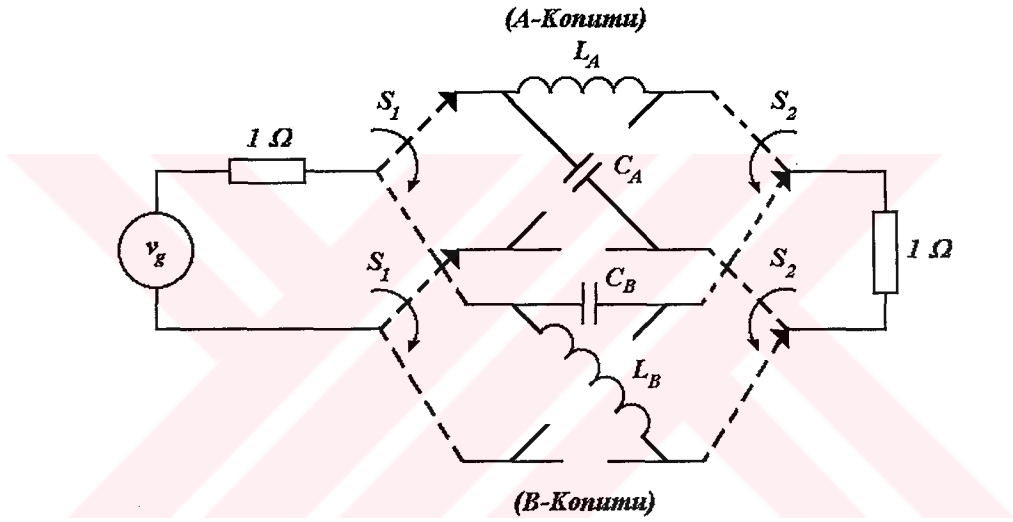
$$L_A = u \quad (2.11.a)$$

$$C_A = L_A = u \quad (2.11.b)$$

$$C_B = u^{-1} \quad (2.11.c)$$

$$L_B = C_B = u^{-1} \quad (2.11.d)$$

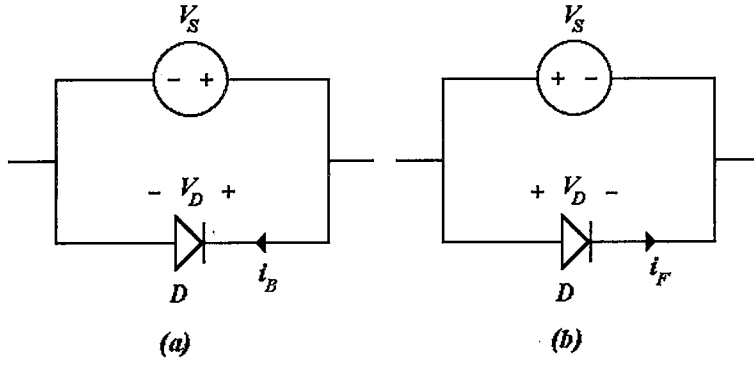
Şekil 2.3' teki ideal faz kaydırma birimini düşünelim. S_1 anahtarı kaynağa, S_2 anahtarı yüke A kafes devresi üzerinden bağlandığında (A-durumu) elde edilen faz kayması (2.9.a) bağıntısı uyarınca $\theta_A = -\theta_{net} / 2$, B kafes devresi üzerinden bağlandığında (B-durumu) ise (2.9.b) uyarınca $\theta_B = \theta_{net} / 2$ olacaktır. Bu tip bir düzenele (2.8) denkleminde de görülebileceği gibi tüm faz bölgesi kaplanabilir. İleride S_1 ve S_2 anahtarları yerine PIN diyotların kullanılması ve bu diyotların iletim ve kesim özelliklerinden yararlanılarak devrenin iki konumlu çalışması incelenecektir. Diyotların uygun olarak tetiklenmesi suretiyle devre istenirse A, istenirse de B konumunda çalışacak ve yukarıda bahsedilen faz kaydırma işlemleri gerçekleştirilebilecektir.



Şekil 2.3 İdeal simetrik kafes yapılı faz kaydırma birimi.

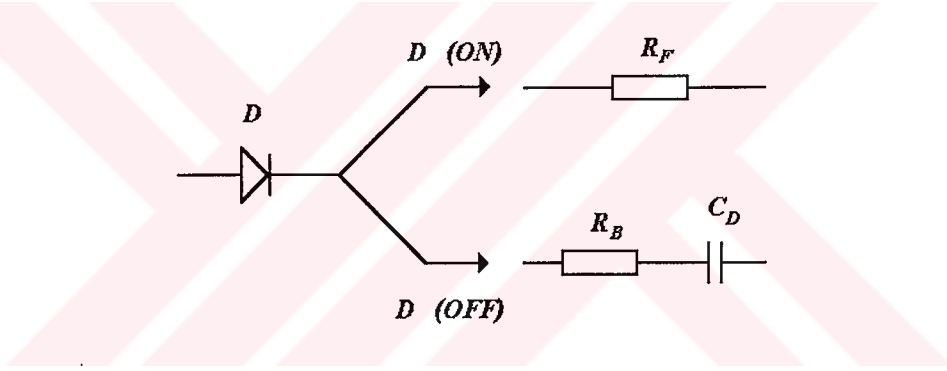
2.2. PIN Diyotlar

PIN diyotlar oldukça ince halindeki P ve N tabakaları arasında daha kalın bir has (Intrinsic) tabakanın oluşturulması ile elde edilir. Bu tip diyotlar mikrodalga güç anahtarı ve modülatör olarak sıkça kullanılırlar. Bilinen diyotlar gibi ileri yönde polarize edildiklerinde iletme geçer (ON durumu), ters yönde polarize edildiklerinde ise kesime (OFF durumu) giderler bu işlem şekil 2.4.(a) ve (b)' de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 PIN diyodun tetiklenmesi: (a) ON durumu, (b) OFF durumu.

İdealde diyotlar iletimde iken kısadevre ile, kesimde iken de bir kapasite ile modellenebilir. Pratikte kayıplı halde ON durumunda bir R_F direnci ve OFF durumunda da bir R_B direncine seri bir C_D kapasitesi ile gösterilebilirler. Bu eşdeğer devreler şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Basit bir kayıplı PIN diyot modeli.

PIN diyotlar, boyutlarının küçük, ömürlerinin uzun ve güvenilir olmaları ve yukarıda bahsi geçen iç dirençleri sebebiyle mikrodalga zayıflatıcıları ve bunun gibi bir çok uygulama için oldukça elverişlidirler.

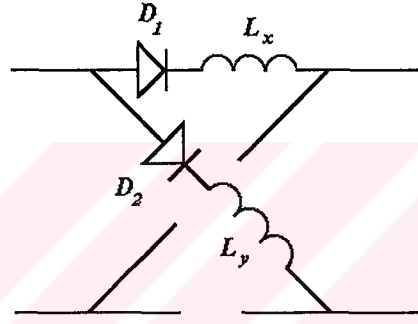
III. BULGULAR:

SİMETRİK LC KAFES YAPILI FAZ KAYDIRICILARIN ANALİZİ

Bu bölümde simetrik LC kafes yapısında 3 farklı yeni devre önerilmiş, s domeninde kayıpsız ve kayıplı açık tasarım eşitlikleri elde edilmiştir. Ayrıca 120° , 180° ve 240° 'lik net faz açıları (θ_{net}) için $\omega_0 = 1$ açısal frekansında genlik ve faz değerleri hesaplanmış ve PSPICE 5 devre analiz programıyla yapılan simülasyonlarla da ω_0 'ın civarında devrelerin zayıflama ve faz karakteristikleri çizilmiştir. Elde edilen grafikler Ek - 3 ' te mevcuttur.

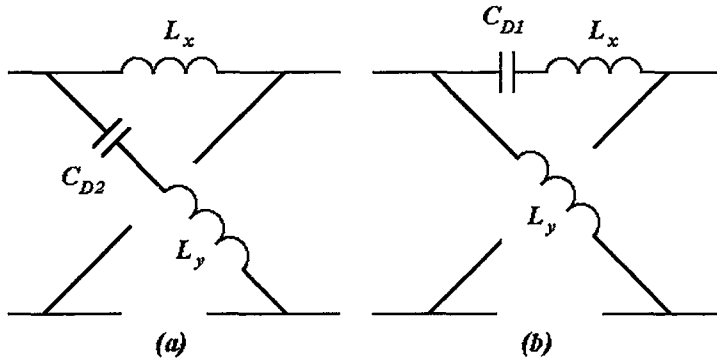
3.1. Tip I Devresi

İlk devre (bundan böyle Tip I devresi olarak tanımlanacaktır) şekil 3.1' de çizilmiştir.



Şekil 3.1 Tip I devresi.

Devrenin D_1 ON, D_2 de OFF konumundayken $\omega_0 = 1$ açısal frekansında A - konumunda çalışması ve $-\theta_{net} / 2$, D_1 OFF, D_2 ON iken de B - konumunda çalışması ve $\theta_{net} / 2$ faz kaymasını gerçekleştirmesi istenir. Tip I yapısının A ve B konumlarındaki kayıpsız halde eşdeğer devreleri şekil 3.2' de gösterilmiştir. Burada C_{D1} , D_1 diyodu için, C_{D2} de D_2 diyodu için ters kutuplama eşdeğer kapasiteleridir.



Şekil 3.2 Tip I yapısı eşdeğer devreleri: (a) A - konumu, (b) B - konumu.

Burada A - konumunda paralel kollardaki empedansa Z_x , çapraz kollardaki empedansa Z_y denirse ve bunlar şekil 2.1.(a)'daki eşdeğer devre ile karşılaştırılırsa,

$$sL_A = sL_x$$

$$L_A = L_x \quad (3.1.a)$$

$$\frac{1}{sC_A} = \frac{1}{sC_{D2}} + sL_y$$

$$\frac{-j}{\omega C_A} = \frac{-j}{\omega C_{D2}} + j\omega L_y$$

$\omega = 1$ için,

$$-\frac{1}{C_A} = L_y - \frac{1}{C_{D2}} \quad (3.1.b)$$

bulunur. Yukarıdaki işlemler şekil 2.1.(b) için de yapılırsa,

$$sL_B = sL_y$$

$$L_B = L_y \quad (3.1.c)$$

$$\frac{1}{sC_B} = \frac{1}{sC_{D1}} + sL_x$$

$$\frac{-j}{\omega C_B} = \frac{-j}{\omega C_{D1}} + j\omega L_x$$

$\omega = 1$ için,

$$-\frac{1}{C_B} = L_x - \frac{1}{C_{D1}} \quad (3.1.d)$$

elde edilir. (2.11.a, b, c ve d) bağıntılarında L_A , L_B , C_A , ve C_B u' ya bağlı olarak hesaplanmıştır. Buradan yukarıdaki bilinmeyen L_x , L_y , C_{D1} ve C_{D2} eleman değerleri u' nun fonksiyonları olarak,

$$L_x = L_A = u \quad (3.2.a)$$

$$L_y = L_B = u^{-1} \quad (3.2.b)$$

şeklinde, (3.2.a) ile (3.1.d) kullanılarak,

$$-u = u - \frac{1}{C_{D1}}$$

$$C_{D1} = \frac{1}{2u} \quad (3.2.c)$$

ve (3.2.b) ile (3.1.b) kullanılarak,

$$-\frac{1}{u} = \frac{1}{u} - \frac{1}{C_{D2}}$$

$$C_{D2} = \frac{u}{2} \quad (3.2.d)$$

şeklinde bulunur.

Eğer ω' nm l' e eşit olmadığı varsayılırsa, (2.10) bağıntısından yola çıkılarak tüm eleman değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$C_A = L_A = \frac{u}{\omega} = L_x \quad (3.3.a)$$

$$C_B = L_B = \frac{1}{u\omega} = L_y \quad (3.3.b)$$

(3.1.b) bağıntısı gözönüne alınırsa,

$$-\frac{1}{\omega C_B} = \omega L_x - \frac{1}{\omega C_{D1}}$$

$$\frac{1}{\omega C_{D1}} = \omega \frac{u}{\omega} + \frac{1}{\omega \frac{1}{u\omega}} = 2u$$

$$C_{D1} = \frac{1}{2u\omega} \quad (3.3.c)$$

elde edilir. Benzer şekilde (3.1.b)' ye bakarak,

$$-\frac{1}{\omega C_A} = \omega L_y - \frac{1}{\omega C_{D2}}$$

$$\frac{1}{\omega C_{D2}} = \omega \frac{1}{u\omega} + \frac{1}{\omega \frac{u}{\omega}} = \frac{2}{u}$$

$$C_{D2} = \frac{u}{2\omega} \quad (3.3.d)$$

bulunur. Görülüyor ki sonuçlar frekans normalizasyonu ile aynı çıkmaktadır. Sayısal bir örnek Ek - 2' de verilmiştir.

$\theta_{net} = 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ$ 'ler için $\omega_0 = 1$ açıl frekansında normalize eleman değerleri (3.3.a, b, c ve d) bağıntılarından şu şekilde çıkacaktır:

$$u_{120} = \tan \left| \frac{120}{4} \right| = \tan 30^\circ = 0.577 \quad (3.4.a)$$

$$L_x = 0.577$$

$$L_y = 0.577^{-1} = 1.732$$

$$C_{D1} = \frac{1}{2 \cdot 0.577} = 0.866$$

$$C_{D2} = \frac{0.577}{2} = 0.288$$

$$u_{180} = \tan \left| \frac{180}{4} \right| = \tan 45^\circ = 1 \quad (3.4.b)$$

$$L_x = 1$$

$$L_y = 1^{-1} = 1$$

$$C_{D1} = \frac{1}{2 \cdot 1} = 0.5$$

$$C_{D2} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$u_{240} = \tan \left| \frac{240}{4} \right| = \tan 60^\circ = 1.732 \quad (3.4.c)$$

$$L_x = 1.732$$

$$L_y = 1.732^{-1} = 0.577$$

$$C_{D1} = \frac{1}{2 \cdot 1.732} = 0.288$$

$$C_{D2} = \frac{1.732}{2} = 0.866$$

3.1.1. Tip I Devresi Kayıpsız Analiz

A - konumu için şekil 3.2.(a)' dan da görüldüğü üzere paralel koldaki Z_x empedansı,

$$Z_x = sL_x \quad (3.5.a)$$

olacak, çapraz kollardaki Z_y empedansı da,

$$Z_y = sL_y + \frac{1}{sC_{D2}} = \frac{L_y C_{D2} s^2 + 1}{C_{D2} s} \quad (3.5.b)$$

bulunacaktır. Bulunan empedanslar (1.28)'deki genel formülde yerine konursa,

$$\begin{aligned} s_{21A} &= \frac{\frac{L_y C_{D2} s^2 + 1}{C_{D2} s} - sL_x}{\frac{L_y C_{D2} s^2 + 1}{C_{D2} s} + sL_x + \frac{L_y C_{D2} s^2 + 1}{C_{D2} s} sL_x + 1} \\ &= \frac{(L_y C_{D2} - L_x C_{D2}) s^2 + 1}{L_x L_y C_{D2} s^3 + (L_y C_{D2} + L_x C_{D2}) s^2 + (L_x + C_{D2}) s + 1} \end{aligned} \quad (3.6)$$

genliğini ve fazını inceleyeceğimiz ileri iletim kazancını teşkil eder. Eğer genlik fonksiyonu çizilecek olursa bir LP filtre karakteristiği görülür.

B - konumu için şekil 3.2.(b)' ye bakılacak olursa,

$$Z_x = sL_x + \frac{1}{sC_{D1}} = \frac{L_x C_{D1} s^2 + 1}{C_{D1} s} \quad (3.7.a)$$

$$Z_y = sL_y \quad (3.7.b)$$

elde edilir. Buradan s_{21B} fonksiyonu s domeninde aşağıdaki gibi çıkar:

$$\begin{aligned} s_{21B} &= \frac{sL_y - \frac{L_x C_{D1} s^2 + 1}{C_{D1} s}}{sL_y + \frac{L_x C_{D1} s^2 + 1}{C_{D1} s} + sL_y \frac{L_x C_{D1} s^2 + 1}{C_{D1} s} + 1} \\ &= \frac{(L_y C_{D1} - L_x C_{D1}) s^2 - 1}{L_x L_y C_{D1} s^3 + (L_y C_{D1} + L_x C_{D1}) s^2 + (L_y + C_{D1}) s + 1} \end{aligned} \quad (3.8)$$

B - konumunun genlik fonksiyonu da bir LP filtre karakteristiğidir.

$\theta_{net} = 120^\circ$ için (3.4.a)'daki ilgili eleman değerleri (3.6)'da yerine konarak,

$$s_{21A}(s) = \frac{0.332s^2 + 1}{0.287s^3 + 0.664s^2 + 0.865s + 1}$$

bulunur. Buradan $s = j\omega$ yazılıp ω da 1 alınrsa s_{21A} 'nın genlik ve faz fonksiyonları aşağıdaki şekilde çıkar:

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{-0.332\omega^2 + 1}{-0.287j\omega^3 - 0.664\omega^2 + 0.865j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{0.668}{0.332 + 0.578j} = 0.502 - 0.865j$$

Buradan mutlak değer ve argüman kolayca bulunabilir:

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{0.502^2 + (-0.865)^2} = 1$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.865}{0.502}\right) = -59.871^\circ$$

Görülüyor ki faz açısı $-\theta_{net} / 2$ 'ye eşit çıkmaktadır. Yukarıdaki adımlar s_{12B} için de yapılırsa,

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-\omega^2 - 1}{-0.865j\omega^3 - 1.999\omega^2 + 2.598j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-2}{-0.999 + 1.733j} = 0.499 + 0.866j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.499^2 + 0.866^2} = 1$$

$$\theta_{12B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.866}{0.499}\right) = 60.023^\circ$$

$$\theta_{net} = \theta_{21B}(1) - \theta_{21A}(1) = 60.023^\circ - (-59.871^\circ) = 119.894^\circ$$

çıkar ki bu da $\theta_{net} / 2$ 'ye eşittir. Böylelikle 2. bölümde bahsedilen simetrik LC kafes devrelerinin faz özellikleri doğrulanmış olur.

$\theta_{net} = 180^\circ$ için genlik ve faz ifadelerinin hesapları aşağıdadır:

$$s_{21A} = \frac{1}{0.5s^3 + s^2 + 1.5s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{1}{-0.5j\omega^3 - \omega^2 + 1.5j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{1}{j} = -j$$

$$|s_{21A}(1)| = 1$$

$$\theta_{21A}(1) = -90^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{-1}{0.5s^3 + s^2 + 1.5s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-1}{-0.5j\omega^3 - \omega^2 + 1.5j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-1}{j} = j$$

$$|s_{21B}(1)| = 1$$

$$\theta_{21B}(1) = 90^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 90^\circ - (-90^\circ) = 180^\circ$$

$\theta_{net} = 240^\circ$ 'nin genlik ve faz ifadeleri de şöyledir:

$$s_{21A} = \frac{-s^2 + 1}{0.865s^3 + 1.999s^2 + 2.598s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{\omega^2 + 1}{-0.865j\omega^3 - 1.999\omega^2 + 2.598j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{2}{-0.999 + 1.733j} = -0.4495 - 0.866j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.4995)^2 + (-0.866)^2} = 0.999$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.866}{-0.499}\right) = 240.024^\circ = -119.975^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{-0.332s^2 + 1}{0.287s^3 + 0.664s^2 + 0.865s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{0.332\omega^2 - 1}{-0.287j\omega^3 - 0.664\omega^2 + 0.865j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.668}{0.336 + 0.578j} = -0.502 + 0.865j$$

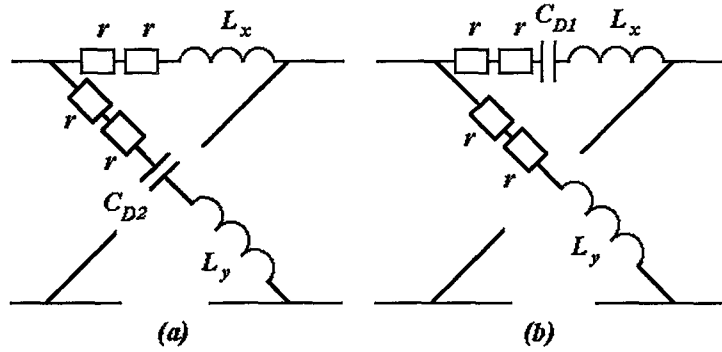
$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{(-0.502)^2 + 0.865^2} = 1$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.865}{-0.502}\right) = 120.128^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 120.128^\circ - (-119.975^\circ) = 240.103^\circ$$

3.1.2 Tip I Devresi Kayıplı Analiz

2. Bölümde anlatılmış olan pratikteki PIN diyotlarla ilgili özellikler düşünülürse, Tip I devresinin kayıplı durumu şekil 3.3'teki gibi olacaktır. PIN diyotlar, işlemlerde kolaylık olması bakımından hem iletim hem kesim yönünde bir r direnci ile modellenmiştir. Burada L_x ve L_y bobinlerinin de r gibi birer kayıp dirençleri olması öngörülmüştür.



Şekil 3.3 Tip I devresi kayıplı hal: (a) A - konumu, (b) B - konumu.

A - konumu için paralel kollardaki Z_x empedansı,

$$Z_x = sL_x + 2r \quad (3.9.a)$$

olacak, çapraz kollardaki Z_y empedansı ise,

$$Z_y = sL_y + 2r + \frac{1}{sC_{D2}} = \frac{L_y C_{D2} s^2 + 2rC_{D2} s + 1}{sC_{D2}} \quad (3.9.b)$$

çıkacaktır. (3.9.a ve b), (1.28)'de yerine konursa,

$$\begin{aligned} s_{21A} &= \frac{\frac{L_y C_{D2} s^2 + 2rC_{D2} s + 1}{sC_{D2}} - (sL_x + 2r)}{\frac{L_y C_{D2} s^2 + 2rC_{D2} s + 1}{sC_{D2}} + sL_x + 2r + \frac{L_y C_{D2} s^2 + 2rC_{D2} s + 1}{sC_{D2}} (sL_x + 2r) + 1} \\ &= \frac{(L_y C_{D2} - L_x C_{D2})s^2 + 1}{\{L_x L_y C_{D2} s^3 + (L_y C_{D2} + L_x C_{D2} + 2rL_x C_{D2} + 2rL_y C_{D2})s^2 \\ &\quad + (L_x + C_{D2} + 4r^2 C_{D2} + 4rC_{D2})s + 2r + 1\}} \end{aligned} \quad (3.10)$$

elde edilir. Aynı işlemler B - konumu için de tekrarlanırsa,

$$Z_x = sL_x + 2r + \frac{1}{sC_{D1}} = \frac{L_x C_{D1} s^2 + 2rC_{D1} s + 1}{C_{D1} s} \quad (3.11.a)$$

$$Z_y = sL_y + 2r \quad (3.11.b)$$

çıkar. Bunları (1.28)'de yerine koyarsak aşağıdaki ileri iletim kazanç fonksiyonu hesaplanır:

$$\begin{aligned} s_{21B} &= \frac{sL_y + 2r - \frac{L_x C_{D1} s^2 + 2rC_{D1} s + 1}{C_{D1} s}}{sL_y + 2r + \frac{L_x C_{D1} s^2 + 2rC_{D1} s + 1}{C_{D1} s} + (sL_y + 2r) \frac{L_x C_{D1} s^2 + 2rC_{D1} s + 1}{C_{D1} s} + 1} \\ &= \frac{(L_y C_{D1} - L_x C_{D1})s^2 - 1}{\{L_x L_y C_{D1} s^3 + (L_x C_{D1} + L_y C_{D1} + 2rL_x C_{D1} + 2rL_y C_{D1})s^2 \\ &\quad + (L_y + C_{D1} + 4r^2 C_{D1} + 4rC_{D1})s + 2r + 1\}} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Pratikte PIN diyotların iletim ve tıkama yönündeki dirençleri ve bobinlerin kayıp dirençleri 1Ω civarındadır. 50Ω 'luk bir yük direnci $1'$ e normalize edildiğinden, $1'$ er Ω luk kayıp dirençleri de normalize 0.02 olarak düşünülmüştür.

$$\theta_{net} = 120$$

$$s_{21A} = \frac{0.332s^2 + 1}{0.287s^3 + 0.691s^2 + 0.888s + 1.04}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{-0.332\omega^2 + 1}{-0.287j\omega^3 - 0.691j\omega^2 + 0.888j\omega + 1.04}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{0.668}{0.349 + 0.601j} = 0.482 - 0.830j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{0.482^2 + (-0.830)^2} = 0.959$$

$$20 \log 0.959 = -0.363 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.830}{0.482}\right) = -59.855^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{s^2 - 1}{0.865s^3 + 2.079s^2 + 2.668s + 1.04}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-\omega^2 - 1}{-0.865j\omega^3 - 2.079\omega^2 + 2.668j\omega + 1.04}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-2}{-1.039 + 1.803j} = 0.479 + 0.832j$$

$$|s_{21B}| = \sqrt{0.479^2 + 0.832^2} = 0.960$$

$$20 \log 0.960 = -0.354 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.832}{0.479}\right) = 60.070^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 60.070^\circ - (-59.855^\circ) = 119.925^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 180^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{1}{0.5s^3 + 1.04s^2 + 1.5408s + 1.04}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{1}{-0.5j\omega^3 - 1.04\omega^2 + 1.5408j\omega + 1.04}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{1}{1.0408j} = -0.960j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.960)^2} = 0.960$$

$$20 \log 0.960 = -0.354 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.960}{0}\right) = -90^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{-1}{0.5s^3 + 1.04s^2 + 1.5408s + 1.04}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-1}{-0.5j\omega^3 - 1.04\omega^2 + 1.5408j\omega + 1.04}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-1}{1.0408j} = 0.960j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.960^2} = 0.960$$

$$20 \log 0.960 = -0.354 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.960}{0}\right) = 90^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 90^\circ - (-90^\circ) = 180^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 240^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{-s^2 + 1}{0.865s^3 + 2.079s^2 + 2.668s + 1.04}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{\omega^2 + 1}{-0.865j\omega^3 - 2.079\omega^2 + 2.668j\omega + 1.04}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{2}{-1.039 + 1.803j} = -0.479 - 0.832j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.479)^2 + (-0.832)^2} = 0.960$$

$$20 \log 0.960 = -0.354 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.832}{-0.479}\right) = 240.07^\circ = -119.929^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{-0.332s^2 - 1}{0.287s^3 + 0.691s^2 + 0.888s + 1.04}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{0.332\omega^2 - 1}{-0.287j\omega^3 - 0.691\omega^2 + 0.888j\omega + 1.04}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.668}{0.349 + 0.601j} = -0.482 + 0.830j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{(-0.482)^2 + 0.830^2} = 0.959$$

$$20 \log 0.959 = -0.363 \text{ dB}$$

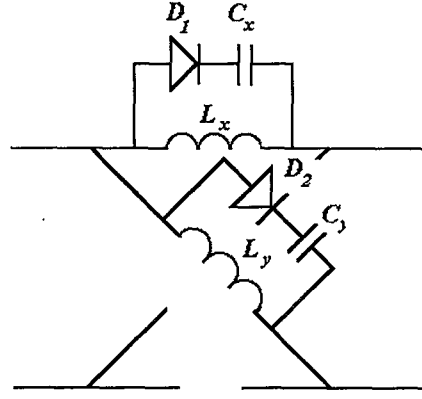
$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.830}{-0.482}\right) = 120.144^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 120.144^\circ - (-119.929^\circ) = 240.073^\circ$$

Yukarıdaki işlemlerden de görüldüğü gibi kayıplı halde faz açıları fazla değişmemekte fakat genliklerde küçük oynamalar olmaktadır. Bunun sebebi de 0.02 olarak alınan normalize değerlerdir. Daha yüksek normalize değerler için daha büyük kayıplar elde edilebilir.

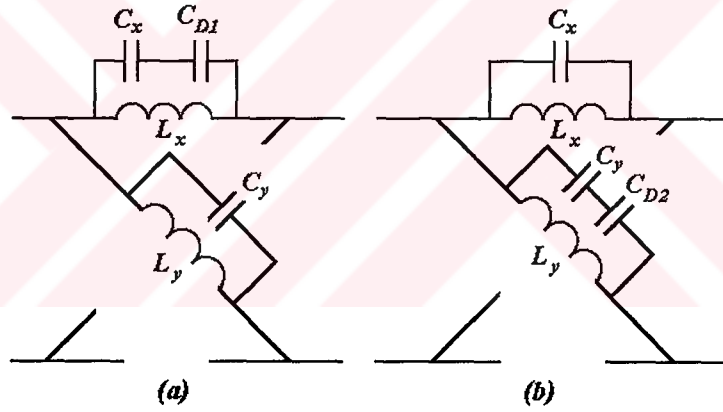
3.2. Tip II Devresi

İncelenecek ikinci devre (Tip II devresi), şekil 3.4' te gösterilmiştir. Bu devre de tip I devresine benzer fakat paralel ve çapraz kollardaki diyotlar tip I devresinin tam ters durumunda tetiklenirler.



Şekil 3.4 Tip II devresi.

Devre, tip I' den farklı olarak D_1 OFF, D_2 ON olduğunda A - konumunda çalışıp $-\theta_{net} / 2$ faz kayması, D_1 ON, D_2 OFF olduğunda B - konumunda çalışıp $\theta_{net} / 2$ faz kayması yapacaktır. Devrenin her iki durumdaki eşdeğerleri şekil 3.5' te çizilmiştir. Burada C_{D1} D_1 , C_{D2} de D_2 diyotları için ters kutuplama eşdeğer kapasiteleridir.



Şekil 3.5 Tip II yapısı eşdeğer devreleri: (a) A - konumu, (b) B - konumu.

A - konumundaki admitanslarla şekil 2.1.(a)'daki eşdeğer devreyi karşılaştırırsak

$$C_{esA} = \frac{C_x C_{D1}}{C_x + C_{D1}} \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{1}{sL_A} = sC_{esA} + \frac{1}{sL_x}$$

$$\frac{-j}{\omega L_A} = j\omega C_{esA} - \frac{j}{\omega L_x}$$

$\omega = 1$ açısal frekansında,

$$-\frac{1}{L_A} = \frac{C_x C_{D1}}{C_x + C_{D1}} - \frac{1}{L_x} \quad (3.13.a)$$

bulunur. A - durumunda çapraz kollardaki admitansları gözönüne alırsak,

$$sC_A = \frac{I}{sL_y} + sC_y$$

$$j\omega C_A = \frac{-j}{\omega L_y} + j\omega C_y$$

$\omega = I$ için,

$$C_A = C_y - \frac{1}{L_y} \quad (3.13.b)$$

elde edilir. Yukarıdaki benzer işlemler B - konumu için de yapılırsa $C_{eyB} = \frac{C_y C_{D2}}{C_y + C_{D2}}$ diyerek,

$$C_B = C_x - \frac{1}{L_x} \quad (3.13.c)$$

$$-\frac{1}{L_B} = \frac{C_y C_{D2}}{C_y + C_{D2}} - \frac{1}{L_y} \quad (3.13.d)$$

hesaplanır. (2.11) denklemlerinden L_A , L_B , C_A , C_B eleman değerleri (3.13) bağıntılarında yerlerine yazılarak tekrar düzenlenirse,

$$-\frac{1}{u} = \frac{C_x C_{D1}}{C_x + C_{D1}} - \frac{1}{L_x} \quad (3.14.a)$$

$$u = C_y - \frac{1}{L_y} \quad (3.14.b)$$

$$\frac{1}{u} = C_x - \frac{1}{L_x} \quad (3.14.c)$$

$$-u = \frac{C_y C_{D2}}{C_y + C_{D2}} - \frac{1}{L_y} \quad (3.14.d)$$

eşitlikleri elde edilir.

(3.14.a) ve (3.14.c) alt alta yazılıp beraber çözümlerse,

$$\frac{C_x C_{D1}}{C_x + C_{D1}} - C_x = -\frac{2}{u}$$

$$u C_x^2 - 2C_x - 2C_{D1} = 0$$

$$C_{x1,2} = \frac{2 \pm \sqrt{4 + 8u C_{D1}}}{2u}$$

sadece pozitif kökü alarak,

$$C_x = \frac{1 + \sqrt{1 + 2uC_{D1}}}{u} \quad (3.15.a)$$

bulunur. Çıkan sonucu (3.14.c) denkleminde yerine koyarsak L_x aşağıdaki şekilde çıkar:

$$L_x = \frac{u}{\sqrt{1 + 2uC_{D1}}} \quad (3.15.b)$$

(3.14.b) ve (3.14.d) eşitlikleri de alt alta yazılıp, beraber çözümlerse,

$$-\frac{C_y C_{D2}}{C_y + C_{D2}} + C_y = 2u$$

$$C_y^2 - 2uC_y - 2uC_D = 0$$

$$C_{y12} = \frac{2u \pm \sqrt{4u^2 + 8uC_{D2}}}{2}$$

yine sadece pozitif kök düşünülerek,

$$C_y = u + \sqrt{u^2 + 2uC_{D2}} \quad (3.15.c)$$

elde edilir. C_y bağıntısı (3.14.b)' de yerine konarak L_y için aşağıdaki eşitlik bulunur:

$$L_y = \frac{1}{\sqrt{u^2 + 2uC_{D2}}} \quad (3.15.d)$$

Dikkat edilirse Tip II devresi için eleman değerleri u ' ya ve C_D 'lere bağlı çıkmaktadır. u değeri (2.10) bağıntısından yararlanılarak hesaplanır. Ancak C_D 'lerin belirlenmesi tasarımcıya bırakılmıştır. Tezde C_D 'ler 0.5 olarak alınmışlardır. Bu veriler altında 120° , 180° ve 240° 'ler için $\omega_0 = 1$ açılal frekansında normalize eleman değerleri (3.15.a , b, c ve d)' ler kullanılarak ve (3.4.a,b ve c)' den de u ' lar hesaplanarak şu şekilde bulunur:

$$u_{120} = 0.577$$

$$L_x = \frac{0.577}{\sqrt{1 + 2 \cdot 0.5 \cdot 0.577}} = 0.459$$

$$L_y = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cdot 0.5 \cdot 0.577}} = 1.048$$

$$C_x = \frac{1 + \sqrt{1 + 2 \cdot 0.5 \cdot 0.577}}{0.577} = 3.907 \quad C_{eşA} = 0.443$$

$$C_y = 0.577 + \sqrt{0.577^2 + 2 \cdot 0.5 \cdot 0.577} = 1.531 \quad C_{eşB} = 0.337$$

$$u_{180} = 1$$

$$L_x = \frac{1}{\sqrt{1+2 \cdot 0.5 \cdot 1}} = 0.707$$

$$L_y = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 2 \cdot 0.5 \cdot 1}} = 0.707$$

$$C_x = \frac{1 + \sqrt{1+2 \cdot 0.5 \cdot 1}}{1} = 2.414$$

$$C_{e\varphi A} = 0.414$$

$$C_y = 1 + \sqrt{1^2 + 2 \cdot 0.5 \cdot 1} = 2.414$$

$$C_{e\varphi B} = 0.414$$

$$u_{240} = 1.732$$

$$L_x = \frac{1.732}{\sqrt{1+2 \cdot 0.5 \cdot 1.732}} = 1.048$$

$$L_y = \frac{1}{\sqrt{1.732^2 + 2 \cdot 0.5 \cdot 1.732}} = 0.459$$

$$C_x = \frac{1 + \sqrt{1+2 \cdot 0.5 \cdot 1.732}}{1.732} = 1.531$$

$$C_{e\varphi A} = 0.377$$

$$C_y = 1 + \sqrt{1.732^2 + 2 \cdot 0.5 \cdot 1.732} = 3.907$$

$$C_{e\varphi B} = 0.443$$

3.2.1 Tip II Devresi Kayıpsız Analiz

A - konumu için şekil 3.5.(a)' dan Z_x ve Z_y empedansları için $C_{e\varphi A} = \frac{C_x C_{D1}}{C_x + C_{D1}}$ olduğu

düşünülmektedir,

$$Z_x = sL_x // \frac{1}{sC_{e\varphi A}} = \frac{sL_x \frac{1}{sC_{e\varphi A}}}{sL_x + \frac{1}{sC_{e\varphi A}}} = \frac{L_x s}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 1} \quad (3.16.a)$$

$$Z_y = sL_y // \frac{1}{sC_y} = \frac{L_y s}{L_y C_y s^2 + 1} \quad (3.16.b)$$

yazılabilir. Bulunan eşdeğer empedanslar (1.28)' de yerine konursa s_{21A} parametresi aşağıdaki gibi bulunur:

$$s_{21A} = \frac{\frac{L_y s}{L_y C_y s^2 + 1} - \frac{L_x s}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 1}}{\frac{L_y s}{L_y C_y s^2 + 1} + \frac{L_x s}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 1} + \frac{L_y s}{L_y C_y s^2 + 1} \frac{L_x s}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 1} + 1}$$

$$s_{21A} = \frac{(L_x L_y C_{e\varphi A} - L_x L_y C_y) s^3 + (L_y - L_x) s}{\{L_x L_y C_y C_{e\varphi A} s^4 + (L_x L_y C_{e\varphi A} + L_x L_y C_y) s^3 + (L_x L_y + L_x C_{e\varphi A} + L_y C_y) s^2 + (L_x + L_y) s + 1\}} \quad (3.17)$$

s_{21A} 'nın genlik ifadesi BP karakteristiğidir.

Aynı işlemler B - konumu için de tekrar edilirse $C_{esB} = \frac{C_y C_{D2}}{C_x C_{D2}}$ olduğu da gözönünde

bulundurulur,

$$Z_x = sL_x // \frac{1}{sC_x} = \frac{sL_x \frac{1}{sC_x}}{sL_x + \frac{1}{sC_x}} = \frac{L_x s}{L_x C_x s^2 + 1} \quad (3.18.a)$$

$$Z_y = sL_y // \frac{1}{sC_{esB}} = \frac{sL_y \frac{1}{sC_{esB}}}{sL_y + \frac{1}{sC_{esB}}} = \frac{L_y s}{L_y C_{esB} s^2 + 1} \quad (3.18.b)$$

(1.28) denklemini tekrar yazılırsa,

$$s_{21B} = \frac{\frac{L_y s}{L_y C_{esB} s^2 + 1} - \frac{L_x s}{L_x C_x s^2 + 1}}{\frac{L_y s}{L_y C_{esB} s^2 + 1} + \frac{L_x s}{L_x C_x s^2 + 1} + \frac{L_y s}{L_y C_{esB} s^2 + 1} \frac{L_x s}{L_x C_x s^2 + 1} + 1}$$

$$s_{21B} = \frac{(L_x L_y C_x - L_x L_y C_{esB})s^3 + (L_y - L_x)s}{\{L_x L_y C_x C_{esB} s^4 + (L_x L_y C_x + L_x L_y C_{esB})s^3 + (L_x L_y + L_x C_x + L_y C_{esB})s^2 + (L_x + L_y)s + 1\}} \quad (3.19)$$

elde edilir. s_{21B} 'nin de genliği bir BP karakteristiğidir.

$\theta_{net} = 120^0, 180^0$ ve 240^0 'ler için s_{21} 'lerin genlik ve fazları aşağıdaki gibi bulunacaktır:

$$\theta_{net} = 120^0$$

$$s_{21A} = \frac{-0.523s^3 + 0.589s}{0.326s^4 + 0.949s^3 + 2.288s^2 + 1.507s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{0.523j\omega^3 + 0.589j\omega}{0.326\omega^4 - 0.949j\omega^3 - 2.288\omega^2 + 1.507j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{1.112j}{-0.962 + 0.558j} = 0.502 - 0.865j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{0.502^2 + (-0.865)^2} = 1$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.865}{0.502}\right) = -59.871^0$$

$$s_{21B} = \frac{1.698s^3 + 0.589s}{0.708s^4 + 2.060s^3 + 2.669s^2 + 1.507s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-1.698j\omega^3 + 0.589j\omega}{0.708\omega^4 - 2.060j\omega^3 - 2.669\omega^2 + 1.507j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{1.109j}{0.961 + 0.553j} = 0.498 + 0.866j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.498^2 + 0.866^2} = 0.998$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.866}{0.498}\right) = 60.098^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 60.098^\circ - (-59.871^\circ) = 119.969^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 180^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{-0.999s^3}{0.499s^4 + 1.413s^3 + 2.499s^2 + 1.414s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{0.999j\omega^3}{0.499s^4 - 1.413j\omega^3 - 2.499\omega^2 + 1.414j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{0.999j}{-1 + 0.001j} = -0.999j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.999)^2} = 0.999$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.999}{0}\right) = -90^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{0.999s^3}{0.499s^4 + 1.413s^3 + 2.499s^2 + 1.414s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-0.999j}{0.499\omega^4 - 1.413j\omega^3 - 2.499\omega^2 + 1.414j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.999j}{-1 + 0.001j} = 0.999j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.999^2} = 0.999$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.999}{0}\right) = 90^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 90^\circ - (-90^\circ) = 180^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 240^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{-1.698s^3 - 0.589s}{0.708s^4 + 2.060s^3 + 2.669s^2 + 1.507s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{1.699j\omega^3 - 0.589j\omega}{0.708\omega^4 - 2.060j\omega^3 - 2.669\omega^2 + 1.507j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{1.109j}{-0.961 - 0.553j} = -0.499 - 0.866j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.499)^2 + (-0.866)^2} = 0.999$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.866}{-0.499}\right) = 240.048^\circ = -119.951^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{0.523s^3 - 0.589s}{0.326s^4 + 0.949s^3 + 2.288s^2 + 1.507s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{0.523j\omega^3 - 0.589j\omega}{0.326\omega^4 - 0.949j\omega^3 - 2.288\omega^2 + 1.507j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-1.112j}{-0.962 + 0.558j} = -0.502 + 0.871j$$

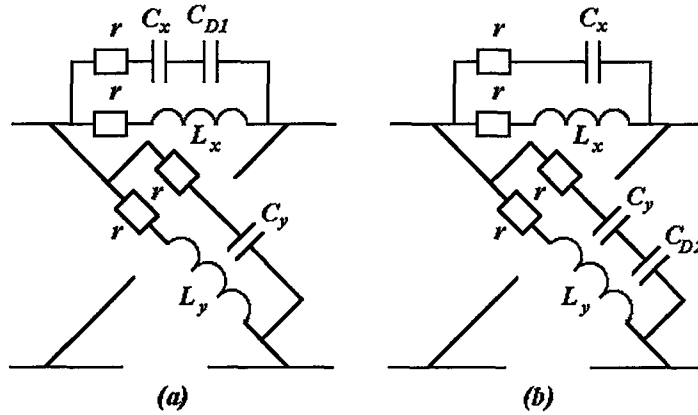
$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{(-0.502)^2 + 0.871^2} = 1$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.871}{-0.502}\right) = 119.956^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = \theta_{21B}(1) - \theta_{21A}(1) = 119.956^\circ - (-119.951^\circ) = 239.907^\circ$$

3.2.2 Tip II Devresi Kayıplı Analiz

3.1.2 kısmında, incelenen yapıların kayıplı durum özelliklerinden bahsedilmiştir. Şekil 3.6'da tip II devresinin kayıplı durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Tip II devresi kayıplı hal: (a) A - konumu, (b) B - konumu.

A - konumunda paralel kollardaki Z_x empedansı,

$$Z_x = (sL_x + r) // \left(\frac{1}{sC_{e\varphi A}} + r \right) = \frac{(sL_x + r) \left(\frac{1}{sC_{e\varphi A}} + r \right)}{sL_x + 2r + \frac{1}{sC_{e\varphi A}}}$$

$$= \frac{rL_x C_{e\varphi A} s^2 + (r^2 C_{e\varphi A} + L_x)s + r}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 2r C_{e\varphi A} s + 1} \quad (3.20.a)$$

ve çapraz kollardaki Z_y empedansı da,

$$Z_y = (sL_y + r) // \left(\frac{1}{sC_y} + r \right) = \frac{(sL_y + r) \left(\frac{1}{sC_y} + r \right)}{sL_y + 2r + \frac{1}{sC_y}}$$

$$= \frac{rL_y C_y s^2 + (r^2 C_y + L_y)s + r}{L_y C_y s^2 + 2r C_y s + 1} \quad (3.21.b)$$

şeklinde çıkar. Buradan (1.28) formülüne geçilerek s_{21A} aşağıdaki gibi bulunur:

$$s_{21A} = \frac{\frac{rL_y C_y s^2 + (r^2 C_y + L_y)s + r}{L_y C_y s^2 + 2r C_y s + 1} - \frac{rL_x C_{e\varphi A} s^2 + (r^2 C_{e\varphi A} + L_x)s + r}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 2r C_{e\varphi A} s + 1}}{\left\{ \frac{rL_y C_y s^2 + (r^2 C_y + L_y)s + r}{L_y C_y s^2 + 2r C_y s + 1} + \frac{rL_x C_{e\varphi A} s^2 + (r^2 C_{e\varphi A} + L_x)s + r}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 2r C_{e\varphi A} s + 1} + \frac{rL_y C_y s^2 + (r^2 C_y + L_y)s + r}{L_y C_y s^2 + 2r C_y s + 1} \frac{rL_x C_{e\varphi A} s^2 + (r^2 C_{e\varphi A} + L_x)s + r}{L_x C_{e\varphi A} s^2 + 2r C_{e\varphi A} s + 1} + 1 \right\}}$$

$$s_{21A} = \frac{\{-r^2 L_x C_y C_{e\varphi A} + r^2 L_y C_y C_{e\varphi A} + L_x L_y C_{e\varphi A} - L_x L_y C_y\} s^3 + (2rL_y C_{e\varphi A} - 2rL_x C_y) s^2 + (r^2 C_{e\varphi A} - r^2 C_y + L_y - L_x) s^1}{\{2rL_x L_y C_y C_{e\varphi A} + r^2 L_x L_y C_y C_{e\varphi A} + L_x L_y C_y C_{e\varphi A}\} s^4 + (3r^2 L_x C_y C_{e\varphi A} + 3r^2 L_y C_y C_{e\varphi A} + L_x L_y C_{e\varphi A} + L_x L_y C_y + r^3 L_y C_y C_{e\varphi A} + rL_x L_y C_y + r^3 L_x C_y C_{e\varphi A} + rL_x L_y C_{e\varphi A} + 2rL_x C_y C_{e\varphi A} + 2rL_y C_y C_{e\varphi A}) s^3 + (4r^3 C_y C_{e\varphi A} + 2rL_x C_y + rL_x C_{e\varphi A} + 2rL_y C_y + 2rL_y C_{e\varphi A} + rL_x C_{e\varphi A} + r^2 L_y C_y + r^4 C_y C_{e\varphi A} + r^2 L_x C_y + r^2 L_y C_{e\varphi A} + L_x L_y + r^2 L_x C_{e\varphi A} + L_x C_{e\varphi A} + 4r^2 C_y C_{e\varphi A} + L_y C_y) s^2 + (3r^2 C_{e\varphi A} + 3r^2 C_y + L_x + L_y + r^3 C_y + rL_y + r^3 C_{e\varphi A} + rL_x + 2rC_y + 2rC_{e\varphi A}) s + r^2 + 2r + 1\}}$$
(3.22)

B - konumu için kayıplı halde empedanslar,

$$Z_x = (sL_x + r) / \left(\frac{1}{sC_x} + r \right) = \frac{(sL_x + r) \left(\frac{1}{sC_x} + r \right)}{sL_x + 2r + \frac{1}{sC_x}}$$

$$= \frac{rL_x C_x s^2 + (r^2 C_x + L_x)s + r}{L_x C_x s^2 + 2rC_x s + 1} \quad (3.23.a)$$

$$Z_y = (sL_y + r) / \left(\frac{1}{sC_{eşB}} + r \right) = \frac{(sL_y + r) \left(\frac{1}{sC_{eşB}} + r \right)}{sL_y + 2r + \frac{1}{sC_{eşB}}}$$

$$= \frac{rL_y C_{eşB} s^2 + (r^2 C_{eşB} + L_y)s + r}{L_y C_{eşB} s^2 + 2rC_{eşB} s + 1} \quad (3.23.b)$$

şeklindedir. Bulunan ifadeler (1.28)' de yerine konursa,

$$S_{21B} = \frac{rL_y C_{eşB} s^2 + (r^2 C_{eşB} + L_y)s + r}{L_y C_{eşB} s^2 + 2rC_{eşB} s + 1} - \frac{rL_x C_x s^2 + (r^2 C_x + L_x)s + r}{L_x C_x s^2 + 2rC_x s + 1}$$

$$= \left\{ \frac{rL_y C_{eşB} s^2 + (r^2 C_{eşB} + L_y)s + r}{L_y C_{eşB} s^2 + 2rC_{eşB} s + 1} + \frac{rL_x C_x s^2 + (r^2 C_x + L_x)s + r}{L_x C_x s^2 + 2rC_x s + 1} + \frac{rL_y C_{eşB} s^2 + (r^2 C_{eşB} + L_y)s + r}{L_y C_{eşB} s^2 + 2rC_{eşB} s + 1} - \frac{rL_x C_x s^2 + (r^2 C_x + L_x)s + r}{L_x C_x s^2 + 2rC_x s + 1} + 1 \right\}$$

$$= \frac{\{(-r^2 L_x C_x C_{eşB} + r^2 L_y C_x C_{eşB} + L_x L_y C_x - L_x L_y C_{eşB})s^3 + (2rC_x L_y - 2rL_x C_{eşB})s^2 + (r^2 C_x - r^2 C_{eşB} + L_y - L_x)s\}}{\{(2rL_x L_y C_x C_{eşB} + r^2 L_x L_y C_x C_{eşB} + L_x L_y C_x C_{eşB})s^4 + (3r^2 L_x C_x C_{eşB} + 3r^2 L_y C_x C_{eşB} + L_x L_y C_x + L_x L_y C_{eşB} + r^3 L_y C_x C_{eşB} + rL_x L_y C_{eşB} + r^3 L_x C_x C_{eşB} + rL_x L_y C_x + 2rL_x C_x C_{eşB} + 2rL_y C_x C_{eşB})s^3 + (4r^3 C_x C_{eşB} + 2rL_x C_{eşB} + rL_x C_x + 2rL_y C_{eşB} + 2rC_x L_y + rL_x C_x + r^2 L_y C_{eşB} + r^4 C_x C_{eşB} + r^2 L_x C_{eşB} + r^2 L_y C_x + L_x L_y + r^2 L_x C_x + L_x C_x + 4r^2 C_x C_{eşB} + L_y C_{eşB})s^2 + (3r^2 C_x + 3r^2 C_{eşB} + L_x + L_y + r^3 C_{eşB} + rL_y + r^3 C_x + rL_x + 2rC_{eşB} + 2rC_x)s + r^2 + 2r + 1\}}$$

$$(3.24)$$

bulunur. (3.4.a, b ve c)' deki eleman değerleri yerine konarak $\theta_{net} = 120^\circ$, 180° ve 240° ler için aşağıdaki ifadeler elde edilir:

$$\underline{\theta_{net} = 120^0}$$

$$s_{21A} = \frac{-0.523s^3 - 0.00953s^2 + 0.588s}{0.339s^4 + 1.01s^3 + 2.410s^2 + 1.618s + 1.0404}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{0.523j\omega^3 + 0.00953\omega^2 + 0.588j\omega}{0.339\omega^4 - 1.01j\omega^3 - 2.410\omega^2 + 1.618j\omega + 1.0404}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{0.00953 + 1.111j}{-1.0306 + 0.608j} = 0.464 - 0.799j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{0.464^2 + (-0.799)^2} = 0.923$$

$$20 \log 0.923 = -0.695 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.799}{0.464}\right) = -59.855^0$$

$$s_{21B} = \frac{1.698s^3 + 0.156s^2 + 0.59s}{0.737s^4 + 2.193s^3 + 2.932s^2 + 1.713s + 1.0404}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-1.698j\omega^3 - 0.156\omega^2 + 0.59j\omega}{0.737\omega^4 - 2.193j\omega^3 - 2.932\omega^2 + 1.713j\omega + 1.0404}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.156 - 1.108j}{-1.1546 - 0.48j} = 0.454 + 0.770j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.454^2 + 0.770^2} = 0.893$$

$$20 \log 0.893 = -0.982 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.770}{0.454}\right) = 59.475^0$$

$$\theta_{net}(1) = 59.475^0 - (-59.855^0) = 119.33^0$$

$$\underline{\theta_{net} = 180^0}$$

$$s_{21A} = \frac{-s^3 + 0.056s^2 - 0.0008s}{0.519s^4 + 1.5s^3 + 2.662s^2 + 1.558s + 1.0404}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{j\omega^3 - 0.056\omega^2 - 0.0008j\omega}{0.519\omega^4 - 1.5j\omega^3 - 2.662\omega^2 + 1.558j\omega + 1.0404}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{-0.056 + 0.9992j}{-1.1026 + 0.058j} = -0.00311 - 0.905j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.00311)^2 + (-0.905)^2} = 0.905$$

$$20 \log 0.905 = -0.867 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.905}{-0.00311}\right) = -90.196^0$$

$$s_{21B} = \frac{0.9993s^3 + 0.056s^2 + 0.0008s}{0.519s^4 + 1.5s^3 + 2.662s^2 + 1.558s + 1.0404}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-0.999j\omega^3 - 0.056\omega^2 + 0.0008j\omega}{0.519\omega^4 - 1.5j\omega^3 - 2.662\omega^2 + 1.558j\omega + 1.0404}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.056 - 0.998j}{-1.1026 + 0.058j} = 0.00319 + 0.905j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.00319^2 + 0.905^2} = 0.905$$

$$20 \log 0.905 = -0.867 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.905}{0.00319}\right) = 89.798^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 89.798^\circ - (-90.196^\circ) = 179.994^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 240^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{-1.698s^3 - 0.156s^2 - 0.59s}{0.737s^4 + 2.193s^3 + 2.931s^2 + 1.713s + 1.0404}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{1.698j\omega^3 + 0.156\omega^2 - 0.59j\omega}{0.737\omega^4 - 2.193j\omega^3 - 2.931\omega^2 + 1.713j\omega + 1.0404}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{0.156 + 1.108j}{-1.1536 - 0.48j} = -0.454 - 0.770j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.454)^2 + (-0.770)^2} = 0.893$$

$$20 \log 0.893 = -0.982 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.770}{-0.454}\right) = 239.475^\circ = -120.524^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{0.523s^3 + 0.00953s^2 - 0.588s}{0.339s^4 + 1.01s^3 + 2.409s^2 + 1.618s + 1.0404}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-0.523j\omega^3 - 0.00953\omega^2 - 0.588j\omega}{0.339\omega^4 - 1.01j\omega^3 - 2.409\omega^2 + 1.618j\omega + 1.0404}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.00953 - 1.111j}{-1.0296 + 0.608j} = -0.465 + 0.800j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{(-0.465)^2 + 0.800^2} = 0.925$$

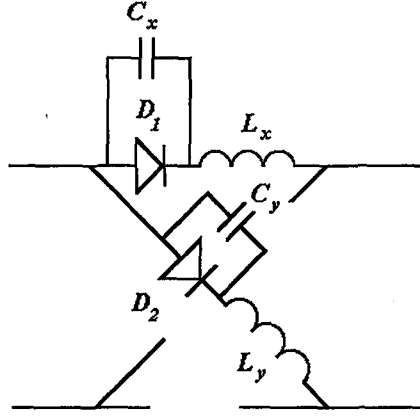
$$20 \log 0.925 = -0.677 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.800}{-0.465}\right) = 120.167^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 120.167^\circ - (-120.524^\circ) = 240.691^\circ$$

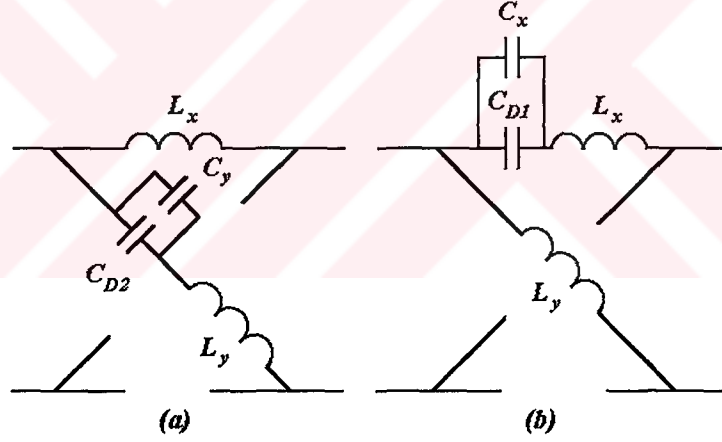
3.3. Tip III Devresi

İncelenecek son yapı (Tip III Devresi) şekil 3.7' de çizilmiştir. Devrenin çalışma prensibi tip I' e çok benzemektedir. Devre, D_1 ON, D_2 OFF olduğunda A - konumunda, D_1 OFF, D_2 de ON olduğunda B - konumunda çalışmaktadır.



Şekil 3.7 Tip III devresi.

Devrenin kayıpsız hal A ve B - konumları eşdeğerleri ise şekil 3.8.(a) ve (b)' de çizilmiştir.



Şekil 3.8 Tip III yapısı eşdeğer devreleri: (a) A - konumu, (b) B - konumu.

Şekil 3.8.(a)' daki devre ile 2.1.(a)' daki devreyi karşılaştırsak, paralel kollardaki empedanslar için,

$$sL_A = sL_x$$

$$L_x = L_A$$

(3.25.a)

ve çapraz kollardaki empedanslar için de $C_{eşA} = C_y + C_{D2}$, olduğundan,

$$\frac{1}{sC_A} = \frac{1}{sC_{eşA}} + sL_y$$

$s = j\omega$ ve $\omega = 1$ denilerek,

$$-\frac{1}{C_A} = -\frac{1}{C_{esA}} + L_y \quad (3.25.b)$$

elde edilir. Aynı işlemler B - konumu için de $C_{esB} = C_x + C_{D1}$ olduğu da gözönünde bulundurularak tekrarlanırsa,

$$\frac{1}{sC_B} = \frac{1}{sC_{esB}} + sL_x$$

$s = j\omega$ ve $\omega = 1$ olduğundan,

$$-\frac{1}{C_B} = -\frac{1}{C_{esB}} + L_x \quad (3.25.c)$$

elde edilir ve son olarak da çapraz kollardan,

$$sL_B = sL_y$$

$$L_y = L_B \quad (3.25.d)$$

hesaplanır. Elde edilen bağıntılara (2.11.a, b, c ve d)'deki u 'ya bağlı L_A , L_B , C_A ve C_B eleman değerleri konarak,

$$L_x = u \quad (3.26.a)$$

$$L_y = u^{-1} \quad (3.26.b)$$

(3.25.b)'den,

$$-\frac{1}{u} = -\frac{1}{C_y + C_{D2}} + \frac{1}{u}$$

$$C_y = \frac{u}{2} - C_{D2} \quad (3.26.c)$$

(3.25.c)'den,

$$-u = -\frac{1}{C_x + C_{D1}} + u$$

$$C_x = \frac{1}{2u} - C_{D2} \quad (3.26.d)$$

bulunur. Burada da tip II devresinde olduğu gibi C_D 'lerin seçimi tasarımcıya bırakılmıştır. Tezde C_D 'ler normalize 0.25 olarak alınmıştır.

u 'lar (3.4.a, b ve c)'den hesaplanarak tüm eleman değerleri aşağıdaki gibi bulunur:

$$u_{120} = 0.577$$

$$L_x = 0.577$$

$$L_y = 0.577^{-1} = 1.732$$

$$C_x = \frac{1}{2 \cdot 0.577} - 0.25 = 0.616 \quad C_{e\varphi A} = 0.288$$

$$C_y = \frac{0.577}{2} - 0.25 = 0.0385 \quad C_{e\varphi B} = 0.866$$

$$u_{180} = 1$$

$$L_x = 1$$

$$L_y = 1^{-1} = 1$$

$$C_x = \frac{1}{2 \cdot 1} - 0.25 = 0.25 \quad C_{e\varphi A} = 0.5$$

$$C_y = \frac{1}{2} - 0.25 = 0.25 \quad C_{e\varphi B} = 0.5$$

$$u_{240} = 1.732$$

$$L_x = 1.732$$

$$L_y = 1.732^{-1} = 0.577$$

$$C_x = \frac{1}{2 \cdot 1.732} - 0.25 = 0.0385 \quad C_{e\varphi A} = 0.866$$

$$C_y = \frac{1.732}{2} - 0.25 = 0.616 \quad C_{e\varphi B} = 0.288$$

3.3.1 Tip III Devresi Kayıpsız Analiz

A - konumu için şekil 3.8.(a)' dan Z_x ve Z_y empedansları $C_{e\varphi A} = C_y + C_{D2}$ olduğundan,

$$Z_x = sL_x \quad (3.27.a)$$

$$Z_y = \frac{1}{sC_{e\varphi A}} + sL_y = \frac{1}{sC_y + sC_{D2}} + sL_y \quad (3.27.b)$$

olarak bulunur. Bu empedanslar (1.28)' de yerine konarak,

$$s_{21A} = \frac{\frac{1}{sC_{e\varphi A}} + sL_y - sL_x}{\frac{1}{sC_{e\varphi A}} + sL_y + sL_x + \left(\frac{1}{sC_{e\varphi A}} + sL_y \right) sL_x + 1}$$

$$s_{21A} = \frac{(L_y C_{e\varphi A} - L_x C_{e\varphi A})s^2 + 1}{L_x L_y C_{e\varphi A} s^3 + (L_y C_{e\varphi A} + L_x C_{e\varphi A})s^2 + (L_x + C_{e\varphi A})s + 1} \quad (3.28)$$

hesaplanır. s_{21A} 'nın genlik karakteristiği tip I devresi A - konumuyla aynıdır.

B - konumunda $C_{e\varphi B} = C_x + C_{D1}$ 'dir. Paralel ve çapraz kollardaki empedanslar,

$$Z_x = \frac{1}{sC_{e\varphi B}} + sL_x = \frac{1}{sC_x + sC_{D1}} + sL_x \quad (3.29.a)$$

$$Z_y = sL_y \quad (3.29.b)$$

bulunur. B - konumu için de s_{21B} parametresi aşağıdaki şekilde çıkar:

$$s_{21B} = \frac{sL_y - \frac{1}{sC_{e\beta B}} - sL_x}{sL_y + \frac{1}{sC_{e\beta B}} + sL_x + sL_y \left(\frac{1}{sC_{e\beta B}} + sL_x \right) + 1}$$

$$s_{21B} = \frac{(L_y C_{e\beta B} - L_x C_{e\beta B})s^2 - 1}{L_x L_y C_{e\beta B} s^3 + (L_y C_{e\beta B} + L_x C_{e\beta B})s^2 + (L_y + C_{e\beta B})s + 1} \quad (3.30)$$

B - konumunun genlik karakteristiği de yukarıda olduğu gibi tip I devresinin B - konumunun aynısıdır.

$\theta_{net} = 120^\circ, 180^\circ$ ve 240° 'ler için genlik ve faz açıları aşağıda hesaplanmıştır:

$\theta_{net} = 120^\circ$

$$s_{21A} = \frac{0.332s^2 + 1}{0.287s^3 + 0.664s^2 + 0.865s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{-0.332\omega^2 + 1}{-0.287j\omega^3 - 0.664\omega^2 + 0.865j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{0.668}{0.336 + 0.578j} = 0.502 - 0.865j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{0.502^2 + (-0.865)^2} = 1$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.865}{0.502}\right) = -59.871^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{s^2 - 1}{0.865s^3 + 1.999s^2 + 2.598s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-\omega^2 - 1}{-0.865j\omega^3 - 1.999\omega^2 + 2.598j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-2}{-0.999 + 1.733j} = 0.499 + 0.866j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.499^2 + 0.866^2} = 1$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.866}{0.499}\right) = 60.048^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 60.048^\circ - (-59.871^\circ) = 119.919^\circ$$

$\theta_{net} = 180^\circ$

$$s_{21A} = \frac{1}{0.5s^3 + s^2 + 1.5s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{1}{-0.5j\omega^3 - \omega^2 + 1.5j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{1}{j} = -j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-1)^2} = 1$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-1}{0}\right) = -90^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{-1}{0.5s^3 + s^2 + 1.5s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-1}{-0.5j\omega^3 - \omega^2 + 1.5j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-1}{j} = j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{1^2} = 1$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{0}\right) = 90^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 90^\circ - (-90^\circ) = 180^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 240^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{-s^2 + 1}{0.865s^3 + 1.999s^2 + 2.598s + 1}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{\omega^2 + 1}{-0.865j\omega^3 - 1.999\omega^2 + 2.598j\omega + 1}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{2}{-0.999 + 1.733j} = -0.499 - 0.866j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.499)^2 + (-0.866)^2} = 1$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.866}{-0.499}\right) = 240.048^\circ = -119.952^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{-0.332s^2 - 1}{0.287s^3 + 0.664s^2 + 0.865s + 1}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{0.332\omega^2 - 1}{-0.287j\omega^3 - 0.664\omega^2 + 0.865j\omega + 1}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.668}{0.336 + 0.578j} = -0.502 + 0.865j$$

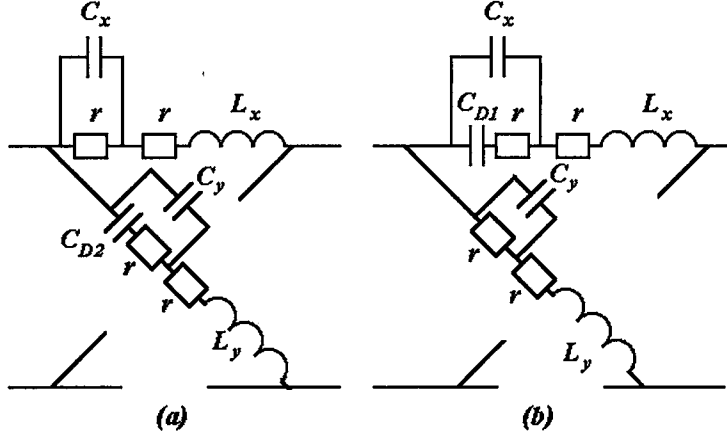
$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{(-0.502)^2 + 0.865^2} = 1$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.865}{-0.502}\right) = 120.128^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 120.128^\circ - (-119.952^\circ) = 240.08^\circ$$

3.3.2. Tip III Devresi Kayıplı Analiz

Şekil 3.9.(a) ve (b)' de tip III devresinin kayıplı eşdeğerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Tip III devresi kayıplı hal: (a) A - konumu, (b) B - konumu.

A - konumunda paralel kollardaki Z_x empedansı,

$$Z_x = r + sL_x + \left(\frac{1}{sC_x} // r \right) = r + sL_x + \frac{\frac{1}{sC_x} r}{\frac{1}{sC_x} + r}$$

$$= \frac{rL_x C_x s^2 + (r^2 C_x + L_x)s + 2r}{rC_x s + 1} \quad (3.31.a)$$

ve çapraz kollardaki Z_y empedansı,

$$Z_y = r + sL_y + \left[\frac{1}{sC_y} // \left(\frac{1}{sC_{D2}} + r \right) \right] = r + sL_y + \frac{\frac{1}{sC_y} \left(\frac{1}{sC_{D2}} + r \right)}{\frac{1}{sC_y} + \frac{1}{C_{D2}} + r}$$

$$= \frac{rL_y C_y C_{D2} s^3 + (r^2 C_y C_{D2} + L_y C_{D2} + L_y C_y)s^2 + (2rC_{D2} + rC_y)s + 1}{rC_y C_{D2} s^2 + (C_y + C_{D2})s} \quad (3.31.b)$$

bulunur. Elde edilen eşdeğer empedanslar (1.28)' de yerine konup gerekli düzenlemeler yapılırsa s_{2IA} parametresi için aşağıdaki ifade çıkar:

$$\begin{aligned}
s_{21A} = & \frac{\{(r^2 L_y C_x C_y C_{D2} - r^2 L_x C_x C_y C_{D2})s^4 + (r L_y C_x C_{D2} + r L_y C_x C_y + \\
& r L_y C_y C_{D2} - r L_x C_y C_{D2} - r L_x C_x C_y - r L_x C_x C_{D2})s^3 + (r^2 C_x C_{D2} + \\
& L_y C_{D2} + L_y C_y - L_x C_y - L_x C_{D2} - r^2 C_y C_{D2})s^2 + (r C_x - r C_y)s + 1\}}{\{r^2 L_x L_y C_x C_y C_{D2} s^5 + (r^3 L_x C_x C_y C_{D2} + r^3 L_y C_x C_y C_{D2} + \\
& r^2 L_y C_x C_y C_{D2} + r^2 L_x C_x C_y C_{D2} + r L_x L_y C_x C_{D2} + r L_x L_y C_x C_y + \\
& r L_x L_y C_y C_{D2})s^4 + (r^4 C_x C_y C_{D2} + 2r^3 C_x C_y C_{D2} + 2r^2 L_y C_y C_{D2} + \\
& r^2 L_x C_y C_{D2} + r^2 L_y C_x C_{D2} + r^2 L_y C_x C_y + 2r^2 L_x C_x C_{D2} + r^2 L_x C_x C_y + \\
& r^2 L_y C_x C_{D2} + 2r^2 C_x C_y C_{D2} + r L_y C_x C_{D2} + r L_y C_x C_y + r L_y C_y C_{D2} + \\
& r L_x C_y C_{D2} + r L_x C_x C_y + r L_x C_x C_{D2} + L_x L_y C_{D2})s^3 + (r^3 C_x C_y + \\
& 2r^3 C_x C_{D2} + 2r^3 C_y C_{D2} + 3r^2 C_x C_{D2} + 2r^2 C_x C_y + 3r^2 C_y C_{D2} + \\
& 4r C_y C_{D2} + 2r C_x C_y + 2r C_x C_{D2} + 2r L_y C_y + 2r L_x C_{D2} + r L_x C_x + r L_x C_y + \\
& L_y C_{D2} + L_y C_y + L_x L_y C_y + L_x C_y + L_x C_{D2})s^2 + (4r^2 C_{D2} + 2r^2 C_y + \\
& r^2 C_x + r C_x + 4r C_{D2} + 3r C_y + L_x + C_y + C_{D2})s + 2r + 1\}}
\end{aligned} \tag{3.32}$$

B - konumu için kayıplı halde Z_x ve Z_y empedansları,

$$\begin{aligned}
Z_x = r + sL_x + \left[\frac{1}{sC_x} // \left(\frac{1}{sC_{D1}} + r \right) \right] &= r + sL_x + \frac{\frac{1}{sC_x} \left(\frac{1}{sC_{D1}} + r \right)}{\frac{1}{sC_x} + \frac{1}{sC_{D1}} + r} \\
&= \frac{rL_x C_x C_{D1} s^3 + (r^2 C_x C_{D1} + L_x C_{D1} + L_x C_x) s^2 + (2r C_{D1} + r C_x) s + 1}{C_x C_{D1} s^2 + (C_x + C_{D1}) s}
\end{aligned} \tag{3.33.a}$$

$$\begin{aligned}
Z_y = r + sL_y + \left(r // \frac{1}{sC_y} \right) &= r + sL_y + \frac{\frac{1}{sC_y} r}{\frac{1}{sC_y} + r} \\
&= \frac{rL_y C_y s^2 + (r^2 C_y + L_y) s + 2r}{r C_y s + 1}
\end{aligned} \tag{3.33.b}$$

olarak çıkar. Bulunan değerler (1.28)' de yerine konarak tip III devresinin kayıplı halde B - konumu s_{21A} parametresi,

$$\begin{aligned}
& \{(r^2 L_y C_x C_y C_{D1} - r^2 L_x C_x C_y C_{D1})s^4 + (rL_y C_x C_{D1} + rL_y C_y C_{D1} + \\
& rL_y C_x C_y - rL_x C_y C_{D1} - rL_x C_x C_y - rL_x C_x C_{D1})s^3 + (r^2 C_x C_{D1} + L_y C_{D2} + \\
& L_y C_x - r^2 C_y C_{D1} - L_x C_{D1} - L_x C_x)s^2 + (rC_x - rC_y)s - 1\} \\
s_{21B} = & \frac{\{r^2 L_x L_y C_x C_y C_{D1} s^5 + (r^3 L_y C_x C_y C_{D1} + r^3 L_x C_x C_y C_{D1} + \\
& r^2 L_y C_x C_y C_{D1} + r^2 L_y C_x C_y C_{D1} + rL_x L_y C_y C_{D1} + rL_x L_y C_x C_y + \\
& rL_x L_y C_x C_{D1})s^4 + (r^4 C_x C_y C_{D1} + 2r^3 C_x C_y C_{D1} + 2r^2 L_y C_y C_{D1} + \\
& 2r^2 L_x C_x C_{D1} + r^2 L_y C_x C_y + r^2 L_x C_y C_{D1} + r^2 L_x C_x C_y + r^2 L_y C_x C_{D1} + \\
& r^2 C_x C_y C_{D1} + rL_y C_x C_{D1} + rL_y C_y C_{D1} + rL_y C_x C_y + rL_x C_y C_{D1} + \\
& rL_x C_x C_y + rL_x C_x C_{D1} + L_x L_y C_{D1} + L_x L_y C_x)s^3 + (2r^3 C_y C_{D1} + \\
& 2r^3 C_x C_{D1} + r^3 C_x C_y + 3r^2 C_x C_{D1} + 2r^2 C_x C_y + 3r^2 C_y C_{D1} + rL_y C_y + \\
& 2rL_y C_{D1} + 2rL_y C_x + 2rL_x C_{D1} + 2rL_x C_x + rC_x C_{D1} + rC_y C_{D1} + \\
& rC_x C_y)s^2 + (4r^2 C_{D1} + 2r^2 C_x + r^2 C_y + 4rC_{D1} + 3rC_x + rC_y + L_y + \\
& C_{D1} + C_x)s + 2r + 1\}
\end{aligned} \tag{3.34}$$

olarak hesaplanır. Buradan $\theta_{net} = 120^\circ$, 180° ve 240° 'ler için genlik ve fazlar aşağıdaki gibi çıkar:

$$\underline{\theta_{net} = 120^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{2.739 \cdot 10^{-6} s^4 + 0.004327 s^3 + 0.333 s^2 - 0.01155 s + 1}{2.37 \cdot 10^{-6} s^5 + 0.002697 s^4 + 0.297 s^3 + 0.701 s^2 + 0.9 s + 1.04}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{-0.004327 j\omega - 0.333 \omega^2 - 0.01155 j\omega + 1}{0.002697 \omega^4 - 0.297 j\omega^3 - 0.696 \omega^2 + 0.9 j\omega + 1.04}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{0.667 - 0.0158j}{0.346 + 0.603j} = 0.455 - 0.842j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{0.455^2 + (-0.842)^2} = 0.957$$

$$20 \log 0.957 = -0.381 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A} = \tan^{-1}\left(\frac{-0.842}{0.455}\right) = -61.614^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{0.004327 s^3 + s^2 + 0.01155 s - 1}{2.37 \cdot 10^{-6} s^5 + 0.00375 s^4 + 0.874 s^3 + 2.081 s^2 + 2.656 s + 1.04}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-0.004327 j\omega^3 - \omega^2 + 0.01155 j\omega - 1}{0.00375 \omega^4 - 0.874 j\omega^3 - 2.081 \omega^2 + 2.656 j\omega + 1.04}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-2 + 0.007223j}{-1.03725 + 1.782j} = 0.491 + 0.836j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.491^2 + 0.836^2} = 0.969$$

$$20 \log 0.969 = -0.273 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.836}{0.491}\right) = 59.573^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 59.573^\circ - (-61.614^\circ) = 121.187^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 180^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{1}{0.003762s^4 + 0.507s^3 + 1.043s^2 + 1.5407s + 1.04}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{1}{0.003762\omega^4 - 0.507j\omega^3 - 1.043\omega^2 + 1.5407j\omega + 1.04}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{1}{0.000762 + 1.0337j} = 0.000713 - 0.967j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{0.000713^2 - 0.967^2} = 0.967$$

$$20 \log 0.967 = -0.291 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.967}{0.000713}\right) = -89.957^\circ$$

$$s_{21B} = \frac{-1}{0.003762s^4 + 0.507s^3 + 1.048s^2 + 1.5407s + 1.04}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{-1}{0.003762\omega^4 - 0.507j\omega^3 - 1.048\omega^2 + 1.5407j\omega + 1.04}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-1}{-0.00762 + 1.0337j} = 0.007134 + 0.967j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{0.007134^2 + 0.967^2} = 0.967$$

$$20 \log 0.967 = -0.291 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.967}{0.007134}\right) = 89.577^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 89.577^\circ - (-89.957^\circ) = 179.534^\circ$$

$$\underline{\theta_{net} = 240^\circ}$$

$$s_{21A} = \frac{-0.004327s^3 - s^2 - 0.01155s + 1}{2.37 \cdot 10^{-6}s^5 + 0.00663s^4 + 0.874s^3 + 2.062s^2 + 2.656s + 1.04}$$

$$s_{21A}(j\omega) = \frac{0.004327j\omega^3 + \omega^2 - 0.01155j\omega + 1}{0.00663\omega^4 - 0.874j\omega^3 - 2.062\omega^2 + 2.656j\omega + 1.04}$$

$$s_{21A}(j1) = \frac{2 - 0.007223j}{-1.015 + 1.782j} = -0.485 - 0.845j$$

$$|s_{21A}(1)| = \sqrt{(-0.485)^2 + (-0.845)^2} = 0.974$$

$$20 \log 0.974 = -0.228 \text{ dB}$$

$$\theta_{21A}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.845}{-0.485}\right) = 240.145^\circ = -119.855^\circ$$

$$s_{21A} = \frac{-0.003172s^3 - 0.333s^2 - 0.01155s - 1}{2.37 \cdot 10^{-6}s^5 + 0.00375s^4 + 0.297s^3 + 0.702s^2 + 0.9s + 1.04}$$

$$s_{21B}(j\omega) = \frac{0.003172j\omega^3 + 0.333\omega^2 - 0.1155j\omega - 1}{0.00375\omega^4 - 0.297j\omega^3 - 0.702\omega^2 + 0.9j\omega + 1.04}$$

$$s_{21B}(j1) = \frac{-0.667 - 0.00837j}{0.341 + 0.603j} = -0.484 + 0.833j$$

$$|s_{21B}(1)| = \sqrt{(-0.484)^2 + 0.833^2} = 0.963$$

$$20 \log 0.963 = -0.327 \text{ dB}$$

$$\theta_{21B}(1) = \tan^{-1}\left(\frac{0.833}{-0.484}\right) = 120.157^\circ$$

$$\theta_{net}(1) = 120.157^\circ - (-119.855^\circ) = 240.012^\circ$$



IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde öncelikle incelenen devrelerin normalize eleman değerlerinin optimizasyonu için bir metod önerilmiş, Ek - 4 te optimize edilen eleman değerleri tip I, II ve III yapılarında yerine konmuş, PSPICE devre analiz programıyla yapılan incelemelerde özellikle genlik karakteristiklerinde bir iyileşme olduğu gözlenmiştir. Son olarak da simetrik LC kafes yapılı faz kaydırıcıların avantaj ve dezavantajları sıralanıp uygulamalarından kısaca bahsedilmiştir. Optimizasyon MATLAB 4.0 programıyla gerçekleştirilmiştir. Yazılan programlar ve çıktılar Ek - 2' de verilmiştir. $\omega_0 = 1$ frekansı için s_{21} parametresinin A ve B - konumlarında kayıplı ve optimize edilmiş durumlar s_{21} parametrelerinin genlik ve faz açılarının karşılaştırma tablosu da Ek - 2' dedir.

4.1. Normalize Eleman Değerlerinin Optimizasyonu

Üçüncü bölümde, üç ayrı tip devrenin 120° , 180° ve 240° ler için kayıpsız ve kayıplı analizleri yapıp, $\omega_0 = 1$ frekansında s_{21} parametresinin genlikleri ve faz açıları hesaplanmıştır. İdeal (kayıpsız) durumda bu devrelerin genlikleri 1 olmaktadır. Faz açıları gözönüne alındığında ise A - konumunda $-\theta_{net} / 2$, B - konumunda ise $\theta_{net} / 2$ lik faz kayması hesaplanmaktadır. Kayıplı durumda faz açıları istenen değerlere yakın çıkmama rağmen, genlikler 1' den düşük bulunmaktadır. Bunun için elimizdeki normalize eleman değerlerinin kayıplı haller için optimizasyonu hem genlikler hem de fazlar gözönüne alındığında, en iyi sonuçlar elde edilecektir.

Yapılan optimizasyon aşlında birkaç tane nonlineer denklemin çözülmesinden ibarettir. Her devre için kayıplı durumdaki s_{21} parametresinden türetilen genlik ve faz ifadelerinin ideal durumlara eşitlenmesi bize gerekli olan denklemlerin bir kısmını verecektir. Bundan başka gözönüne alınacak bir *maliyet fonksiyonu (cost function)* bize ek bir kısıtlama daha getirecek ve III devresi için bilinmeyen sayımız denklem sayımıza eşit olacaktır. Tip II devresinde hesaplarda kolaylık olması bakımından C_{D1} ve C_{D2} 0.5 olarak seçilmiş ve optimizasyona dahil edilmemiştir. Tüm yapılar düşünüldüğünde kayıplı durumda s_{21} parametresi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir:

$$|s_{21A}| = 1 \quad (i)$$

$$|s_{21B}| = 1 \quad (ii)$$

$$\theta_{21A} = \angle s_{21A} = -90^\circ \quad (iii)$$

$$\theta_{21B} = \angle s_{21B} = 90^\circ \quad (iv)$$

Bunlardan başka genlik ve faz için iki ayrı maliyet fonksiyonu da tanımlanarak denklem sayısı 6' ya çıkartılacaktır. Maliyet fonksiyonları, hataların karelerinin minimum olması istendiğinden şu şekilde tanımlanabilir:

$$(|s_{21A}| - |s_{21B}|)^2 = 0 \quad (v)$$

$$(\theta_{net} - |\theta_{21A} - \theta_{21B}|)^2 = 0 \quad (vi)$$

Görüldüğü üzere yukarıdaki 6 denklemin çözümünden istenen optimize edilmiş normalize eleman değerleri elde edilebilir. Denklemlerin çözüm kümesi MATLAB 4.0 programının OPTIMIZATION TOOLBOX' mda "fsolve" komutu ile bulunabilmektedir. Bu komut, denklemleri *Newton - Gauss en küçük kareler yöntemi*yle çözmektedir. Doğaldır ki denklemlerin çözülmesi için ilk koşullara ihtiyaç vardır. İlk koşullar olarak da kayıpsız halde elde edilen normalize eleman değerleri seçilirse çok daha hızlı ve doğru olarak sonuçlar bulunabilir.

MATLAB 4.0 ile yazılan programda öncelikle devrelerin paralel ve çapraz kollarındaki eşdeğer empedansları yazılmış ve bu empedanslara bağlı (1.28) bağıntısı verilmiştir. Daha sonra ise yukarıdaki 6 denklem sıralanmıştır. Program çıktısında ise,

```
fsolve('programın adı',[ilk koşullar])
```

synthax' ı kullanılıp, yeni optimize edilmiş normalize eleman değerleri bulunmuştur. Bulunan eleman değerlerinin bahsi geçen 6 denklemde yerine konduğunda çıkacak sonuçlar ise,

```
programın adı(ans)'
```

komut satırı ile hesaplanmış ve hepsinin ideale yakın (0 yada çok 0' dan çok az farklı) olduğu gözlenmiştir.

4.2. Sonuçlar

Bu teorik çalışmada simetrik LC kafes yapılı AP filtrelerin faz kaydırma özelliklerinden yola çıkılarak 3 ayrı yeni faz kaydırıcı devre yapısı önerilmiştir. Kayıpsız ve kayıplı durumlar ve optimizasyonla birlikte devrelerin bütün analizleri yapılmıştır denebilir.

İdeal olarak A ve B - konumlarında simetrik LC kafes devrelerinin s_{21} parametrelerinin 1 oktavlık bir frekans bandında düze yakın ve birim genlik karakteristiği mevcut olmakla birlikte arctanjant fonksiyonunun özelliği yüzünden θ_{21A} ve θ_{21B} faz açıları için mükemmel bir karakteristik elde edilememektedir. Ancak $\theta_{net} = 120^\circ$ ve 240° ler için olmasa da $\theta_{net} = 180^\circ$ için incelenen tüm yapılarda düz bir faz karakteristiği çıkmaktadır. Bu bize 180° lik net faz kaymasını her frekansta elde edebileceğini gösterir. Ayrıca $\theta_{net} = 180^\circ$ iken geniş bir frekans bandında θ_{21A} ve θ_{21B} faz karakteristiklerinin oldukça düz olması bize 90° ve -90° lik faz

kaymalarının sinüsoidal olmayan işaretler için de rahatça gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Buna ek olarak istenen herhangi bir θ faz kayması $\omega_0 = 1$ açısal frekansında sabit olarak gerçekleştirilmektedir.

Bu yapıların başka bir avantajı da monolitik olarak gerçekleştirilebilmeleridir.

Tip I ve tip III devre yapılarının kayıpsız eşdeğerleri, S_{21} parametrelerinin genlik ve faz karakteristikleri birbirlerinin aynıdır. Ayrıca her tip devrede $\theta_{net} = 120^\circ$ ' nin S_{21A} sınıf genlik karakteristiği ile $\theta_{net} = 240^\circ$ ' nin S_{21B} sınıf ve $\theta_{net} = 120^\circ$ ' nin S_{21B} sınıfı ile $\theta_{net} = 240^\circ$ ' nin S_{21A} sınıf genlik karakteristikleri aynıdır. $\theta_{net} = 180^\circ$ ' lerde ise S_{21A} ve S_{21B} parametrelerinininkiler aynıdır.

Önerilen kafes yapılarının özellikle yüksek frekanslarda çalışan sistemlerde askeri ve ticari amaçlı uygulamalarda (örneğin dizi anten sistemleri, mikrodalga zayıflatıcıları gibi) bir faz kaydırma birimi olarak son derece elverişli olacağı tahmin edilmektedir.



V. ÖZET

Başlangıçta genel halde bir 2 - kapılımm z parametreleri cinsinden transfer fonksiyonu çıkarılmış ve buradan yola çıkılarak simetrik kafes devrelerin tanıtımından sonra bu devrelerin transfer fonksiyonu hesaplanmıştır. Daha sonra bir 2 - kapılıda giriş ve çıkışlardan gelen ve yansıyan dalga kavramlarından bahsedilmiş ve saçılma parametreleri tanımlanmıştır. Yapılan işlemlerden sonra giriş ve yük empedansları eşitken s_{21} parametresi ile transfer fonksiyonu arasındaki ilişki bulunmuştur. Bu ilişki daha sonraki bölümlerde incelenecek olan devre tiplerinin s_{21} parametrelerinin hesabında kullanılmıştır.

Daha sonra simetrik LC kafes devrelerinin faz kaydırma özelliklerinden bahsedilmiştir. Bu devreler PIN diyotlar yardımıyla A ve B olarak adlandırılan iki konumda çalışabilen devrelerdir. Devreler $\omega_0 = 1$ normalize açısal frekansında A - konumunda $-\theta_{net} / 2$, B - konumunda ise $\theta_{net} / 2$ 'lik bir faz kayması gerçeklemektedir.

3. Bölümde analiz edilecek olan devreler tanıtılarak, bunların kayıpsız ve kayıplı halde eşdeğerleri çizilip normalize eleman değerleri hesaplanmıştır. 1. Bölümde bulunan s_{21} bağıntısı kullanılarak $\theta_{net} = 120^0, 180^0$ ve 240^0 , ler için genlik ve faz fonksiyonları elde edilmiştir. Kayıplı durumlarda bobinler ve PIN diyotları kendilerine seri birer r dirençleri ile modellenmiş ve $\omega_0 = 1$ açısal frekansında zayıflamalar hesaplanmıştır.

Son olarak normalize eleman değerlerinin optimizasyonundan ve bu devrelerin avantaj ve dezavantajları ile uygulamalarından bahsedilmiştir. Optimal eleman değerleri MATLAB 4.0 programı ile çözülen nonlinear denklem sistemlerinden elde edilmiştir. Kayıplı durumlarda yeni optimize değerler için yapılan PSPICE 5.0 analizlerinde özellikle s_{21} parametresinin genlik karakteristiklerinde bir iyileşme olduğu gözlenmiştir.

Ek - 1' de s, y, z parametrelerinin birbirleriyle dönüşümlerini gösteren bir tablo verilmiştir. Ek - 2' te MATLAB 4.0 ile yapılan optimizasyon programları ve program çıktıları ve $\omega_0 = 1$ frekansında optimizasyondan önceki ve sonraki genlik ve fazların karşılaştırıldığı bir tablo vardır. Ayrıca Ek - 2' de tüm yapılar için normalize eleman değerleri seçim tablosu düzenlenmiş ve denormalizasyon bir örnekle açıklanmıştır. Ek - 3' te PSPICE 5.0 devre analiz programı kullanılarak devrelerin kayıplı, kayıpsız ve optimize durumlardaki genlik ve faz karakteristikleri çizilmiştir.

SUMMARY

ANALYSIS AND DESIGN OF SYMMETRICAL LATTICE PHASE SHIFTERS

At the beginning, the transfer function of any 2 - ports in terms of z parameters is generally presented, and transfer functions for the symmetrical lattice circuits is calculated. Then s_{21} parameter is defined by using the concept of incident and reflected waves in a 2 - port circuit. The relationship between the s_{21} parameter and the transfer function is found when input and load impedances are equal. This expression is used for the calculations of the s_{21} parameters of type I, II and III circuits in the following chapters respectively.

In the second chapter the phase shifting properties of the symmetrical LC lattice circuits are introduced. These circuits having PIN diodes as a switching element operate in two stages namely as A and B. They achieve $-\theta_{net} / 2$ when operating in state - A and $\theta_{net} / 2$ for state - B at the normalized angular frequency $\omega_0 = 1$.

In the third chapter, the proposed circuit structures are given and the normalized component values for these circuits are computed and their equivalents are obtained. The amplitude and phase functions of the s_{21} parameter are found for $\theta_{net} = 120^\circ, 180^\circ$ and 240° respectively. In loss cases, the inductors and PIN diodes are modelled with serial r resistances and the attenuations and phase shifts are computed at normalized angular frequency $\omega_0 = 1$.

Finally the optimization procedure for finding normalized component values is presented. Also the advantages and disadvantages of these circuits are given. Optimal normalized component values are found from the solution of nonlinear equation sets in MATLAB 4.0 program. As a result of the study, we observed some improvements especially in amplitude characteristics of the s_{21} parameters when PSPICE 5.0 analysis is performed with the optimized component values.

In Appendix - 1 a table that shows the transformations between the s, y, z parameters is presented. In Appendix - 2 the program lists and the outputs for the optimizations of the normalized element values that made with MATLAB 4.0 program and tables of attenuation and phase shifts at $\omega_0 = 1$ before and after the optimizations are given. Also in In Appendix - 2, a table for the normalized element values is given for all topologies and denormalization is explained with an example. In Appendix - 3 the lossless and loss case analysis of the circuits and their attenuation and phase characteristics are obtained by using the PSPICE 5.0 circuit analysis program.

KAYNAKLAR

- [1] "Kaybı Dengelenmiş $0^\circ - 360^\circ$ Sayısal Faz Kaydırıcıların Tasarımı İçin Simetrik Kafes Devreleri", Doç. Dr. M. ÜN, Rapor: 92 - 2, İ. Ü. Mühendislik Fakültesi, 1992,
- [2] "New Circuit Topologies to Construct Wide Phase Range, Wide Frequency Band Digital Phase Shifters", Prof. Dr. M. ÜN, Prof. Dr. B. S. YARMAN, ECCT Conferance 1995, İSTANBUL,
- [3] "Electric Circuits 4th Edition", J. W. NILSSON, Addison-Wesley Publishing Company, 1993,
- [4] "Analysis of Linear Circuits", C. R. PAUL, McGraw-Hill, 1989,
- [5] "Electronic Measurements and Instrumentation", B. M. OLIVER, J. M. CAGE, McGraw-Hill, 1986,
- [6] "Design of Analog Filters: Passive, Active RC and Switched Capacitor", R. SCHAUMANN, M. S. GHAUSI, K. R. LAKER, Prentice - Hall, 1990,
- [7] "Network Analysis and Synthesis", F. F. KUO, John Wiley & Sons Inc., 1966,
- [8] "Electronic Communication Systems", G. KENNEDY, R. W. TINNELL, McGraw-Hill, 1970,
- [9] "PSPICE Electric Circuit Simulator", User's Manual,
- [10] "MATLAB High Performance Numeric Computation and Visualization Software", User's Guide, The MathWorks Inc.

EK - 1

Tablo E.1.1 2 - Kapılı Bir Devrede s, y, z Parametreleri Dönüşüm Tablosu

$s_{11} = \frac{(z_{11} - 1)(z_{22} + 1) - z_{12}z_{21}}{(z_{11} + 1)(z_{22} + 1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{11} = \frac{(1 + s_{11})(1 - s_{22}) + s_{12}s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{12} = \frac{2 \cdot z_{12}}{(z_{11} + 1)(z_{22} + 1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{12} = \frac{2 \cdot s_{12}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{21} = \frac{2 \cdot z_{21}}{(z_{11} + 1)(z_{22} + 1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{21} = \frac{2 \cdot s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{22} = \frac{(z_{11} + 1)(z_{22} - 1) - z_{12}z_{21}}{(z_{11} + 1)(z_{22} + 1) - z_{12}z_{21}}$	$z_{22} = \frac{(1 + s_{22})(1 - s_{11}) + s_{12}s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{11} = \frac{(1 - y_{11})(1 + y_{22}) + y_{12}y_{21}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12}y_{21}}$	$y_{11} = \frac{(1 + s_{22})(1 - s_{11}) + s_{12}s_{21}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{12} = \frac{-2 \cdot y_{12}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12}y_{21}}$	$y_{12} = \frac{-2 \cdot s_{12}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{21} = \frac{-2 \cdot y_{21}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12}y_{21}}$	$y_{21} = \frac{-2 \cdot s_{21}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}}$
$s_{22} = \frac{(1 + y_{11})(1 - y_{22}) + y_{12}y_{21}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12}y_{21}}$	$y_{22} = \frac{(1 + s_{11})(1 - s_{22}) + s_{12}s_{21}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}}$

EK - 2

%tip I devresi 120 derece optimizasyon

```
function q=op1120(p)
```

```
LX=p(1);LY=p(2);CD1=p(3);CD2=p(4);
```

```
Z1A=.04+i*LX;
```

```
Z2A=((1-LY*CD2)+i*.04*CD2)/(i*CD2);
```

```
Z1B=((1-LX*CD1)+i*.04*CD1)/(i*CD1);
```

```
Z2B=.04+i*LY;
```

```
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
```

```
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
```

```
TETA=2*pi/3;
```

```
q=zeros(6,1);
```

```
q(1)=abs(S12A)-1;
```

```
q(2)=abs(S12B)-1;
```

```
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
```

```
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
```

```
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
```

```
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op1120',[.577 1.732 .866 .288])
```

```
ans =
```

```
0.5988    1.7929    0.8345    0.2778
```

```
op1120(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0385   -0.0385    0.0024    0.0014    0.0000    0.0000
```


%tip I devresi 180 derece optimizasyon

```
function q=op1180(p)
LX=p(1);LY=p(2);CD1=p(3);CD2=p(4);
Z1A=.04+i*LX;
Z2A=((1-LY*CD2)+i*.04*CD2)/(i*CD2);
Z1B=((1-LX*CD1)+i*.04*CD1)/(i*CD1);
Z2B=.04+i*LY;
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
TETA=pi;
q=zeros(6,1);
q(1)=abs(S12A)-1;
q(2)=abs(S12B)-1;
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op1180',[1 1 .5 .5])
```

```
ans =
```

```
1.0394    1.0394    0.4811    0.4811
```

```
op1180(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0385   -0.0385    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
```

%tip I devresi 240 derece optimizasyon

```
function q=op1240(p)
```

```
LX=p(1);LY=p(2);CD1=p(3);CD2=p(4);
```

```
Z1A=.04+i*LX;
```

```
Z2A=((1-LY*CD2)+i*.04*CD2)/(i*CD2);
```

```
Z1B=((1-LX*CD1)+i*.04*CD1)/(i*CD1);
```

```
Z2B=.04+i*LY;
```

```
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
```

```
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
```

```
TETA=4*pi/3;
```

```
q=zeros(6,1);
```

```
q(1)=abs(S12A)-1;
```

```
q(2)=abs(S12B)-1;
```

```
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
```

```
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
```

```
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
```

```
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op1240',[1.732 .577 .288 .866])
```

```
ans =
```

```
1.7965    0.5987    0.2775    0.8335
```

```
op1240(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0385   -0.0385    0.0016    0.0025    0.0000    0.0000
```

%tip II devresi 120 derece optimizasyon

```
function q=op2120(p)
```

```
LX=p(1);LY=p(2);CX=p(3);CY=p(4);
```

```
CESA=(CX*.5)/(CX+.5);
```

```
CESB=(CY*.5)/(CY+.5);
```

```
Z1A=((.02-.02*LX*CESA)+i*(.0004*CESA+LX))/((1-LX*CESA)+i*(.04*CESA));
```

```
Z2A=((.02-.02*LY*CY)+i*(.0004*CY+LY))/((1-LY*CY)+i*(.04*CY));
```

```
Z1B=((.02-.02*LX*CX)+i*(.0004*CX+LX))/((1-LX*CX)+i*(.04*CX));
```

```
Z2B=((.02-.02*LY*CESB)+i*(.0004*CESB+LY))/((1-LY*CESB)+i*(.04*CESB));
```

```
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
```

```
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
```

```
TETA=(2*pi)/3;
```

```
q=zeros(6,1);
```

```
q(1)=abs(S12A)-1;
```

```
q(2)=abs(S12B)-1;
```

```
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
```

```
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
```

```
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
```

```
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op2120',[.459 1.048 3.907 1.531])
```

```
ans =
```

```
0.5106 1.0460 3.7235 1.4616
```

```
op2120(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0762 -0.0940 -0.0068 -0.0109 0.0003 0.0000
```

%tip II devresi 180 derece optimizasyon

```
function q=op2180(p)
```

```
LX=p(1);LY=p(2);CX=p(3);CY=p(4);
```

```
CESA=(CX*.5)/(CX+.5);
```

```
CESB=(CY*.5)/(CY+.5);
```

```
Z1A=((.02-.02*LX*CESA)+i*(.0004*CESA+LX))/((1-LX*CESA)+i*(.04*CESA));
```

```
Z2A=((.02-.02*LY*CY)+i*(.0004*CY+LY))/((1-LY*CY)+i*(.04*CY));
```

```
Z1B=((.02-.02*LX*CX)+i*(.0004*CX+LX))/((1-LX*CX)+i*(.04*CX));
```

```
Z2B=((.02-.02*LY*CESB)+i*(.0004*CESB+LY))/((1-LY*CESB)+i*(.04*CESB));
```

```
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
```

```
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
```

```
TETA=pi;
```

```
q=zeros(6,1);
```

```
q(1)=abs(S12A)-1;
```

```
q(2)=abs(S12B)-1;
```

```
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
```

```
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
```

```
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
```

```
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op2180',[.707 .707 2.414 2.414])
```

```
ans =
```

```
0.7394 0.7394 2.2982 2.2982
```

```
op2180(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0917 -0.0917 -0.0084 -0.0084 0.0000 0.0000
```

%tip II devresi 240 derece optimizasyon

```
function q=op2240(p)
LX=p(1);LY=p(2);CX=p(3);CY=p(4);
CESA=(CX*.5)/(CX+.5);
CESB=(CY*.5)/(CY+.5);
Z1A=((.02-.02*LX*CESA)+i*(.0004*CESA+LX))/((1-
LX*CESA)+i*(.04*CESA));
Z2A=((.02-.02*LY*CY)+i*(.0004*CY+LY))/((1-LY*CY)+i*(.04*CY));
Z1B=((.02-.02*LX*CX)+i*(.0004*CX+LX))/((1-LX*CX)+i*(.04*CX));
Z2B=((.02-.02*LY*CESB)+i*(.0004*CESB+LY))/((1-
LY*CESB)+i*(.04*CESB));
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
TETA=(4*pi)/3;
q=zeros(6,1);
q(1)=abs(S12A)-1;
q(2)=abs(S12B)-1;
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op2240',[1.048 .459 1.531 3.907])
```

```
ans =
```

```
1.0460    0.5106    1.4616    3.7235
```

```
op2240(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0940   -0.0762   -0.0109   -0.0068    0.0003    0.0000
```

%tip III devresi 120 derece optimizasyon

```
function q=op3120(p)
LX=p(1);LY=p(2);CX=p(3);CY=p(4);CD1=p(5);CD2=p(6);
Z1A=( (.04-.02*LX*CX)+i*(.0004*CX+LX))/(1+i*.02*CX);
Z2A=( (1-(.0004*CY*CD2+LY*CD2+LY*CY))+i*(.04*CD2+.02*CY-
.02*LY*CY*CD2))/(-.02*CY*CD2+i*(CY+CD2));
Z1B=( (1-(.0004*CX*CD1+LX*CD1+LX*CX))+i*(.04*CD1+.02*CX-
.02*LX*CX*CD1))/(-.02*CX*CD1+i*(CX+CD1));
Z2B=( (.04-.02*LY*CY)+i*(.0004*CY+LY))/(1+i*.02*CY);
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
TETA=2*pi/3;
q=zeros(6,1);
q(1)=abs(S12A)-1;
q(2)=abs(S12B)-1;
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op3120',[.577 1.732 .616 .0385 .25 .25])
```

```
ans =
```

```
0.5962    1.7860    0.7674    0.2779    0.0721    0.0020
```

```
op3120(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0338   -0.0245   -0.0003   -0.0002    0.0001    0.0000
```

%tip III devresi 180 derece optimizasyon

```
function q=op3180(p)
LX=p(1);LY=p(2);CX=p(3);CY=p(4);CD1=p(5);CD2=p(6);
Z1A=( (.04-.02*LX*CX)+i*(.0004*CX+LX))/(1+i*.02*CX);
Z2A=( (1-(.0004*CY*CD2+LY*CD2+LY*CY))+i*(.04*CD2+.02*CY-
.02*LY*CY*CD2))/(-.02*CY*CD2+i*(CY+CD2));
Z1B=( (1-(.0004*CX*CD1+LX*CD1+LX*CX))+i*(.04*CD1+.02*CX-
.02*LX*CX*CD1))/(-.02*CX*CD1+i*(CX+CD1));
Z2B=( (.04-.02*LY*CY)+i*(.0004*CY+LY))/(1+i*.02*CY);
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
TETA=pi;
q=zeros(6,1);
q(1)=abs(S12A)-1;
q(2)=abs(S12B)-1;
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op3180',[1 1 .25 .25 .25 .25])
```

```
ans =
```

```
1.0304    1.0304    0.4852    0.4851    0.0002    0.0003
```

```
op3180(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0291   -0.0291   -0.0003   -0.0003    0.0000    0.0000
```

%tip III devresi 240 derece optimizasyon

```
function q=op3240(p)
LX=p(1);LY=p(2);CX=p(3);CY=p(4);CD1=p(5);CD2=p(6);
Z1A=( (.04-.02*LX*CX)+i*(.0004*CX+LX))/(1+i*.02*CX);
Z2A=( (1-(.0004*CY*CD2+LY*CD2+LY*CY))+i*(.04*CD2+.02*CY-
.02*LY*CY*CD2))/(-.02*CY*CD2+i*(CY+CD2));
Z1B=( (1-(.0004*CX*CD1+LX*CD1+LX*CX))+i*(.04*CD1+.02*CX-
.02*LX*CX*CD1))/(-.02*CX*CD1+i*(CX+CD1));
Z2B=( (.04-.02*LY*CY)+i*(.0004*CY+LY))/(1+i*.02*CY);
S12A=(Z2A-Z1A)/(Z2A+Z1A+Z2A*Z1A+1);
S12B=(Z2B-Z1B)/(Z2B+Z1B+Z2B*Z1B+1);
TETA=4*pi/3;
q=zeros(6,1);
q(1)=abs(S12A)-1;
q(2)=abs(S12B)-1;
q(3)=angle(S12A)+TETA/2;
q(4)=angle(S12B)-TETA/2;
q(5)=(abs(S12A)-abs(S12B))^2;
q(6)=(TETA-abs(angle(S12A)-angle(S12B)))^2;
```

```
fsolve('op3240',[1.732 .577 .0385 .616 .25 .25])
```

```
ans =
```

```
1.7860    0.5963    0.2779    0.7637    0.0020    0.0758
```

```
op3240(ans)'
```

```
ans =
```

```
-0.0245   -0.0338   -0.0002   -0.0003    0.0001    0.0000
```


Tablo E.2.1 $\omega_0 = 1$ için Normalize Eleman Değerleri Seçim Tablosu

TİP	θ_{net}	L_1	L_2	C_1	C_2	C_{D1}	C_{D2}	r
I	120°	0.5988	1.7928	X	X	0.8345	0.2778	0.02
I	180°	1.0394	1.0394	X	X	0.4811	0.4811	0.02
I	240°	1.7965	0.5987	X	X	0.2775	0.8335	0.02
II	120°	0.5106	1.046	3.7235	1.4616	0.5	0.5	0.02
II	180°	0.7394	0.7394	2.2982	2.2982	0.5	0.5	0.02
II	240°	1.046	0.5106	1.4616	3.7235	0.5	0.5	0.02
III	120°	0.5962	1.786	0.7674	0.2779	0.0721	0.002	0.02
III	180°	1.0304	1.0304	0.4852	0.4851	0.0002	0.0003	0.02
III	240°	1.786	0.5963	0.2779	0.7637	0.002	0.0758	0.02

Örnek:

$\omega_0 = 1 \text{ Grad} / s$ için -90° ' lik bir simetrik LC kafes yapılı faz kaydırma biriminin eleman değerlerinin hesabı aşağıdaki şekildedir:

Frekans + Empedans normalizasyonu yapılırsa,

$$R = r \cdot R_n = 0.02 \cdot 50 = 1\Omega$$

$$R_g = R_L = 50\Omega$$

$$\theta_{net} = |\text{istenen faz kayması}| \cdot 2 = 90 \cdot 2 = 180^\circ$$

Tip I devresi $\theta_{net} = 180^\circ$ için :

$$L_1 = L_2 = \frac{R_o L_n}{\omega_0} = \frac{50 \cdot 1.0394}{10^6} = 51.97 \mu H$$

$$C_{D1} = C_{D2} = \frac{C_n}{R_o \cdot \omega_0} = \frac{0.4811}{50 \cdot 10^6} = 9.622 \text{ nF}$$

Denormalize değerler için AP filtre giriş empedansı koşulu da (1.17.b) aşağıdaki şekilde sağlanır:

$$R_L^2 = Z_x Z_y = 50j \left(\frac{-j}{10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} + 50j \right) = 5000 - 2500 = 2500 = 50^2$$

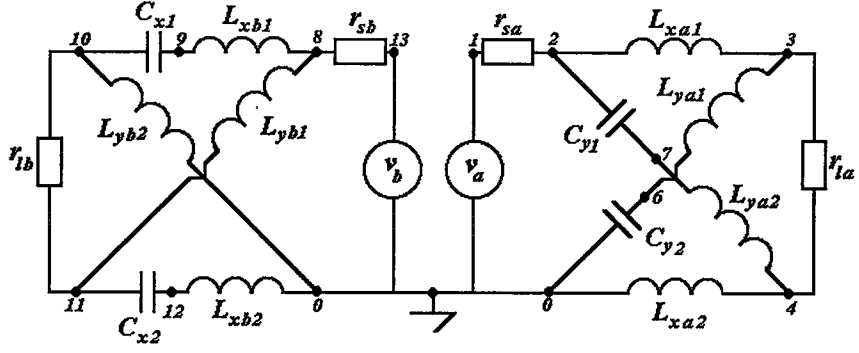
Tablo E.2.2 $\omega_0 = 1$ civarında zayıflama değerleri $20\log H(\omega)$

TİP	θ_{net} ($^\circ$)	DURUM	ω_0 (rad)	KAYIPLI DURUM ZAYIFLAMASI (mdB)	OPTİMİZASYON SONRASI (mdB)	FARK (mdB)
I	120	A	0.9999	-345.246	-340.675	4.571
I	120	B	0.9999	-345.659	-340.795	4.864
I	180	A	0.9999	-345.447	-340.801	4.646
I	180	B	1.0002	-347.575	-340.809	6.766
I	240	A	0.9999	-345.659	-340.767	4.892
I	240	B	0.9999	-345.246	-340.766	4.480
II	120	A	0.9999	-636.018	-688.548	-52.530
II	120	B	1.0002	-966.443	-856.788	109.655
II	180	A	0.9999	-854.456	-836.179	18.277
II	180	B	0.9999	-854.456	-836.179	18.277
II	240	A	0.9999	-967.614	-857.691	109.923
II	240	B	0.9999	-636.018	-688.548	-52.530
III	120	A	0.9999	-334.706	-298.578	36.128
III	120	B	0.9999	-227.860	-215.217	12.643
III	180	A	0.9999	-282.127	-256.462	25.665
III	180	B	1.0002	-282.187	-256.406	25.781
III	240	A	0.9999	-227.860	-215.310	12.550
III	240	B	1.0002	-335.023	-298.698	36.325

Tablo E.2.3 $\omega_0 = 1$ civarında faz açıları:

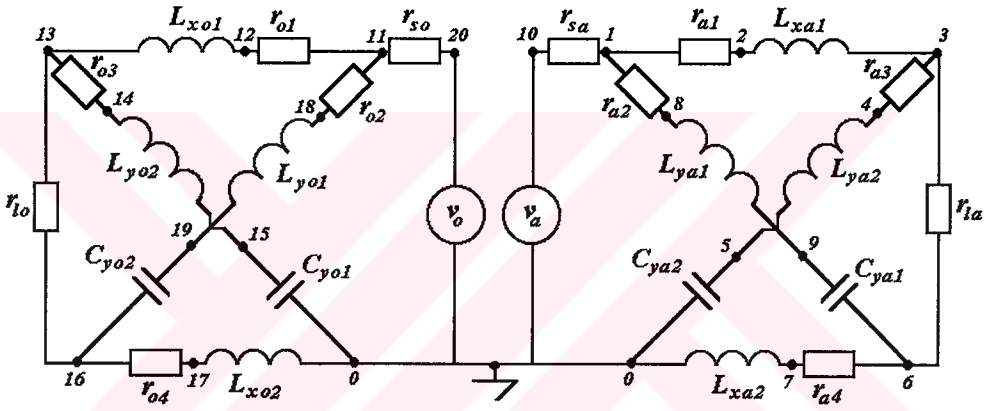
TİP	θ_{net} ($^\circ$)	DURUM	ω_0 (rad)	KAYIPLI DURUM FAZ AÇISI ($^\circ$)	OPTİMİZASYON SONRASI ($^\circ$)
I	120	A	0.9999	-59.875	-59.845
I	120	B	0.9999	60.050	60.094
I	180	A	0.9999	-89.986	-89.993
I	180	B	1.0002	89.973	89.966
I	240	A	0.9999	-119.950	-119.894
I	240	B	0.9999	120.125	120.161
II	120	A	0.9999	-59.930	-60.363
II	120	B	1.0002	59.363	59.356
II	180	A	0.9999	-90.163	-90.453
II	180	B	0.9999	-270.163	-270.453
II	240	A	0.9999	-120.587	-120.597
II	240	B	0.9999	-239.930	-240.363
III	120	A	0.9999	-59.955	-60.004
III	120	B	0.9999	60.030	60.002
III	180	A	0.9999	-89.997	-89.999
III	180	B	1.0002	89.962	89.960
III	240	A	0.9999	-119.970	-120.002
III	240	B	1.0002	120.001	119.947

EK - 3



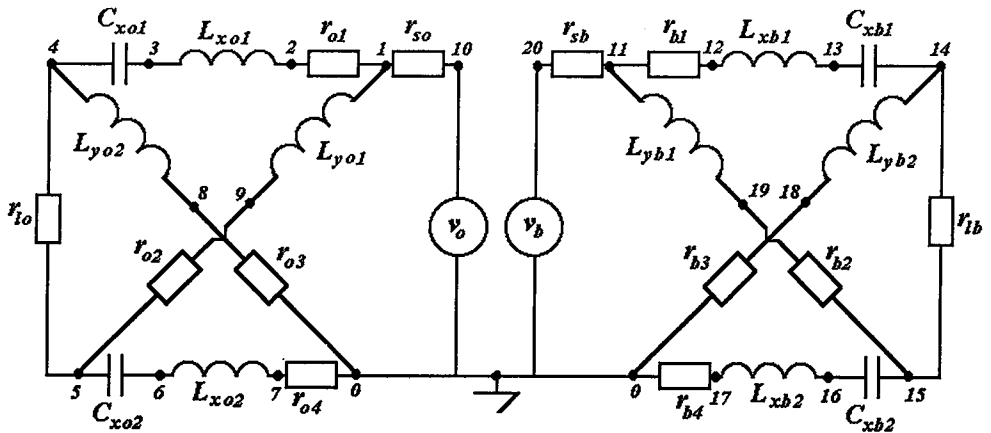
Şekil E.3.1.a *Tip I devresi kayıpsız analiz.*

Sol taraf: B - konumu, Sağ taraf: A - konumu.



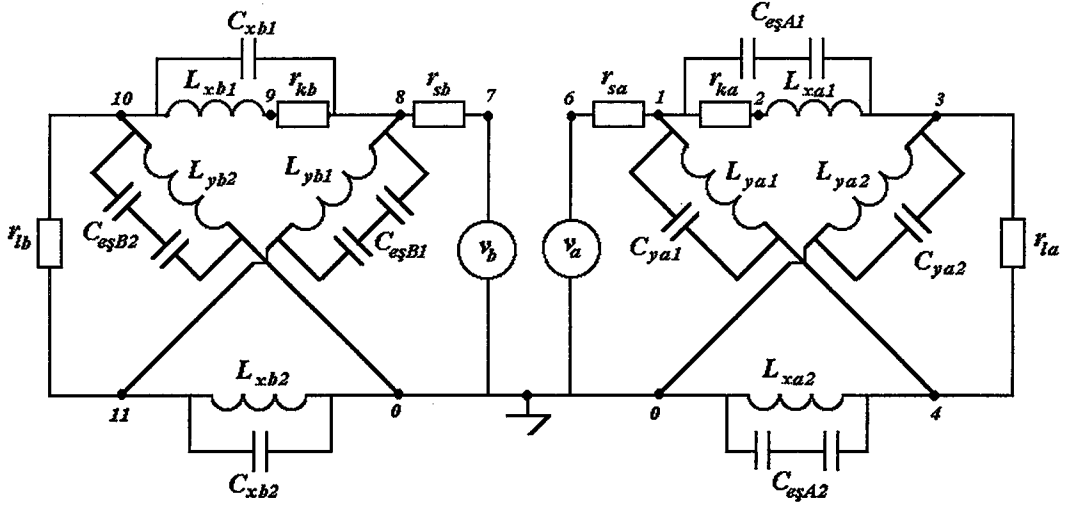
Şekil E.3.1.b *Tip I devresi kayıplı analiz ve optimizasyon (A - konumu).*

Sol taraf: Optimize durum, Sağ taraf: Kayıplı durum.

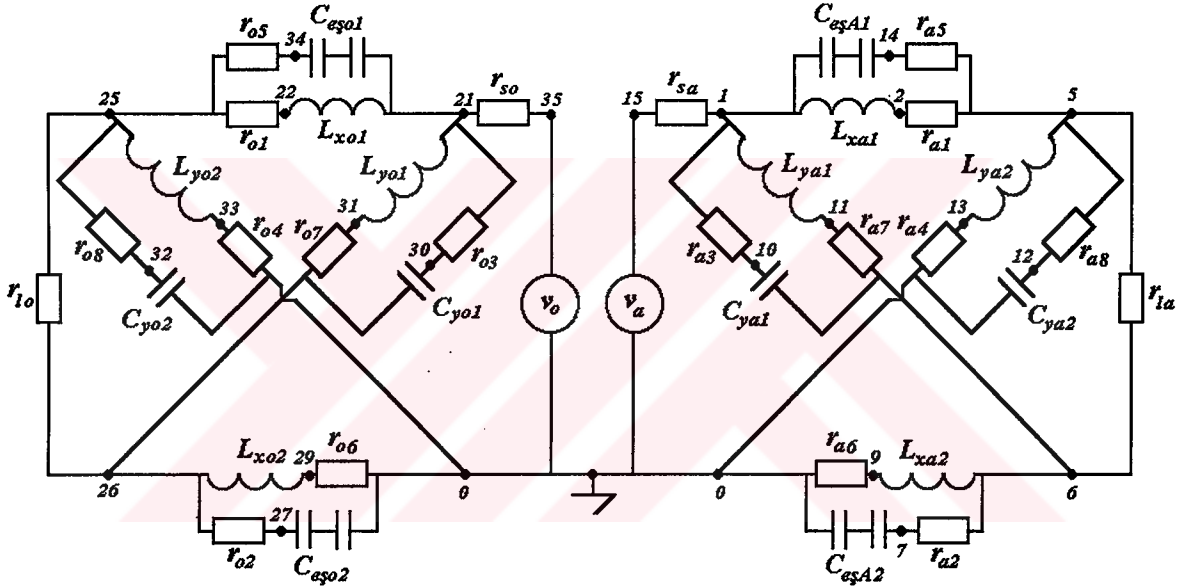


Şekil E.3.1.c *Tip I devresi kayıplı analiz ve optimizasyon (B - konumu).*

Sol taraf: Optimize durum, Sağ taraf: Kayıplı durum.

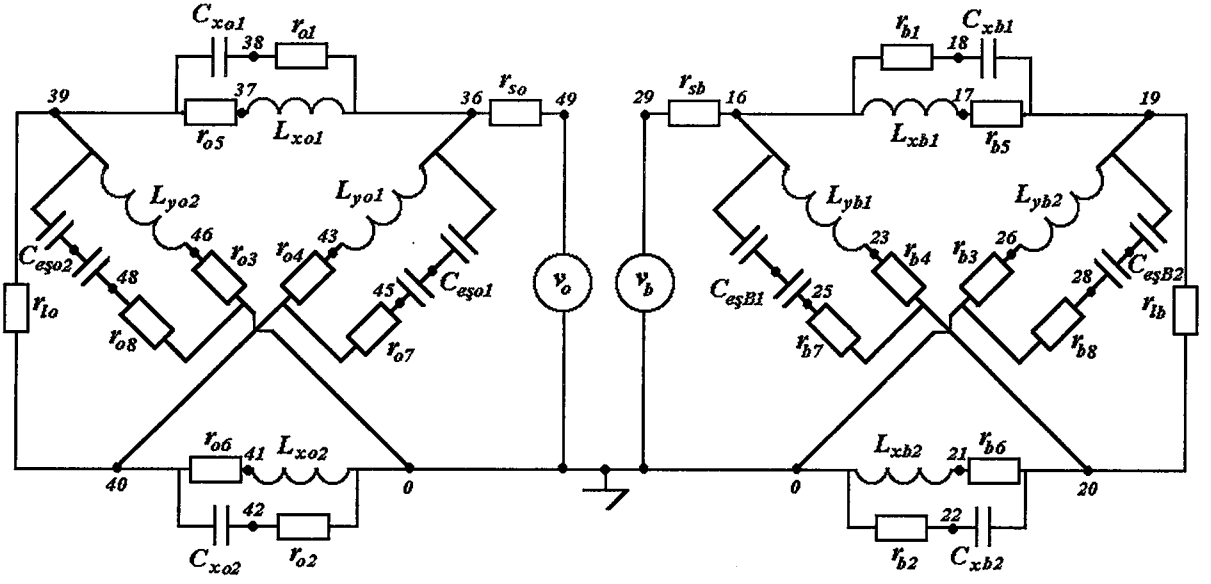


Şekil E.3.2.a Tip II devresi kayıpsız analiz. Sol taraf: B - konumu, Sağ taraf: A - konumu.



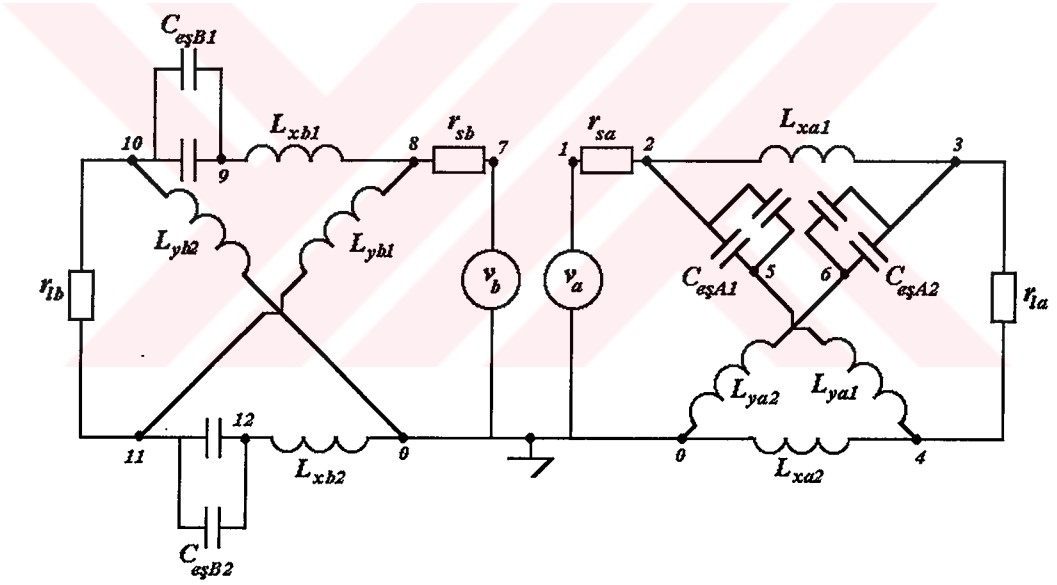
Şekil E.3.2.b Tip II devresi kayıplı durum ve optimizasyon (A - konumu).

Sol taraf: Optimize durum, Sol taraf: Kayıplı durum.

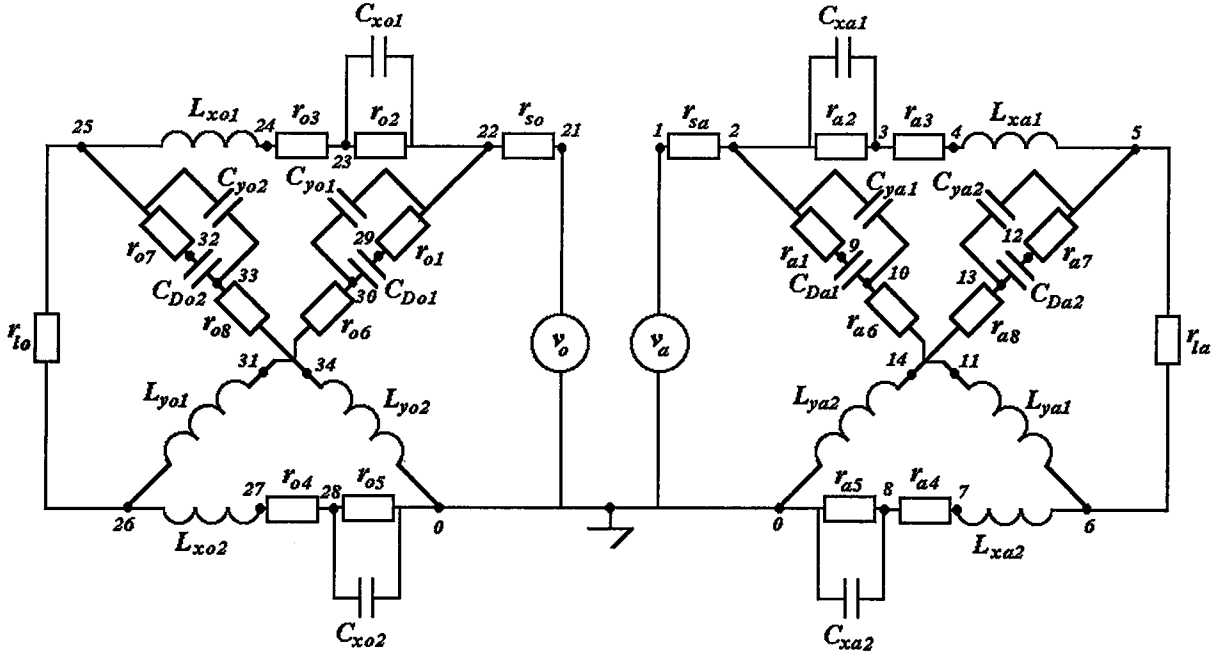


Şekil E.3.2.c Tip II devresi kayıplı analiz ve optimizasyon (B - konumu).

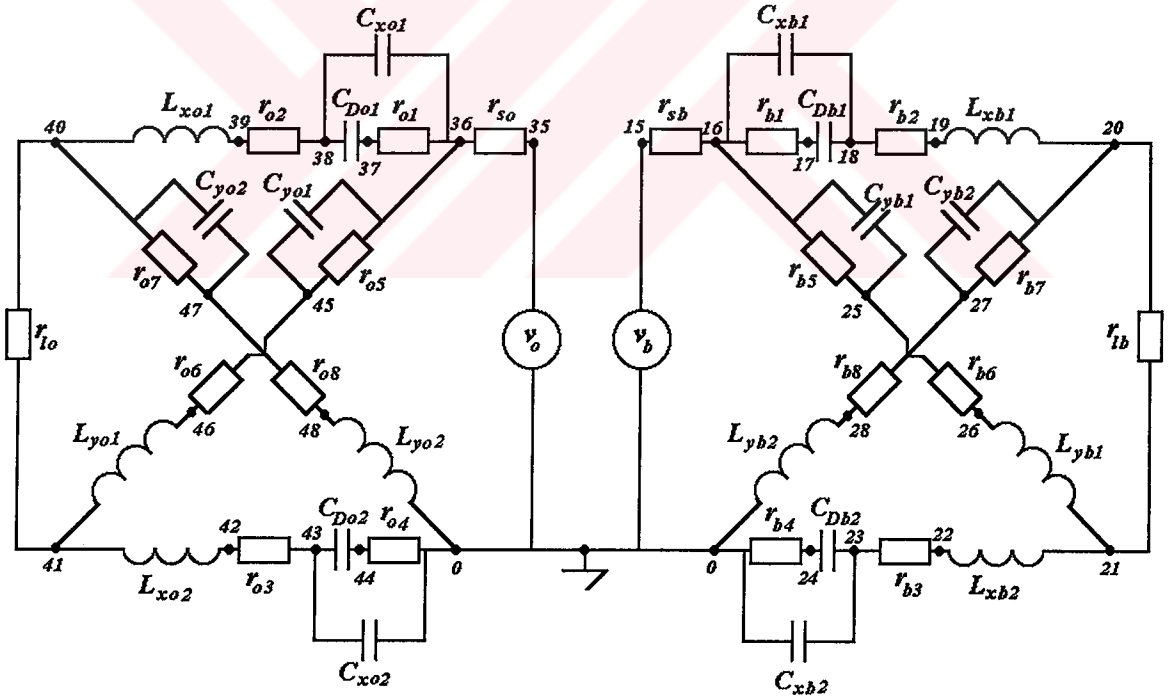
Sol taraf: Optimize durum, Sağ taraf: Kayıplı durum.



Şekil E.3.3.a Tip III devresi kayıpsız analiz. Sol taraf: A - konumu, Sağ taraf: B - konumu.



Şekil E.3.3.b *Tip III devresi kayıplı analiz ve optimizasyon (A - konumu).*
Sol taraf: Optimize durum, Sağ taraf: Kayıplı durum.



Şekil E.3.3.c *Tip III devresi kayıplı analiz ve optimizasyon (B - konumu).*
Sol taraf: Optimize durum, Sağ taraf: Kayıplı durum.

```

*tip I devresi kayipsiz analiz 120 d. (180, 240)
*state-a
va 1 0 ac 2
rsa 1 2 1
rla 3 4 1
lxa1 2 3 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lxa2 4 0 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lya1 3 6 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
lya2 4 7 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
cya1 2 7 0.288 (180: 0.5, 240: 0.866)
cya2 6 0 0.288 (180: 0.5, 240: 0.866)
*state-b
vb 13 0 ac 2
rsb 8 13 1
rlb 10 11 1
lxb1 8 9 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lxb2 12 0 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lyb1 8 11 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
lyb2 10 0 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
cxb1 9 10 0.866 (180: 0.5, 240: 0.288)
cxb2 11 12 0.866 (180: 0.5, 240: 0.288)
.ac dec 200 0.1 10
.probe
.end

```

***tip I devresi kayıplı analiz ve optimizasyon 120 d.(180, 240)**

*state-a (loss-case)

va 10 0 ac 2

rsa 1 10 1

rla 3 6 1

ra1 1 2 0.04

ra2 1 8 0.04

ra3 3 4 0.04

ra4 6 7 0.04

lxa1 2 3 0.577 (180: 1, 240: 1.732)

lxa2 7 0 0.577 (180: 1, 240: 1.732)

lya1 8 9 1.732 (180: 1, 240: 0.577)

lya2 4 5 1.732 (180: 1, 240: 0.577)

cya1 6 9 0.288 (180: 0.5, 240: 0.866)

cya2 5 0 0.288 (180: 0.5, 240: 0.866)

*state-a (optimized)

vo 20 0 ac 2

rso 11 20 1

rlo 13 16 1

ro1 11 12 0.04

ro2 11 18 0.04

ro3 13 14 0.04

ro4 16 17 0.04

lxo1 12 13 0.5988 (180: 1.0394, 240: 1.7965)

lxo2 17 0 0.5988 (180: 1.0394, 240: 1.7965)

lyo1 18 19 1.7928 (180: 1.0394, 240: 0.5987)

lyo2 14 15 1.7928 (180: 1.0394, 240: 0.5987)

cyo1 19 16 0.2778 (180: 0.4811, 240: 0.8335)

cyo2 15 0 0.2778 (180: 0.4811, 240: 0.8335)

.probe

.ac dec 200 0.1 10

.end

***tip I devresi kayıplı analiz ve optimizasyon 120 d. (180, 240)**

*state-b (loss-case)

vb 20 0 ac 2

rsb 20 11 1

rlb 14 15 1

rb1 11 12 0.04

rb2 15 19 0.04

rb3 0 18 0.04

rb4 0 17 0.04

lxb1 12 13 0.577 (180: 1, 240: 1.732)

lxb2 16 17 0.577 (180: 1, 240: 1.732)

lyb1 11 19 1.732 (180: 1, 240: 0.577)

lyb2 14 18 1.732 (180: 1, 240: 0.577)

cxb1 13 14 0.866 (180: 0.5, 240: 0.288)

cxb2 15 16 0.866 (180: 0.5, 240: 0.288)

*state-b (optimized)

vo 10 0 ac 2

rso 10 1 1

rlo 4 5 1

ro1 1 2 0.04

ro2 5 9 0.04

ro3 0 8 0.04

ro4 0 7 0.04

lxo1 2 3 0.5988 (180: 1.0394, 240: 1.7965)

lxo2 6 7 0.5988 (180: 1.0394, 240: 1.7965)

lyo1 1 9 1.7928 (180: 1.0394, 240: 0.5987)

lyo2 4 8 1.7928 (180: 1.0394, 240: 0.5987)

cxo1 3 4 0.8345 (180: 0.4811, 240: 0.2775)

cxo2 5 6 0.8345 (180: 0.4811, 240: 0.2775)

.probe

.ac dec 200 0.1 10

.end

***tip II devresi kayipsiz analiz 120 d. (180, 240)**

*state-a

va 6 0 ac 2

rsa 1 6 1

rka 1 2 0.00001

rla 3 4 1

lxa1 2 3 0.459 (180: 0.707, 240: 1.048)

lxa2 4 0 0.459 (180: 0.707, 240: 1.048)

lya1 1 4 1.048 (180: 0.707, 240: 0.459)

lya2 3 0 1.048 (180: 0.707, 240: 0.459)

cya1 1 4 1.531 (180: 2.414, 240: 3.907)

cya2 3 0 1.531 (180: 2.414, 240: 3.907)

cesa1 1 3 0.443 (180: 0.414, 240: 0.377)

cesa2 4 0 0.443 (180: 0.414, 240: 0.377)

*state-b

vb 7 0 ac 2

rsb 7 8 1

rkb 8 9 0.00001

rlb 10 11 1

lxb1 9 10 0.459 (180: 0.707, 240: 1.048)

lxb2 11 0 0.459 (180: 0.707, 240: 1.048)

lyb1 8 11 1.048 (180: 0.707, 240: 0.459)

lyb2 10 0 1.048 (180: 0.707, 240: 0.459)

cxb1 8 10 3.907 (180: 0.414, 240: 1.531)

cxb2 11 0 3.907 (180: 0.414, 240: 1.531)

cesb1 8 11 0.377 (180: 2.414, 240: 0.443)

cesb2 10 0 0.377 (180: 2.414, 240: 0.443)

.ac dec 200 0.01 10

.probe

.end

***tip II devresi kayipli analiz ve optimizasyon 120 d.(180, 240)**

*state-a (loss-case)

va 15 0 ac 2

rsa 1 15 1

rla 5 6 1

ra1 2 5 0.02

ra2 6 7 0.02

ra3 1 10 0.02

ra4 13 0 0.02

ra5 5 14 0.02

ra6 9 0 0.02

ra7 6 11 0.02

ra8 5 12 0.02

lxa1 1 2 0.459 (180: 0.707, 240: 1.048)

lxa2 6 9 0.459 (180: 0.707, 240: 1.048)

lya1 1 11 1.048 (180: 0.707, 240: 0.459)

lya2 5 13 1.048 (180: 0.707, 240: 0.459)

cya1 6 10 1.531 (180: 2.414, 240: 3.907)

cya2 12 0 1.531 (180: 2.414, 240: 3.907)

cesa1 1 14 0.443 (180: 0.414, 240: 0.337)

cesa2 7 0 0.443 (180: 0.414, 240: 0.337)

*state-a (optimized)

vo 35 0 ac 2

rso 21 35 1

rlo 25 26 1

ro1 22 25 0.02

ro2 26 27 0.02

ro3 21 30 0.02

ro4 33 0 0.02

ro5 25 34 0.02

ro6 29 0 0.02

ro7 26 31 0.02

ro8 25 32 0.02

lxo1 21 22 0.5106 (180: 0.7394, 240: 1.046)

lxo2 26 29 0.5106 (180: 0.7394, 240: 1.046)

lyo1 21 31 1.0460 (180: 0.7394, 240: 0.5106)

lyo2 25 33 1.0460 (180: 0.7394, 240: 0.5146)

cyo1 26 30 1.4616 (180: 2.2982, 240: 3.7235)

cyo2 32 0 1.4616 (180: 2.2982, 240: 3.7235)

ceso1 21 34 0.4408 (180: 0.4106, 240: 0.3725)

ceso2 27 0 0.4408 (180: 0.4106, 240: 0.3725)

.ac dec 200 0.01 10

.probe

.end

***tip II devresi kayipli analiz ve optimizasyon 120 d. (180,240)**

*state-b (loss-case)

vb 29 0 ac 2

rsb 16 29 1

rlb 19 20 1

rb1 16 18 0.02

rb2 22 0 0.02

rb3 26 0 0.02

rb4 20 23 0.02

rb5 17 19 0.02

rb6 20 21 0.02

rb7 20 25 0.02

rb8 28 0 0.02

lxb1 16 17 0.459

(180: 0.707, 240: 1.048)

lxb2 21 0 0.459

(180: 0.707, 240: 1.048)

lyb1 16 23 1.048

(180: 0.707, 240: 0.459)

lyb2 19 26 1.048

(180: 0.707, 240: 0.459)

cxb1 18 19 3.907

(180: 2.414, 240: 1.531)

cxb2 20 22 3.907

(180: 2.414, 240: 1.531)

cesb1 16 25 0.377

(180: 0.414, 240: 0.443)

cesb2 19 28 0.377

(180: 0.414, 240: 0.443)

*state-b (optimized)

vo 49 0 ac 2

rso 36 49 1

rlo 39 40 1

ro1 36 38 0.02

ro2 42 0 0.02

ro3 46 0 0.02

ro4 40 43 0.02

ro5 37 39 0.02

ro6 40 41 0.02

ro7 40 45 0.02

ro8 48 0 0.02

lxo1 36 37 0.5106

(180: 0.7394, 240: 1.046)

lxo2 41 0 0.5106

(180: 0.7394, 240: 1.046)

lyo1 36 43 1.0460

(180: 0.7394, 240: 0.5106)

lyo2 39 46 1.0460

(180: 0.7394, 240: 0.5106)

cxo1 38 39 3.7235

(180: 2.2982, 240: 1.4616)

cxo2 40 42 3.7235

(180: 2.2982, 240: 1.4616)

ceso1 36 45 0.3725

(180: 0.4106, 240: 0.4408)

ceso2 39 48 0.3725

(180: 0.4106, 240: 0.4408)

.ac dec 200 0.01 10

.probe

.end

```

*tip III devresi kayipsiz analiz 120 d. (180, 240)
*state-a
va 1 0 ac 2
rsa 1 2 1
rla 3 4 1
lxa1 2 3 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lxa2 4 0 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lya1 4 5 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
lya2 6 0 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
cesa1 2 5 0.288 (180: 0.5, 240: 0.866)
cesa2 3 6 0.288 (180: 0.5, 240: 0.866)
*state-b
vb 7 0 ac 2
rsb 7 8 1
rlb 10 11 1
lxb1 8 9 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lxb2 12 0 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lyb1 8 11 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
lyb2 10 0 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
cesb1 9 10 0.866 (180: 0.5, 240: 0.288)
cesb2 11 12 0.866 (180: 0.5, 240: 0.288)
.ac dec 200 0.1 10
.probe
.end

```

***tip III devresi kayipli analiz ve optimizasyon 120 d.(180,240)**

*state-a (loss-case)

va 1 0 ac 2

rsa 1 2 1

rla 5 6 1

ra1 2 9 0.02

ra2 2 3 0.02

ra3 3 4 0.02

ra4 7 8 0.02

ra5 8 0 0.02

ra6 10 11 0.02

ra7 5 12 0.02

ra8 13 14 0.02

lxa1 4 5 0.577 (180: 1, 240: 1.732)

lxa2 6 7 0.577 (180: 1, 240: 1.732)

lya1 6 11 1.732 (180: 1, 240: 0.577)

lya2 14 0 1.732 (180: 1, 240: 0.577)

cxal 2 3 0.616 (180: 0.25, 240: 0.0385)

cxal 8 0 0.616 (180: 0.25, 240: 0.0385)

cya1 2 10 0.0385 (180: 0.25, 240: 0.616)

cya2 5 13 0.0385 (180: 0.25, 240: 0.616)

cda1 9 10 0.25 (180: 0.25, 240: 0.25)

cda2 12 13 0.25 (180: 0.25, 240: 0.25)

*state-a (optimized)

vo 21 0 ac 2

rso 21 22 1

rlo 25 26 1

ro1 22 29 0.02

ro2 22 23 0.02

ro3 23 24 0.02

ro4 27 28 0.02

ro5 28 0 0.02

ro6 30 31 0.02

ro7 25 32 0.02

ro8 33 34 0.02

lxo1 24 25 0.5962 (180: 1.0304, 240: 1.786)

lxo2 26 27 0.5962 (180: 1.0304, 240: 1.786)

lyo1 26 31 1.786 (180: 1.0304, 240: 0.5963)

lyo2 34 0 1.786 (180: 1.0304, 240: 0.5963)

cxo1 22 23 0.7674 (180: 0.4852, 240: 0.2779)

cxo2 28 0 0.7674 (180: 0.4852, 240: 0.2779)

cyo1 22 30 0.2779 (180: 0.4851, 240: 0.7637)

cyo2 25 33 0.2779 (180: 0.4851, 240: 0.7637)

cdo1 29 30 0.002 (180: 0.0003, 240: 0.0758)

cdo2 32 33 0.002 (180: 0.0003, 240: 0.0758)

.ac dec 200 0.1 10

.probe

.end

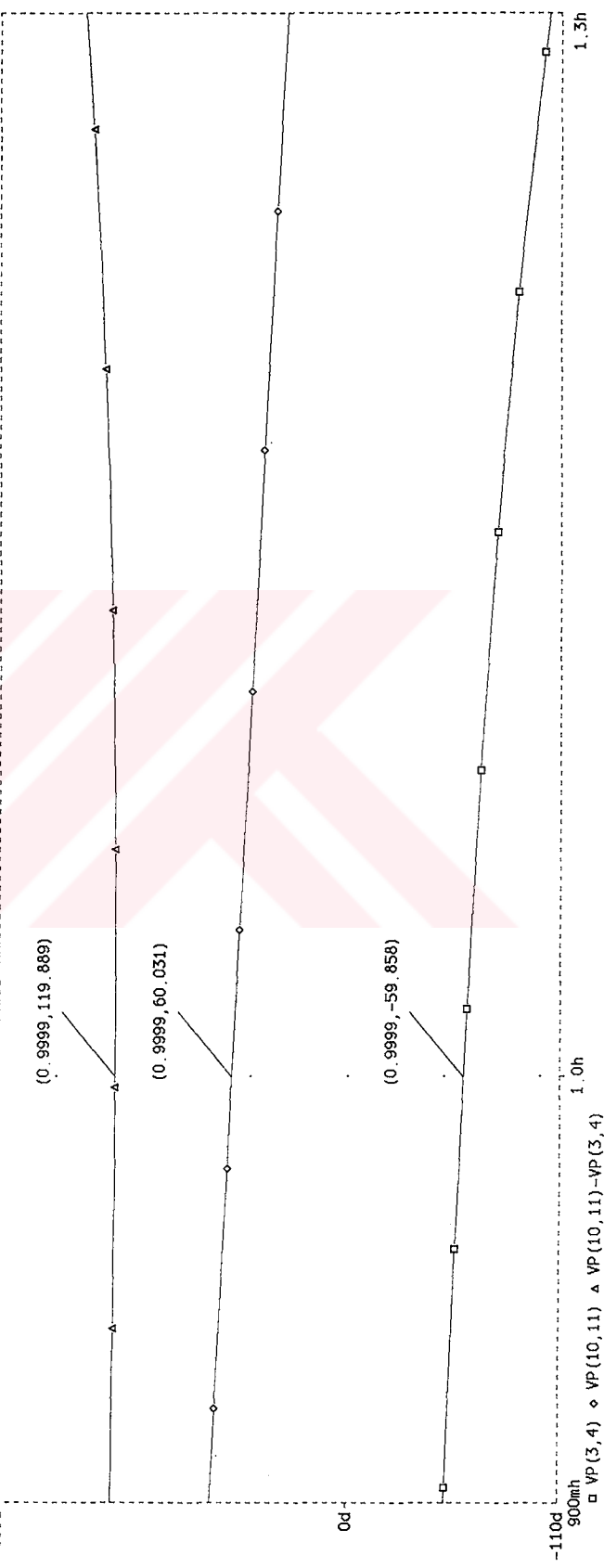
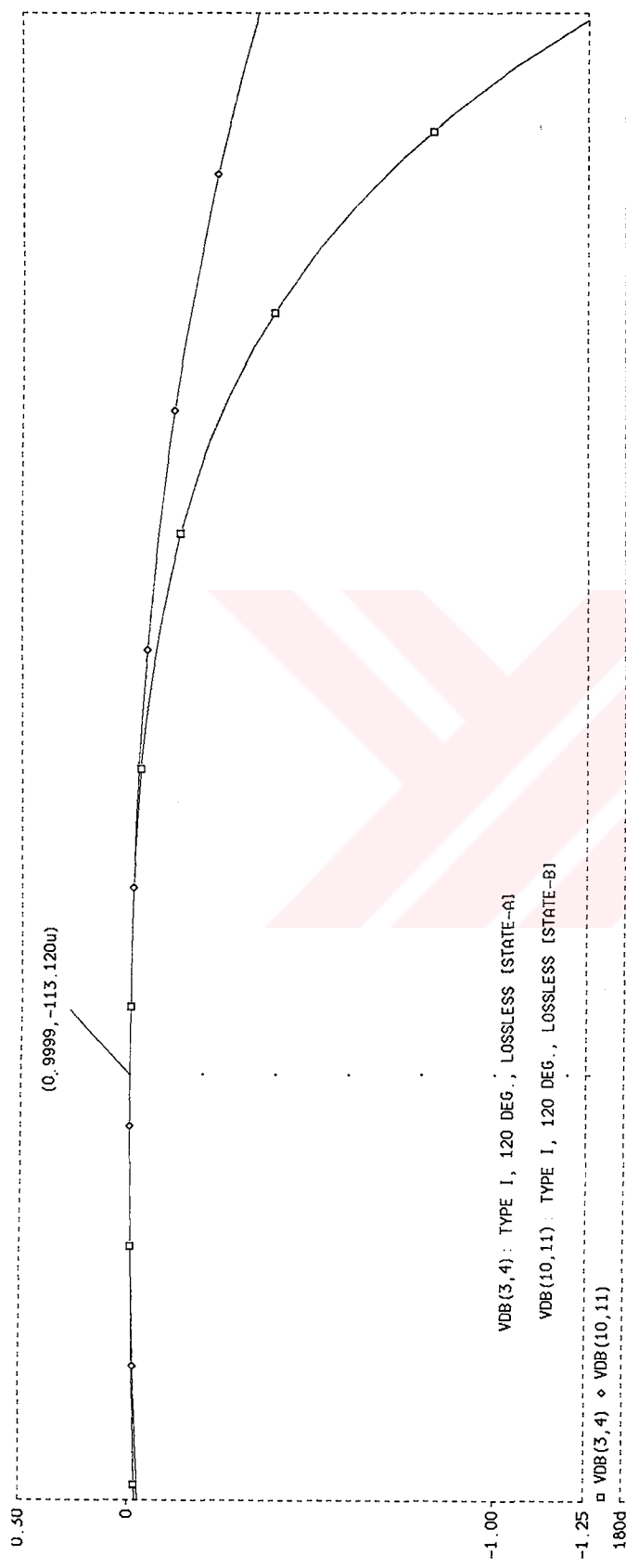
***tip III devresi kayipli analiz ve optimizasyon 120 d.(180,240)**

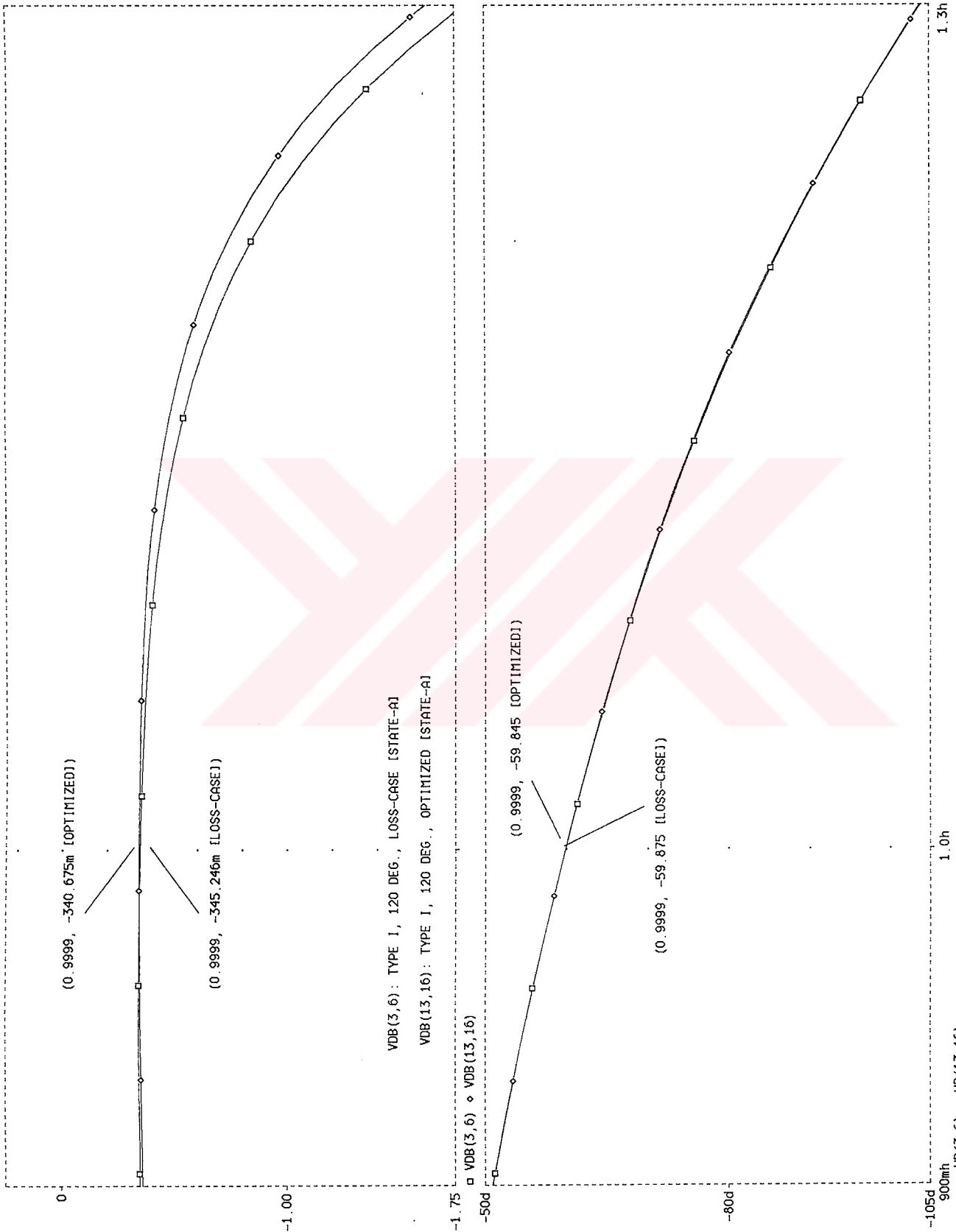
*state-b (loss-case)

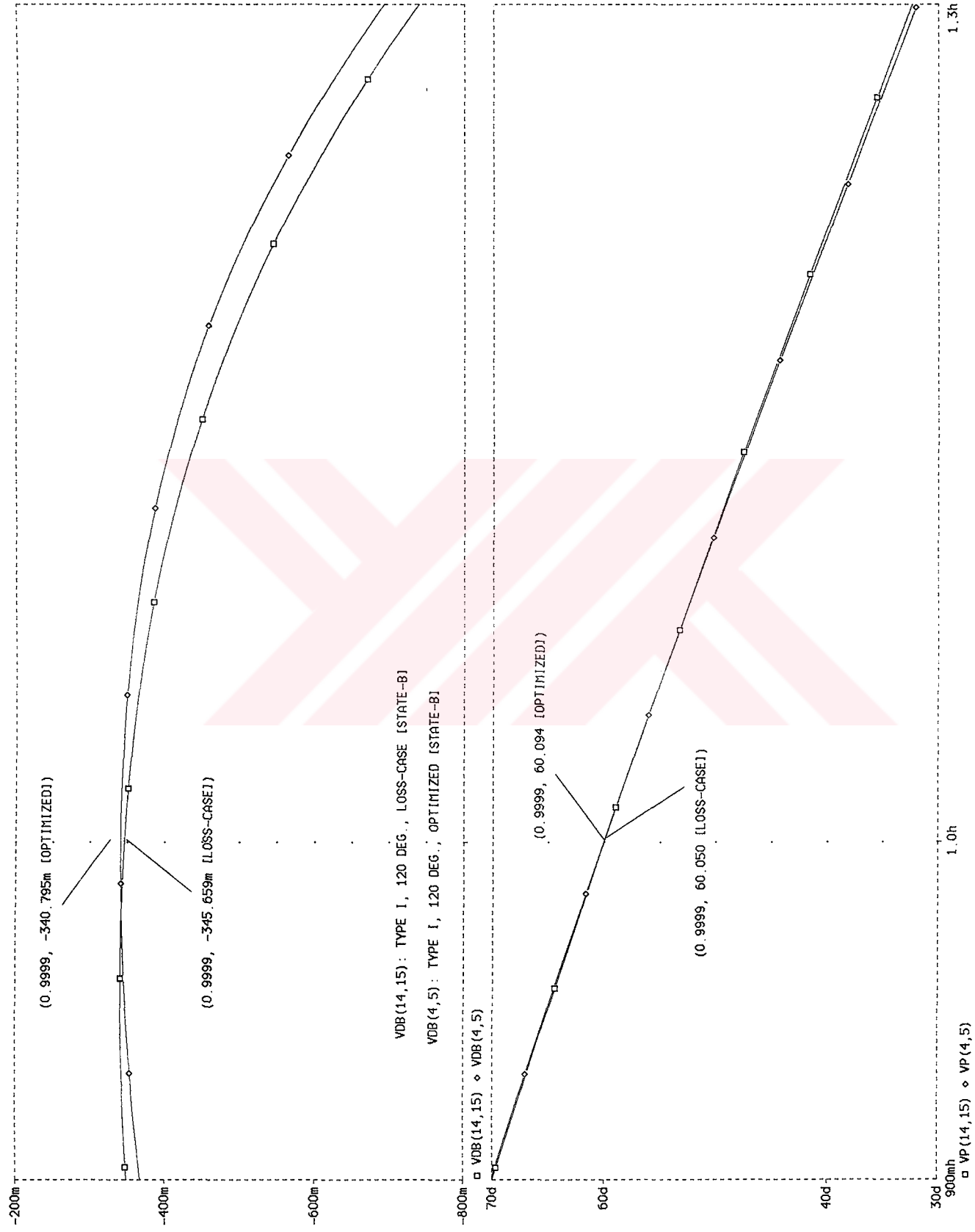
```
vinb 15 0 ac 2
rsb 15 16 1
rlb 20 21 1
rb1 16 17 0.02
rb2 18 19 0.02
rb3 22 23 0.02
rb4 23 24 0.02
rb5 16 25 0.02
rb6 25 26 0.02
rb7 20 27 0.02
rb8 27 28 0.02
lxb1 19 20 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lxb2 21 22 0.577 (180: 1, 240: 1.732)
lyb1 21 26 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
lyb2 28 0 1.732 (180: 1, 240: 0.577)
cxb1 16 18 0.616 (180: 0.25, 240: 0.0385)
cxb2 23 0 0.616 (180: 0.25, 240: 0.0385)
cyb1 16 25 0.0385 (180: 0.25, 240: 0.616)
cyb2 20 27 0.0385 (180: 0.25, 240: 0.616)
cdb1 17 18 0.25 (180: 0.25, 240: 0.25)
cdb2 24 0 0.25 (180: 0.25, 240: 0.25)
```

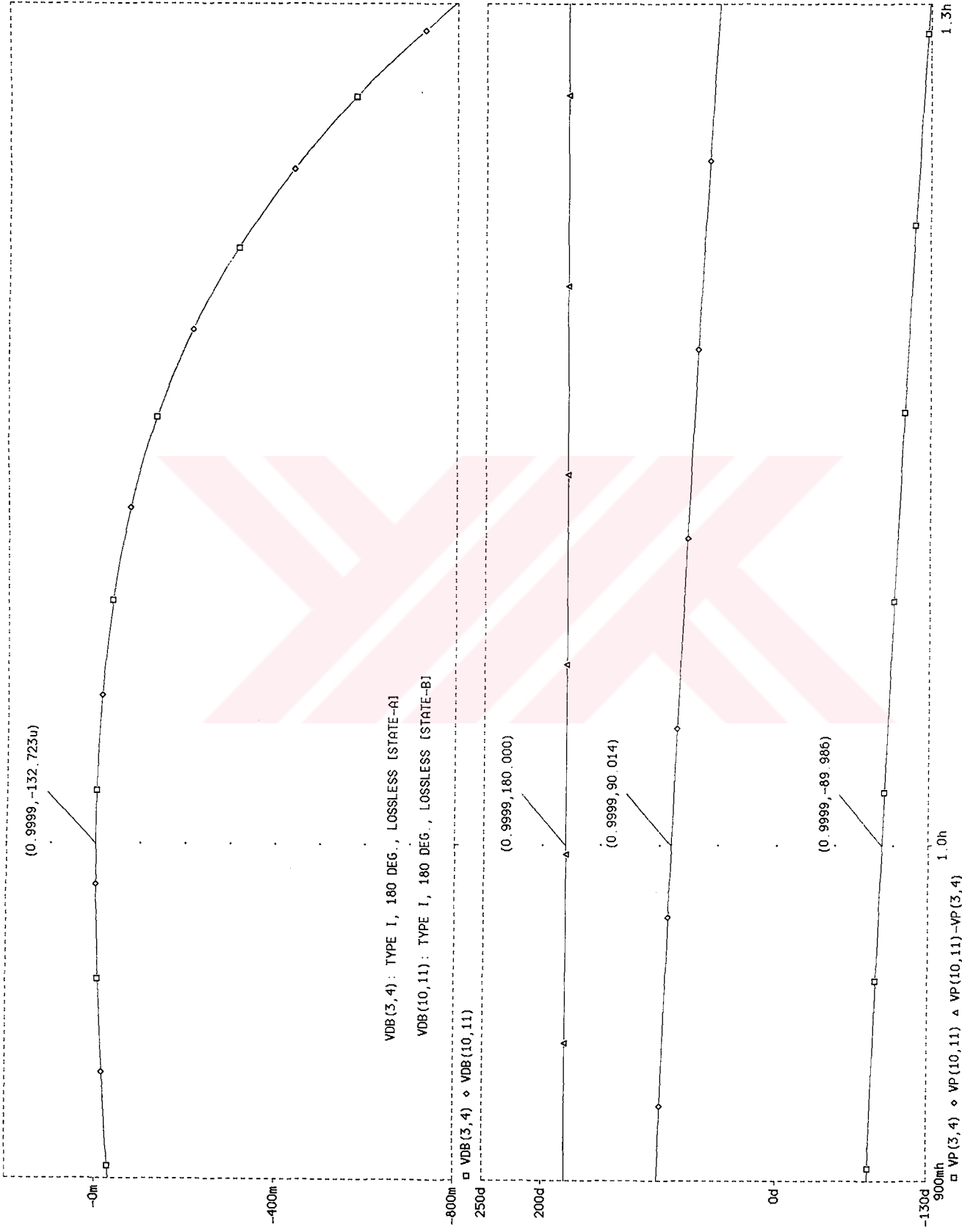
*state-b (optimized)

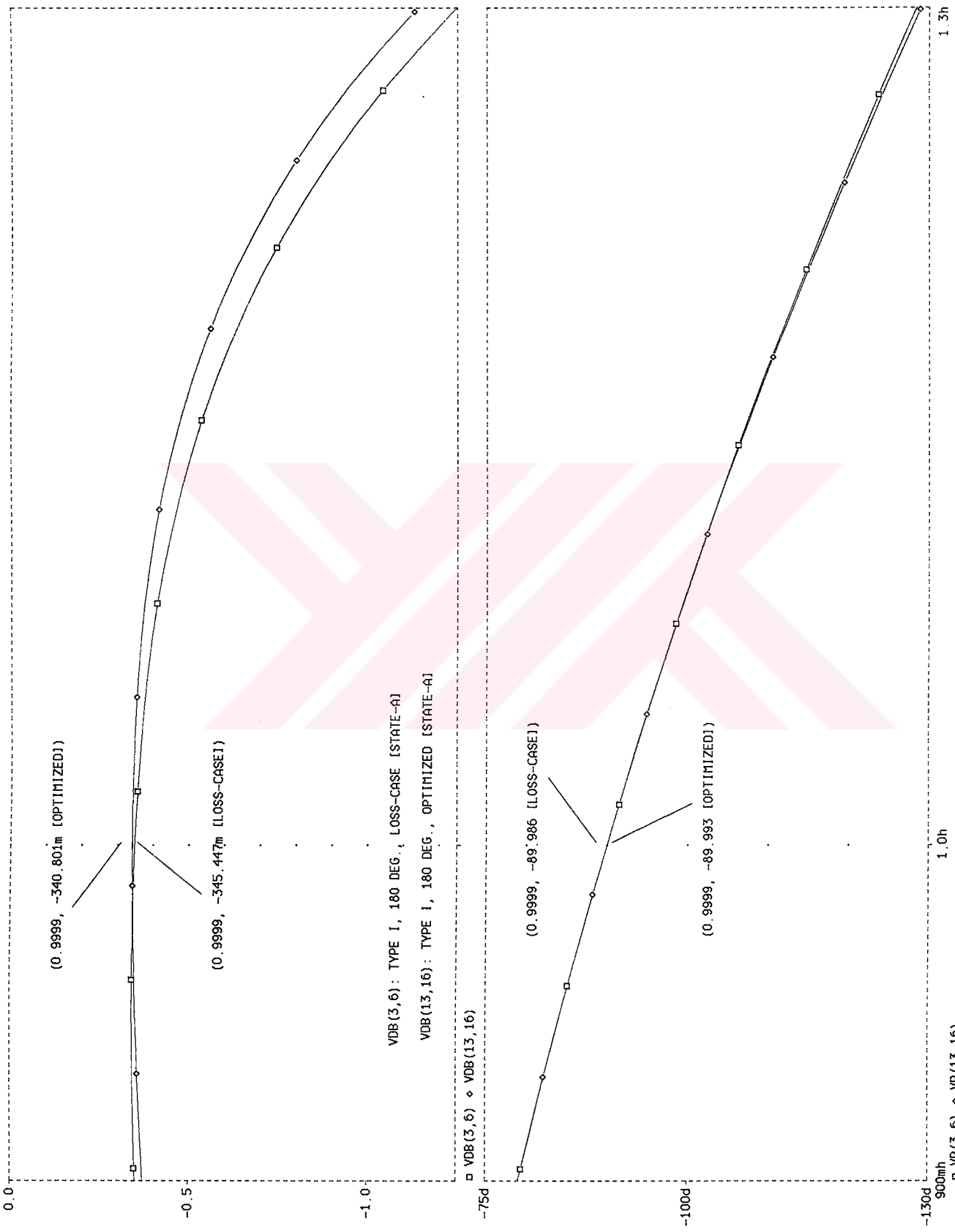
```
vino 35 0 ac 2
rso 35 36 1
rlo 40 41 1
ro1 36 37 0.02
ro2 38 39 0.02
ro3 42 43 0.02
ro4 43 44 0.02
ro5 36 45 0.02
ro6 45 46 0.02
ro7 40 47 0.02
ro8 47 48 0.02
lxo1 39 40 0.5962 (180: 1.0304, 240: 1.786)
lxo2 41 42 0.5962 (180: 1.0304, 240: 1.786)
lyo1 41 46 1.786 (180: 1.0304, 240: 0.5963)
lyo2 48 0 1.786 (180: 1.0304, 240: 0.5963)
cxo1 36 38 0.7674 (180: 0.4852, 240: 0.2779)
cxo2 43 0 0.7674 (180: 0.4852, 240: 0.2779)
cyo1 36 45 0.2779 (180: 0.4851, 240: 0.7637)
cyo2 40 47 0.2779 (180: 0.4851, 240: 0.7637)
cdo1 37 38 0.0721 (180: 0.0002, 240: 0.002)
cdo2 44 0 0.0721 (180: 0.0002, 240: 0.002)
.ac dec 200 0.1 10
.probe
.end
```

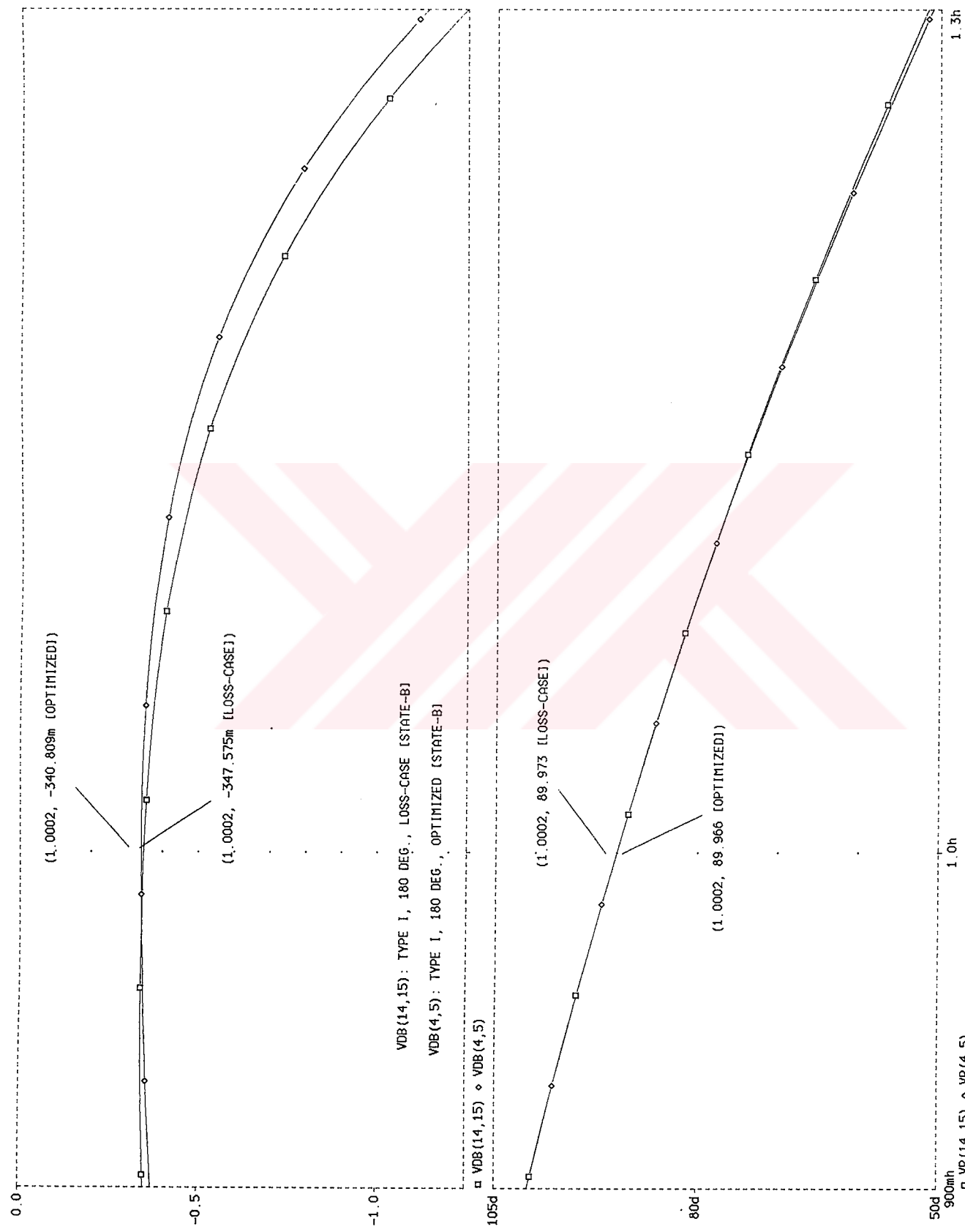


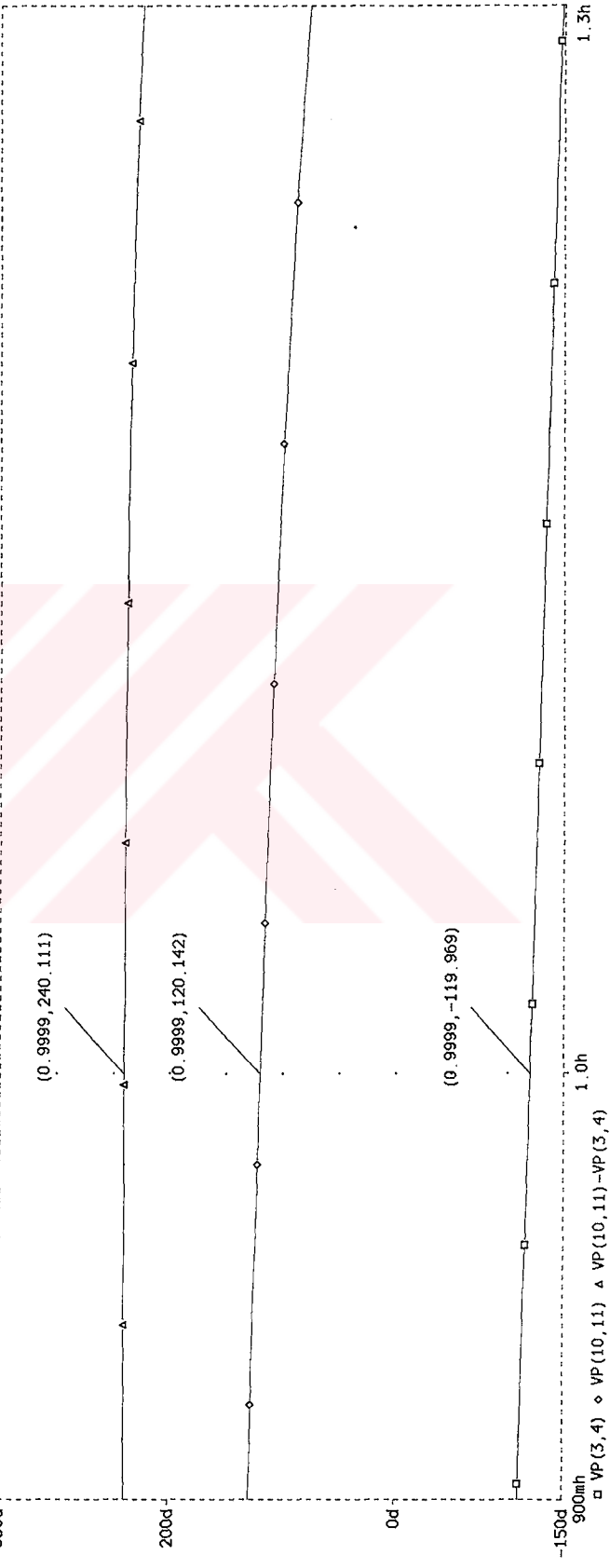
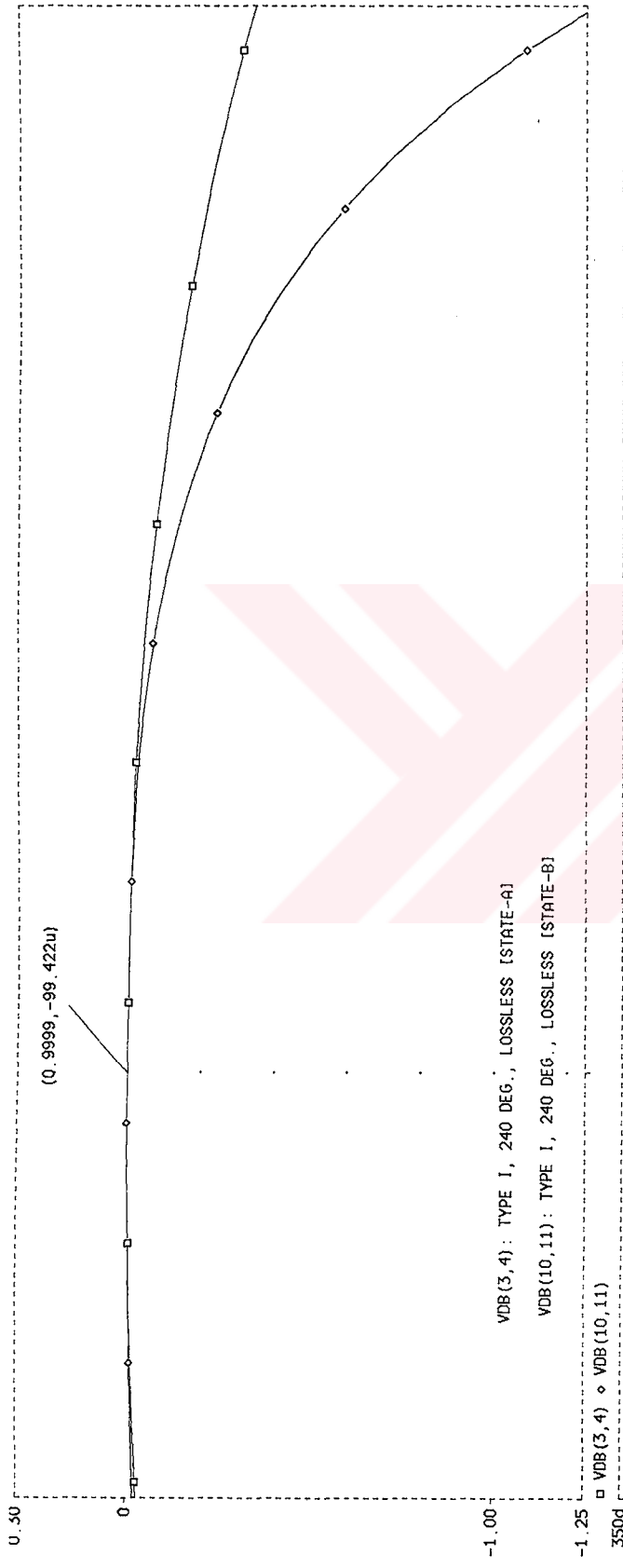




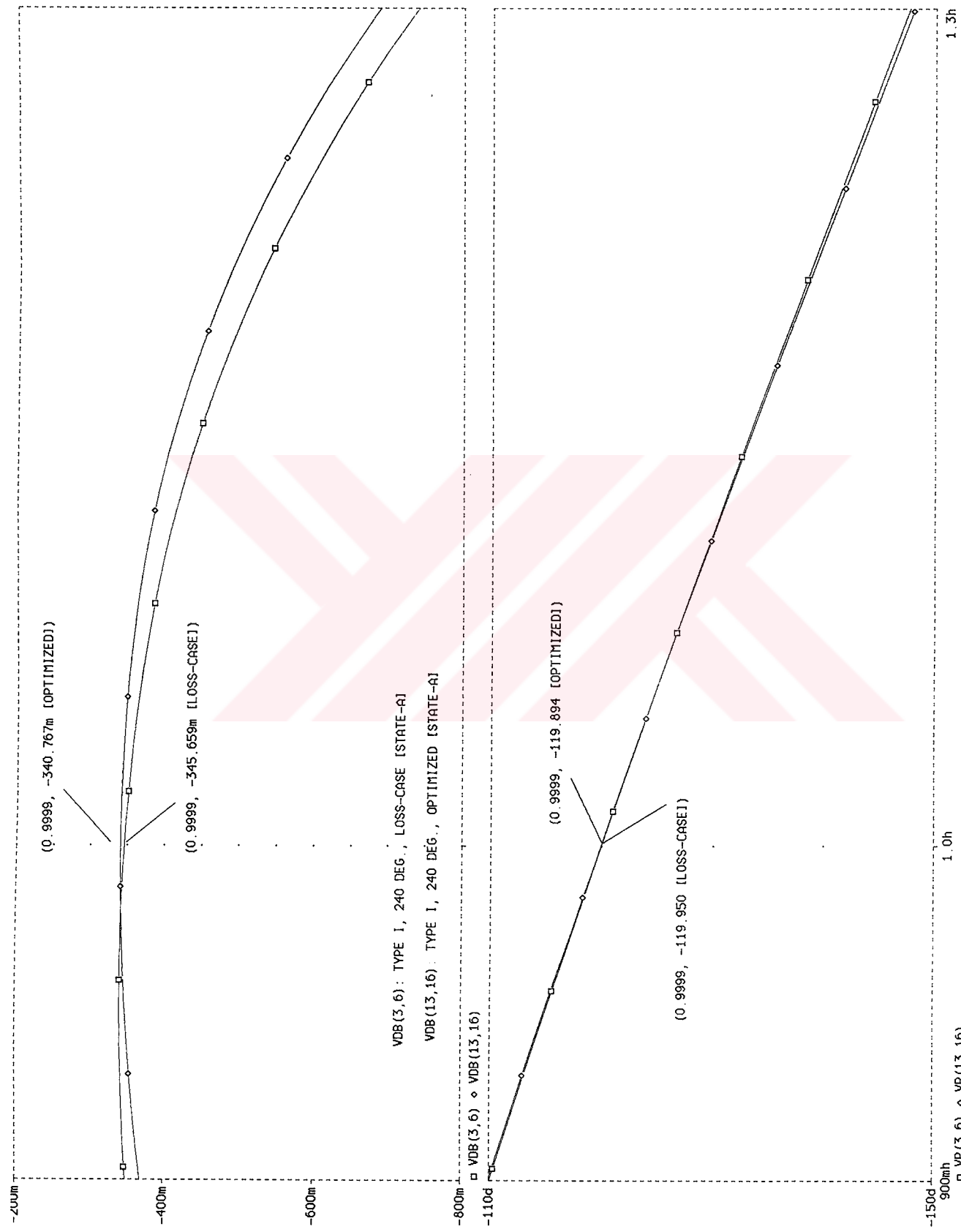


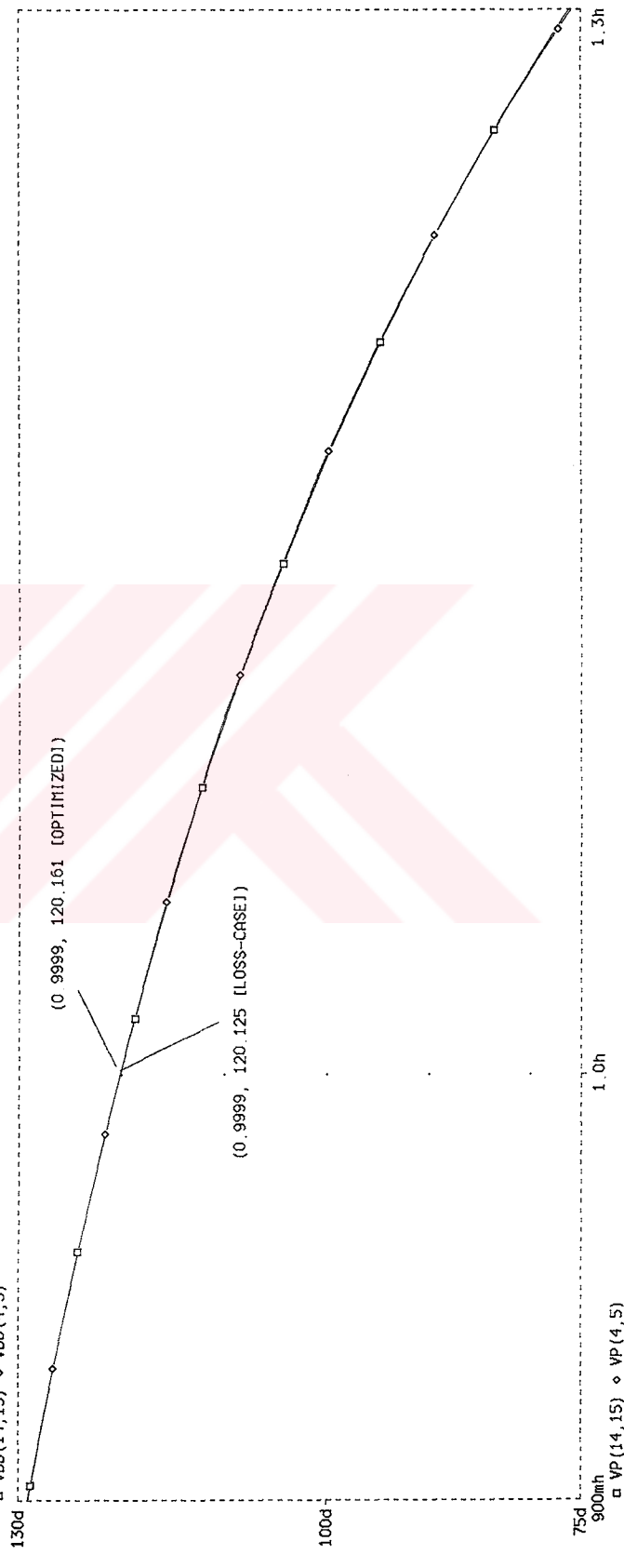
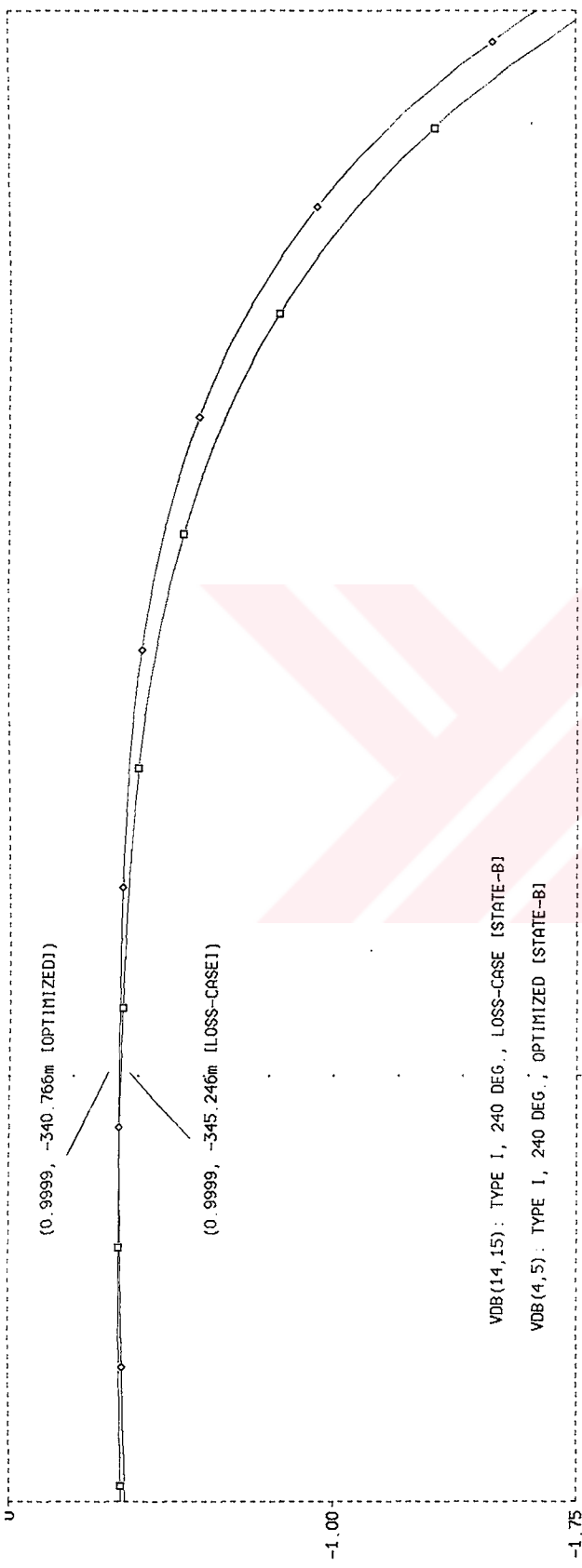


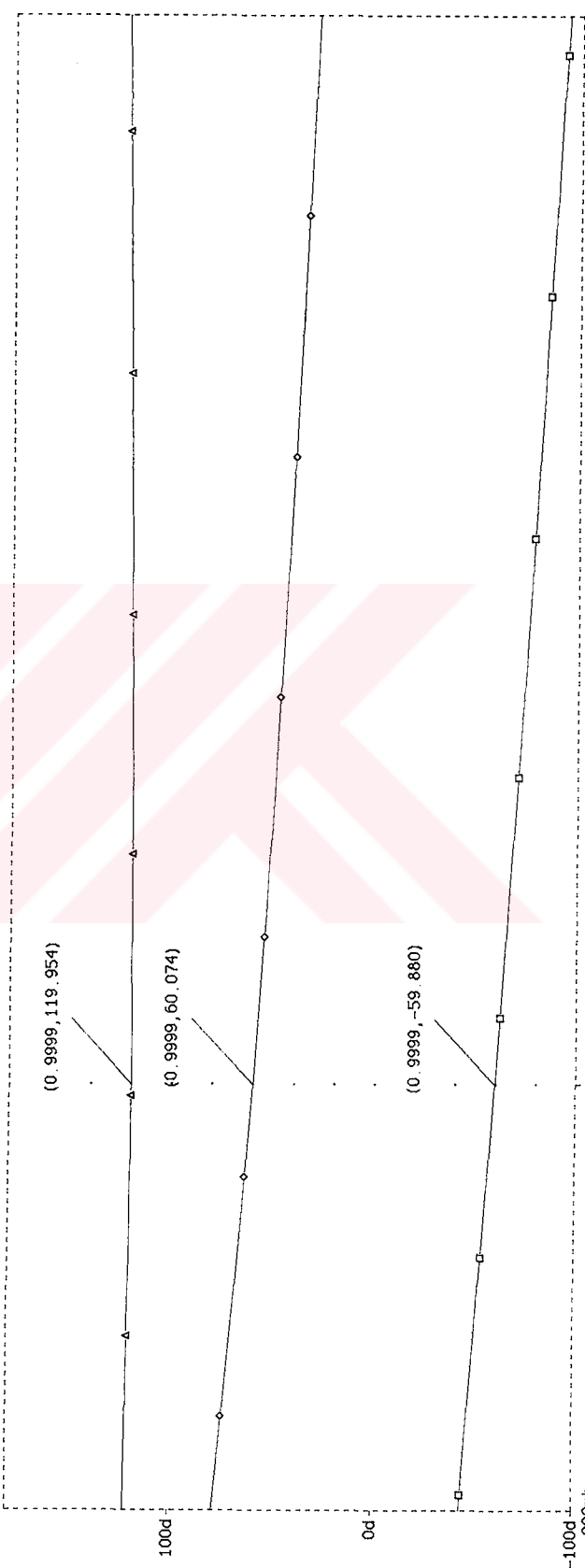
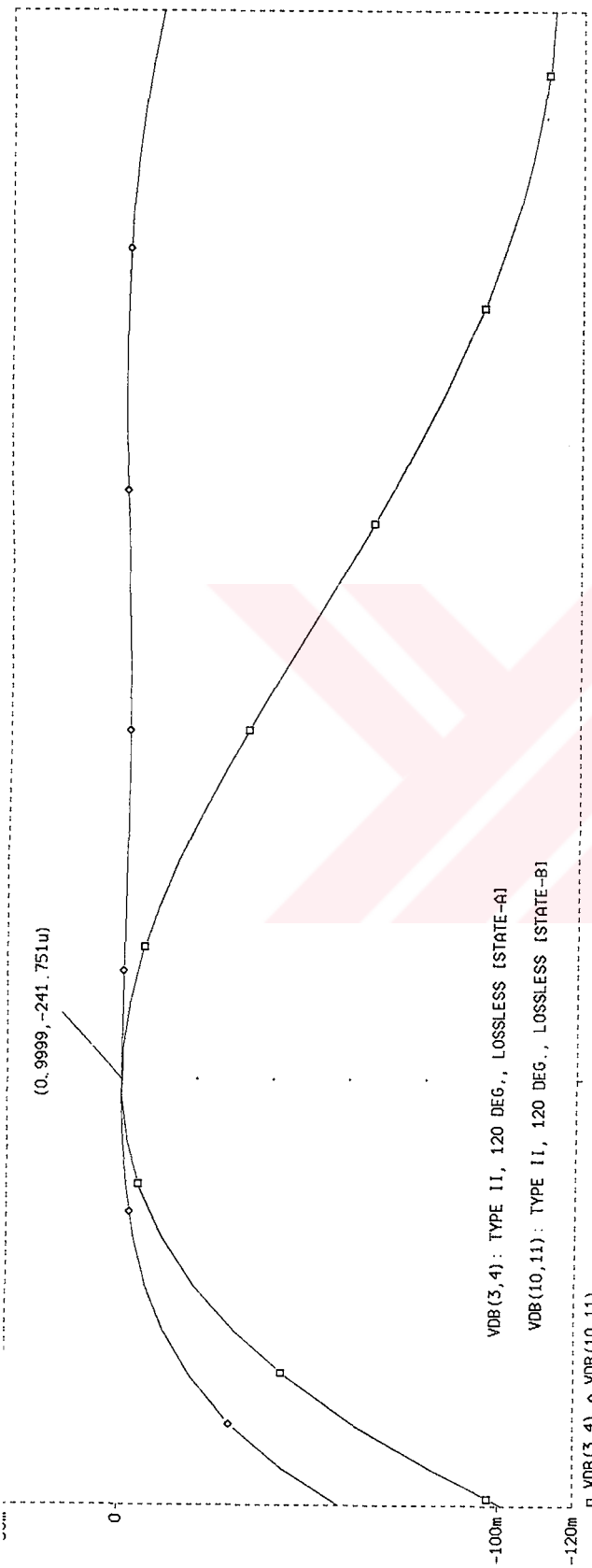


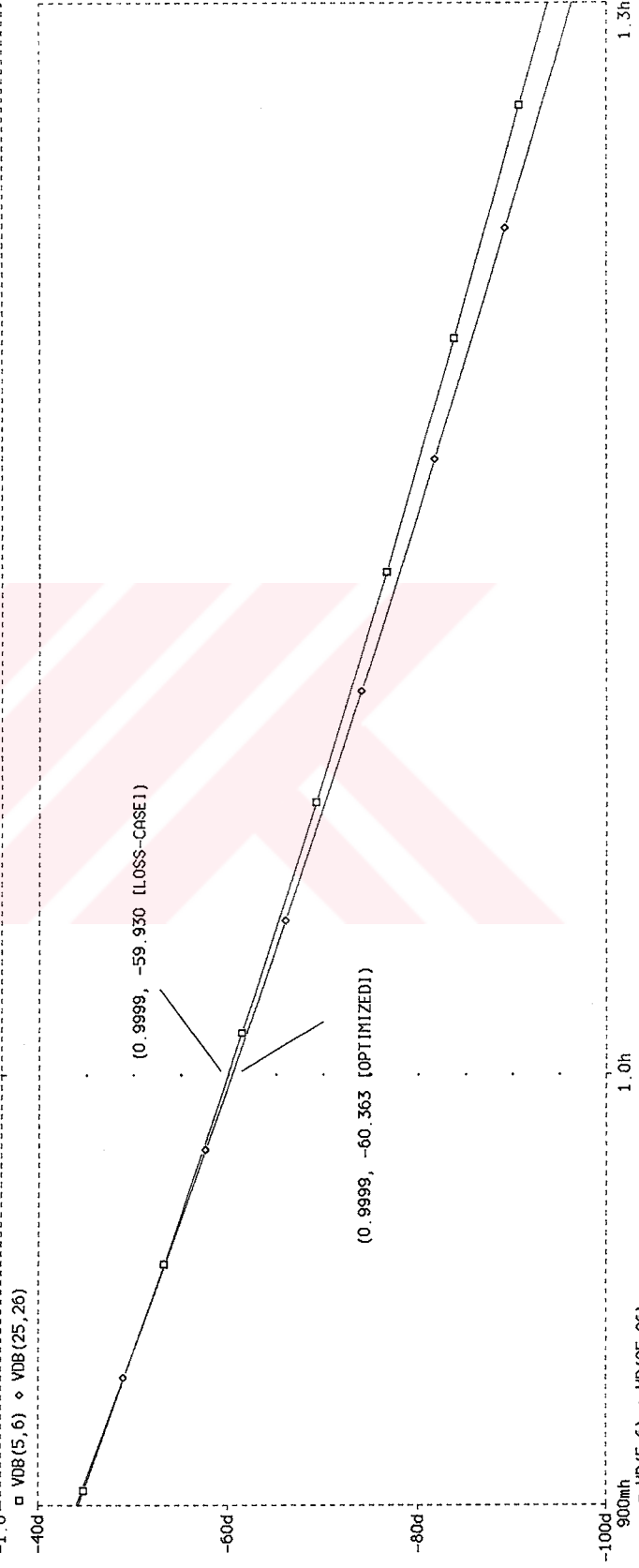
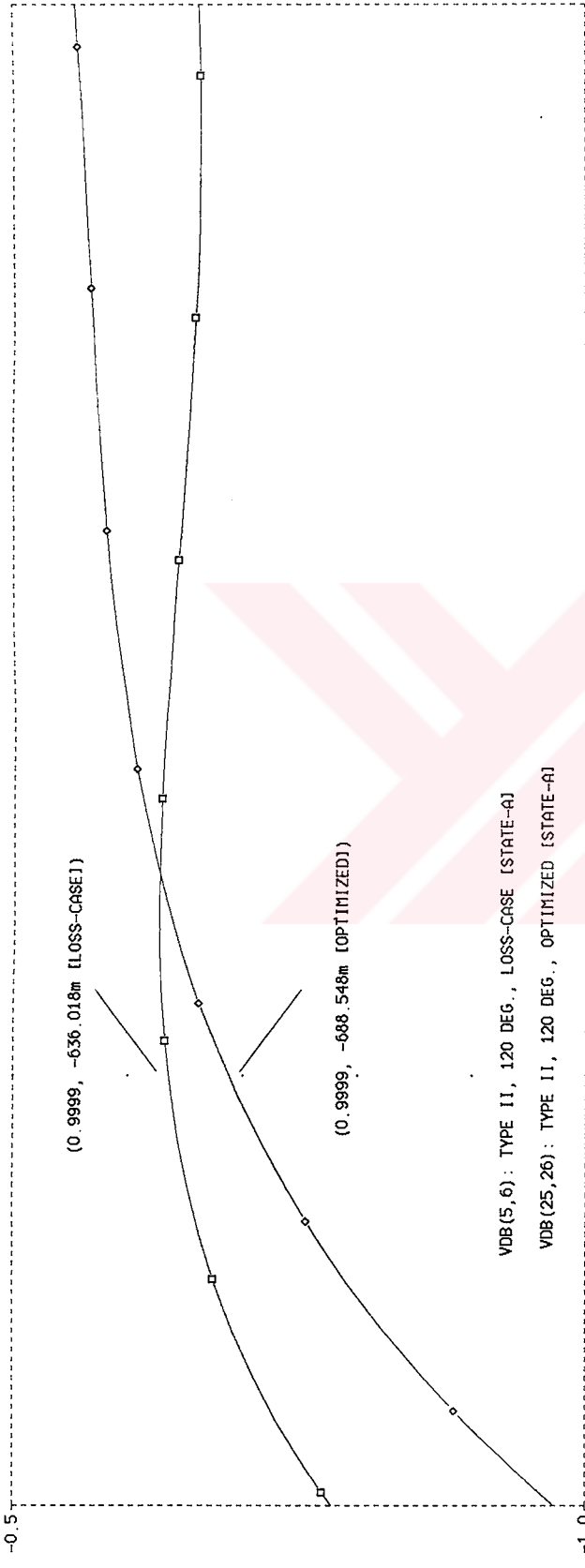


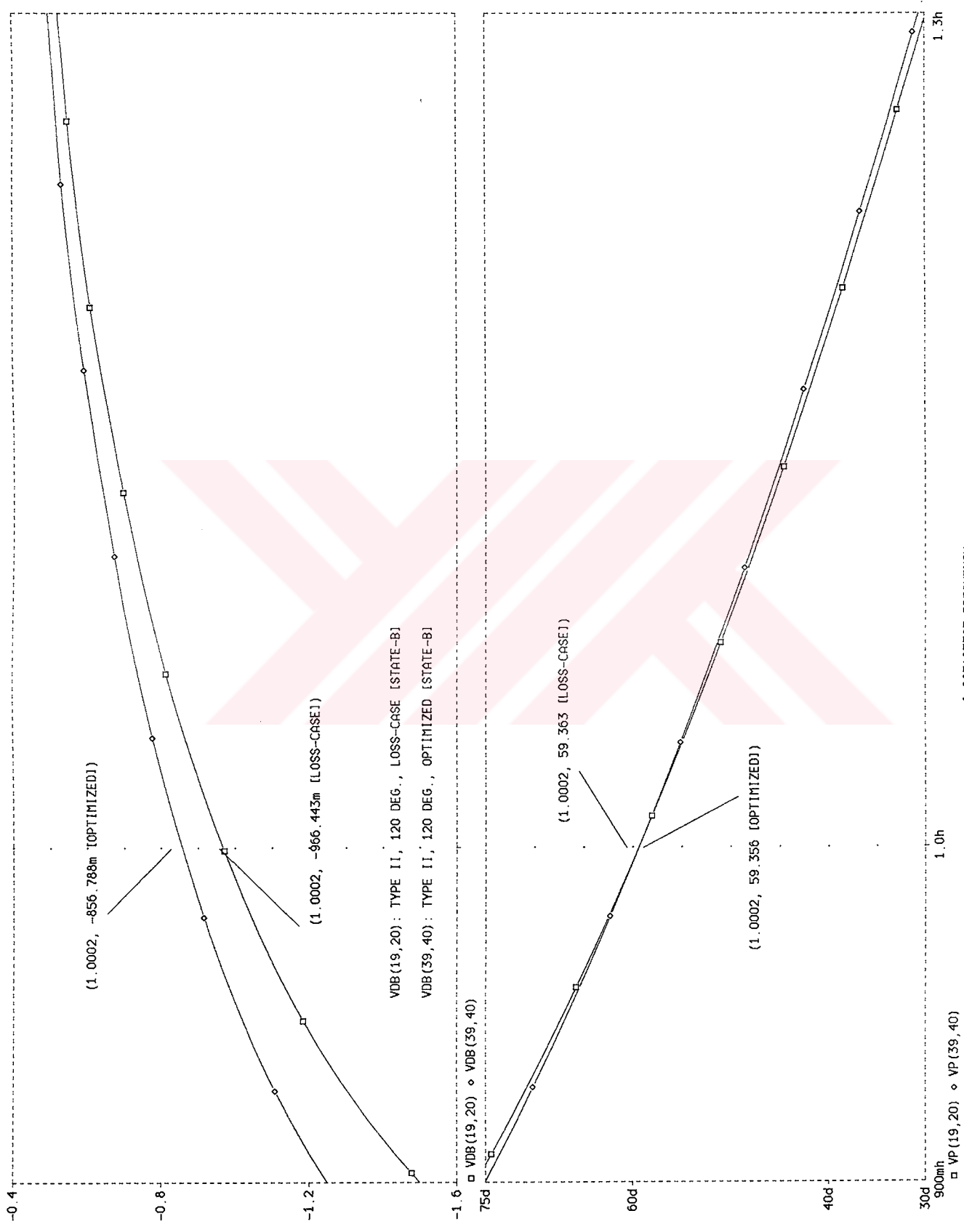
6.283185307*FREQUENCY

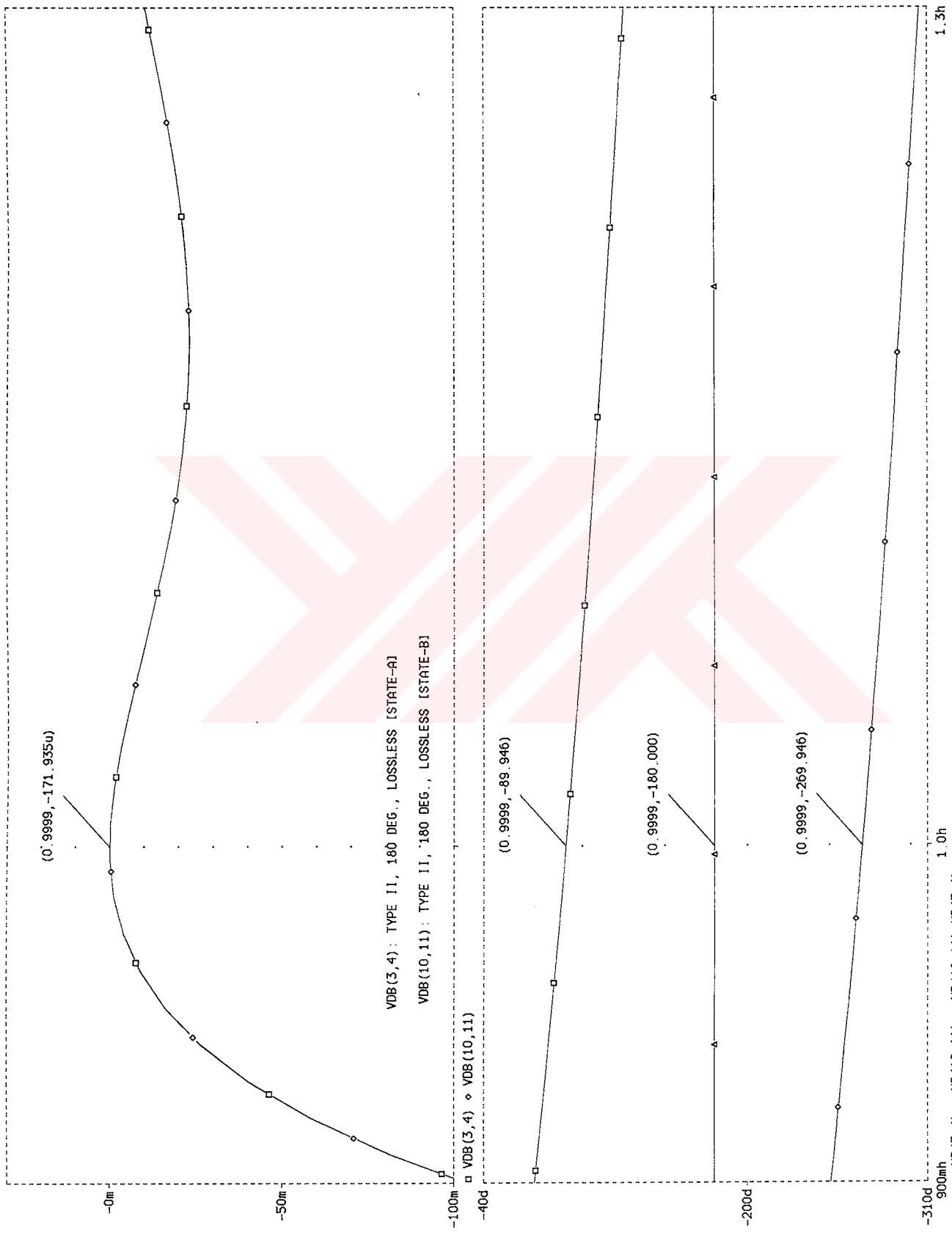


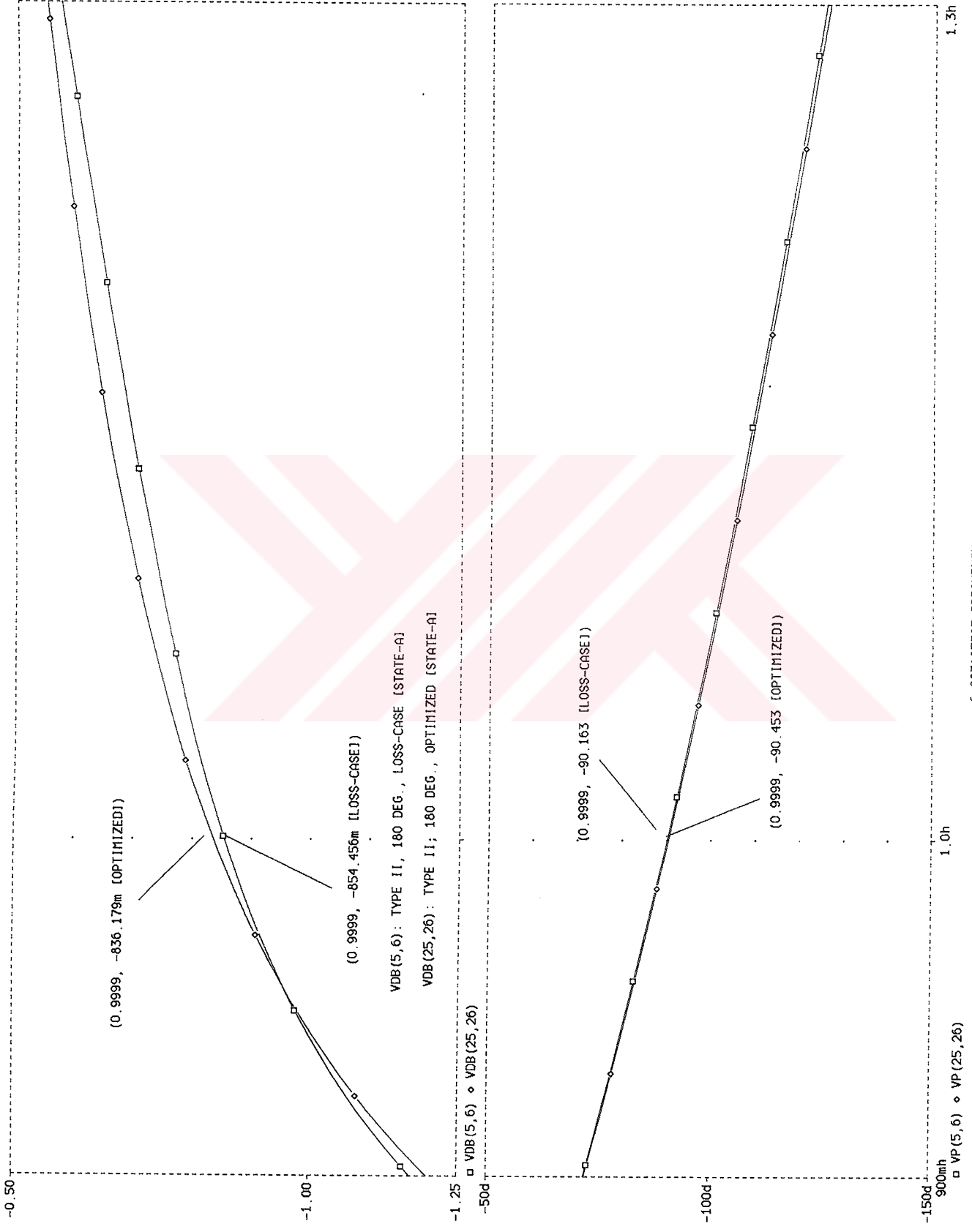


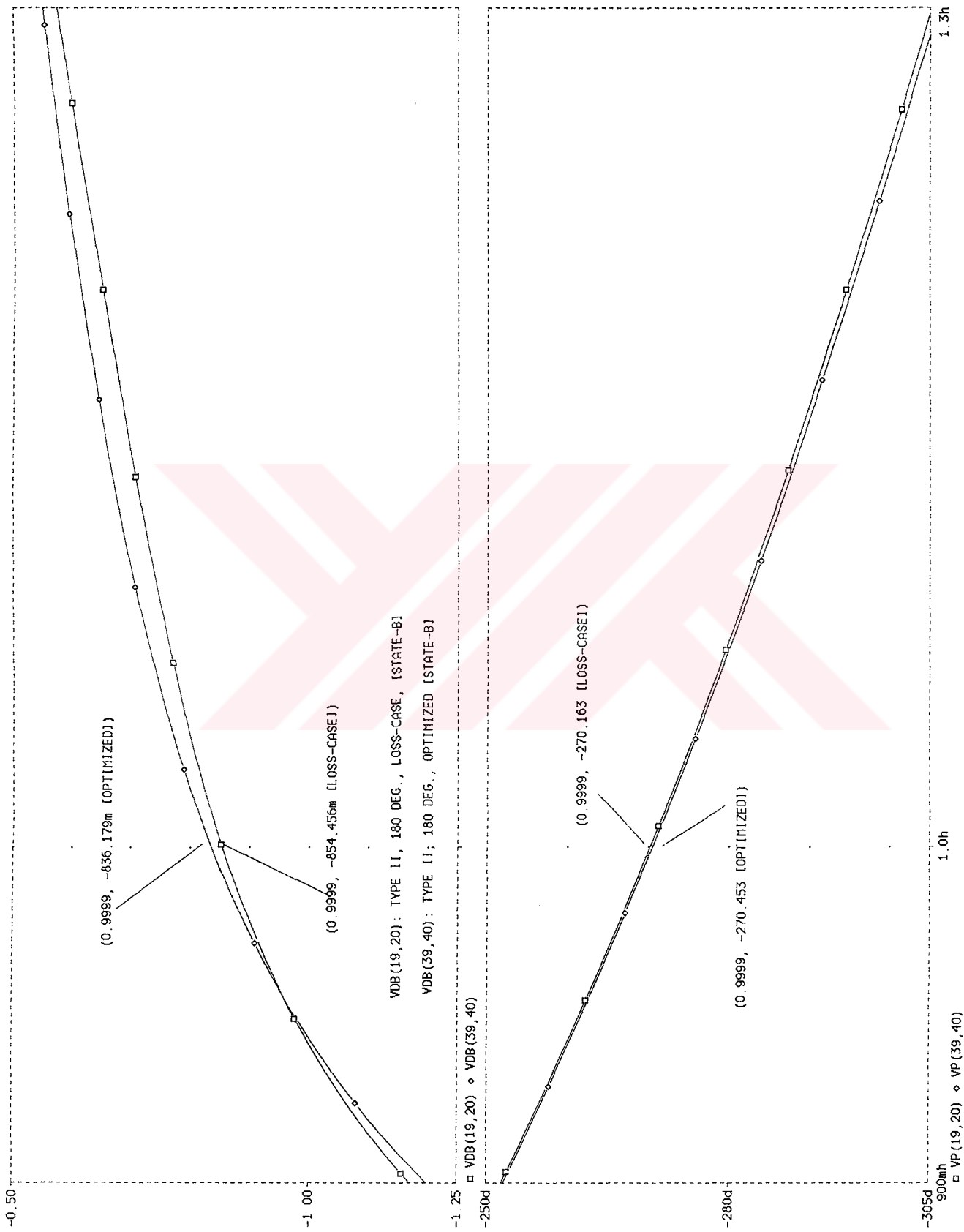


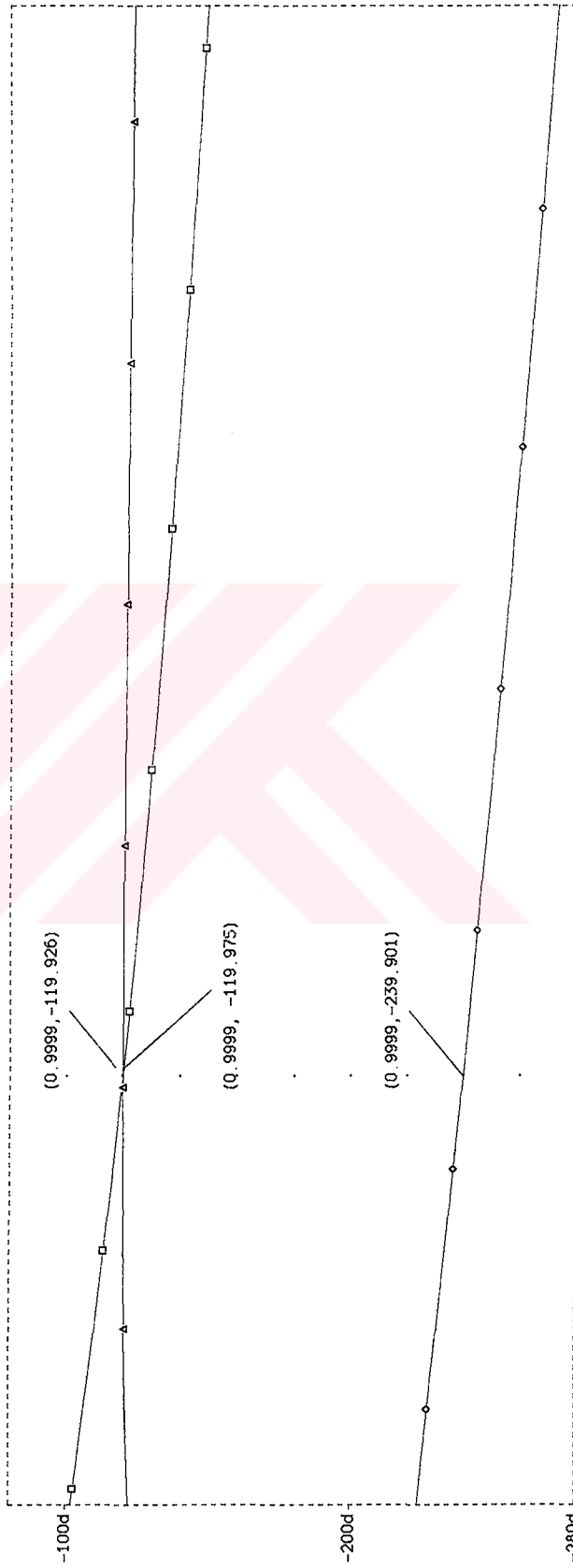
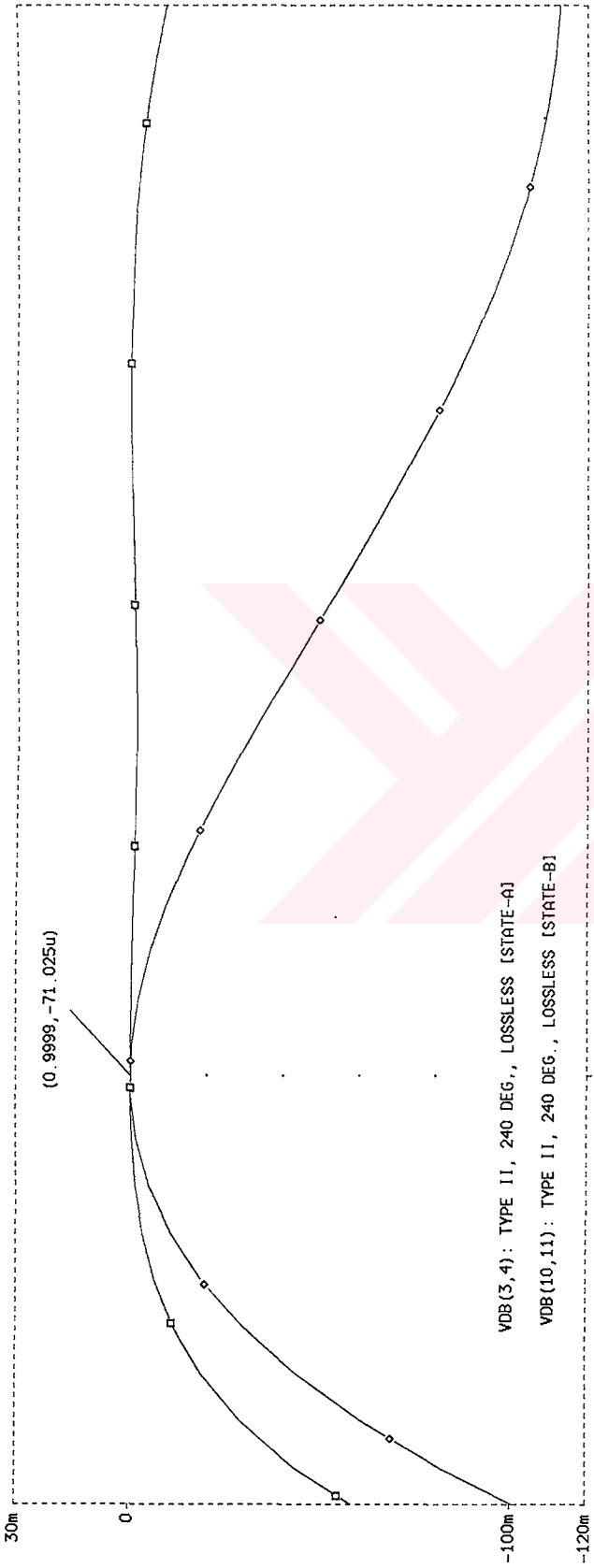






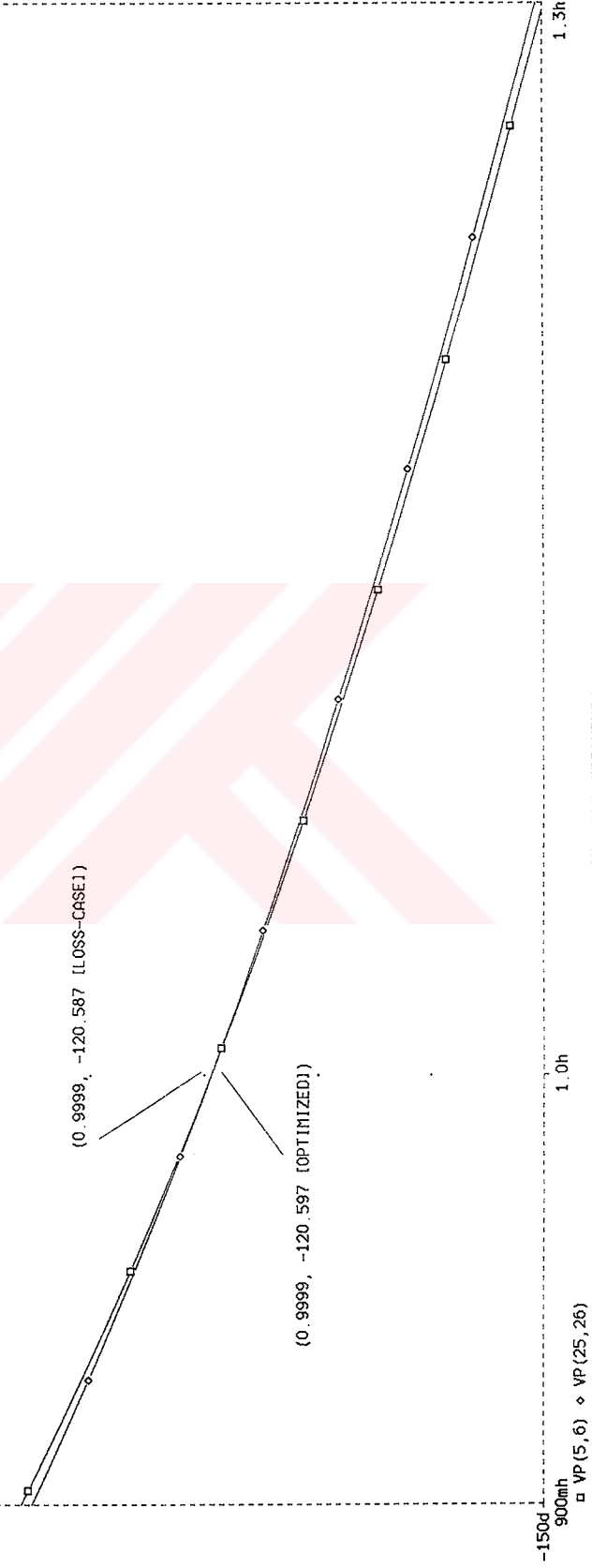
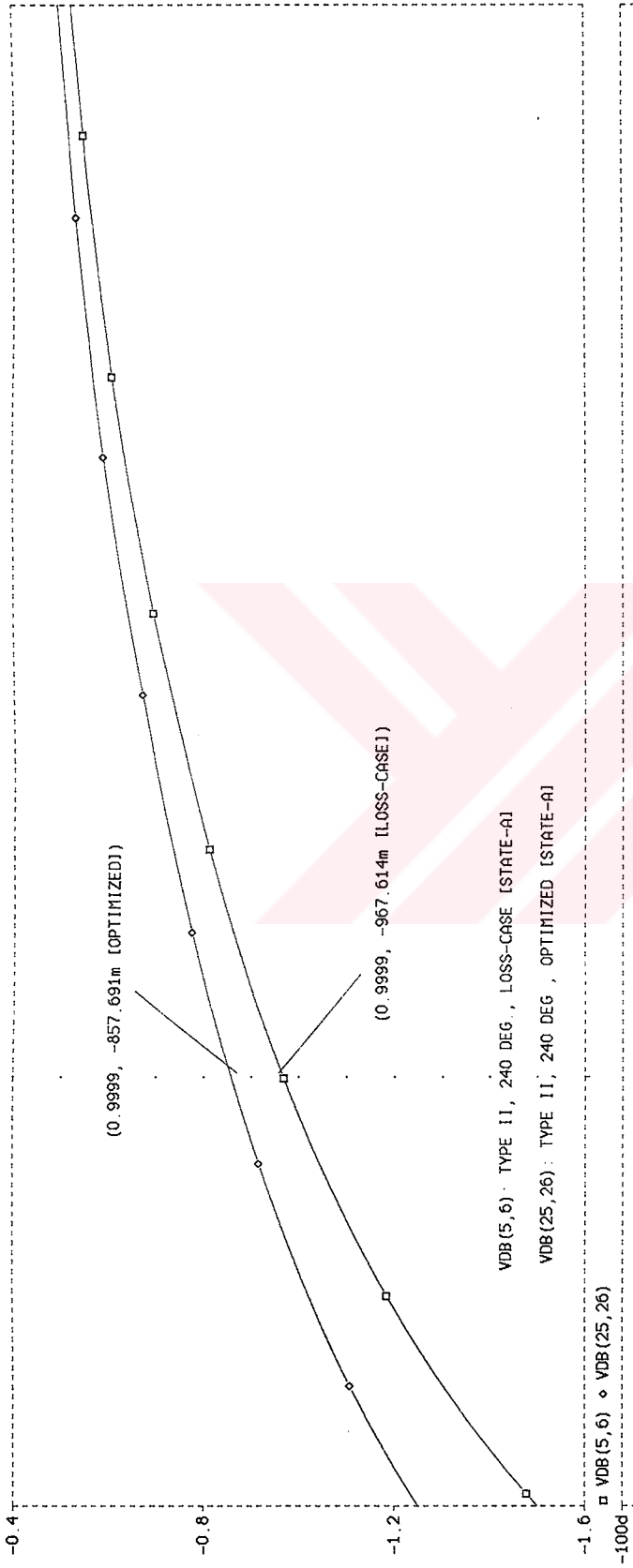


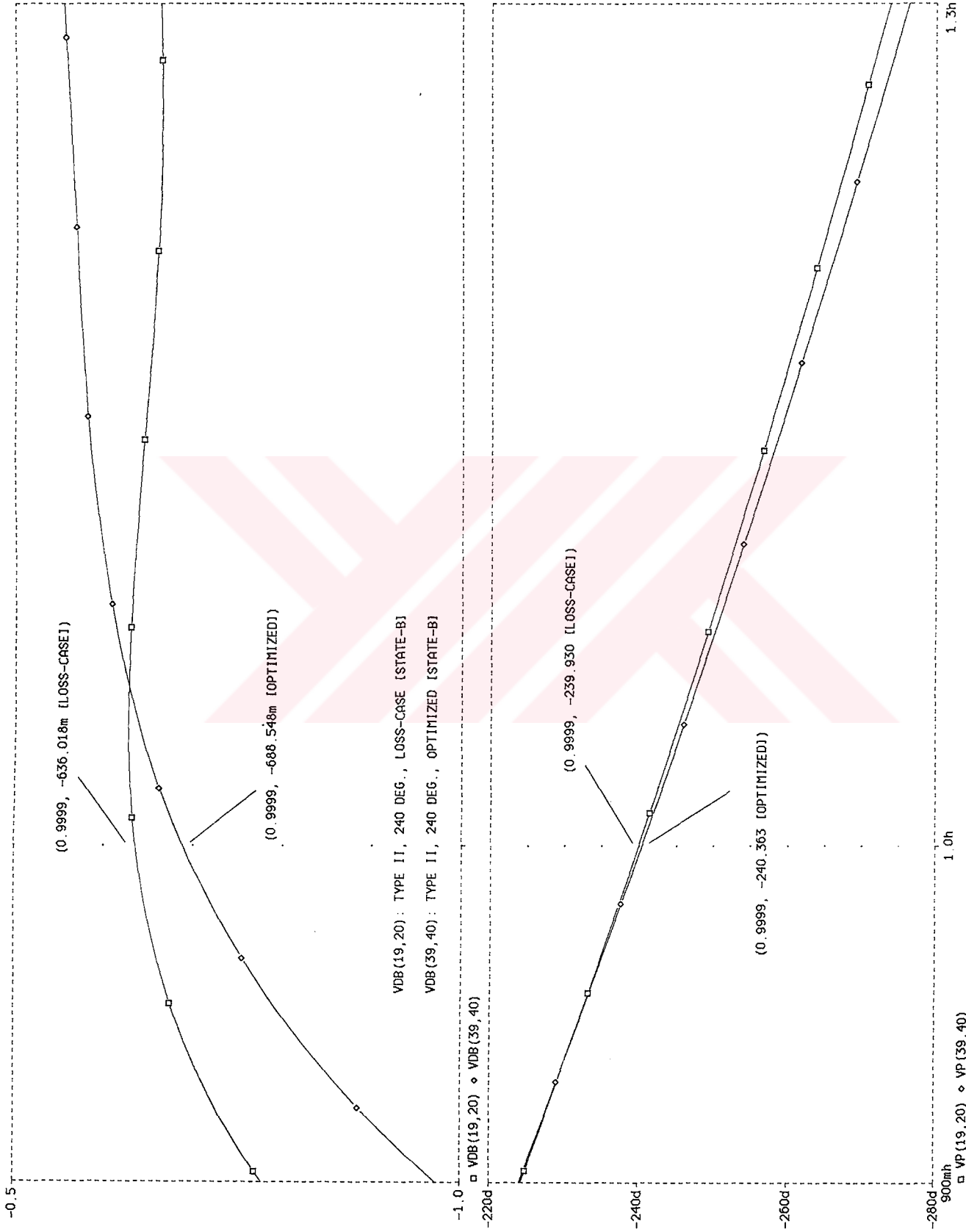


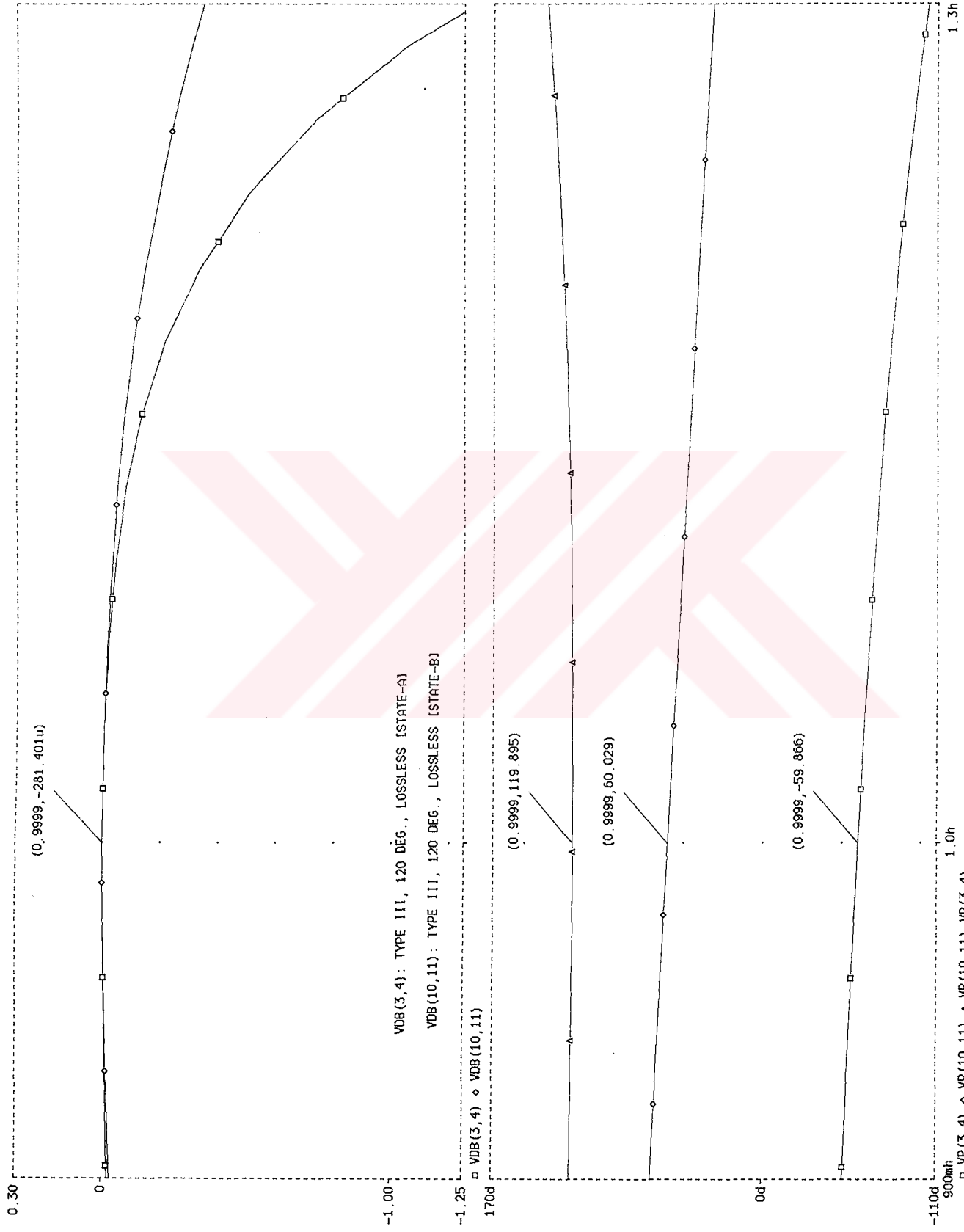


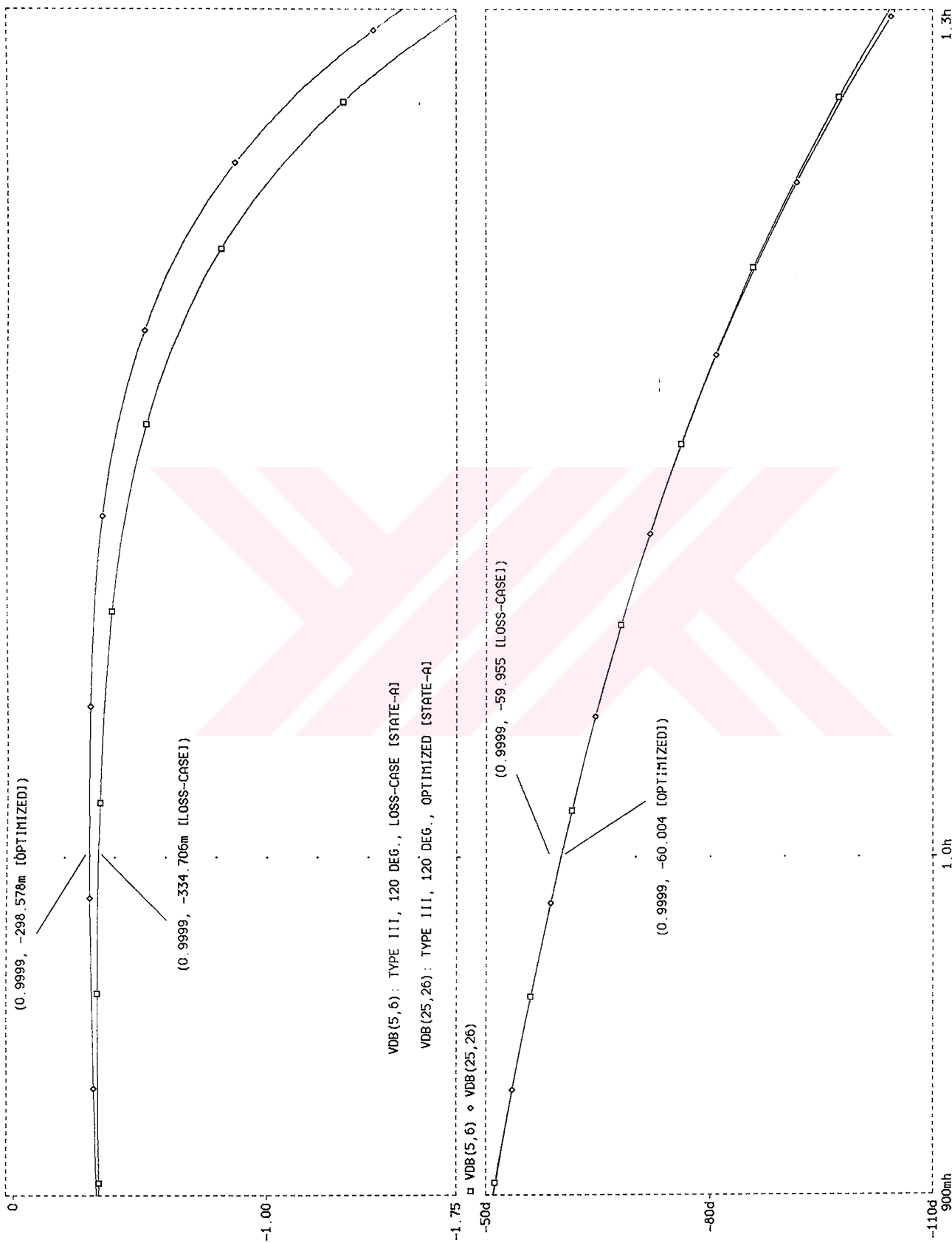
30m 0 -100m -120m -100d -280d 900mh 1.0h 1.3h

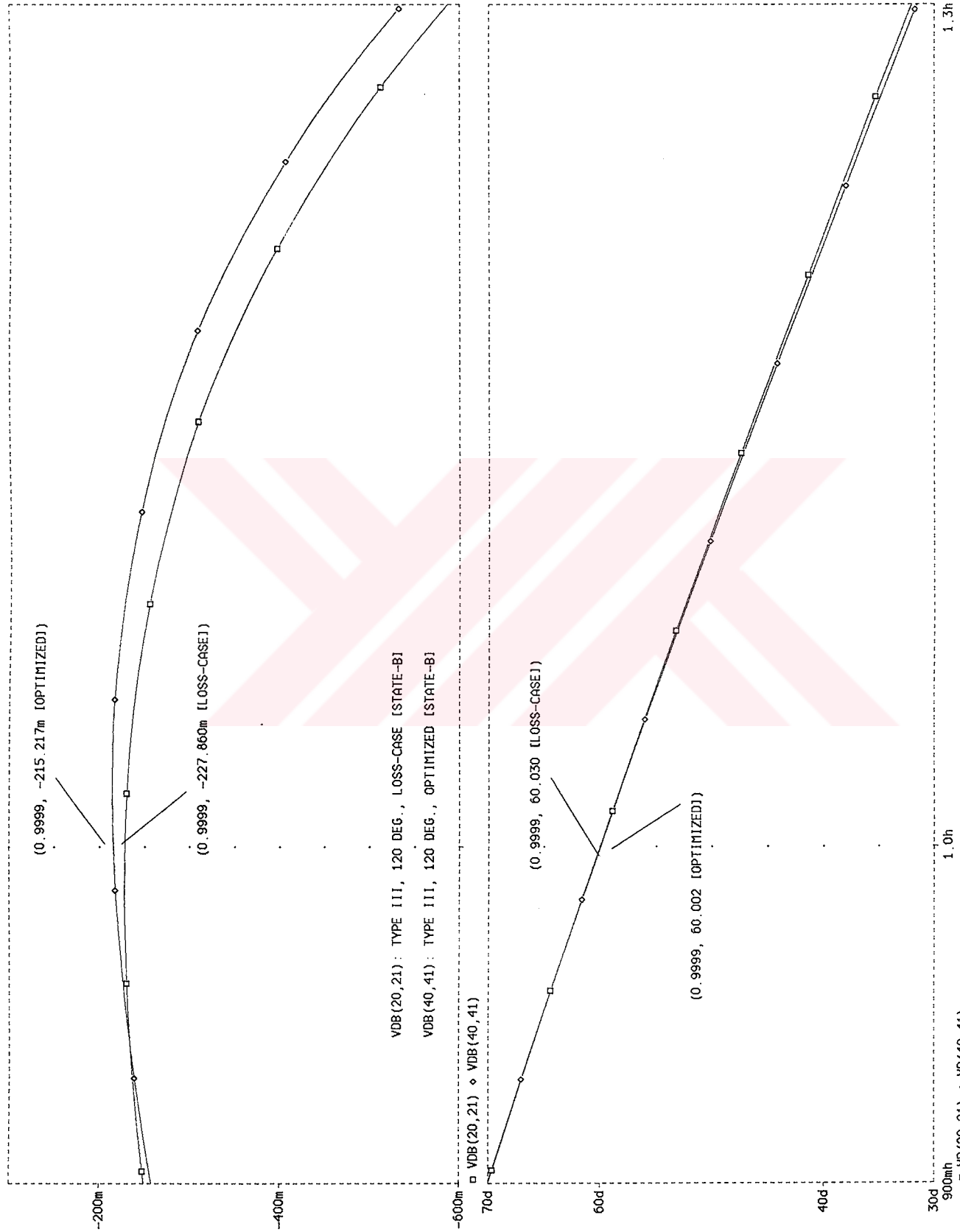
□ VP(3,4) ○ VP(10,11) △ VP(10,11)-VP(3,4)

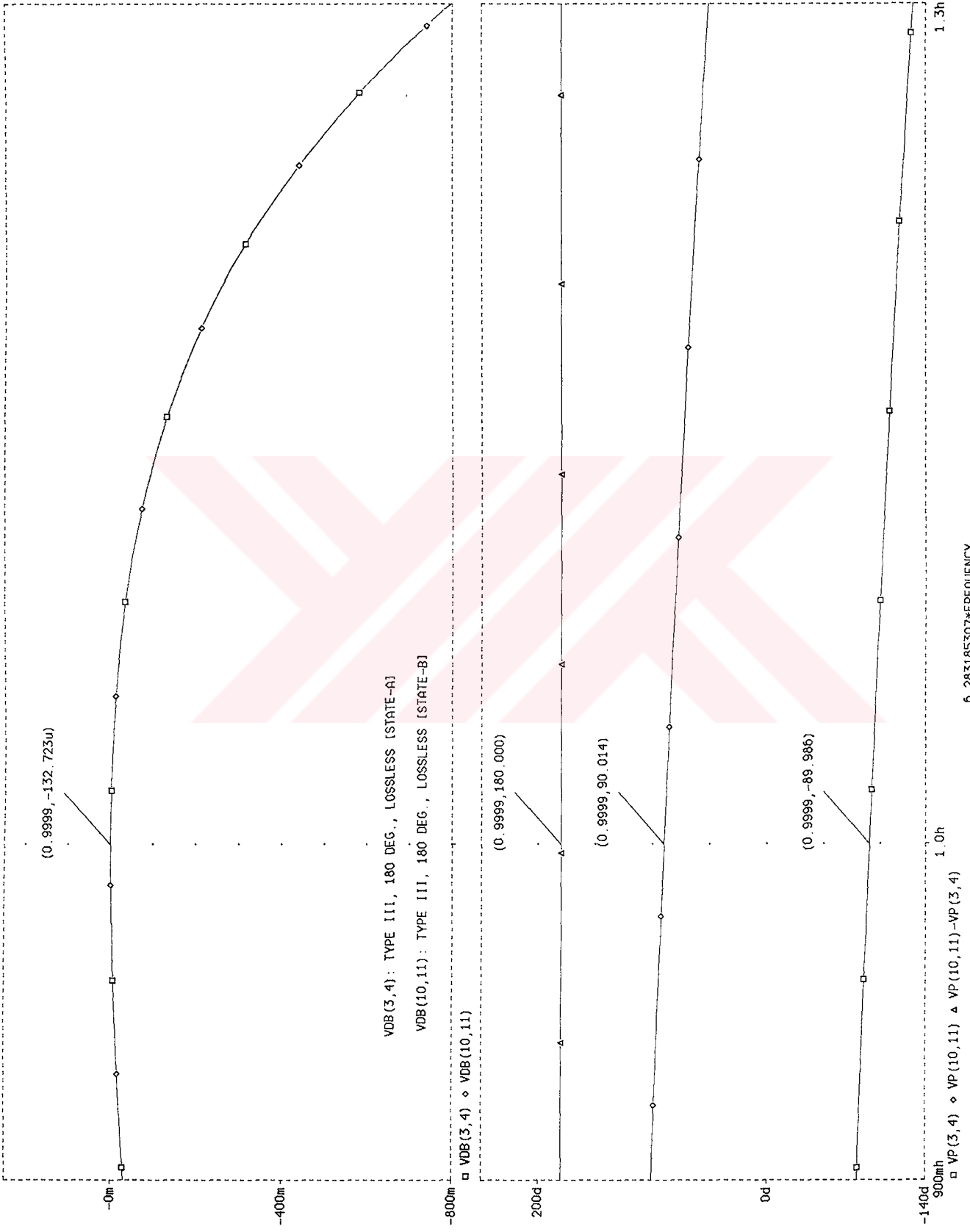


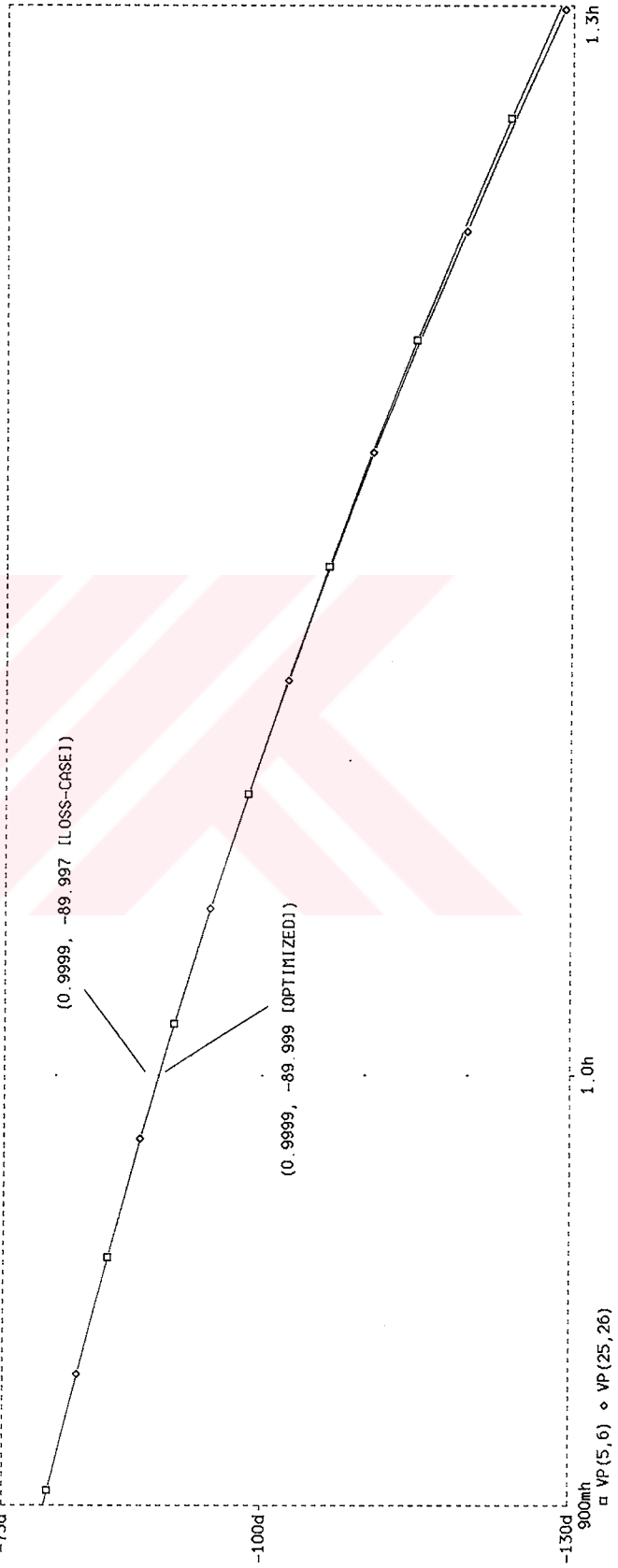
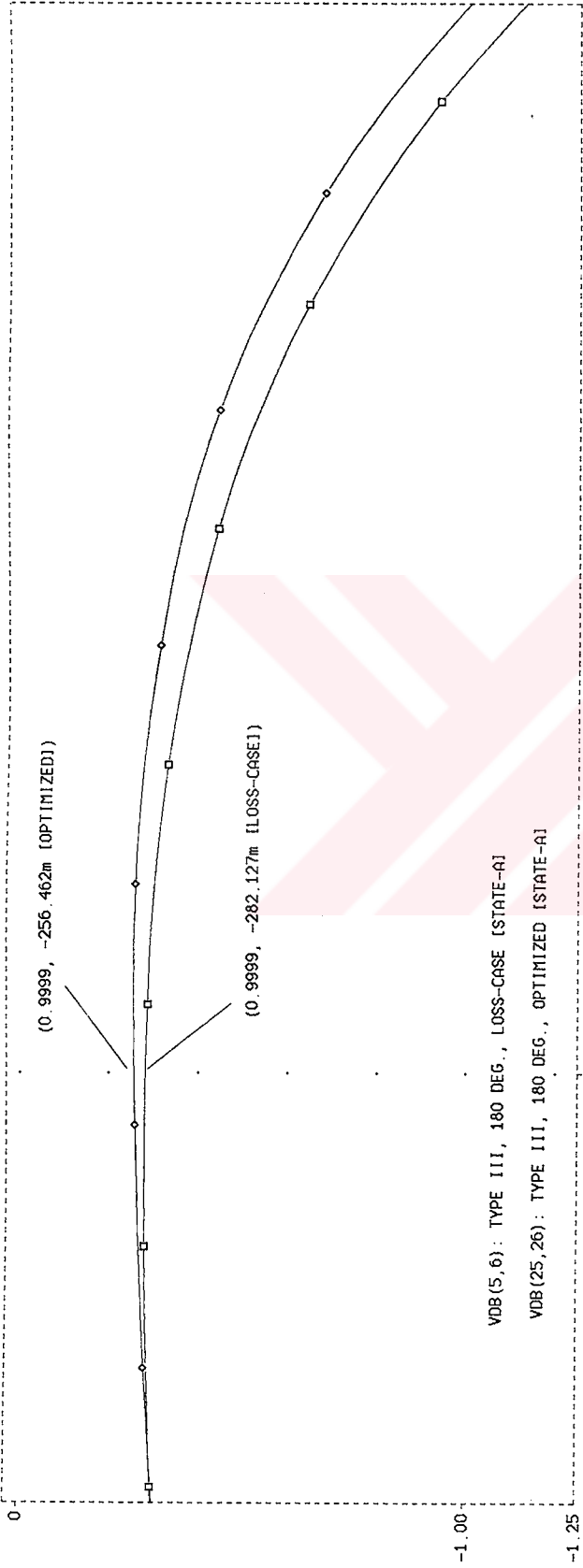


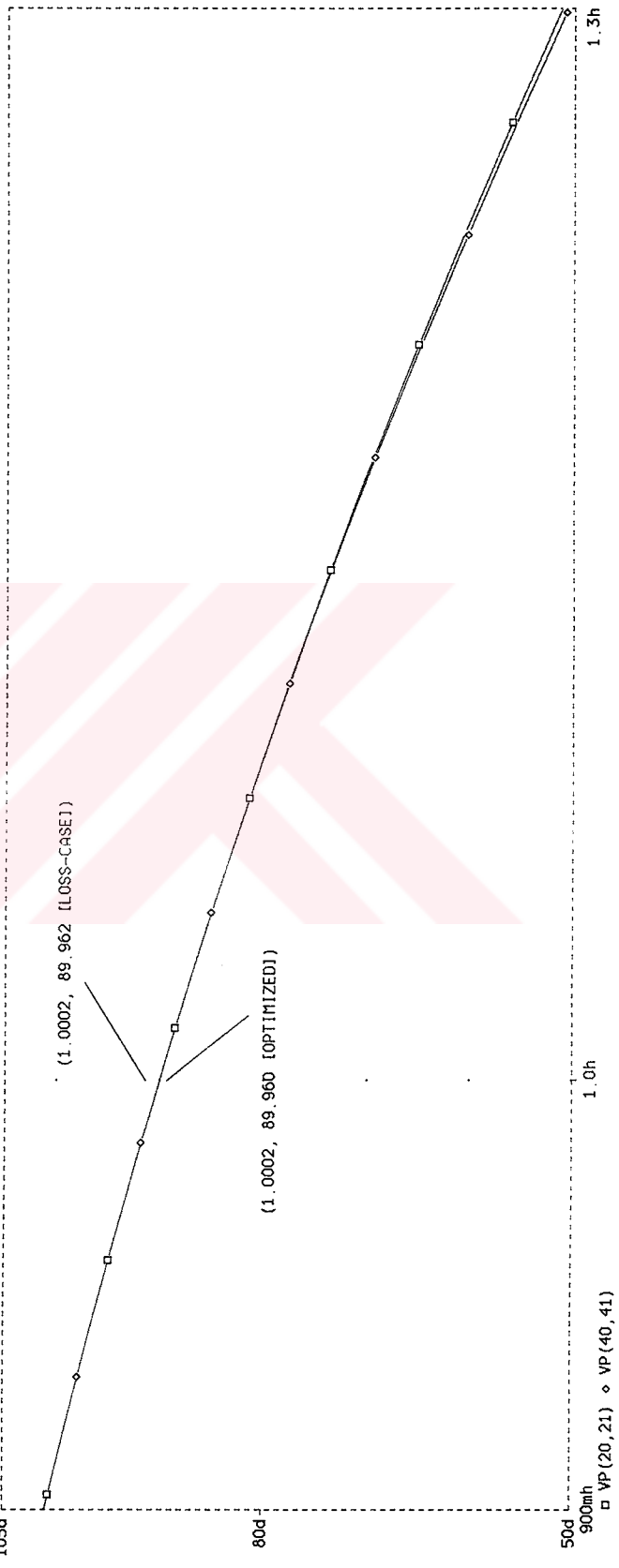
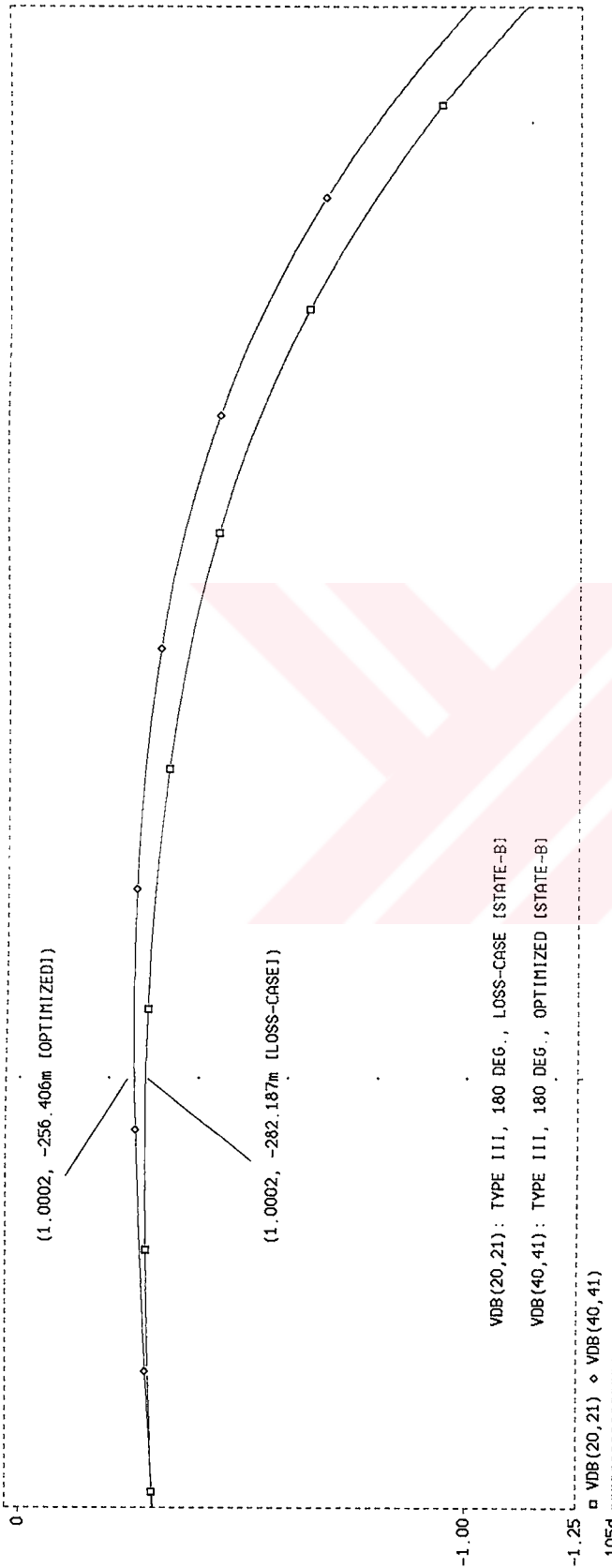


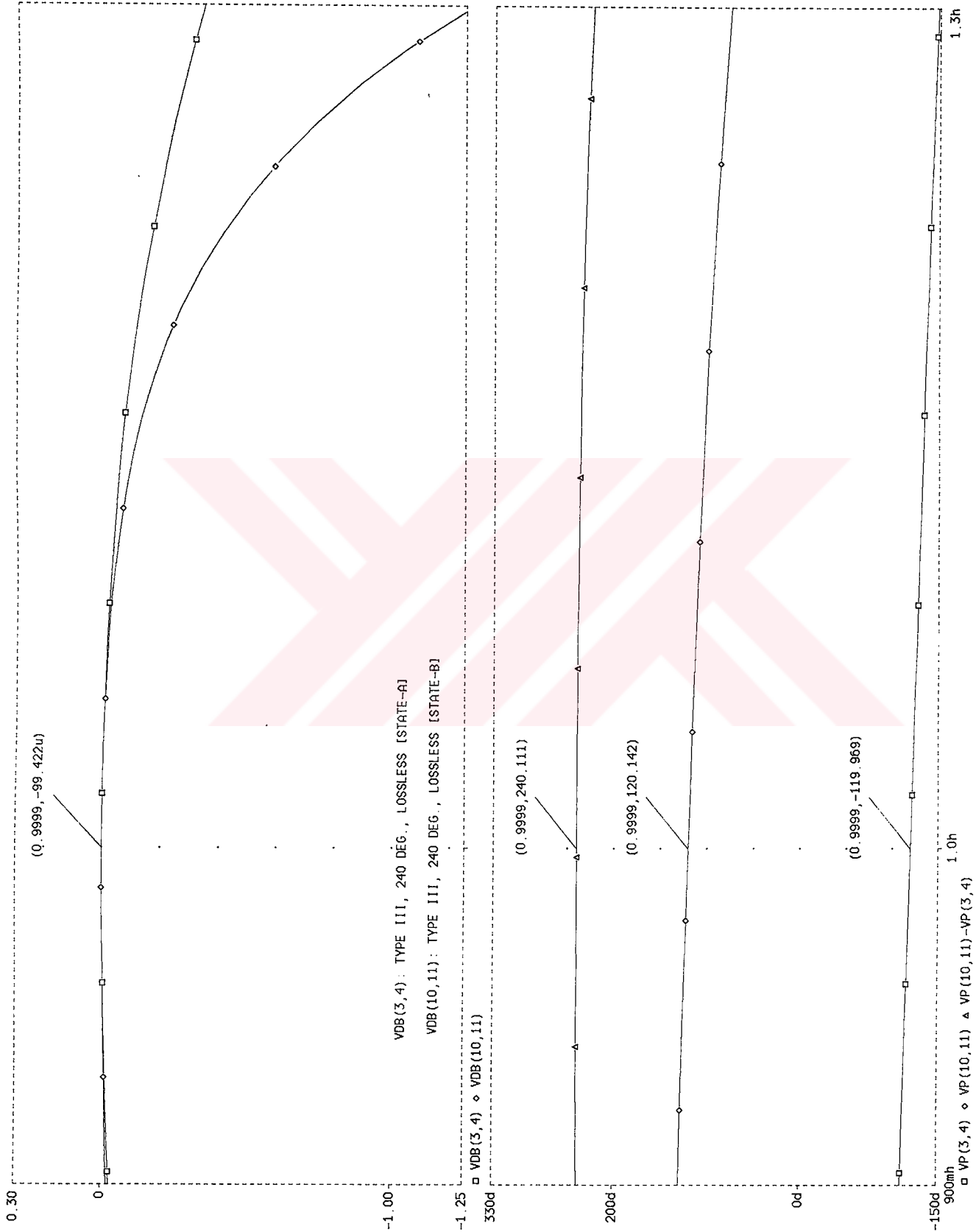


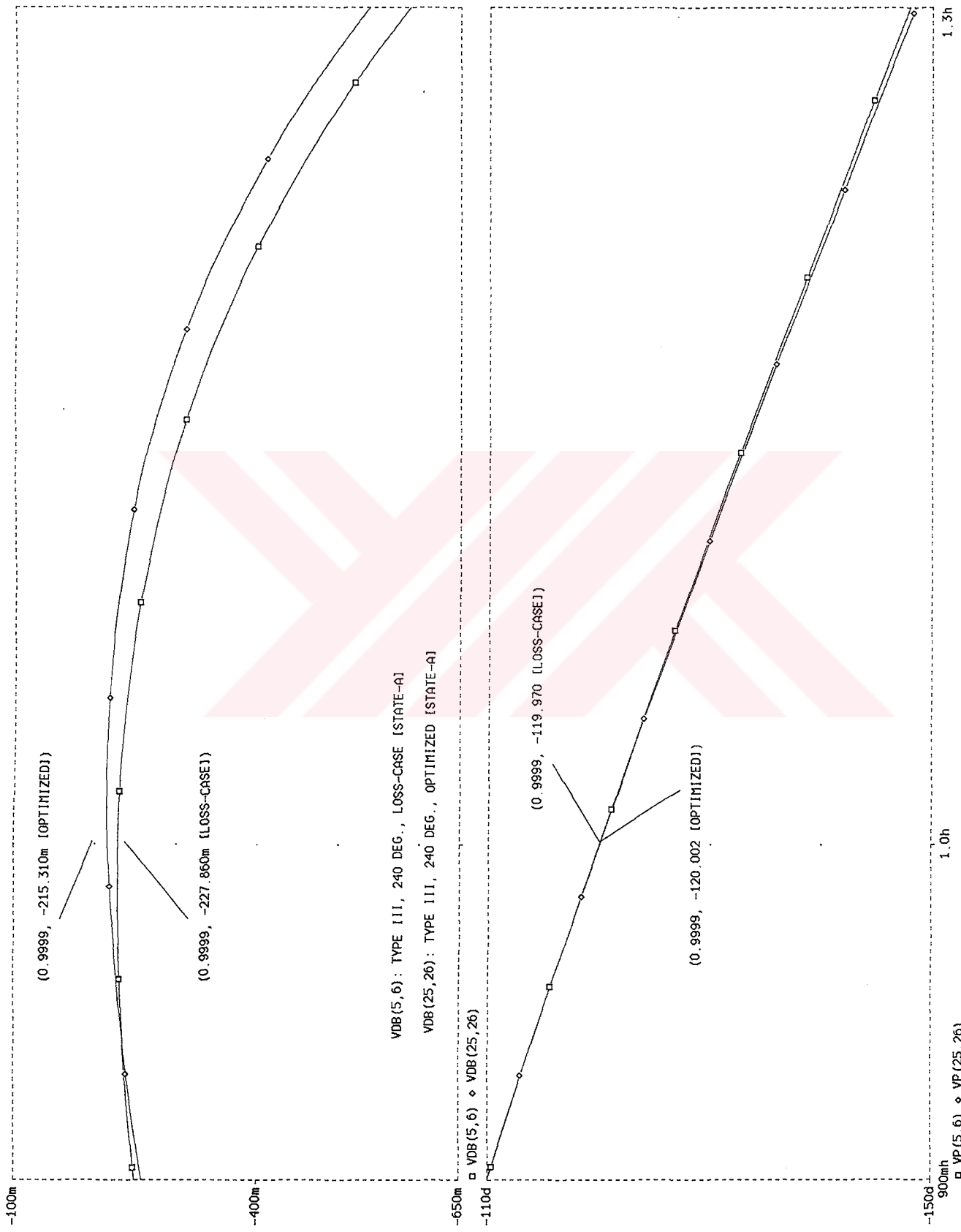


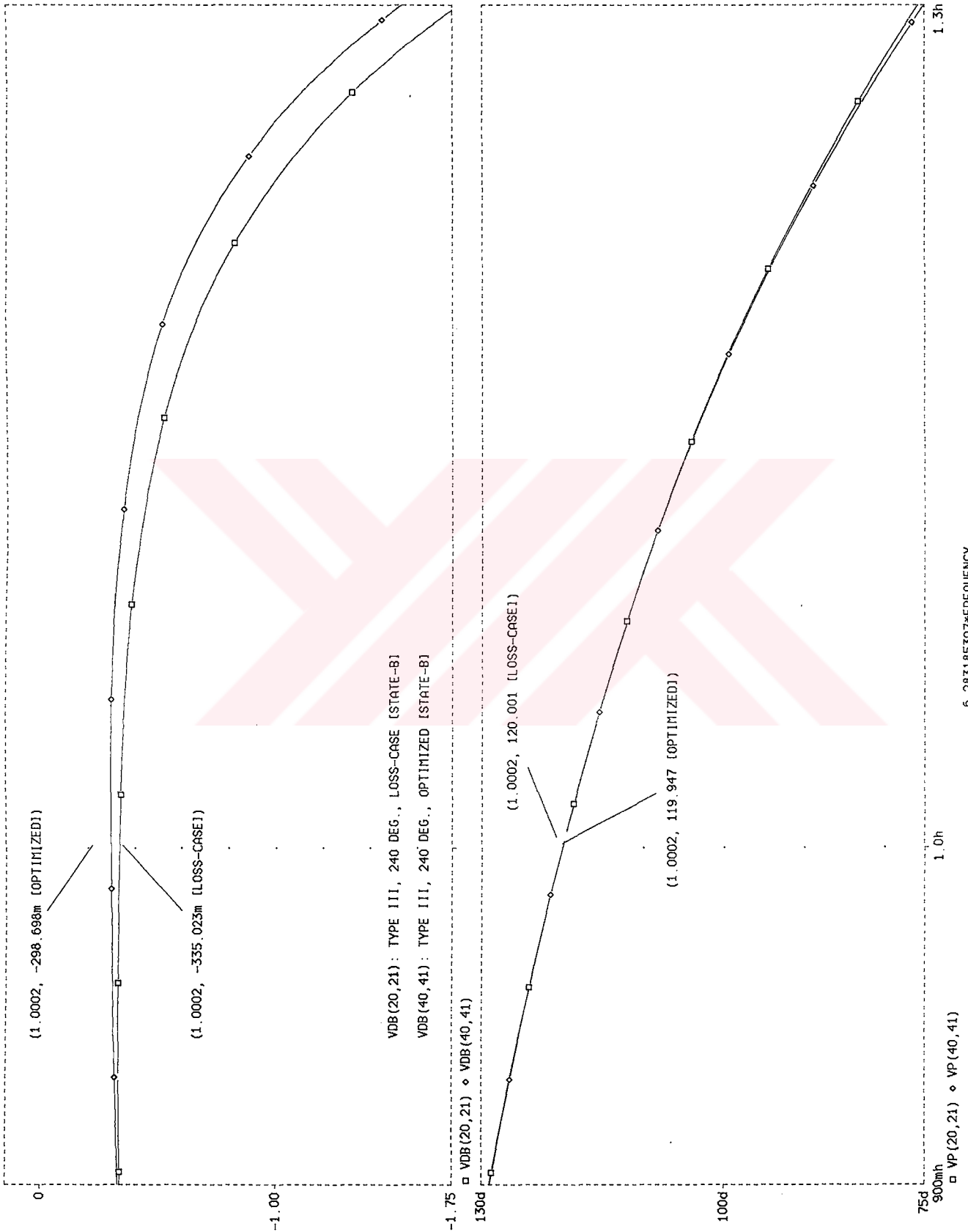












ÖZGEÇMİŞ

Baran TANDER, 1971 yılında Ankara' da doğmuştur. İlkokulu İstanbul Beşiktaş Şair Nedim İlkokulunda, orta ve liseyi Tarabya Özel Dost Lisesi' nde tamamlayıp 1989 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliğine girmiş, 1993' te buradan mezun olduktan sonra 1994 yılında İ. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Programına kabul edilmiştir. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra 1995' te İ. Ü. Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği, Devreler ve Sistemler Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen aynı görevini devam ettiren Baran TANDER İngilizce bilmektedir.

