

GENİŞ BANDLI TRANSFORMATÖRSÜZ EMPEDANS UYDURUCU
DEVRELERİN TOPLU DEVRE ELEMANLARIYLA TASARIMI

A. Naci Güre

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

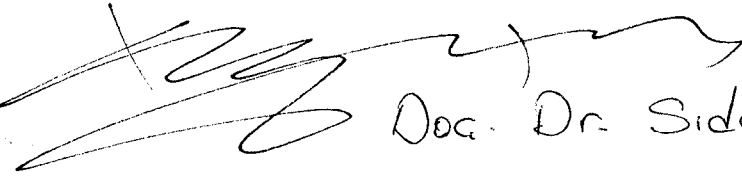
Danışman: Doç. Dr. Binboğa Sıddık Yarman

Şubat-1987

A. Naci Güre'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Geniş Bandlı Transformatörsüz Empedans Uydurucu Devrelerin Toplu Devre Elemanlarıyla Tasarımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

9.3.1987

Üye :



Doc. Dr. Siddik Yarmar

Üye :



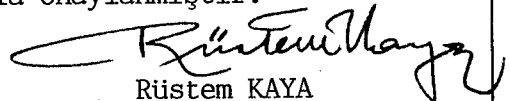
Doc. Dr. Atalay Bartanç

Üye :



Doc. Dr. Atilla Bartanç

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18.3.1987.....
gün ve 14.3/14..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Rüstem KAYA

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, toplu devre elemanları kullanılarak, geniş bantlı empedans uydurucu devrelerin tasarımını yapan, bir bilgisayar programı Fortran 77 dilinde hazırlanmıştır. Sentez edilen devreler bir yük direnci ile sonlandırılmış kayıpsız ve trafosuz iki-kapı devreler şeklindedir.

Tasarımı istenen devreyi tanımlayan fonksiyonlar şunlardır:

- Giriş empedans veya admitans fonksiyonunun reel kısmı
- Giriş empedans veya admitans fonksiyonu
- Açık devre empedans veya kısa-devre admitans parametreleri

Bu üç fonksiyonun sentezini yapan yöntem şöyle geliştirilmiştir: Verilen reel kısımdan, fonksiyonun aslı Gewertz yöntemi ile bulunur. Bulunan fonksiyondan Darlington yöntemi ile iki-kapılı devre parametreleri elde edilir. Bu parametrelerden kayıpsız devreyi tanımlayan transfer fonksiyonu seçilir ve sıfır kaydırma yöntemi ile devre gerçekleştirilir. Sonlandırılan direncin değeri ve yapılan sentezin doğruluğunu bulmak için de devrenin analizi yapılır.

SUMMARY

In this study, a computer program is developed in Fortran 77 to design broadband matching networks, using lumped elements. The network is realized as a lossless two-port with a terminated resistance. In the circuit configurations mutual inductances are not employed.

The functions which are subject to design may be described as follows:

- Real part of the driving-point functions
- Driving-point functions
- The set of two-port open-circuit impedance parameters or short-circuit admittance parameters

The procedure which carries out circuit synthesis is developed from the above functions are as follows:

The driving-point function is determined from its even part by using Gewertz method. The set of two-port parameters are obtained from the driving-point function by using Darlington procedure. The transfer function which is defined the lossless two-port is chosen and the zero-shifting procedure is used to realize the function. Finally, the circuit analysis is completed to find the termination resistance and to test the validity of the synthesis.

ÖNSÖZ

Devre sentezinde birbirinden oldukça farklı çok sayıda gerçekleştirme yöntemleri vardır. Her bir yöntem kendine özgü bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Tasarımcılar açısından, amaçlara uygun bir gerçekleştirme yönteminin seçimi ve ustalıkla uygulanabilmesi oldukça zordur. Mikrodalga alanında çalışan tasarımcı mühendis, geniş bantlı empedans uydurucu devrelerin sentezini bu çalışmada hazırlanan programlar sayesinde rahatça elde edebilecektir. Böylece tasarımcı mühendisin amaçlarına ulaşabilmesi için efor ve zaman sarfetmesi önlenebilecektir.

Böylesine ciddi ve önemli bir konuda beraber çalışma imkanı bulduğum sayın hocam Doç. Dr. Bekir Sıddık Binboğa Yarman'a her alanda gösterdiği değerli yardımlarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Tez çalışması için gerekli olan bilgisayarları hizmetimize sunan S.T.F.A. Savranik A.Ş. ve Bilgiişlem merkezine de teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması için işyerinden izin veren ve her türlü anlayışı gösteren A.Ü. Müh. Mim. Fak. Elektrik ve Elektronik Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Atalay Barkana'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖNSÖZ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. İKİ-KAPILI DEVRE PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Pozitif Reel Fonksiyonlar	3
2.2. İki-Kapılı Devrelerin Genel Özellikleri	4
2.3. Trafosuz Basamak Yapıya Sahip İki-Kapılılar	8
2.4. Basamak Devre Yapılarında İletim Sıfırları	9
2.5. Kayıpsız İki-Kapılı Devreler	11
3. POZİTİF REEL FONKSİYONLARIN VERİLEN REEL KISIMDAN TÜRETİLMESİ	14
4. GİRİŞ EMPEDANS VEYA ADMİTANS FONKSİYONLARINDAN İKİ-KAPILI DEVRE PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ	18
5. SIFIR KAYDIRMA YÖNTEMİ İLE KAYIPSIZ BASAMAK DEVRELERİN SENTEZİ	25
5.1. Sıfır Kaydırma Yöntemi	25
5.2. Reaktans Diyagramındaki Durum	26
5.3. Sıfır Kaydırma Yönteminin Genelleştirilmesi	30
5.3.1. Alçak-geçiren basamak devreleri	31
5.3.2. Yüksek-geçiren basamak devreleri	34
6. SONLANDIRILAN DİRENCİN BULUNMASI VE DE-NORMALİZASYON	37
7. GELİŞTİRİLEN PROGRAMIN AÇIKLAMASI	41
7.1. Genel Olarak Programın Akış Şeması ve Açıklaması	41
7.2. Girilen Reel Kısımdan Fonksiyonun Kendisini Bulan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklaması	43

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
7.3. İki-Kapılı Devre Parametrelerini Hesaplayan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklaması	45
7.4. Devrenin Sentezini Yapan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklaması	47
7.5. Devrenin Analizini ve Sonlandırılan Direncin Değerini Bulan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklaması	50
8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	53
9. ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	56

EKLER

1. Bir Uygulama
2. Geliştirilen Bilgisayar Programı
3. Programların Çıktıları

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Uyumlaştırma problemi	1
2.1. Pozitif reel fonksiyonlar için s-düzleminden z-düzlemine yapılan eşleme	4
2.2. Seri ve paralel kollardaki elemanların iki-kapılı devre parametrelerine etkisi a) Seri kolda, b) Paralel kolda ...	6
2.3. Çıkışı açık devre edilmiş iki-kapılı	6
2.4. Basamak yapıya sahip iki-kapılı devre	10
2.5. Basamak devrelerinde iletim sıfırlarının bulunması a) Yalnız bir elemanlı b) Birden fazla elemanlı	10
2.6. Tipik bir reaktans fonksiyonu a) Fonksiyonun çizimi b) Yalnızca kutup ve sıfırların gösterimi	12
4.1. Darlington devresi	18
4.2. Özel giriş fonksiyonunun gösterimi a) Empedans fonksiyonu b) Admitans fonksiyonu	19
5.1. Reaktans fonksiyonunun sıfır kaydırma yöntemi ile gerçekleştirilmesi	25
5.2. Sonsuz frekansta kısmi kutup uzaklaştırılması	27
5.3. Sıfırda kısmi kutup uzaklaştırılması	28
5.4. ω_1 frekansında kısmi kutup uzaklaştırılması	29
5.5. Pasif elemanlarla gerçekleştirilen devre yapıları a) Alçak-geçiren, b) Yüksek-geçiren, c) Band-geçiren	31
5.6. Alçak-geçiren devre elemanları	32
5.7. Z_{22} fonksiyonunun çizimi	33
5.8. Orjinde kısmi kutup uzaklaştırılmasında kullanılan kol elemanları	35

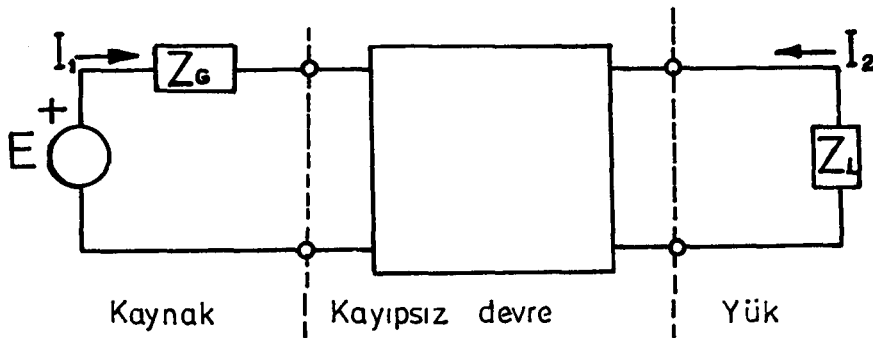
ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

	<u>Sayfa</u>
5.9. Z_{22} fonksiyonunun çizimi	36
6.1. Sentezi edilecek devre	38
6.2. Sentezi edilen devrenin durumu	38
6.3. Analizi yapılan devre	39
7.1. Yazılan programın genel akış şeması	42
7.2. Gewertz yöntemi ile reel kısımdan emp. veya adm. fonksiyonunu bulan programın genel akış şeması	44
7.3. Darlington yöntemi ile devre parametrelerini bulan programın genel akış şeması	46
7.4. Sıfır kaydırma yöntemi ile devrenin sentezi yapan programın genel akış şeması	49
7.5. Devrenin analizini ve sonlandırılan direncin değerini bulan programın genel akış şeması	52

1. GİRİŞ

Bugün telefon, radyo, televizyon gibi iletişimin çeşitli örnekleri günlük hayatımızın vazgeçilmez birer parçası olmuştur. İletişim teknolojisindeki yeni ilerlemelerle beraber daha yüksek frekanslarda çalışan cihazların kullanılması gereği ortaya çıkmıştır. Örneğin radar, uydu, çeşitli askeri amaçlar için geliştirilen sistemler v.b. Bu cihazların yapılabilmesi için de mikrodalga tekniğinin kullanılması gerekmektedir.

Mikrodalga tekniğinde genellikle miliwatt'lar mertebesinde oldukça küçük güçlerle iş görülür. Çünkü, böylesine yüksek frekanslarda büyük güç elde etmek zor ve pahalıdır. Bundan dolayı mikrodalga tekniğinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, empedans uyumlaştırılmasıdır. Bu problemde verici kaynağın sağladığı gücü mümkün olan en büyük verimle alıcıya aktarmaktır. Bunun içinde alıcı (yük) empedansının verici (kaynak) empedansına uygun olması gerekir. Bir kaynaktan çekilebilecek güç, yük empedansının bir fonksiyonudur ve yük empedansının belirli bir değeri için çekilen güç maksimum olur. Yük empedansı bu değerde değilse araya reaktif empedanslardan kurulu bir devre koyarak alıcının verilen bir çalışma bandı içinde mümkün olduğunca düz ve maksimum güç çekmesi sağlanabilir.



Şekil 1.1 Uyumlaştırma Problemi

Reaktif (kayıpsız) devrenin transfer fonksiyonunun analitik yollarla bulunması bir çok uygulamalarda pek pratik olmamaktadır. Bilgisayar kullanarak yüke aktarılan gücü maksimize eden değişik tek-

nikler mevcuttur. Örneğin, doğrusal-reel frekans tekniği. Bu teknikte yüke aktarılan gücün optimizasyonu, bulunması istenen empedansın reel kısmının bir fonksiyonu olarak yazılır. Bunun nedeni ise optimizasyonda reel ve sanal iki ayrı fonksiyonla değil sadece bir fonksiyonla çalışılması ve aynı zamanda empedans fonksiyonunun üzerindeki taşıdığı bilgileri de eksiksiz taşımasıdır.

Empedans uyumlaştırılması için kullanılan pasif elemanların cinsi ve devre yapısı da mikrodalga devrelerinde önem kazanmaktadır. Örneğin trafoların yüksek frekanslarda istenilen verimi sağlamaması veya basamak yapıya sahip olmayan devrelerin pratiğe daha zor uygulanması. Ayrıca kayıpsız devrenin mümkün olan en az sayıda elemanla gerçekleştirilmesi istenir.

Bu çalışmada, kaynak ile yük arasında empedans uyumlaştırılmasını sağlayan transfer fonksiyonlarının bulunması yapılmamıştır. Optimizasyon sonucu bulunan fonksiyonların tanımladığı devrelerin sentezi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilecek devreler, pratikte mikrodalga devrelerine uygulanabilecek şekildedir. Bu anlatılanlar dikkate alınarak verilen bir transfer fonksiyonu veya empedans/admitans fonksiyonunun reel kısmı ya da empedans/admitans fonksiyonunun kendisi bilgisayara girilerek bir yük direnci ile sonlandırılmış kayıpsız iki-kapılı devre tasarımı yapabilmek amacıyla bir bilgisayar programı (Fortran dilinde) geliştirilmiştir.

2. İKİ-KAPILI DEVRE PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLERİ

2.1. Pozitif Reel Fonksiyonlar

Bir empedans veya admitans fonksiyonunun sentezine başlamadan önce bilinmesi gereken en önemli kavram; "verilen fonksiyonun gerçekleştirilebilirliği"dir. Bu kavramı Otto Brune 1931 yılında şöyle açıklamıştır [4]:

"Herhangi bir empedans fonksiyonunun RLCM elemanları ile gerçekleştirilmesi için pozitif reel rasyonel bir fonksiyon olması gerekir."

Bir fonksiyonun pozitif reel rasyonel olabilmesi için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır.

- a) $Z(s)$ fonksiyonu, s değişkeninin reel rasyonel bir fonksiyonu olması gerekir.

$$Z(s) = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ms^m}{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_ns^n} \quad (2.1)$$

a_i ve b_i katsayıları reel olmalıdır. Böylece s değişkeni reel ise $z(s)$ fonksiyonu da reeldir.

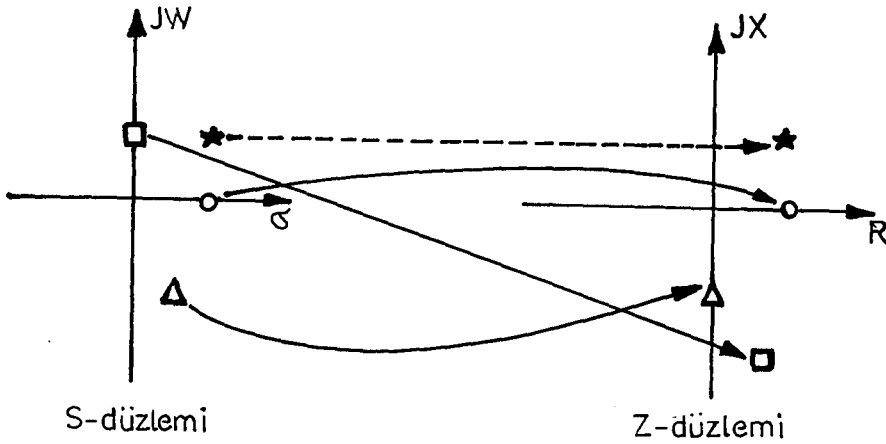
- b) s kompleks bir değişkendir. Eğer s değişkeni negatif reel kısma sahip değil ise;

$$\operatorname{Re}\{s\} \geq 0 \Rightarrow \operatorname{Re}\{Z(s)\} \geq 0 \quad (2.2)$$

olmalıdır.

Şekil 2.1'den de görüldüğü gibi s değişkeni pozitif reel bir sayı ise, $Z(s)$ fonksiyonu da a şıkkından dolayı pozitif reel eksen üzerindeki bir nokta ile eşlenecektir.

Konu ile ilgili ayrıntılı bilgi Temes'de (1977) verilmiştir [4].



Şekil 2.1 Pozitif reel fonksiyonlar için s-düzleminden z-düzlemine yapılan eşleme

2.2 İki-Kapılı Devrelere Genel Özellikleri

İki-kapılı devrelerin genel özelliklerini açıklarken sentez problemlerinde en çok karşılaşılan parametrelerden yalnız ikisinin (açık devre ve kısa devre parametrelerinin) matematiksel ayrıntılarına inilerek bir takım genellemeler yapılacaktır.

İlk olarak Z parametrelerini ele alındığında, iki-kapılı devre hakkında bilgilerin eksiksiz olabilmesi için Z-parametrelerinin (Z_{11} , Z_{12} , Z_{21} , Z_{22}) tümünün bilinmesi gerekir. Eğer iki-kapılı devre, iki yönlü (bilateral) pasif elemanlardan oluşuyorsa, Z_{12} ve Z_{21} parametreleri birbirine eşit olacağından Z-parametrelerinden yalnızca üçünün (Z_{11} , Z_{12} , Z_{22}) bilinmesi yeterlidir [1].

Giriş empedansı pozitif reel rasyonel bir fonksiyon ise, Z-parametrelerinden oluşturulan matrisinde pozitif reel tanımlı olması gerekir [2].

Teorem: Tekil olmayan (nonsingular) bir matrisin yarı pozitif tanımlı olabilmesi için gerek ve yeter koşul, ana eşçarpanlarının (Principal cofactors) negatif olmamasıdır.

k_{ij} , Z_{ij} empedans parametresinin herhangi bir kutpuna karşı gelen artık terim (residue) ise, teorem gereği;

$$\begin{aligned}
k_{11} &\geq 0 & (a) \\
k_{22} &\geq 0 & (b) \\
k_{11}k_{22} - k_{12}^2 &\geq 0 & (c)
\end{aligned} \tag{2.3}$$

olmalıdır. Denklem (2.3) deki üç şık, kısaca "artık terim şartları" diye adlandırılır.

Parametrelerin reel kısımları da ele alındığında artık terim şartları sağlanmalıdır.

$$\begin{aligned}
r_{11} &= \text{Re} [Z_{11}(j\omega)] \geq 0 & (a) \\
r_{22} &= \text{Re} [Z_{22}(j\omega)] \geq 0 & (b) \\
r_{11}r_{22} - r_{12}^2 &\geq 0 & (c)
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Denklem (2.4)'deki a, b ve c şartları da "reel kısımlara ait artık terim şartları" diye adlandırılır.

Artık terim şartları dikkate alındığında, Z_{11} ve Z_{22} parametreleri için pozitif reel fonksiyonlar denilebilir. Z_{12} parametresi için ise pozitif reelik gerekli değildir, sadece reel rasyonel fonksiyon olması yeterlidir. Bundan dolayı Z_{12} parametresinin sıfırları s düzleminin herhangi bir yerinde olabilir.

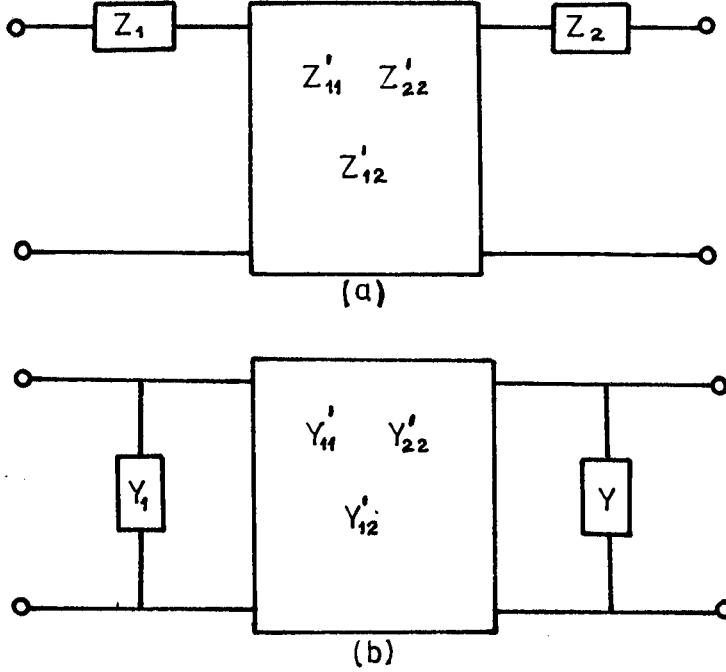
Benzer özellik ve şartlar y parametreleri için de geçerlidir. Sadece notasyonu değiştirerek bu sonuçlara varılması mümkündür.

Denklem (2.3) deki (c) şıkkına bakıldığında k_{12} terimi sıfırdan farklı ise k_{11} ve k_{22} terimlerinin de farklı olması gerekir. Z_{12} fonksiyonunun $j\omega$ -ekseni üzerinde kutpu varsa, Z_{11} ve Z_{22} fonksiyonlarının her ikisinin de $j\omega$ -ekseni üzerinde kutpu almalıdır. Diğer taraftan giriş empedansı $j\omega$ -ekseni üzerinde bir kutpa sahip ise Z parametrelerinin tümü bu kutpa sahip olmayabilir.

Şekil 2.2. a. da Z_1 ve Z_2 seri kollardaki empedans fonksiyonlarıdır. Bu şekil için Z parametreleri,

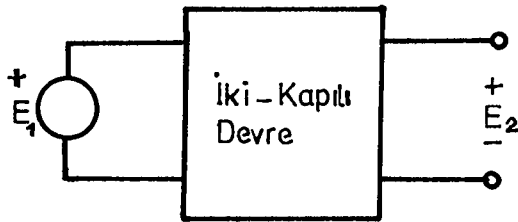
$$\begin{aligned}
Z_{11} &= Z'_{11} + Z_1 & (a) \\
Z_{22} &= Z'_{22} + Z_2 & (b) \\
Z_{12} &= Z'_{12} & (c)
\end{aligned} \tag{2.5}$$

gibi ifade edilebilir.



Şekil 2.2 Seri ve paralel kollardaki elemanların iki kapılı devre parametrelerine etkisi a) Seri kolda, b) Paralel kolda

Z_1 empedansı Z_{11} parametresini, Z_2 empedansı ise yalnızca Z_{22} parametresini etkileyecektir. Bundan dolayı Z_1 empedansı Z_{11} parametresinin özel (Private) kutpu olacaktır. Z_2 empedansı da, Z_{22} parametresinin özel kutbudur. Denklem (2.5)'den görüldüğü gibi Z_{12} parametresi özel kutuplardan hiç etkilenmeyecektir. Benzer durumlar Şekil 2.2 b'de gösterilen devrede Y -parametreleri için aynen olacaktır.



Şekil 2.3: Çıkışı açık devre edilmiş iki-kapılı

Şekil 2.3'deki devrenin transfer voltaj oranı $T_{12}(s)$;

$$T_{12}(s) = \frac{Z_{12}}{Z_{11}} = K \frac{s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0} \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanır. T_{12} rasyonel fonksiyonun kutupları; Z_{11} parametresinde bulunup Z_{12} parametresinde olmayan sıfırlardan veya Z_{12} parametresinde bulunup Z_{11} parametresinde olmayan kutuplardan oluşur.

T_{12} rasyonel fonksiyonun kutupları Z_{11} parametresinde bulunup, Z_{12} parametresinde olmayan sıfırlar açısından ele alındığında şöyle bir irdeleme yapılabilir:

Z_{11} fonksiyonunun $j\omega$ -ekseni üzerinde ω_0 gibi bir yerde sıfırının olduğunu kabul edilirse T_{12} transfer fonksiyonu,

$$T_{12}(s) = Z_{12} \left(\frac{2 k_0 s}{s^2 + \omega_0^2} + \frac{1}{Z'_{11}} \right) = \frac{2s Z_{12}}{s^2 + \omega_0^2} \left(k_0 + \frac{s^2 + \omega_0^2}{2s Z'_{11}} \right) \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifade de,

$$\begin{aligned} T_{12} \text{ fonksiyonunun artık terimi} \Big|_{S=j\omega_0} &= k_0 \cdot Z_{12}(j\omega_0) \\ &= k_0 [r_{12}(\omega_0) + jX_{12}(\omega_0)] \end{aligned} \quad (2.8)$$

olarak bulunur.

Z_{11} parametresinin $s = j\omega_0$ da sıfırı varsa artık terimin de değeri sıfırdır. Artık terim şartlarından $Z_{12}(s)$ parametresinin de reel artık terimi sıfır olmak zorundadır. Bu durumda (2.8) deki denklemler,

$$T_{12} \text{ fonksiyonunun artık terimi} \Big|_{S=j\omega_0} = J k_0 x_{12}(\omega_0) \quad (2.9)$$

şeklinde olacaktır. Bu denklemden de açıkça görüldüğü gibi hesaplanan artık terim sanal bir büyüklüktür.

T_{12} rasyonel fonksiyonunun kutupları; Z_{12} parametresinde bulunup Z_{11} parametresinde olmayan kutuplardan oluşmuş ise artık terim şartları ihlal edilmiş olur. Bundan dolayı, böyle bir kutupun varlığı

söz konusu olamaz.

$T_{12}(s)$ fonksiyonunun sonsuzda veya sıfırda da kutpu olamaz. Örneğin $s = 0$ da, T_{12} fonksiyonunun kutpu olduğu var sayılsın. Bu durumda Z_{11} parametresinin $s = 0$ da sıfırı varsa, Z_{12} parametresinin de $s = 0$ da ya kutpu olması ya da sonlu bir değer alması gerekir. Z_{12} parametresinin $s = 0$ da kutpu var ise, artık terim şartları ihlal edilir, sonlu bir değere sahip ise, reel kısımlara ait artık terim şartları ihlal edilmiş olur.

Transfer fonksiyonunu sıfır yapan s değerleri mutlaka olacaktır. Bu bir voltaj transferi veya akım transferi olabilir. Bu durum, kısaca "iletim sıfırı" diye adlandırılır.

Bu ana kadar bahsedilen kritik durumlar benzer biçimde Y -parametreleri için de geçerlidir.

Sonuç olarak, iki yönlü pasif elemanlardan oluşan iki-kapılı devreler için aşağıdaki genellemeler yapılmıştır.

1. Kutuplar:

- a- Z_{12} , Y_{12} ve T_{12} 'nin kutupları sağ yarı düzlemde bulunmaz.
- b- T_{12} fonksiyonunun kutupları sıfırda veya sonsuzda olamaz,
- c- $J\omega$ -ekseni üzerindeki Z_{12} veya Y_{12} parametresinin kutupları tek ve artık terimleri reel sayılardır.
- d- T_{12} fonksiyonunun $J\omega$ -ekseni üzerindeki kutupları tek ve artık terimleri sanal sayılardır.
- e- Y ve Z parametreleri için artık terim şartları sağlanmalıdır.

2. Z_{12} , Y_{12} ve T_{12} fonksiyonlarının sıfırları s -düzleminin herhangi bir yerinde ve birden fazla olabilir.

3. Z ve Y parametrelerinin reel kısımları da, artık terim şartlarını sağlamalıdır.

2.3 Trafosuz Basamak Devre Yapısına Sahip İki-Kapılılar

Bütün pozitif reel fonksiyonlar, Brune sentezi ile basamak devre yapısına sahip bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Fakat bazı

durumlarda Brune sentezi trafoya ihtiyaç duymaktadır. Sentez, hem trafo içermeyecek, hem de basamak devre yapısına sahip olacak ise bütün pozitif reel fonksiyonlar gerçekleştirilemeyecektir. Bu durum, pozitif reel fonksiyonlar üzerinde bir takım kısıtlamalar getirecektir.

Bu konuda çalışma yapan Fialkow ve Gerest'e göre [1]:

"Bir empedans fonksiyonunun trafosuz basamak devre yapısına sahip bir şekilde sentezinin yapılabilmesi için Z_{11} , Z_{12} ve Z_{22} rasyonel fonksiyonlarının pay polinomlarının katsayıları negatif olmamalı ve Z_{12} parametresinin katsayıları Z_{11} ve Z_{22} parametrelerindeki karşılıklarına eşit veya küçük olmalıdır".

Ortaya atılan kriterin matematiksel ifadesi,

$$Z_{12} = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_n s^n}{P(s)}$$

$$Z_{11} = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_n s^n}{P(s)}$$

$$Z_{22} = \frac{c_0 + c_1s + c_2s^2 + \dots + c_n s^n}{P(s)}$$

$$a_i \geq 0$$

$$b_i \geq a_i$$

$$c_i \geq a_i$$

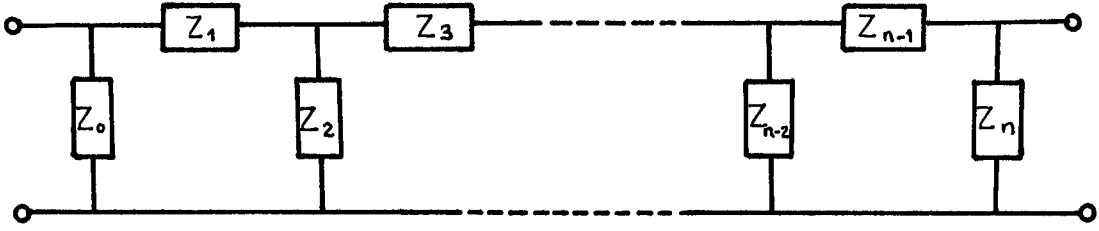
$$i = 0, 1, 2, \dots, n$$

(2-10)

biçimindedir. Ayrıca, pay ve payda polinomları ortak köklere sahip ise bir kısaltma yapılmamasına dikkat edilmelidir. Aynı şartlar Y-parametreleri için de notasyon değiştirerek (Z yerine Y koyarak) aynen geçerlidir.

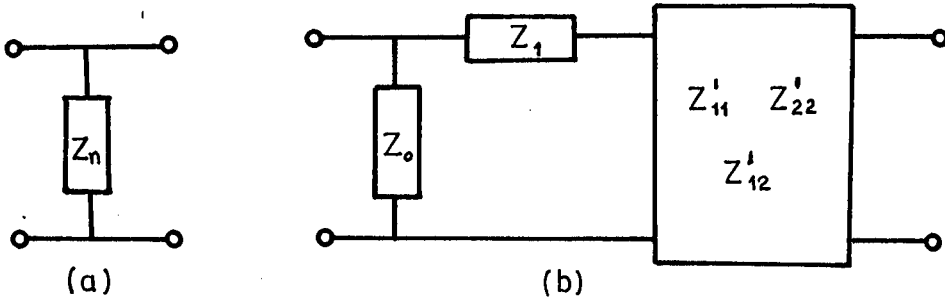
2.4. Basamak Devre Yapılarında İletim Sıfırları

Devre yapıları bakımından en önemlisi ve en basiti olan basamak devresi Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Basamak yapıya sahip iki-kapılı devre

Basamak devrelerindeki iletim sıfırını ile seri koldaki empedansın kutpu veya paralel koldaki empedansın sıfırını aynı anlama gelmektedir.



Şekil 2.5: Basamak devrelerinde iletim sıfırlarının bulunması
a) Yalnız bir elemanlı b) Birden fazla elemanlı

Şekil 2.5.a'daki Z_n empedansı Z_{12} parametresine eşittir. Bu bölümün ikinci kısmında bahsedildiği gibi Z_{12} parametresinin sıfırını iletim sıfırını olduğundan, Şekil 2.5.a'da iletim sıfırını, ancak $Z_n(s)=0$ ise mümkündür.

Şekil 2.5.b'deki devrenin Z_{12} parametresi,

$$Z_{12} = \frac{Z_0 Z'_{12}}{Z_0 + Z_1 + Z'_{11}} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Bu devre için iletim sıfırları (2-11) nolu denklemlerden de açıkça görüleceği gibi;

- a) Z_0 empedansının sıfırı
- b) Z_{12} parametresinin sıfırları
- c) Z_1 empedansının kutpu

olmalıdır.

Bu işleme Şekil 2.4'deki gibi genel bir basamak devresinde devam edilirse, iletim sıfırlarının, sadece seri koldaki empedansın kutpu veya paralel koldaki empedansın sıfırlarından meydana gelebileceği görülecektir.

Dikkat edilirse Z_{12} parametresinin sıfırları iletim sıfırlarıdır, fakat her iletim sıfırı Z_{12} parametresinin sıfırı olmayabilir. Örneğin en son seri koldaki empedansın kutpu, Z_{12} parametresinin sıfırı olmayacaktır. Halbuki bu da bir iletim sıfırındır.

Basamak devrelerinde kol empedansları pozitif reel fonksiyonlardır. Bu empedansların sıfır ve kutupları sağ yarı düzlemde bulunamaz. O halde basamak devrelerinde iletim sıfırları sağ yarı düzlemde olmaz.

2.5. Kayıpsız İki-Kapılı Devreler

Bu bölümde kayıpsız iki-kapılı devre özellikleri Z-parametreleri üzerinde incelenmiştir. Tesbit edilen özellikler Y-parametreleri için de geçerlidir.

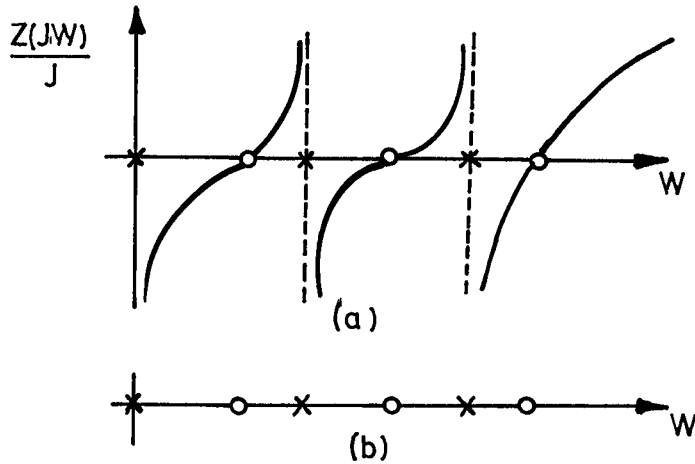
Z_{11} ve Z_{22} parametreleri kesinlikle kayıpsız (reaktans) fonksiyonları olmalıdır. Sentezi elde edilen devre, sadece LC (bobin ve kondansatör) elemanlarıyla gerçekleştirilebilmelidir.

Reaktans fonksiyonlarının sıfırları ve kutupları Jw-ekseni üzerindedir. Aynı zamanda bu fonksiyonların türevlerinin pozitif olma özelliğinden dolayı, Jw-ekseni üzerindeki kutup ve sıfırlar tek ve artık terimleri pozitif olmalıdır. Fonksiyon aynı yerde birden fazla kutup veya sıfıra sahip ise, türevi her zaman pozitif olamaz.

Reaktans fonksiyonlarının jw- eksteni üzerinde ve bu eksenin sonlu bir noktasında (orjin hariç) bulunan sıfır ve kutupların, kompleks

eşleniklerinin de olması gerektiğinden o kutup veya sifıra ait bilgi $(s^2 + w_1^2)$ formundadır. Böyle bir durumda $s = Jw$ iken fonksiyonun aldığı değer her zaman reel bir büyüklüktür. Oysa reaktans fonksiyonlarının $s = Jw$ iken aldığı değer sanal bir büyüklüktür. Bundan dolayı reaktans fonksiyonlarının pay veya payda polinomlarından birinde mutlaka s çarpanının olması gerekir. Bu durumda pay ve payda polinomlarının dereceleri arasında yalnızca bir fark bulunacaktır. Diğer bir deyişle reaktans fonksiyonları reel rasyonel tek fonksiyon olmalıdır.

Reaktans fonksiyonlarının başka bir özelliği de değişimli olarak kutup ve sifırların ard arda gelmesidir. Bir sifırdan sonra ikinci bir sifır veya iki kutup arka arkaya gelemez. Çünkü böyle bir durum pozitif eğim özelliğine terstir.



Şekil 2.6: Tipik bir reaktans fonksiyonu a) Fonksiyonun çizimi b) Yalnızca kutup ve sıfırların gösterimi

Herhangi bir reaktans fonksiyonundaki sıfır ve kutupların gösterimi Şekil 2.6.a daki gibidir. Fakat sentez problemlerinde empedans fonksiyonlarının büyüklükleri ile ilgilenmeyip daha çok sıfır ve kutupların w ekseninde yerleri ile ilgilenilmektedir. Bundan dolayı Şekil 2.6.b deki gösterim yeterli olmaktadır. Reaktans fonksiyonları w ekseninde simetrik bir yapıya sahip oldukları için w ekseninin negatif bölgesi gösterilmemiştir.

$Z_{1,2}$ parametresi için reaktans fonksiyonlarının bütün özelliklerini taşır demek mümkün değildir. Artık terim şartları ihlal edilmedikçe $Z_{1,2}$ parametresinin $J\omega$ -ekseni üzerindeki artık terimi, negatif olabilir. Aynı zamanda $Z_{1,2}(w)$ parametresi sanal bir büyüklük olmak zorundadır. Aksi takdirde iki kapılı devre parametrelerinin reel kısımlarına ait artık terim şartları çiğnenmiş olur. Bundan dolayı $Z_{1,2}$ parametresi s değişkenine göre reel rasyonel tek fonksiyondur.

Basamak devrelerinde iletim sıfırları, seri koldaki empedansın kutbu veya paralel koldaki empedansın sıfırından dolayı gerçekleşmektedir. Kayıpsız devrelerde kol empedans fonksiyonları, reaktans fonksiyonları şeklinde geldiğinden, iletim sıfırları $J\omega$ ekseni üzerinde bulunmalıdır.

$Z_{1,2}$ parametresinin sıfırları iletim sıfırları olduğuna göre, bu parametreye ait sıfırlar $J\omega$ -ekseni üzerinde bulunmalıdır. İki-kapılı devre parametrelerinin özelliklerine bakarak $Z_{1,2}$ parametresinin $J\omega$ -ekseni üzerindeki sıfırların aynı yerde birden fazla olabileceği de açıkça görülebilir.

3. POZITIF REEL FONKSİYONLARIN VERİLEN REEL KISIMDAN TÜRETİLMESİ

Tasarımcılar herhangi bir pozitif reel rasyonel fonksiyonun sentezini yapabilmek için, genel gerçekleştirme yöntemlerini kullanmaya çalışmışlardır. Fakat bu yöntemler bütün giriş empedans veya admitans fonksiyonlarına uygulanabilmesi ile birlikte bir takım dezavantajları da beraberlerinde getirmişlerdir. Brune yönteminde sık sık trafo kullanılması, Butt-Duffin yönteminde kullanılan eleman sayısının fazla olması, v.b. Diğer özel yöntemler ise ancak bazı pozitif reel rasyonel fonksiyonlara uygulanabilmiştir [1].

Darlington bu problemin çözümüne katkıda bulunabilmek için bir takım çalışmalar yapmıştır. Geliştirdiği yöntemle, herhangi bir pozitif reel rasyonel fonksiyonun, kayıpsız iki-kapılı devre ve sonunda bir dirençle gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Darlington yönteminde, giriş empedans veya admitans fonksiyonları yerine iki-kapılı devre parametreleri üzerinde çalışılarak devre sentez edilir. Bu işe devrenin gerçekleştirilmesinde karşılaşılan problemin çözümüne katkıda bulunmak yerine yeni bir yöntem önermektir. Fakat bu yöntemle birlikte sentezi üzerinde çalışılan fonksiyon tipinin, devre çözümünde etkili olduğu görülmüştür.

Herhangi bir pozitif reel rasyonel fonksiyonun özellikleri, reel kısım ile ilgili olduğundan, fonksiyonların reel kısımları incelenerek, hangi sentez yönteminin kullanılmasına karar vermeye çalışılmıştır.

Empedans fonksiyonu verildiğinde, bu fonksiyonun reel kısmını hesaplamak oldukça basittir. Fakat fonksiyonun reel kısmı verildiğinde, kendisini hesaplamak o kadar açık değildir. Aynı zamanda dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de fonksiyonun reel kısmı ile kendisi arasında bire-bir eşlemenin yapılabilmesidir. Bu konuyu biraz daha açarsak, reel kısımdan, "orjinal fonksiyon elde edilebilir mi?" sorusuna cevap vermemiz gerekir. Herhangi bir reel rasyonel fonksiyon için çözümün tek olmadığı bilinmektedir. Çünkü, reel rasyonel fonksiyona eklenecek bir reaktans fonksiyonu başlangıçtaki fonksiyonun reel kısmını kesinlikle etkilemeyecektir. Diğer taraftan, pozitif reel fonksiyonlar s değişkenini göre analitik fonksiyonlardır. Böyle fonksiyonların sanal ve reel kısımları arasındaki bağıntının tek olabilmesi

için, Bode ve Hilbert dönüşümlerine göre, reel rasyonel fonksiyonların $J\omega$ -ekseni üzerinde kutpunun olmaması, gerek ve yeter koşuldur. Bu da bize, başlangıçtaki reel rasyonel fonksiyonun minimum empedans veya minimum admitans olması gerektiğine götürmektedir[6].

Pozitif reel fonksiyonların reel kısmından kendisini bulan iki ayrı yöntem vardır. Bunlardan: biri Gewertz, ikincisi Bode tarafından geliştirilmiştir. Hazırlanan bu tezde Gewertz yöntemi kullanılmıştır. Gewertz yöntemine göre empedans fonksiyonu;

$$Z(s) = \frac{m_1(s) + n_1(s)}{m_2(s) + n_2(s)} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılır. Pay polinomunun çift kısmı m_1 , tek kısmı ise n_1 polinomudur. Aynı şekilde m_2 ve n_2 polinomları da payda polinomunun çift ve tek kısımlarını oluşturur. s yerine $J\omega$ konulduğunda m polinomu reel n polinomu ise sanal bir fonksiyondur.

$Z(s)$ fonksiyonunun reel ve sanal kısımlarının ayrı ayrı yazılması istendiğinde,

$$Z(s) = \frac{m_1 m_2 - n_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2} + \frac{m_2 n_1 - m_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2} \quad (3.2)$$

elde edilir.

$$\text{Re}[Z(J\omega)] = U(\omega^2) = \frac{N(\omega^2)}{D(\omega^2)} \quad (3.3)$$

$$U(-s^2) = \frac{N(-s^2)}{D(-s^2)} = \frac{m_1 m_2 - n_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2} \quad (3.4)$$

$$U(-s^2) = \frac{A_0 + A_1 s^2 + \dots + A_m s^{2m}}{B_0 + B_1 s^2 + \dots + B_n s^{2n}} \quad (3.5)$$

$Z(s)$ fonksiyonunun minimum fonksiyon olabilmesi için $m \leq n$ olmalı ve payda polinomu olan $(m_2 + n_2)$ 'nin kökleri kompleks düzlemin sol yarısında bulunmalıdır [8].

Denklem (3.4) de ki $D(-s^2)$ fonksiyonu,

$$D(-s^2) = (m_2 + n_2) (m_2 - n_2) \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir. $(m_2 + n_2)$ polinomunun S_0 'da kökü var ise,

$$m_2(s_0) + n_2(s_0) = 0 \quad (3.7)$$

$(m_2 - n_2)$ polinomunun da $-s_0$ 'da kökü olmalıdır.

$$m_2(-s_0) - n_2(-s_0) = m_2(s_0) + n_2(s_0) = 0 \quad (3.8)$$

Denklem (3-7) ve (3-8) den, $(m_2 + n_2)$ polinomunun kökünün ters işaretlisi, $(m_2 - n_2)$ polinomunun kökü olmaktadır. Bundan dolayı $D(-s^2)$ polinomu, kompleks düzlemde sanal eksene göre simetrik bir kök dağılımına sahiptir. Böylece $D(-s^2)$ polinomunun yalnızca sol yarı düzlemdeki kökleri alınarak yazılan polinom, $Z(s)$ fonksiyonunun paydasında bulunan $(m_2 + n_2)$ polinomu olacaktır.

Denklem (3.1) de gösterilen rasyonel fonksiyon,

$$Z(s) = \frac{a_0 + a_1 s + \dots + a_n s^n}{b_0 + b_1 s + \dots + b_n s^n} \quad (3-9)$$

(3.9) daki gibi yazıldığında, denklem (3.4) deki $N(-s^2)$ polinomu,

$$\begin{aligned} N(-s^2) &= (a_0 + a_2 s^2 + \dots + a_n s^n)(b_0 + b_2 s^2 + \dots + b_n s^n) \\ &\quad -(a_1 s + a_3 s^3 + \dots)(b_1 s + b_3 s^3 + \dots) \\ &= A_0 + A_1 s^2 + \dots + A_n s^{2n} \end{aligned} \quad (3.10)$$

şeklinde bulunacaktır.

$$A_0 = a_0 b_0$$

$$A_1 = a_0 b_2 + b_0 a_2 - a_1 b_1$$

$$A_2 = a_0 b_4 + a_2 b_2 + a_4 b_0 - a_1 b_3 - a_3 b_1$$

$$A_k = \sum_{j=-k}^k (-1)^{k+j} a_{k+j} b_{k-j} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11) de A_i ve b_i katsayıları bilindiğine göre problem $n+1$ bilinmeyenli $n+1$ denklemin çözümü şekline dönüşür. Bu denklem takımının çözümüyle, $(m_1 + n_1)$ polinomunun katsayıları bulunacaktır. Böylece $Z(s)$ fonksiyonu verilen reel kısımdan hesaplanmış olacaktır.

Reel kısımdan minimum fonksiyonunun kendisini bulan diğer bir yöntem de Bode tarafından geliştirilmiştir. Bode, fonksiyonun reel kısmını,

$$\operatorname{Re}[Z(j\omega)] = \frac{1}{2} [Z(s) + Z(-s)] \quad (3.12)$$

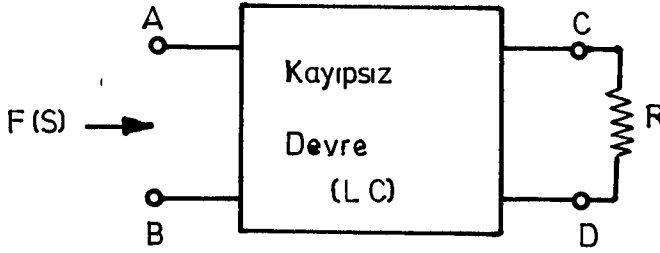
$s=j\omega$

şeklinde ifade etmiştir. Bode tarafından geliştirilen yöntemde, minimum fonksiyonun sol yarı düzlemdeki kutupları ele alınarak, bu kutuplara ait artık terimler hesaplanmıştır. Böylece fonksiyonun aslı elde edilmiştir.

Bode fonksiyonun içerdiği artık terimler, Gewertz ise polinom katsayılarıyla ilgilenmektedir[1].

4. GİRİŞ EMPEDANS VEYA ADMİTANS FONKSİYONLARINDAN İKİ-KAPILI DEVRE PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Herhangi bir pozitif reel rasyonel fonksiyon verildiğinde bu fonksiyonun sentezini yapabilmek için Darlington tarafından oldukça ilginç ve basit bir yöntem geliştirilmiştir. Darlington yöntemine göre gerçekleştirilen devre yapısı Şekil 4-1'deki gibidir ve bu tip devreler, genellikle Darlington devresi diye adlandırılır. Böyle devrelerde, kaynaktan çekilen aktif gücün tamamı R direnci üzerinde harcanır.



Şekil 4.1: Darlington devresi

Darlington sentez yöntemindeki ana tema; Brune fonksiyonu¹ verilen LC ve 1Ω la sonlandırılmış devrenin sentezini, iki-kapılı devre parametreleri yardımıyla çözmektir. Giriş empedans veya admitans fonksiyonunun sentezi Şekil 4.1'deki gibi yapılabilmesi için başlangıçtaki fonksiyonun taşınması gereken özelliklerin tesbit edilmesi gerekir. Bu ise devrenin analizi yapılarak bulunabilir.

Şekil 4.1'deki iki kapılı kayıpsız devrenin empedans veya admitans matrisi (Foster matrisi),

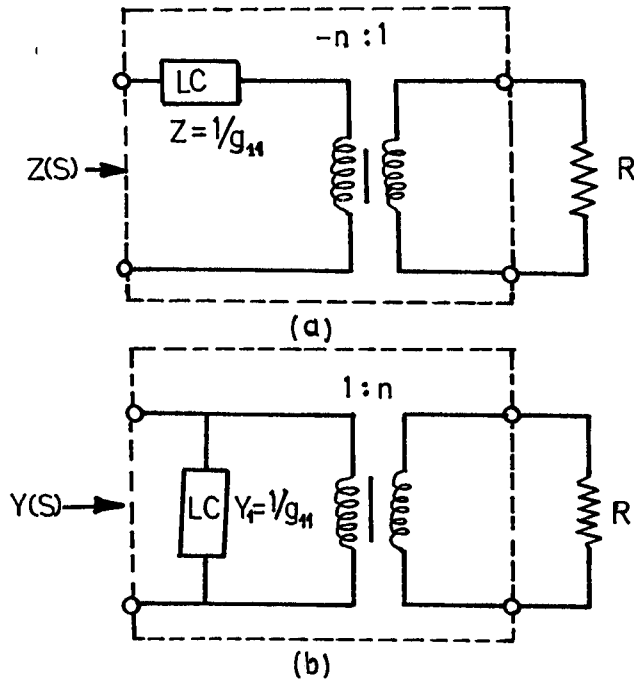
¹ Brune fonksiyonu ile pozitif reel rasyonel fonksiyon kastedilmiştir.

$$F_{LC}(s) = \begin{bmatrix} f_{11}(s) & f_{12}(s) \\ f_{12}(s) & f_{22}(s) \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

biçimindedir. Foster matrisi tekil (singular) bir matris ise,

$$F_{LC}^{-1}(s) = g_{11}(s) \cdot \begin{bmatrix} 1 & n \\ n & n^2 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

yazılabilir. Brune fonksiyonu; empedans fonksiyonu ise Şekil 4.2.a' daki gibi, admitans fonksiyonu ise Şekil 4.2.b'deki gibi bir devreyi tanımlar.



Şekil 4.2: Özel giriş fonksiyonunun gösterimi. a) Empedans fonksiyonu, b) Admitans fonksiyonu

Şekil 4.2.a'da giriş empedans fonksiyonu,

$$Z(s) = Z_1(s) + n^2R \quad (4.3)$$

Şekil 4.2.b'deki admitans fonksiyonu,

$$Y(s) = Y_1(s) + n^2/R \quad (4.4)$$

biçiminde yazılabilir. $Z_1(s)$ ve $Y_1(s)$ fonksiyonları Foster fonksiyonlarıdır.¹ Böylece Şekil 4.1'deki devrede Brune fonksiyonunun ya pozitif bir sabit veya Foster fonksiyonu ile pozitif bir sabitin toplamı olması gerektiği gösterilmiştir. Dikkat edilirse öyle bir R direnci seçilerek ideal trafodan kurtulunabilir.

F_{LC} matrisinin determinantı sıfırdan farklı ve Darlington devresinde $R = 1$ alındığında basit bir analiz yöntemiyle Brune fonksiyonu,

$$F(s) = f_{11} - \frac{f_{12}^2}{1 + f_{22}} \quad (4.5)$$

olduğu gösterilebilir. Denklem (4.5)'de $F(s)$, giriş empedans fonksiyonu ise f_{ij} ($i, j=1,2$) iki-kapılı kayıpsız devrenin açık devre empedans parametreleridir. $F(s)$ giriş admitansı ise, f_{ij} iki-kapılı kayıpsız devrenin kısa devre admitans parametreleridir.

Denklem (4.5)'deki fonksiyonun gerçekleştirilebilir olabilmesi için f_{11} ve f_{22} parametrelerinin Foster fonksiyonu, f_{12} parametresinin ise tek rasyonel fonksiyon olması gerekir [5]. Bu özellikler $F(s)$ fonksiyonunun çift kısmı incelenerek tesbit edilebilir:

Brune fonksiyonunun çift (reel) kısmı,

$$\text{Re} [F(s)] = \frac{1}{2} (F(s) + F(s)_*) = \frac{-f_{12}^2}{(1 + f_{22})(1 + f_{22})_*} \quad (4.6)$$

¹

Kayıpsız devrenin giriş empedans veya admitans fonksiyonu Foster fonksiyonudur.

şeklinde yazılabilir. Parametreler rasyonel fonksiyon olduğundan,

$$f_{jj} = \frac{P_{ij}}{q} \quad (i, j = 1, 2) \quad (4.7)$$

iki ayrı polinom şeklinde gösterilebilir. Bu durumda Brune fonksiyonunun reel kısmı,

$$\text{Re} [F(s)] = \bar{+} \frac{P_{12}^2}{H \cdot H_*} \quad (4.8)$$

olacaktır. Burada H polinomu,

$$H = P_{22} + q \quad (4.9)$$

İki ayrı polinomun toplamı şeklinde yazılmıştır. H polinomu kesin Hurwitz¹ (Strictly-Hurwitz) polinomu olmalıdır. Denklem (4.8)'de; q polinomu çift fonksiyon ise negatif, tek fonksiyon ise pozitif işaret dikkate alınmalıdır. Literatürde, bu iki durum A ve B durumları (Case A, Case B) diye adlandırılmıştır [5].

Brune fonksiyonu,

$$F(S) = \frac{m_1 + n_1}{m_2 + n_2} = \frac{P}{Q} \quad (4.10)$$

şeklinde, tek (n) ve çift (m) polinomlar biçiminde yazılabilir. Bu durumda fonksiyonun reel kısmı,

$$\text{Re} [F(s)] = \frac{M}{Q \cdot Q_*} \quad (4.11)$$

olacaktır. Denklem (4.10) ve (4.11)'den reel kısmın pay polinomu,

$$M = \frac{1}{2}(P \cdot Q_* + P_*Q) = m_1 m_2 - n_1 n_2 \quad (4.12)$$

¹ Kesin Hurwitz polinomunun kökleri kompleks düzlemin sol yarısındadır ve sanal eksen üzerinde kökü yoktur.

(*) İşareti para eşlenik (para conjugate) anlamında kullanılmıştır.

türetilmiştir.

Brune fonksiyonu Darlington devresi şeklinde gerçekleştirilebilmesi için [5]:

a) $Q \equiv H$; Q polinomu kesin Hurwitz polinomu olmalıdır.

b) $M = \bar{P} P_{12}^2$; M polinomu tam kare halinde yazılabilmelidir.

Herhangi bir Brune fonksiyonu ele alındığında bu iki şart sağlanmayabilir. Bundan dolayı Darlington sentezi bu haliyle her Brune fonksiyonuna uygulanamaz. Bölüm (2.5)'de anlatıldığı gibi, kayıpsız iki kapılı devre tasarımı isteniyorsa, M polinomunun kökleri sanal eksen üzerinde olmalıdır ve tam kare halinde yazılabilmelidir. M polinomu çift fonksiyon olduğu halde tam kare halinde yazılamıyorsa, H gibi Kesin Hurwitz olan bir yardımcı polinomla M polinomu tam kare şekline dönüştürülmelidir. Bu işlem, ne $F(s)$ fonksiyonunu ne de $F(s)$ fonksiyonunun reel kısmını etkilemeden yapılmalıdır. Bu durumda, denklem (4.11)'deki reel kısma ait fonksiyon,

$$\operatorname{Re} [F(s)] = \frac{M H_0 H_0^*}{(Q H_0) (Q H_0)^*} \quad (4.13)$$

şekline gelecektir. Denklem (4.13)'deki $Q H_0$ polinomu kesin Hurwitz polinomu olmalıdır. Bölüm 3'de gösterildiği gibi, denklem (4.13)'den $F(s)$ fonksiyonu elde edildiğinde, düzeltilmiş (Modified) Brune fonksiyonu,

$$F(s) = \frac{P H_0}{Q H_0} \quad (4.14)$$

biçiminde bulunacaktır. $F(s)$ fonksiyonunun reel kısmı:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} [F(s)] &= \frac{1}{2}(F + F_*) = \frac{1}{2} \left[\frac{P H_0}{Q H_0} + \frac{P_* H_0^*}{Q_* H_0^*} \right] \\ &= \frac{(P Q_* + P_* Q) H_0 H_0^*}{2 (Q H_0) (Q H_0)^*} = \frac{M \cdot H_0 H_0^*}{(Q H_0) (Q H_0)^*} \end{aligned}$$

görüldüğü gibi denklem (4.13)'deki gibidir.

Denklem (4.10)'daki gibi bir Brune fonksiyonu ele alındığında; a ve b şartlarını sağlıyorsa, m_2/n_2 veya n_2/m_2 Foster fonksiyonları olmak zorundadır [5]. Eğer A durumunda;

$$f_{22} = \frac{m_2}{n_2} \quad (4.15)$$

B durumunda

$$f_{22} = \frac{n_2}{m_2} \quad (4.16)$$

olarak alınırsa denklem (4.6) ve (4.8)'de gösterilen eşitliklerin paydalarına ait şartlar yerine getirilmiş olunacaktır. Diğer taraftan b şartından dolayı, f_{12} parametresinin pay polinomu;

$$P_{12} = \sqrt{\mp} M(s^2) \quad (4.17)$$

bulunacaktır (A durumu için +M, B durumu için -M). Böylece P_{12} polinomu reel polinom olacaktır. Bundan dolayı A ve B durumları için işaret değişimi tektir.

Bilinmiyen F_{11} parametresi de,

$$f_{11} = F(s) + \frac{f_{12}^2}{1 + f_{22}} \quad (4.18)$$

eşitliğinden bulunabilir. A durumu için:

$$f_{11} = \frac{m_1}{n_2} \quad (4.19)$$

B durumu için;

$$f_{11} = \frac{n_1}{m_2} \quad (4.20)$$

şeklinde yazılır. Her iki durumda da f_{11} parametresi Foster fonksiyonudur.

Darlington devresinde $R \neq 1$ ise, iki-kapılı devre parametreleri tam olarak bulunamaz. Ancak parametreler R direncine göre normalize edilmiş şekilde hesaplanabilir. Brune fonksiyonu; empedans fonksiyonu ve $R \neq 1$ ise, empedans ve admitans parametreleri Çizelge 4.1' de gösterilmiştir.

Brune fonksiyonu a ve b şartlarını sağlıyorsa, Darlington yöntemi ile iki-kapılı kayıpsız devre her zaman sıkıştırılmış (Compact) kutuplara sahiptir. Şayet Brune fonksiyonu a şartını yerine getiriyorsa, kayıpsız iki-kapılı devreye bağlanacak eleman, empedans fonksiyonu ise seri kola, admitans fonksiyonu ise paralel kola gelir [5].

Böylece herhangi bir Brune fonksiyonunun Darlington devresi biçiminde sentezinin yapılabileceği gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Giriş empedansı verildiğinde iki-kapılı devre parametreleri

A DURUMU

$$Z_{11} = \frac{m_1}{n_2}$$

$$Y_{11} = \frac{m_2}{n_1}$$

$$\frac{Z_{22}}{R} = \frac{m_2}{n_2}$$

$$RY_{22} = \frac{m_1}{n_1}$$

$$\frac{Z_{12}}{\sqrt{R}} = \frac{\sqrt{m_1 m_2 - n_1 n_2}}{n_2}$$

$$\sqrt{RY}_{12} = \frac{\sqrt{m_1 m_2 - n_1 n_2}}{n_1}$$

B DURUMU

$$Z_{11} = \frac{n_1}{m_2}$$

$$Y_{11} = \frac{n_2}{m_1}$$

$$\frac{Z_{22}}{R} = \frac{n_2}{m_2}$$

$$RY_{22} = \frac{n_1}{m_1}$$

$$\frac{Z_{12}}{\sqrt{R}} = \frac{\sqrt{-(m_1 m_2 - n_1 n_2)}}{m_2}$$

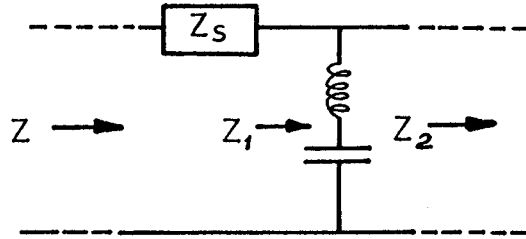
$$\sqrt{RY}_{12} = \frac{\sqrt{-(m_1 m_2 - n_1 n_2)}}{m_1}$$

5. SIFIR KAYDIRMA YÖNTEMİ İLE KAYIPSIZ BASAMAK DEVRELERİN SENTEZİ

5.1. Sıfır Kaydırma Yöntemi

Herhangi bir reaktans fonksiyonunun sentezi Cauer yöntemi ile basit bir şekilde yapılabilir. Cauer yöntemine göre, ilk olarak, reaktans fonksiyonunun sonsuzdaki kutbu tam olarak uzaklaştırılır. Böylece fonksiyon, sonsuzda sıfıra sahip olmaya zorlanır. Sonra reaktans fonksiyonunun tersi alınarak suseptans fonksiyonu bulunur ve sonsuzdaki kutpu uzaklaştırılır. Bütün kutuplar bu şekilde uzaklaştırılarak devrenin sentezi edilir. Fakat iki-kapılı devre parametreleri ele alındığında iletim sıfırlarının $J\omega$ -ekseni üzerinde herhangi bir yerde olabileceği ihtimali göz önüne alınmalıdır. Böyle durumlarda, reaktans fonksiyonunu, sonsuzda sıfır yapmaya çalışmak yerine $J\omega$ -ekseni üzerinde herhangi bir yerde sıfır yapmaya çalışmak daha yerinde olacak ve iki-kapılı devre parametreleri verilen bir devrenin sentezini, böyle bir yöntemde gerçekleştirme imkanı bulunacaktır.

Şekil 5.1'deki $Z(s)$ reaktans fonksiyonu sıfır kaydırma yöntemi ile gerçekleştirirken, önceden tanımlanmış ω_1 frekansında bir iletim sıfırı oluşturulmalıdır.



Şekil 5.1. Reaktans fonksiyonunun sıfır kaydırma yöntemi ile gerçekleştirilmesi

$$Z(s) = Z_s(s) + Z_1(s) \quad (5.1)$$

$$Z_1(s) = 0 \quad S = J\omega_1 \quad (5.2)$$

$$Z(s) = Z_s(s) \quad S = J\omega_1 \quad (5.3)$$

İlk olarak gerçekleştirilecek seri koldaki elemanın değeri denklem (5.3) yardımıyla bulunur. Z_s fonksiyonu, Z reaktans fonksiyonundan uzaklaştırıldığında Z_1 reaktans fonksiyonu elde edilir. Bu durumda, Z_1 reaktans fonksiyonu $s = j\omega_1$ de sifıra sahiptir. Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta gerek Z_s , gerekse Z_1 reaktans fonksiyonlarının gerçekleştirilebilir olmalarıdır.

Z_s reaktans fonksiyonu, Z reaktans fonksiyonunun herhangi bir kutupundan (sıfırda, sonsuzda veya $j\omega$ -ekseni üzerindeki sonlu bir yerde) kısmi olarak kutup uzaklaştırılarak yapılabilir. Sıfır kaydırma yönteminde, Z reaktans fonksiyonunun Foster formunun uzaklaştırılan kutuptaki artık terimi her zaman Z_s reaktans fonksiyonunun o kutuptaki artık teriminden büyük veya eşit olmalıdır. İşleme bütün iletim sıfırları gerçekleştirilene kadar bu şekilde devam edilmelidir. Sentez sonucunda, kısmi olarak uzaklaştırılan kutupların dengi alındığında, Foster formundaki artık terimlere eşit olduğu görülmelidir. Aksi takdirde gerçek Z reaktans fonksiyonu sentez edilmiş olunmaz.

5.2. Reaktans Diyagramındaki Durum

Reaktans fonksiyonunun herhangi bir yerdeki kutpu, kısmi veya tam olarak uzaklaştırıldığında fonksiyonunun sıfır ve kutuplarındaki yer değişimlerinin incelenmesi, sıfır kaydırma yönteminin anlaşılması açısından gereklidir.

Ele alınan $Z(s)$ reaktans fonksiyonunun grafiği Şekil 5.2 deki gibi olduğu kabul edilirse, sonsuzdaki artık terimin değeri,

$$k_1 = \frac{Z(s)}{s} \Big|_{s \rightarrow \infty} \quad (5.4)$$

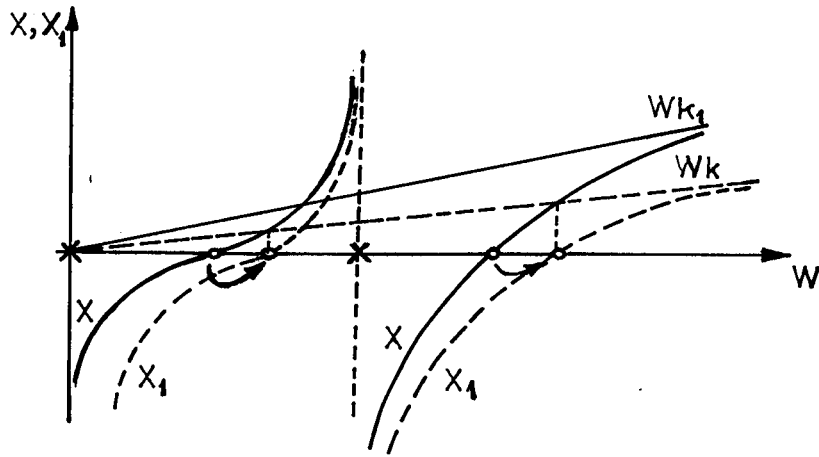
olacaktır. Fonksiyonun reaktansı,

$$X \triangleq \frac{Z(j\omega)}{j} \quad (5.5)$$

şeklinde tanımlanabilir. Sonsuzdaki kısmı olarak uzaklaştırılan elemana ait artık terim k olarak gösterilirse, geride kalan kayıpsız devreye ait fonksiyonunun reaktansı,

$$X_1 \triangleq \frac{Z_1(j\omega)}{j} = X - wk \quad 0 < k < k_1 \quad (5.6)$$

gibi yazılabilir.



Şekil 5.2 Sonsuz frekansta kısmi kutup uzaklaştırılması

Sonsuzda kısmi olarak uzaklaştırılan bir kutupla reaktans fonksiyonunun sıfırları sağ tarafa doğru kaydırılmıştır. Kutuplarda ise herhangi bir kayma gözlenmemiştir. k terimi, k_1 terimine eşit olduğunda sıfırlarda maksimum kayma olacak ve reaktans fonksiyonunun w ekseninde en büyük sıfırı sonsuza giderecektir.

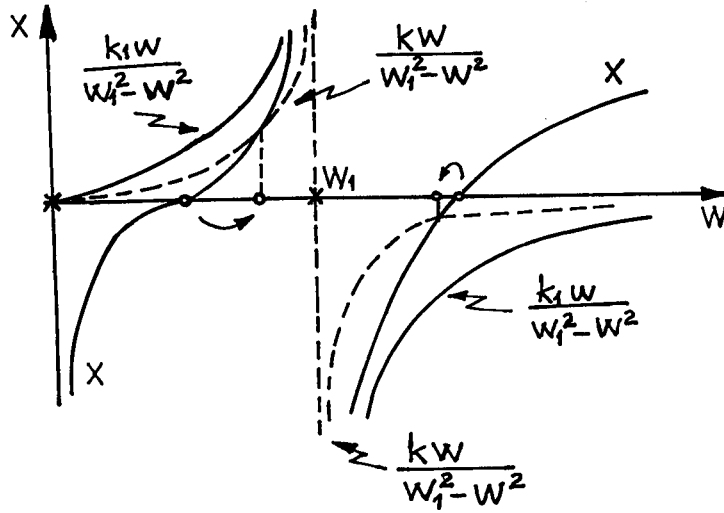
$Z(s)$ reaktans fonksiyonundan sıfırda kısmi kutup uzaklaştırılarak olacak değişimler Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Reaktans fonksiyonunun sıfırdaki artık terimi,

$$k_1 = \left. \frac{Z(s) \cdot (s^2 + w_1^2)}{s} \right|_{s=Jw_1} \quad (5.9)$$

gibi yazılabilir. Reaktans fonksiyonundan bu frekansta kısmi olarak uzaklaştırılan artık terim k ile gösterilirse, geride kalan reaktans,

$$X_1 \triangleq \frac{Z_1(Jw)}{J} = X - \frac{kW}{w_1^2 - W^2} \quad 0 < k < k_1 \quad (5.10)$$

olacaktır.



Şekil 5.4 w_1 frekansında kısmi kutup uzaklaştırması

Şekil 5.4'den de görüleceği üzere uzaklaştırılan kutupa doğru sıfırlar kaymaktadır. Tam kutup uzaklaştırılması halinde, 0 kutpun sağ veya sol tarafındaki sıfırlardan en az biri veya her ikisi kutupla çakışıp birbirlerini götürüleceklerdir. Her iki sıfırın çakışması halinde orada bir sıfır, aksi takdirde uzaklaştırılan kutpun yakınlığında bir sıfır bulunacaktır.

Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'e bakılarak reaktans diyagramındaki durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

1. Sıfır ve sonsuzdaki sıfırların dışındaki bütün sıfırlar uzaklaştırılan kutba doğru kaymaktadır.
2. Ne kadar büyük artık terim uzaklaştırılırsa o kadar sıfırlarda kayma miktarı çok olur. Ancak herbir sıfırdaki kayma miktarı reaktans fonksiyonunun özelliğine göre değişir.
3. Kısmi olarak kutup uzaklaştırılmasında, reaktans diyagramında kutupların yerleri ve sayısı değişmemektedir. Kutup tam olarak uzaklaştırıldığında da diğer kutuplarda bir kayma söz konusu değildir.
4. Reaktans fonksiyonunun özelliği bozulmadan herhangi bir yöne doğru kayan sıfırlar, o yönde karşılaştığı ilk kutuptan daha öteye asla geçemez.

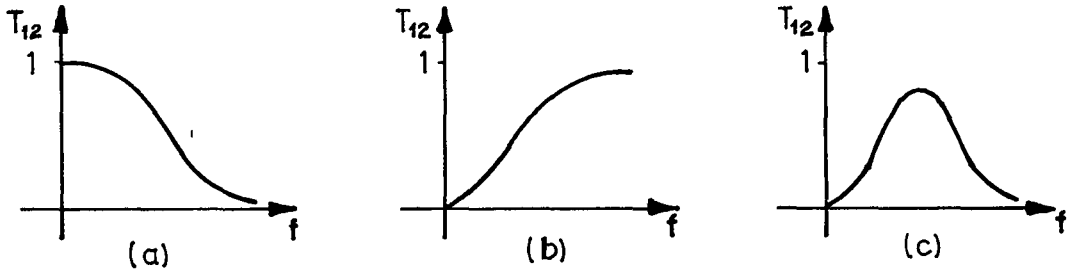
5.3. Sıfır Kaydırma Yönteminin Genelleştirilmesi

Sıfır kaydırma yöntemiyle kayıpsız basamak devrelerin sentezi, Cauer veya Darlington sentez yöntemi gibi genel bir yöntem değildir. Giriş empedans veya admitans fonksiyonu, Bölüm 2.3'de gösterildiği gibi trafosuz basamak devre yapısına sahip iki-kapılı devre parametreleri şeklinde yazılabilmelidir. Ancak, sentezi edilen devrelerin pratiğe uygunluğu, bu yöntemi oldukça önemli kılmaktadır.

Sıfır kaydırma yönteminin kayıpsız basamak devrelerinde doğru olarak uygulanabilmesi için gerçekleştirilmesi istenen fonksiyonun hangi yapıda (alçak-geçiren, yüksek-geçiren, band-geçiren) olduğunun bilinmesi gerekir. Bu yapıların kendilerine ait özellikleri tesbit edilerek, sentez sırasında bu özellikler bozulmadan fonksiyon gerçekleştirilmelidir.

Alçak ve yüksek frekansları geçiren empedans fonksiyonlarının özellikleri bundan sonraki bölümde ayrı ayrı anlatılmıştır. Belirli bir frekans bandını geçiren fonksiyonlar ise, alçak ve yüksek frekansları geçiren fonksiyonların özelliklerini Şekil 5.5'de gösterildiği gibi, üzerinden taşımalıdır. Bundan dolayı band geçiren yapılar, yüksek ve alçak frekansları geçiren devre yapılarının ard arda bağ-

lanmış şekli olarak düşünmek mümkündür. Yüksek veya alçak frekansları geçiren devre yapılarından hangisinin ilk olarak gerçekleştirileceği bir seçenek konusudur. Her iki durumunda birbirlerine karşı herhangi bir üstünlüğünden bahsetmek, bu aşamada anlamsızdır. Ancak, ulaşılması istenen amaçlara ve empedans fonksiyonunun özelliğine göre her iki durumda kendilerine özgü bir takım üstünlükleri vardır. Band-geçiren yapılarda devrenin çözümü birden fazla olabilmektedir.



Şekil 5.5 Pasif elemanlara gerçekleştirilen devre yapıları
a) Alçak-geçiren yapı, b) Yüksek-geçiren yapı,
c) Band-geçiren yapı

Bu tezde geliştirilen bilgisayar programında ilk önce yüksek frekansları geçiren devre elemanları daha sonra da alçak frekansları geçiren devre elemanları başlangıçtaki empedans fonksiyonundan uzaklaştırılmıştır.

5.3.1. Alçak-geçiren basamak devreleri

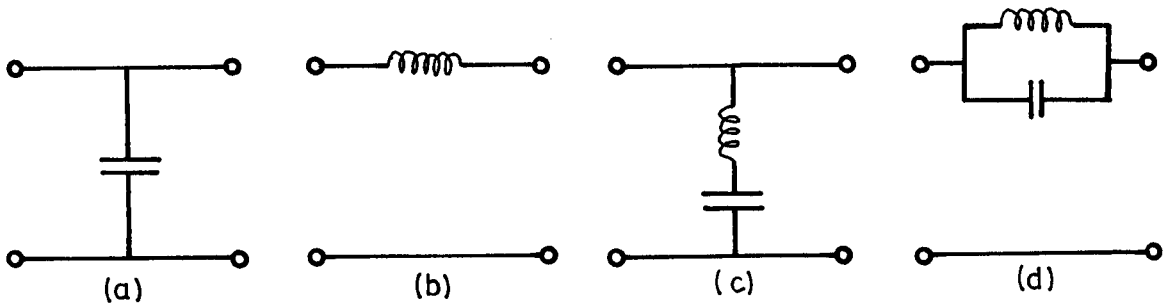
Bu konuda çalışma yapan Fujisawa, herhangi bir pozitif reel fonksiyonun Darlington devresi gibi alçak geçiren bir filtre yapısında olabilmesi için gerek ve yeter koşulları şöyle belirtmiştir [1].

1. İletim sıfırları $J\omega$ -ekseni üzerinde olmalıdır.
2. Z_{12} veya Y_{12} , veya her iki parametrenin sonsuzda en az bir tane iletim sıfırına sahip olması gerekir.
3. Z veya Y parametrelerinin payda polinomunun köklerinin sayısı sonlu yerdeki iletim sıfırlarının sayısından bir fazla olması gerekir.
4. İletim sıfırları ω_i ile gösterilsin ve $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 \dots < \omega_k$ olsun. 3'üncü şartı Y parametreleri sağlamışsa; orjinle i 'inci iletim sıfırını arasında Y_{22} parametresinin en az i adet sıfır olmalıdır veya 3'üncü şartı Z parametreleri sağlamışsa, Z_{22} parametresinin en az i adet sıfır bulunmalıdır.

İki-kapılı devre parametreleri Fujisawa'nın belirttiği şartları yerine getirebiliyorsa, sıfır kaydırma yöntemi ile devre her zaman kayıpsız alçak geçiren basamak devresi şeklinde gerçekleştirilebilir.

Fujisawa şartlarını hangi parametreler taşıyorsa, sentez o parametreler üzerinde yapılmalıdır. Örneğin Y-parametreleri Fujisawa şartlarını sağlıyorsa Y_{22} ve Y_{12} , aksi takdirde Z_{22} ve Z_{12} parametreleri dikkate alınarak devre gerçekleştirilebilir.

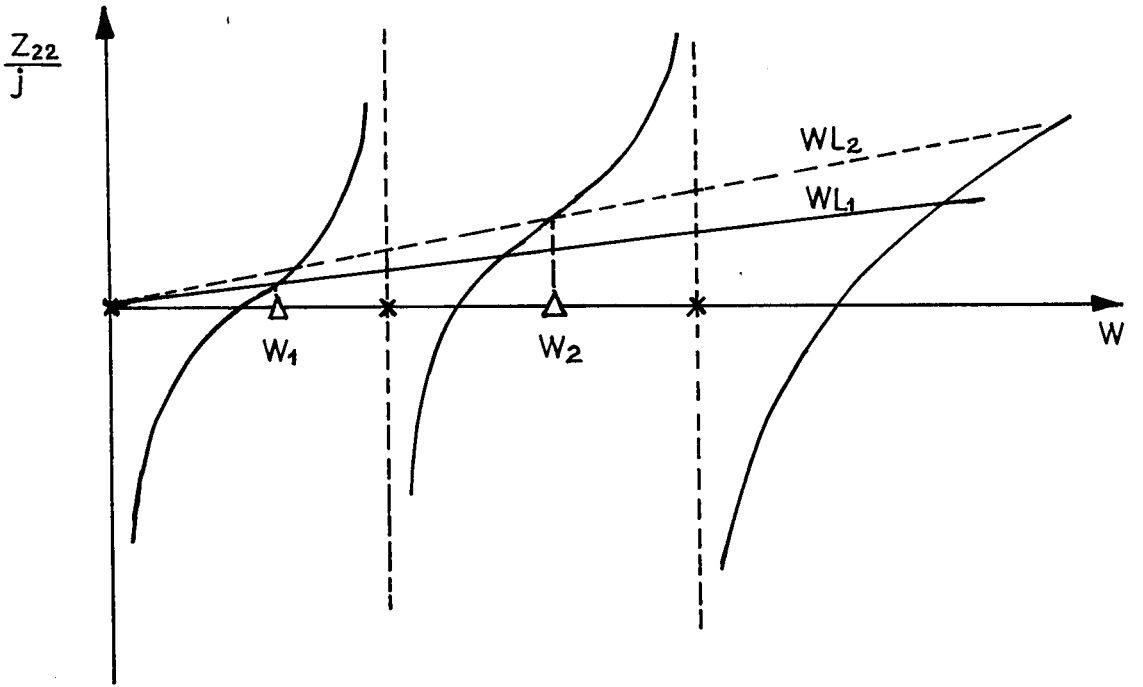
Alçak frekansları geçiren devre yapılarında, kol elemanları Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Reaktans fonksiyonundan bu elemanlar uzaklaştırıldığında, giriş empedans veya admitans fonksiyonunun alçak-geçiren özelliği bozulmadan devre sentez edilebilir.



Şekil 5.6 Alçak-geçiren devre elemanları

Sıfır kaydırma yöntemi ile alçak frekansları geçiren basamak yapıya sahip devreler gerçekleştirirken uzaklaştırılan her bir elemandan sonra da Fujisawa şartlarının sağlanması gerekir. Uzaklaştırılan herhangi bir elemandan sonra Fujisawa şartları sağlanmıyorsa o andan sonra doğru bir sentez yapmak mümkün değildir. Fujisawa şartlarının iki-kapılı devre parametreleri üzerinde bozulmadan kalabilmesi, ilk gerçekleştirilecek sonlu yerdeki (orjin hariç) iletim sıfırının bilinmesine bağlıdır. Bu konu reaktans diyagramı üzerinde açıklandığında daha da netlecektir.

Z_{22} reaktans fonksiyonunun grafiği Şekil 5.7'deki gibi olsun Şekil 5.7 Δ işareti w -ekseni üzerindeki iletim sıfırlarının yerini göstermek için kullanılmıştır. Ayrıca sonsuzda bir iletim sıfırının olduğu var kabul edilmiştir.



Şekil 5.7: $\frac{1}{j} \cdot Z_{22}(jw)$ fonksiyonunun çizimi

Şekil 5.7'den de görüldüğü gibi ilk gerçekleşecek iletim sıfırı w_1 ile gösterilen sıfırdır. Eğer w_2 ile gösterilen iletim sıfırı ilk önce gerçekleşecek olursa, w_1 iletim sıfırını gerçekleştirmek için sıfırdaki kutuptan kısmi olarak artık terim uzaklaştırmak ge-

rekecektir. Oysa sıfırda bir iletim sıfırı olmadığından bu işlem yapılamaz. Eğer böyle bir işlem yapılırsa gerçekleşen devre band-geçiren bir yapıda olacaktır. Halbuki devrenin alçak-geçiren bir yapıda olması gerekir. Bu ise verilen fonksiyonun sentezinin doğru yapılmadığına bir kanıttır. Ayrıca bu durum dördüncü şarta da ters düşmektedir. Bundan dolayı sentezin her aşamasında Fujisawa şartlarının sağlanması gerekir. Bunun için uygulanması gereken işlem sırası oldukça açıktır. Sonsuzda kısmi olarak uzaklaştırılan eleman değeri i 'inci iletim sıfırı için,

$$L_{i-1} = \frac{Z(j\omega_i)}{j\omega_i} \quad (5.11)$$

ifade edilebilir. Herbir iletim sıfırı için hesaplanan pozitif eleman değerlerinden 'en küçüğü değerlendirilirse, sentezde doğru bir yol izlenmiş olur.

Reaktans fonksiyonunun sonsuzda bulunan kutpu fonksiyonunun sıfırlarını sağ tarafa kaydırmak için gerekli bir şarttır. Eğer sonsuzda birden fazla iletim sıfırının bulunması halinde ve herhangi bir sebepten dolayı reaktans fonksiyonunun sonsuzdaki kutpu tam olarak uzaklaştırılmışsa, işleme reaktans fonksiyonunun tersi alınarak saseptans fonksiyonu üzerinde çalışarak devam etmek gerekir.

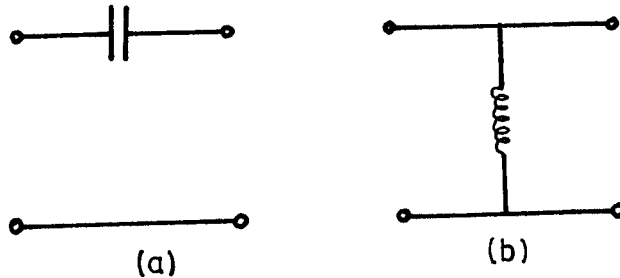
5.3.2. Yüksek-Geçiren Basamak Devreleri

Yüksek frekansları geçiren basamak yapıya sahip devrelerin özellikleri, Fujisawa şartlarına bakarak benzer bir biçimde yazılabilir. Yüksek-geçiren basamak devrelerin özellikleri:

1. İletim sıfırları $J\omega$ -ekseni üzerinde olmalıdır.
2. Z_{12} veya Y_{12} veya heriki parametrenin sıfırda en az bir adet iletim sıfırının olması gerekir.
3. Z veya Y parametrelerinin payda polinomlarının köklerini sayısı sonlu yerdeki iletim sıfırlarının sayısına eşit veya büyük olmalıdır.

4. İletim sıfırları w_1 ile gösterilsin ve $w_k < w_{k_1} < \dots < w_2 < w_1$ olsun. Üçüncü şartı Y parametreleri sağlamışsa; sonsuzla i' inci iletim sıfırı arasında Y_{22} parametresinin en az i adet sıfırı olmalıdır veya üçüncü şartı Z parametreleri sağlamışsa Z_{22} parametresinin sonsuzla i' inci iletim sıfırı arasında en az i adet sıfırı bulunmalıdır.

Bu şartlar sağlandığında devre her zaman yüksek frekansları geçiren bir yapıda gerçekleştirilebilir. Devre yapısında kullanılan kol elemanları Şekil 5.6'da gösterilen (a) ve (b) şıkları yerine Şekil 5.8'deki elemanlar kullanılmalıdır. Bölüm 2.4'deki bilgiler dikkate alınır, Şekil 5.6'daki (c) ve (d) şıklarında gösterilen elemanlarda bir değişiklik söz konusu değildir, bu devre yapısında da aynen kullanılabilir.

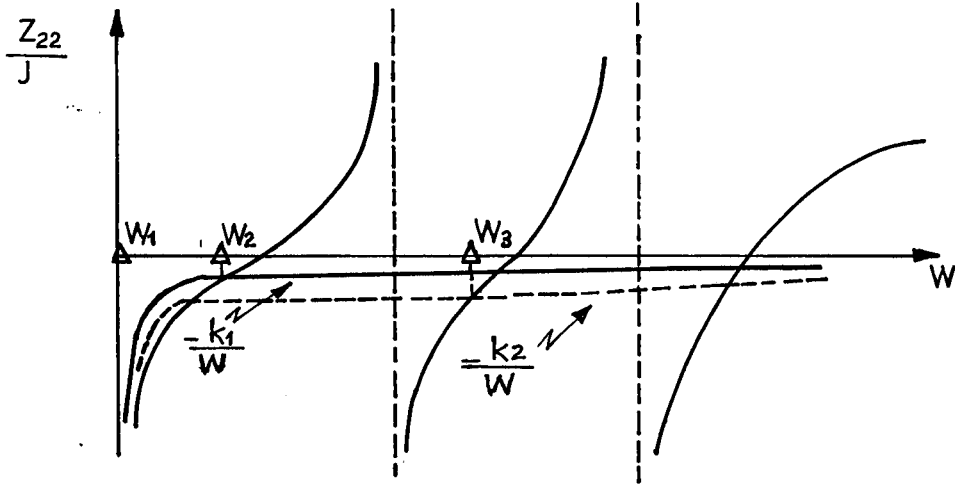


Şekil 5.8 Orjinde kısmi kutup uzaklaştırmasında kullanılan kol elemanları

Yüksek frekansları geçiren devrelerde de hangi iletim sıfırının ilk olarak gerçekleşeceği önemli bir problemdir. Yine empedans fonksiyonunun özelliği bozulmadan reaktans fonksiyonu üzerinde yapılması gereken işlemleri grafik üzerinde göstermekte fayda vardır. Seçilen özel Z_{22} reaktans fonksiyonunun grafiği Şekil 5.9'daki gibi olsun. Bu durumda gerçekleşecek ilk iletim sıfırı w_2 ile gösterilen iletim sıfırındır. Aksi takdirde yüksek-geçiren devreleri belirleyen özellikler ihlal edilmiş olur. Bu özelliklerin sentez esnasında her zaman korunmalıdır. Bundan dolayı geliştirilen yöntemde, sıfırda kısmi olarak uzaklaştırılan artık terim, her bir iletim sıfırı için,

$$k_i = -Z(J\omega_i)J\omega_i$$

gibi ifade edilebilir. Pozitif artık terimlerden minimum olanı seçilerek işleme devam edildiğinde empedans fonksiyonunun özellikleri bozulmadan devrenin sentezi gerçekleştirilir. Reaktans fonksiyonundan uzaklaştırılan eleman değeri $1/k_i$ ye eşittir.



Şekil 5.9 $\frac{1}{j} Z_{22}(J\omega)$ fonksiyonunun çizimi

6. SONLANDIRILAN DİRENCİN BULUNMASI VE DE-NORMALİZASYONU

Giriş empedans veya admitans fonksiyonu, Darlington devresi gibi sentezi yapılmak istendiğinde, sonlandırılan direncin değerini direk olarak bulmak her zaman mümkün değildir. Giriş empedans fonksiyonu sadece yüksek frekansları veya alçak frekansları geçiren bir yapıya sahip ise, başlangıçtaki fonksiyondan direncin değerini bulmak oldukça kolaydır. Z empedans fonksiyonu alçak frekansları geçiren bir özelliği sahip ise direncin değeri,

$$R = \lim_{s \rightarrow 0} Z(s) \quad (6.1)$$

olarak bulunabilir. Eğer empedans fonksiyonu yüksek frekansları geçiren bir yapıya sahip ise, sonlandırılan direncin değeri,

$$R = \lim_{s \rightarrow \infty} Z(s) \quad (6.2)$$

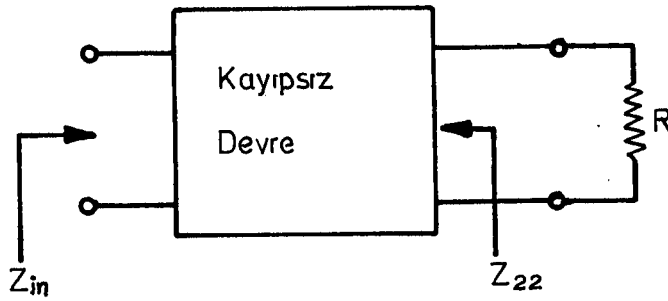
biçiminde yazılabilir. Bu tip yapılarda devrenin gerçekleşme biçimi tektir. Çözümün tek oluşu nedeniyle gerek kayıpsız devrenin sentezi gerekse sonlandırılan direnç yalnız bir şekilde bulunabilir. Bundan dolayı kayıpsız devrenin sentezine girişten veya çıkıştan başlandığında, denklem (6.1) veya (6.2)'de bulunan direnç değeri değişmeyecektir.

Giriş empedans veya admitans fonksiyonu, belirli bir frekans bandını geçiren bir yapıya sahip ise, (6.1) veya (6.2)'deki eşitlikler kullanılamaz. Çünkü band-geçiren devrelerde Şekil (5.5) den de görüldüğü gibi, devrenin sıfırda ve sonsuzda iletim sıfırları vardır. Bu durumda denklem (6.1) veya (6.2)'yi kullanarak sonlandırılan direnç hakkında bilgi edinmeye çalışmak anlamsız bir işlemdir. Band-geçiren devreler için daha başka yöntemlerin aranması gerekir.

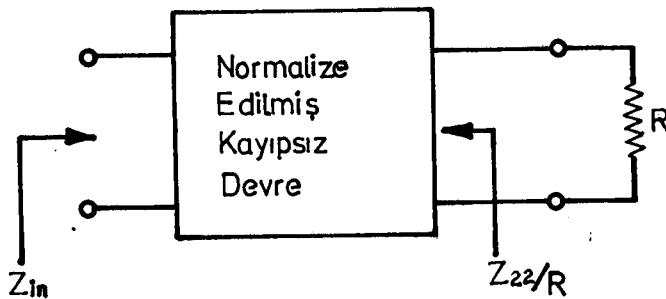
Darlington yöntemini kullanarak giriş empedans veya admitans fonksiyonundan iki-kapılı devre parametreleri elde edildiğinde, son-

landırılan direnç 1Ω dan farklı ise, Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi parametrelerden bazıları R direncine göre normalize edilmiş şekilde hesaplanacaktır. Bu ise Bölüm (2.3)'de anlatıldığı gibi Fialkow ve Gerst tarafından önerilen testin uygulanmasına engel teşkil edecektir. Aynı zamanda band-geçiren devre, ilk önce gerçekleştirilen yapı (yüksek-geçiren veya alçak-geçiren) devre çözümünü tamamen değiştirmektedir. Bunun doğal sonucu olarak sonlandırılan direncin değeri de ilk gerçekleştirilecek yapıya göre değişmektedir. Bundan dolayı iki-kapılı devre parametrelerine bakarak sonlandırılan direncin değerini ilk bakışta tesbit eden bir yöntem geliştirmek mümkün değildir.

İki-kapılı devre parametreleri Darlington yöntemi kullanılarak bulunmuş ise, Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi Z_{22} ve Y_{22} parametreleri R direncine göre normalize edilmiş biçimde bulunacaktır. Bu iki parametreden en fazla bilgi taşıyanı ele alınıp, devre sentez edildiğinde Şekil (6.1)'deki devre, Şekil (6.2)'deki gibi olacaktır.



Şekil 6.1 Sentezi edilecek devre



Şekil 6.2 Sentezi edilen devrenin durumu

Eğer Şekil (6.2)'deki devrede bilinmeyen direncin değeri 1Ω alınırsa, sentezi edilen devrenin giriş empedansı denklem (6.3)'deki gibi ifade edilebilir.

$$Z_{in_s} = \frac{Z_{in}}{R} \quad (6.3)$$

Buradan R direnci, iki rasyonel fonksiyonun katsayıları arasındaki orandan bulunur.

İki kapılı devre parametrelerinden Z_{11} veya Y_{11} den sentez yapılırsa, sonlandırılan direnç denklem (6.3)'den bulunamaz. Çünkü bütün devre elemanları R direncine göre normalize edilmiş şekilde bulunamayacaktır. Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi Z_{11} veya Y_{11} parametreleri orijinal parametrelerdir. Herhangi bir normalizasyon işlemi yapılmadan bulunmuştur. R direnci 1Ω alınarak sentezi edilen devrenin analizi yapıldığında Z_{in_s} empedans fonksiyonu bulunacaktır. Devre Şekil (6.3)'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Analizi yapılan devre

Z_{in_s} fonksiyonunun Darlington yöntemi ile iki-kapılı devre parametreleri bulunup, Z_{in} fonksiyonunun iki-kapılı devre parametreleri ile karşılaştırıldığında; Z_{11} ve Y_{11} parametrelerinde bir değişikliğin olmadığı, Y_{22} ve Z_{22} parametrelerinde ise bir katsayı farkı olduğu görülecektir. Buradan başlangıçtaki parametrelerde saklı olan bilinmeyen direncin değeri bulunabilir.

$$R = \frac{Z_{22s}}{Z_{22}} \quad (6.4)$$

Analiz sonucundan hareket ederek bulunan devre parametresinde s indisi kullanılmıştır. Bu formülün kullanılabilmesi için, devrenin girişinden sentezi yapılmaya başlanmalıdır.

Trafosuz basamak yapıya sahip devrelerde Darlington yöntemi kullanılarak yapılan sentezde sonlandırılan direncin değeri, sentezin başladığı yere göre denklem (6.3) veya (6.4) kullanılarak bulunabileceği gösterilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler, devre yapılarından etkilenmeyecektir, her tip devre yapıları için geçerlidir.

Devrenin sentezi çıkıştan yapılmaya başlanmış ise, kayıpsız devrenin eleman değerleri R direncine göre de normalize edilmesi gerekir. De-normalizasyonda gerçek kapasitelerin değeri \hat{C} ve normalize kapasitelerin değerleri C ile gösterilirse

$$\hat{C} = \frac{C}{R} \quad (6.5)$$

olacaktır. Benzer şekilde, \hat{L} bobinler için gerçek değer, L'de normalize değer ise,

$$\hat{L} = L.R \quad (6.6)$$

olarak hesaplanır.

7. GELİŞTİRİLEN PROGRAMIN AÇIKLAMASI

7.1. Genel Olarak Programın Akış Şeması ve Açıklaması

Devrenin sentezini yapan bilgisayar programı, geliştirilmiş şekliyle Fortran 77 dilinde yazılmıştır. Fortran (Formül-çeviricisi) programlama dili adından da anlaşılacağı gibi genellikle bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır. Tercih edilen dil bu yüzden Fortran olmuştur.

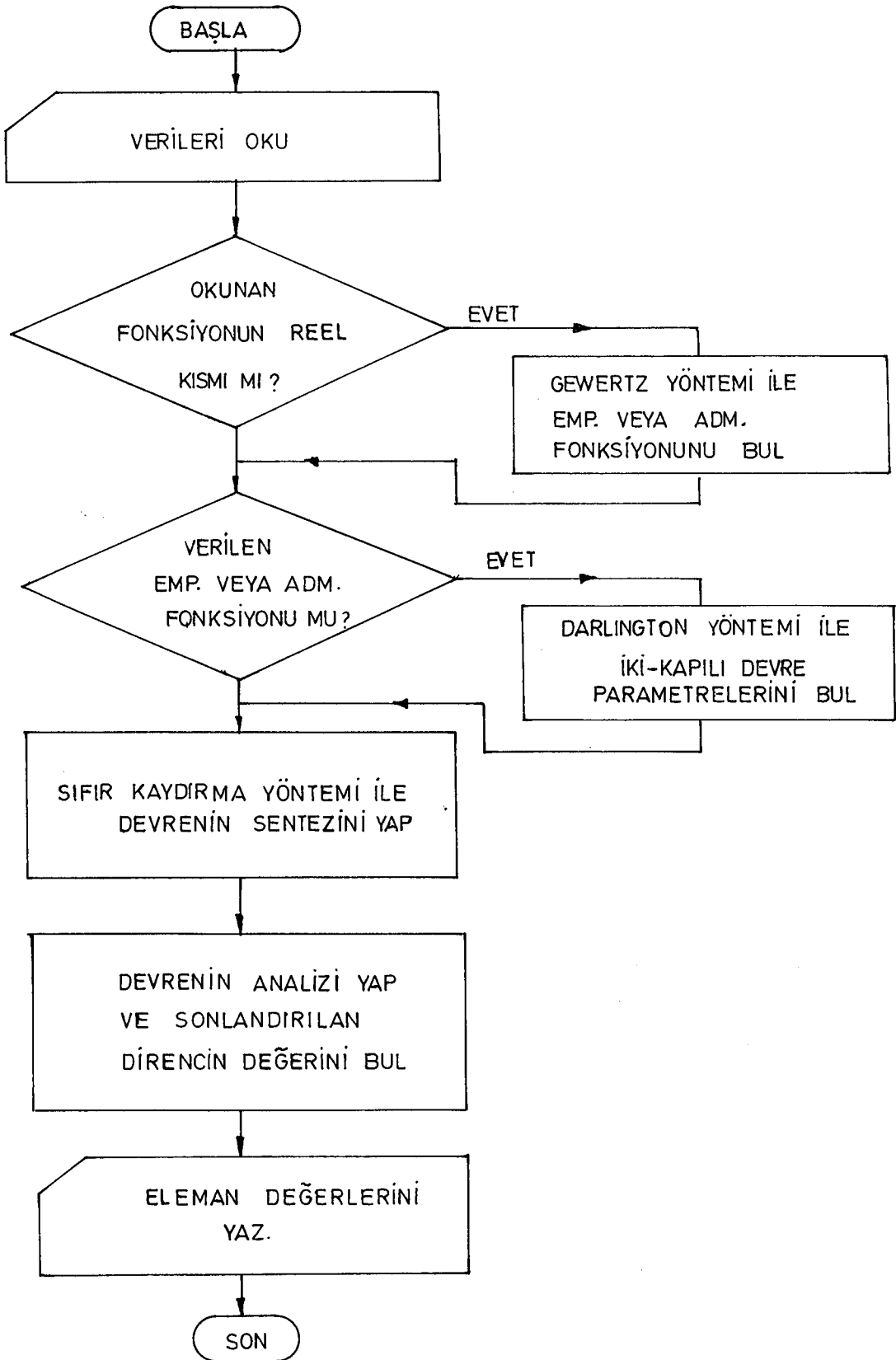
Yazılan programın genel akış şeması Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Verilen akış şemasına göre program çalıştırıldığında ilk önce veriler okunur. Kullanıcıya kolaylık sağlaması açısından, okuma işleminde hangi veri okunacak ise, kullanıcıdan o veri tek tek istenir. Ayrıca çıktıkların nerede görülmek istendiği bilgisayar tarafından sorulur. Kullanıcının isteğine göre, işlem sonuçları ekrana veya veri kütüğüne yazılır. Sonuçlar "KÜTÜK DAT" isimli kütüktedir.

Programın girdileri seçenekli olduğu için üç ayrı girdi türünde devre sentez edilir. İlk girdi türü, empedans veya admitans fonksiyonunun reel kısmına ait fonksiyondur. İkinci tip girdi ise empedans veya admitans fonksiyonunun kendisidir. Üçüncüsü ise iki-kapılı devre parametrelerinden yalnız ikisidir (F_{11} , F_{12} veya F_{22} , F_{12}).

Empedans veya admitans fonksiyonunun reel kısmı girildiğinde Gewertz yöntemi ile fonksiyonun aslı türetilir. Bulunan bu fonksiyon, gerçekleşen devrenin doğruluğunu test etmek ve sonlandırılan direncin değerini ileride bulmak için saklanır.

Programın ikinci aşaması empedans veya admitans fonksiyonundan iki-kapılı devre parametrelerinin bulunmasıdır. Bu işlem, Darlington yöntemi kullanılarak yapılır. Kayıpsız devre hakkında en fazla bilgi taşıyan iki-kapılı devre parametrelerinden biri (açık-devre giriş empedansı, açık-devre çıkış empedansı veya kısa-devre çıkış empedansı) seçilir. Seçilen bu parametre ile birlikte ona ait transfer empedans veya admitans fonksiyonu sentezin gerçekleştirildiği altprograma aktarılır.

Devrenin sentezi, sıfır kaydırma yöntemi kullanılarak yapılır. Gerçeklenecek devre, kayıpsız ve trafosuz basamak yapıda olacaktır. Bundan dolayı girilen veya hesaplanan parametreler, kayıpsız iki-kapılı devrelerin gösterdiği özelliklere sahip olmalıdır.



Şekil 7.1. Yazılan programın genel akış şeması

Program, devre parametreleri girilerek çalıştırılmışsa, gerçekleştirilen devrenin analizi yapılmaz. Çünkü sıfır kaydırma yönteminin parametreler üzerinde kontrolü vardır. Fakat devre parametreleri Darlington yöntemi ile hesaplanmışsa devre parametreleri üzerinde bilgi eksikliği olabileceğinden gerçekleştirilen devrenin doğruluğu analiz yapılarak kontrol edilir. Sentezi edilen giriş empedans veya admitans fonksiyonu, analizi edilen fonksiyon ile Bölüm 6'daki gibi karşılaştırarak, sonlandırılan direncin değeri hesaplanır.

Girilen fonksiyonun sentezi ve analizi yapıлып gerçekleştirilen devrenin doğruluğu kontrol edildikten sonra kullanıcının istediği yere sonuçları açık ve net bir şekilde yazılır.

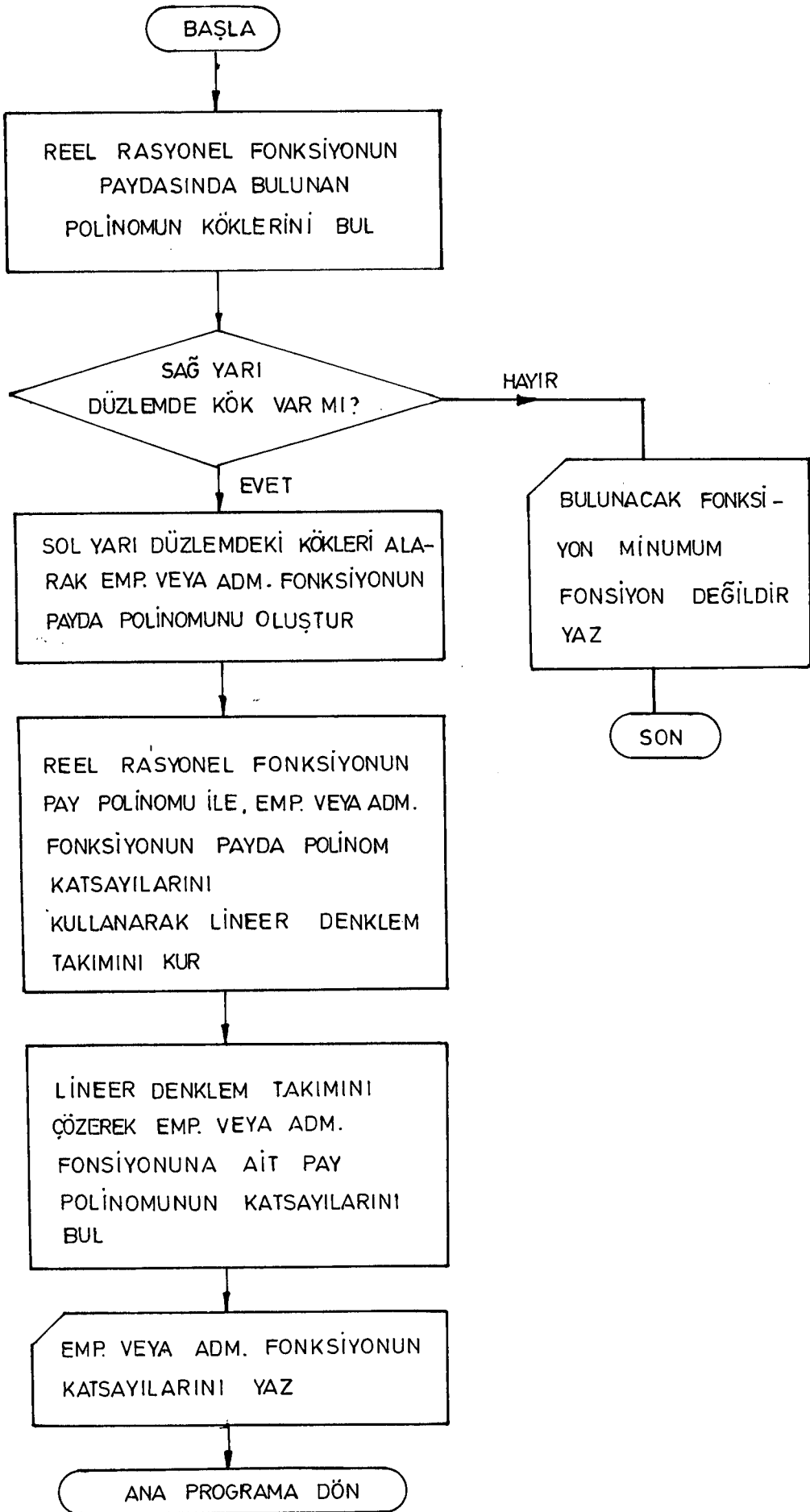
7.2. Girilen Reel Kısmıdan Fonksiyonun Kendisini Bulan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklaması

Minimum empedans veya minimum admitans fonksiyonlarının verilen reel kısımdan nasıl hesaplanacağı, ayrıntılı olarak Bölüm 3'de gösterilmiştir. Konu ile ilgili programın genel akış şeması da Şekil 7.2'de verilmiştir.

Akış şemasından görüleceği gibi ilk olarak, girilen reel kısma ait fonksiyonun paydasındaki polinomun kökleri bulunur. Bütün kökler incelenerek reel kısmın minimum fonksiyona ait olup olmadığı araştırılır. $J\omega$ -ekseni üzerinde kök varsa, bulunacak fonksiyonun, minimum fonksiyon olmadığı yazılıp, programın çalışması durdurulur.

Bulunacak fonksiyonun, minimum fonksiyon olduğu tesbit edildikten sonra kompleks düzlemin sol yarısındaki kökler alınarak bir polinom yazılır. Bulunan bu polinom, empedans veya admitans fonksiyonunun paydasındaki polinomdur. Bu aşamadan sonra geriye, minimum fonksiyonun payındaki polinomun hesaplanması kalacaktır.

Reel kısmın payındaki katsayı ve minimum fonksiyonun paydasındaki katsayıları kullanarak denklem (3.11) yardımıyla $n+1$ bilinmeyenli $n+1$ denklem yazılır. Bu denklem takımı Gauss-Jordan yöntemi ile çözümlenerek empedans veya admitans fonksiyonuna ait pay polinomunun katsayıları bulunur. Böylece aranan fonksiyon yazılır. Aynı zamanda bulunan bu fonksiyon ileride analiz ve sonlandırılan direnç değerini bulmak için bir dizi içinde saklanır.



Şekil 7.2 Gewertz yöntemi ile reel kısımdan emp. veya adm. fonksiyonunu bulan programın genel akış şekli

7.3. İki-Kapılı Devre Parametrelerini Hesaplayan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklaması

Ana programda bir altprogram olarak gösterilen iki-kapılı devre parametrelerini hesaplayan programın, genel akış şeması Şekil 7.3'de gösterilmiştir. Programda, iki-kapılı devre parametreleri, giriş empedans veya admitans fonksiyonundan Darlington yöntemi ile bulunur. Konu ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 4'de verilmiştir.

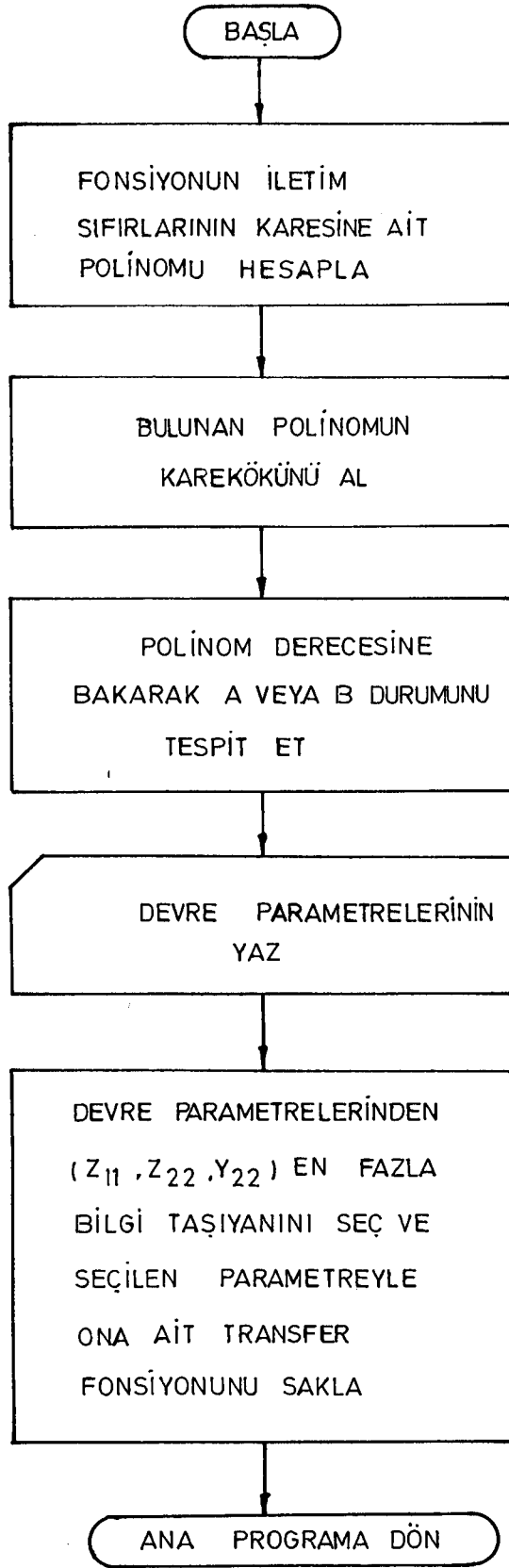
Bu altprogramda ilk olarak, girilen fonksiyonun iletim sıfırlarına ait polinomun karesi hesaplanır. Bu işlem başlangıçtaki fonksiyonunun pay ve paydasındaki tek ve çift polinomların, denklem (4.11)'deki gibi çarpımı sonucu bulunur.

İletim sıfırlarına ait karesi alınmış polinomun karekökü alınarak Z_{12} veya Y_{12} parametresinin pay polinomu hesaplanır.

Bir önceki basamakta hesaplanan polinomun derecesi çift sayı ise A durumu, tek sayı ise B durumu olduğuna karar verilir. Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi iki-kapılı devre parametrelerinden Z_{11} , Z_{12} , Z_{22} ve Y_{22} yazılır.

Z_{11} , Z_{22} veya Y_{22} parametrelerinde özel kutuplar var ise, Z_{12} veya Y_{12} parametresinin pay ve payda polinomlarında ortak sıfırlar olacaktır. Fakat programda, Z_{12} veya Y_{12} parametrelerinde hiç bir götürme işlemi yapılmadığından Z_{11} , Z_{22} veya Y_{22} parametresinde sanki hiç özel kutup yokmuş gibi devrenin sentezi rahatça yapılabilmesi sağlanmıştır.

Sentezi edilmiş devrelerde bulunan eleman sayısı, parametrelerin dereceleriyle ilgilidir. Bundan dolayı en yüksek dereceli devre parametresi seçilerek bir alt programa aktarılır. Fakat bazı devrelerde, Darlington yönteminden dolayı Z_{11} , Z_{22} veya Y_{22} parametrelerinin pay ve payda polinomlarında ortak kökler gelebilmektedir. Bu parametrelerin dereceleri yüksek olmasına rağmen devreyi tam olarak tanımlayamazlar. Sentesin hangi parametre üzerinde yapılacağına karar verilirken bu duruma da dikkat edilmiştir.



Şekil 7.3. Darlington yöntemi ile devre parametrelerini bulan programın genel akış şeması

7.4. Devrenin Sentezini Yapan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklanması

Trafosuz ve kayıpsız basamak yapıya sahip devrelerin sentezini yapan programın genel akış şeması Şekil 7.4'de verilmiştir. Devrenin sentezi Bölüm 5'de anlatıldığı gibi sıfır kaydırma yöntemiyle yapılır.

İlk önce iki-kapılı devre parametrelerinin sıfır ve kutupları bulunur. Bu sıfır ve kutuplar, küçükten büyüğe doğru sıralanmış şekilde birer dizi içine aktarılır. Böylece veriler kullanıma hazırlanmış olur.

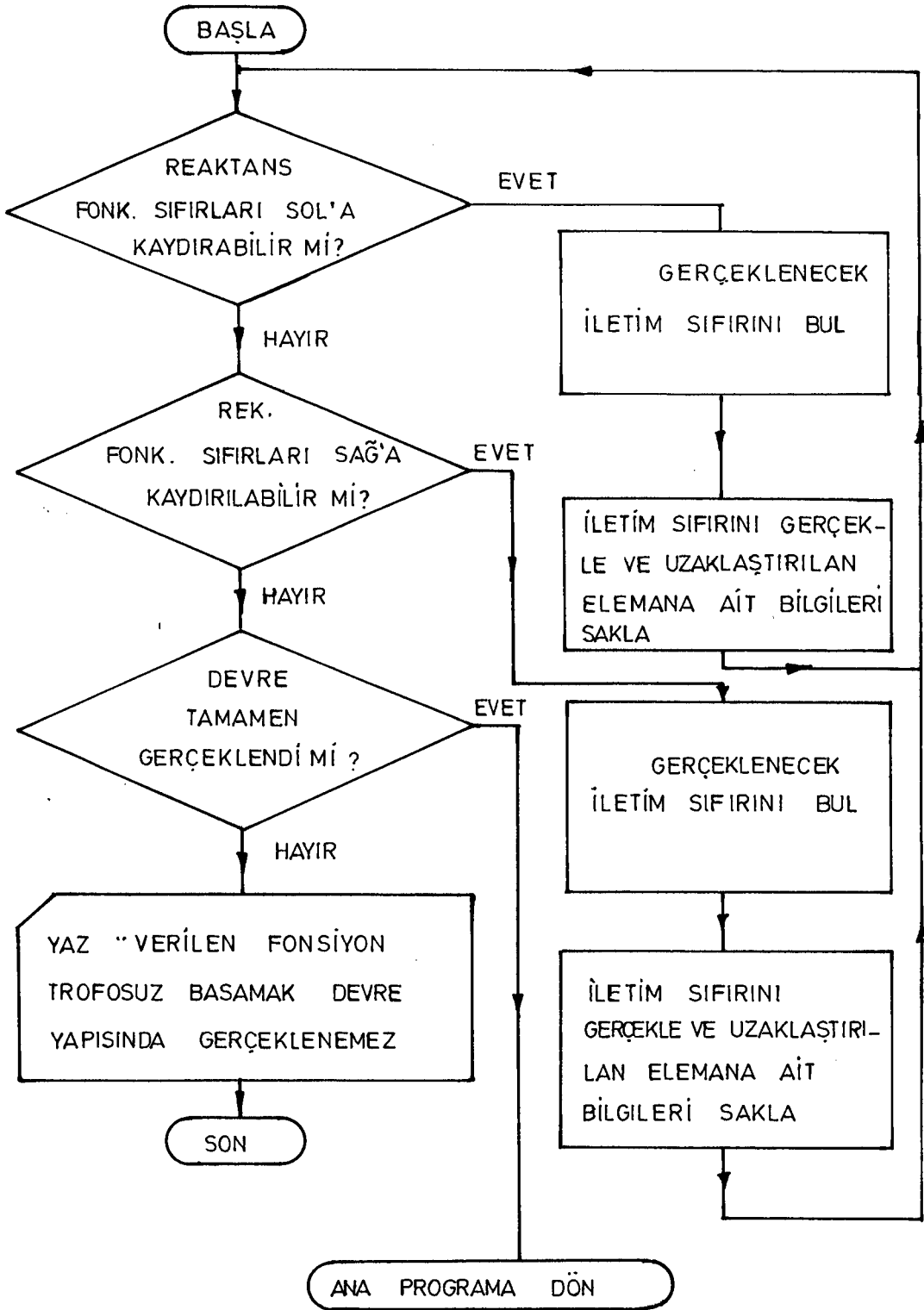
Reaktans fonksiyonundan, öncelikle yüksek frekansları geçiren elemanlar uzaklaştırılır. Bu işlemin yapılabilmesi için de bölüm 5.3.2'de anlatılan, yüksek geçiren devre yapıları için gerekli şartlardan; orijinde bir iletim sıfırının ve reaktans fonksiyonunun kutbunun olması aranır. Bu iki şart sağlandığında, fonksiyon sıfırlarının sol tarafa doğru kaydırılması işlemine başlanır. Sıfırların kaydırılması işleminde gerçekleştirilecek iletim sıfırının bilinmesi gerekir. Gelişigüzel bir iletim sıfırı gerçekleşirse, reaktans fonksiyonunun pozitif reel rasyonel olma özelliği bozulabilir. Böyle bir durumun olmasını önlemek için minimum artık terimi fonksiyondan uzaklaştıran iletim sıfırı bulunur. Gerçeklenecek iletim sıfırı tesbit edildikten sonra reaktans fonksiyonunun o frekansta sıfırının olması için en yakın sağ taraftaki sıfır o noktaya kaydırılır. Bu işlem için sıfırda kısmi olarak kutup uzaklaştırılır. Uzaklaştırılan artık terimin tersi alınarak eleman değeri bulunur. Bu şekilde reaktans fonksiyonunun sıfırı, iletim sıfırının bulunduğu yere gelir. Reaktans fonksiyonunun tersi alınarak suseptans fonksiyonu elde edilir. Böylece istenilen yerde bir kutup oluşturulur. Bu kutbun suseptans fonksiyonundan tam olarak uzaklaştırılması sonucu o iletim sıfırı gerçekleşmiş olur. Suseptans fonksiyonunun tersi alınarak reaktans fonksiyonu bulunur ve ikinci bir iletim sıfırını gerçekleştirmek üzere programın başına dönlür.

Bazı reaktans fonksiyonlarında orjinde bulunan kutbun kısmi olarak uzaklaştırılması sonucu sıfırlar iletim sıfırlarının olduğu yere kadar kaymayabilir. Bu durumda orjindeki kutup tam olarak uzaklaştırılır.

Gerçeklenecek devre alçak frekansları geçiren bir yapıya veya band-geçiren devre olup, yüksek-geçiren bir yapı gerçekleşmiş, sıra alçak-geçiren bir yapıya gelmiş ise, reaktans fonksiyonunun sıfırları sağ tarafa doğru kaydırılır. Pozitif reel özelliği bozulmadan fonksiyon sıfırlarının sağ tarafa kaydırılabilmesi için Fujisawa şartlarının sağlanması gerekir. Reaktans fonksiyonu bu şartları taşıyorsa, sıfırların sağa kaydırılma işlemi başlar. Sonsuzda kısmi olarak uzaklaştırılan kutupda minimum artık terimi veren iletim sıfırı bulunur. Reaktans fonksiyonunun belirlenen bu frekansta sıfır olabilmesi için sonsuzda kısmi olarak kutup uzaklaştırılır. Hesaplanan bu artık terim eleman değeri olarak alınır. Böylece reaktans fonksiyonunun w-ekseni üzerinde istenilen yerde bir sıfırı oluşturulmuş olur. Fonksiyonun tersi alınarak suseptans fonksiyonu bulunur ve iletim sıfırının üstünde bulunan kutup fonksiyondan tam olarak uzaklaştırılır. İletim sıfırını oluşturan eleman değerleri hesaplanır. Yeniden suseptans fonksiyonunun tersi alınarak diğer iletim sıfırlarının gerçekleşmesi için programın başına dönülür.

Sıfırlar; sonlu yerdeki iletim sıfırlarının olduğu yere kadar kaydırılamıyorsa sonsuzdaki kutup tam olarak uzaklaştırılır.

Reaktans fonksiyonu, sıfırların sağ veya sol tarafa kaydırılması için gerekli özelliklere sahip değil ise, tersi alınarak suseptans fonksiyonu bulunur. Suseptans fonksiyonunda da, sıfırlar sağa veya sola kaydırılamıyorsa, verilen fonksiyon trafosuz basamak devre yapısında gerçekleşemez yazılır ve programın çalışması durdurulur. Girilen fonksiyona ait devre tamamen gerçekleşmiş ise ana programa dönülür.



Şekil 7.4. Sıfır kaydırma yöntemi ile devrenin sentezini yapan bilgisayar programının genel akış şeması

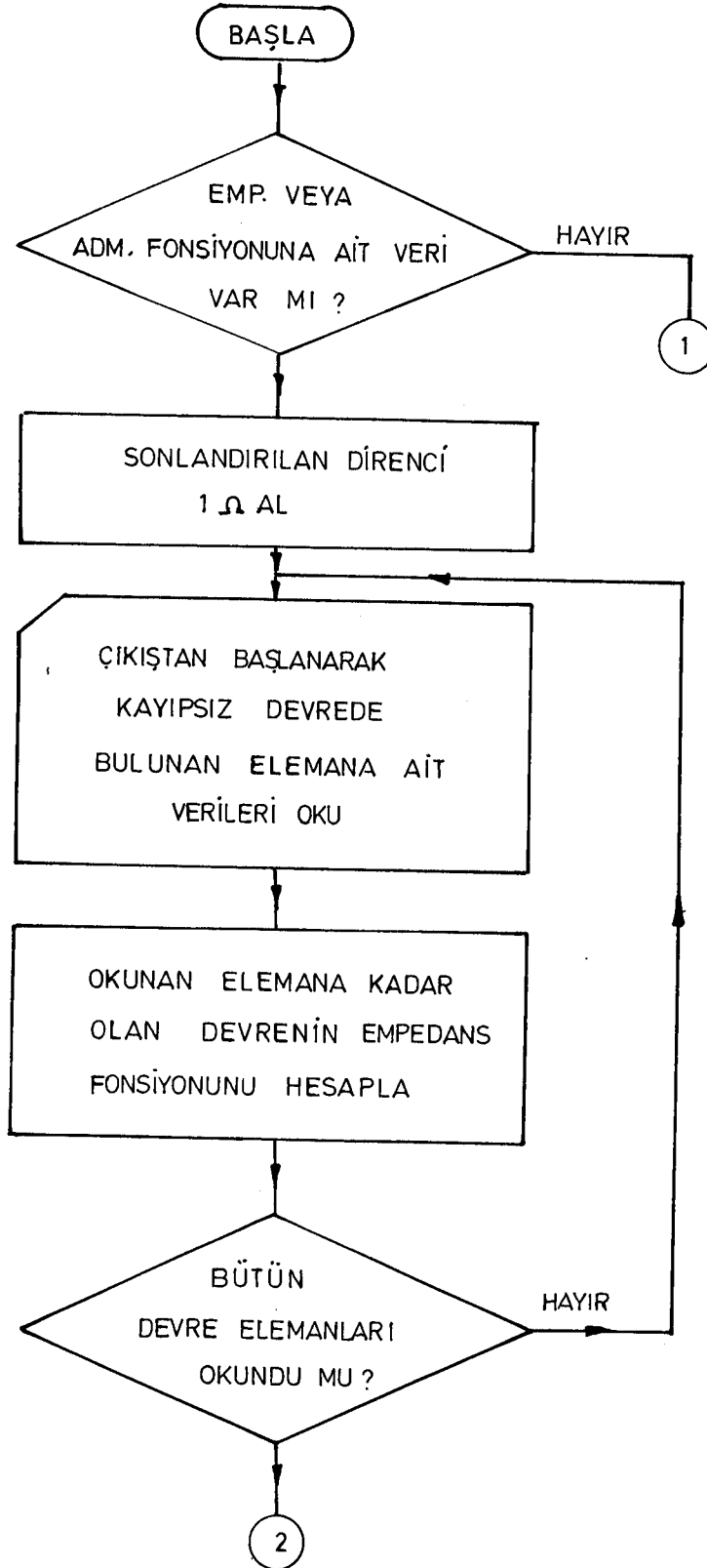
7.5. Devrenin Analizini ve Sonlandırılan Direncin Değerini Bulan Programın Genel Akış Şeması ve Açıklaması

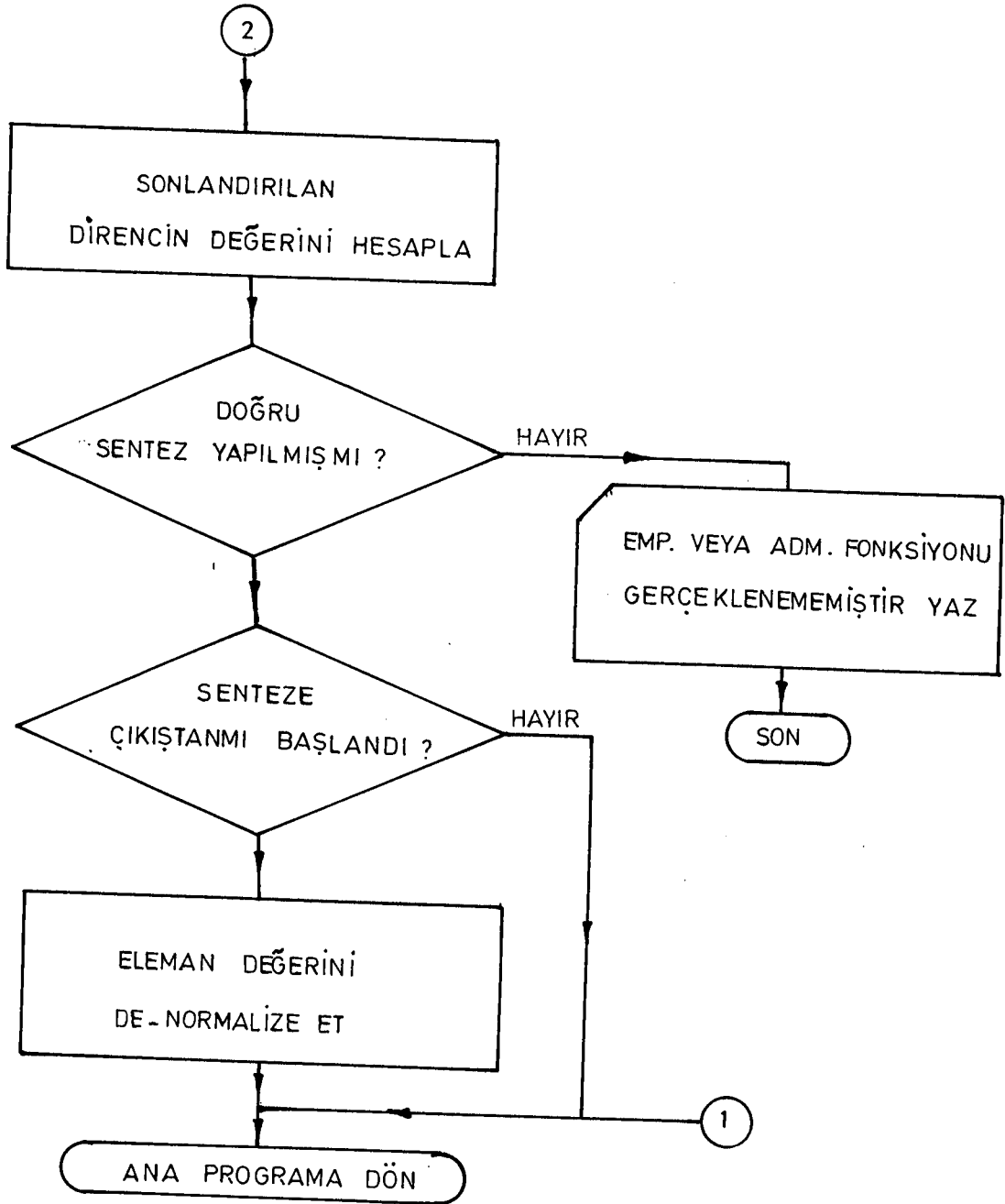
Yapılan sentezin doğruluğunu kontrol etmek ve Darlington devresindeki sonlandırılan direncin değerini Bölüm 6'daki gibi bulmak için analiz programı yazılmıştır. Programın genel akış şeması Şekil 7.5'de verilmiştir.

Ana programa iki-kapılı devre parametrelerinden yalnız ikisi girilerek senteze başlanmış ise, devrenin analizi yapılmaz. Çünkü sentez, bu iki parametre üzerinde yapılmış ve doğruluğu kontrol edilmiştir. İki parametrenin içerdiği bilgiler tam olarak yerine getirilemiyorsa programın çalışması Şekil 7.4'de gösterildiği gibi durdurulur. Bundan dolayı, böyle durumlarda analiz programına ihtiyaç yoktur.

İki kapılı devre parametreleri Darlington yöntemi ile elde edilmiş ve kayıpsız devrenin sentezi yapılmış ise analiz programı çalıştırılır. Sentezi edilen devrenin giriş empedans fonksiyonunun bulabilmek için bilinmeyen direncin değeri 1Ω alınır. Kayıpsız iki-kapılı devrenin çıkışından başlanarak eleman değerleri tek tek okunur. Elemanın değerine cinsine ve bulunduğu kol'a göre, elemana ait empedans fonksiyonu bulunur. Bir önceki basamakta hesaplanan empedans fonksiyonu ile elemana ait fonksiyon toplanır. Bütün devre elemanları okunusıya kadar bu işleme devam edilir. Böylece, sentezi edilen kayıpsız devrenin 1Ω 'la sonlandırılmış haliyle giriş empedans fonksiyonu bulunur.

Devrenin sentezine; girişten başlanmışsa (6.4), çıkıştan başlanmışsa (6.3)'deki denklem yardımıyla sonlandırılan direncin değeri bulunur. Hesaplanan empedans fonksiyonu ile başlangıçta girilen empedans fonksiyonu karşılaştırılarak sentezin doğruluğu kontrol edilir. Sentez doğru olarak yapılamamışsa, devrenin gerçekleştirilemediği yazılır ve programın çalıştırılması durdurulur. Aksi takdirde, senteze çıkıştan başlanmışsa bütün eleman değerleri R direncine göre normalize edilir. Bulunan eleman değerleri kullanıcının istediği bir yere yazılmak üzere ana programa döndülür.





Şekil 7.5. Devrenin analizini ve sonlandırılan direncin değerini bulan programın genel akış şeması

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Empedans veya admitans fonksiyonunun reel kısmı verildiğinde devrenin sentezini yapabilmek için geliştirilen algoritmada, girdi türünün çoğaltılması sağlanmıştır. Böylece birbirinden farklı aşamalarda ve değişik amaçlar için bulunmuş fonksiyonların da sentezinin yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu girdiler; pozitif reel rasyonel fonksiyonunun reel kısmı, giriş empedans veya admitans fonksiyonu ve empedans veya admitans parametreleri olmuştur.

Gerçeklenen devrenin sentezi bir yük direnci ile sonlandırılmış kayıpsız iki-kapılı devre şeklindedir. Devrenin bu şekilde gerçekleştirilmesiyle kaynak ile yük arasındaki bağlantıyı yapan devrede aktif güç harcanması engellenmiştir. Böylece kaynak ile yük arasında empedans uyumlaştırılması sağlanmıştır. Kayıpsız devrenin sentezi ise trafosuz ve basamak devre yapısında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede toplu devre elemanları ile gerçekleştirilen devrelerin yüksek frekanslarda pratiğe uyum göstermesi sağlanmıştır.

Empedans veya admitans fonksiyonunun reel kısmından fonksiyonun aslı, Gewertz yöntemi ile türetilmiştir. Bu konuda ikinci bir yöntem de Bode tarafından geliştirilmiştir. Her iki yöntemde de türetilen fonksiyonun minimum fonksiyon olması gerekir. Uygulamada bu iki yöntemin birbirlerine karşı herhangi bir üstünlüğü yoktur [1].

Kayıpsız iki kapılı devrenin sentezini reaktans fonksiyonları üzerinde çalışarak yapabilmek için giriş empedans fonksiyonundan iki-kapılı devre parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen parametreler reaktans fonksiyonları şeklinde geldiğinden, gerçekleştirilecek iletim sıfırının hangi reaktans fonksiyonunun sıfırından ve kutupundan olacağına karar vermek daha kolay olmuştur. Kayıpsız devrenin sentezine, girişten veya çıkıştan da başlama imkanına sahip olunmuştur.

Devrenin sentezi, sıfır kaydırma yöntemiyle yapılmıştır. Herhangi bir iletim sıfırını gerçekleyebilmek için sonsuzda veya sıfırda kısmi olarak kutup uzaklaştırılmıştır. Sonlu bir yerdeki (sıfırharicinde) kutup, iletim sıfırını gerçekleştirilmede kısmi olarak uzaklaştırılmadığı için sentezde kullanılan eleman sayısı minimum olmuştur.

Kayıpsız iki-kapılı devre, yüksek-geçiren, alçak-geçiren veya band-geçiren bir yapıya sahip ise, sentez sıfır kaydırma yöntemi ile yapılabilmiştir. Band-yıtan devrelerin sentezi yapılamamıştır. Band-geçiren devrelerin sentezinde, ilk önce yüksek-geçiren yapı daha sonra da alçak-geçiren yapı gerçekleştirilmiştir. Alçak veya yüksek geçiren yapıların olabilmesi için gerek ve yeter şartlar bilindiği için, bu şartlar bozulmadan, devrenin sentezi yapılabilmiştir. Böylece devreden herhangi bir gerçekleştirilebilir eleman uzaklaştırılırken, geride kalan fonksiyonun pozitif reel rasyonel fonksiyon olma özelliği bozulmamıştır. Band geçiren devrelerin sentezinde gerçekleştirilen ilk yapının kayıpsız devre çözümünü tamamen değiştirdiği görülmüştür. Kayıpsız devrenin çözümünün tamamen değişmesi sonucu, sonlandırılan direnç değeri de değişmiştir. Devre, yalnızca yüksek geçiren veya yalnızca alçak geçiren bir yapıya sahip ise senteze kayıpsız devrenin girişinden veya çıkışından başlanması çözümü değiştirmemiştir.

Giriş empedans veya admitans fonksiyonu minimum fonksiyon ise, en yüksek dereceye sahip parametre (F_{11} veya F_{22}) seçilerek ve ona ait transfer fonksiyonu alınarak (F_{12}) kayıpsız devrenin sentezinin tam olarak gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Giriş empedans veya admitans fonksiyonu minimum fonksiyon olmadığında, devre parametrelerinden yalnız ikisinin (F_{11} , F_{12} veya F_{12} , F_{22}) devreyi tam olarak tanımlayamadığı görülmüştür.

Kayıpsız devrenin sentezi iki-kapılı devre parametreleri üzerinde çalışılarak yapıldıktan sonra sonlandırılan direncin değerini bulabilmek ve gerçekleştirilen devrenin doğruluğunu test etmek için analize ihtiyaç duyulmuştur. Sonlandırılan direncin değerini bulan yeni bir yöntem de geliştirilmiştir.

Bilgisayar programlama dillerinden Fortran, bilimsel çalışmalara yatkınlığından dolayı tercih edilen dil olmuştur.

9. ÖNERİLER

Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programına eklenecek optimizasyon programıyla, kaynak ile yük direnci arasında maksimum güç aktarımın yapılması sağlanabilir. Çevrim güç kazancının optimizasyonunda, üzerinde çalışılan fonksiyon pozitif reel rasyonel fonksiyonun reel kısmı ise, optimizasyon sonuçları ile direk bu programa girilebilir.

Hazırlanan program, band-yutan devre özellikleriyle desteklenirse bu tip devre yapılarının da, sentezi yapılabilir. Bunun için de band-yutan devre özelliklerinin tam olarak tesbiti gereklidir.

Pasif devre elemanlarından oluşan devre, alçak frekanslarda kullanılacak ise, sentezde trafo kullanılabilir. Brune sentezindeki şartlar, sıfır kaydırma yöntemindeki programa eklenerek, trafo lu tasarımlar da gerçekleştirilebilir.

Gerçeklenecek devre çok yüksek frekanslarda kullanılacak ise, toplu devre elemanları yerine dağılmış devre elemanları tercih edilebilir. Programa dönüşüm formülleri eklenerek sentezi edilen devre dağılmış devre elemanları cinsinden bulunabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Balabanian, N., 1958, Network Synthesis Prentice-Hall, 430 p
2. Keskinel, F., ve Karadoğan, F., 1984, Açıklamalı örneklerle Fortran IV ve Fortran 77 algoritma kurma ve program geliştirme, Birsen Yayınevi 378 s
3. Matthaei, G.L., Young, L. and Jones, E.M.It., 1984, Microwave filters impedance matching networks and coupling structures, McGraw-Hill Inc., 1096 p
4. Temes G.C 1977, Introduction to circuit synthesis and design, McGraw-hill Inc., 596 p
5. Tokat, Yılmaz, 1972, Foundations of passive electrical network synthesis, Vol.11, Ajans-Türk Printing and Publishing Co.328 p
6. Yarman, B.S.B., 1985, Doğrusal reel frekans tekniği ile geniş bandlı empedans uyumlaştırılması ve mikrodalga kuvventelnidirici tasarımı, Anadolu Üniversitesi Vakfı, 68 s
7. Yarman B.S.B., 1984, Modern approaches to broadband matching problems, IEEE preceedings, Vol 132, 6 p
8. Weinberg, L., 1962, Network analysis and synthesis, 692 p.

EKLER

EK.1. Bir Uygulama

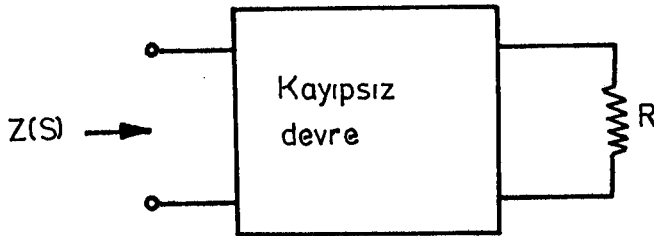
EK.2. Geliştirilen Bilgisayar Programı

EK.3. Programın Çıktıları

EK-1

BİR UYGULAMA

Bu bölümde, 4 adımdan oluşan sentez yönteminin nasıl yapıldığı bir uygulama üstünde gösterilmiştir.



Şekil E1.1 Örnek devre

Şekil E1.1'de görülen empedansın reel kısmına ait fonksiyon,

$$\operatorname{Re} \{Z(s)\} = \frac{s^4}{-s^6 + s^4 - s^2 + 1}$$

verildiğinde devrenin sentezi şöyle olacaktır.

1. ADIM: Gewertz Yöntemi ile fonksiyonun aslının türetilmesi:

$\operatorname{Re}[Z(s)]$ fonksiyonunun payda polinomunun kökleri bulunur ve sol yarı düzlemdeki kökler alınarak $Z(s)$,

$$Z(s) = \frac{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^3 + 2,414s^2 + 2,414s + 1}$$

olarak bulunur. Bu aşamadan sonra payda polinomunun katsayıları,

$$0 = a_0$$

$$0 = 2,414a_0 - 2,414a_1 + a_2$$

$$1 = -1a_1 + 2,414a_2 - 2,414a_3$$

$$0 = a_3$$

denklem takımından hesaplanır. Böylece

$$Z(s) = \frac{0,5s^2 + 0,207s}{s^3 + 2,414s^2 + 2,414s + 1}$$

empedans fonksiyonu türetilmiş olur.

2. ADIM: Bulunan fonksiyondan iki-kapılı devre parametrelerinin hesaplanması:

Empedans fonksiyonunun pay ve paydasındaki polinomların tek ve çift kısımları,

$$m_1 = 0,5s^2 \quad m_2 = 2,414s^2 + 1$$

$$n_1 = 0,207s \quad n_2 = s^3 + 2,414s$$

şeklindedir. Buradan iletim sıfırlarına ait polinomun karesi

$$E = m_1 m_2 - n_1 n_2 = s^4$$

bulunur. Bu polinomun karekökü alınarak

$$\sqrt{E} = s^2$$

hesaplanır. \sqrt{E} çift fonksiyon olduğundan A durumunun olduğu tesbit edilir. A durumunda, R direncine göre normalize parametreler,

$$Z_{11} = \frac{m_1}{n_2} = \frac{0,5s^2}{s^3 + 2,414s}$$

$$Z_{12} = \frac{\sqrt{E}}{n_2} = \frac{s^2}{s^3 + 2,414s}$$

$$Z_{22} = \frac{m_2}{n_2} = \frac{2,414s^2 + 1}{s^3 + 2,414s}$$

$$Y_{22} = \frac{n_1}{m_1} = \frac{0,207s}{2,414s^2 + 1}$$

şeklindedir. Z_{11} , Z_{22} ve Y_{22} parametreleri arasında en fazla bilgi taşıyanı Z_{22} parametresidir. Bundan dolayı Z_{22} ve Z_{12} parametreleri seçilir.

3. ADIM: Sıfır kaydırma yöntemi ile devrenin sentezi:

Z_{12} parametresinde herhangi bir kısaltma işlemi yapılmadığından, bu parametrenin sıfırları iletim sıfırındır.

İletim sıfırları:

$s = 0$ da iki adet

$s \rightarrow \infty$ da bir adet

Z_{22} nin sıfırları:

$s = \mp j0,644$

$s \rightarrow \infty$

Z_{22} 'nin kutupları:

$s = \mp j1,553$

$s = 0$

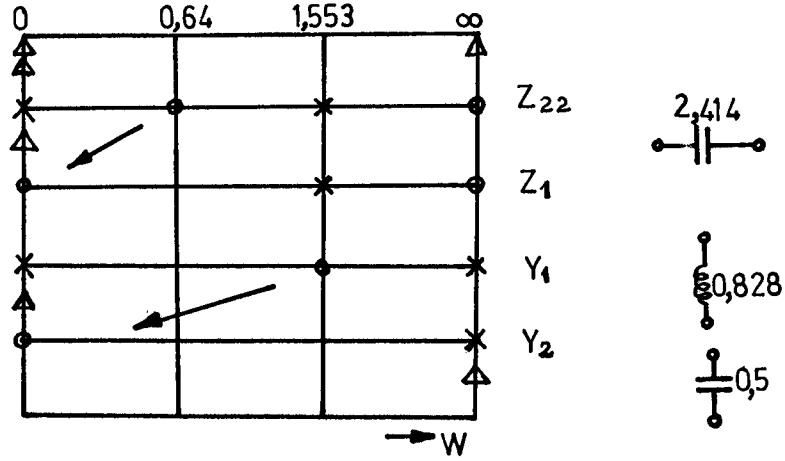
$$Z_{22} = \frac{2,414s^2 + 1}{s^3 + 2,414s}$$

$$Z_1 = \frac{2,414s^2 + 1}{s^3 + 2,414s} - \frac{1}{2,414s} = \frac{2s}{s^2 + 2,414}$$

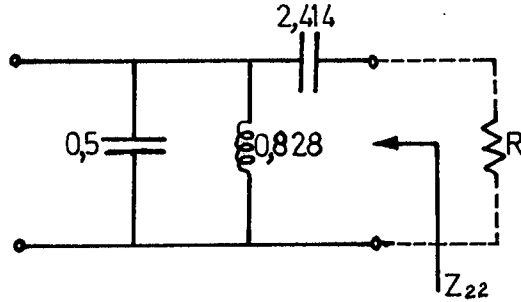
$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \frac{s^2 + 2,414}{2s}$$

$$Y_2 = \frac{s^2 + 2,414}{2s} - \frac{2,414}{2s} = \frac{s}{2}$$

Çizelge El.1 Sentezin aşamaları



Çizelge El.1'deki gibi devre sentez edilirse, aşağıdaki devre bulunur.



Şekil El.2 Sentezi edilen devre

Sentezi edilen devrede eleman değerleri R direncine göre normalize değerlerdir.

4. ADIM: R direncinin bulunması

Şekil 8.2'deki devrede direncin değeri

$$R = 1$$

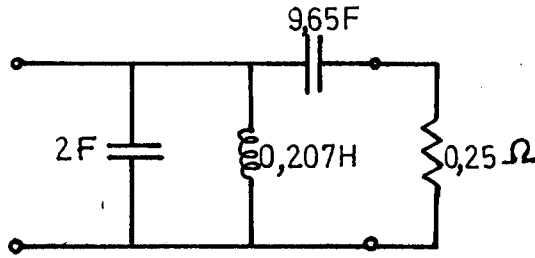
alınırsa, girişten görülen empedans

$$Z_a = \frac{2s^2 + 0,828s}{s^3 + 2,414s^2 + 2,414s + 1}$$

Bu durumda sonlandırılan direnç değeri

$$R = \frac{Z(s)}{Z_a(s)} = 0,25 \Omega$$

bulunacaktır. Son olarak ta Şekil El.2'deki devre, R direncine göre de normalize edilirse,



Şekil El.3. Devrenin son hali

başlangıctaki empedans fonksiyonunun sentezi tam olarak gerçekleştirilmiş olur.


```

NEP=1
ELSE IF (ISIM.EQ.'R'.OR.ISIM.EQ.'REF') THEN
NEP=0
ELSE
2050 WRITE (5,2050)
FORMAT (' YANLIS GIRDINIZ TEKRARLAYIN')
GOTO 2025
END IF
5555 WRITE (5,2060)
2060 FORMAT (' PAYIN DERECESI=', $)
READ (5,*)NR
WRITE (5,2070)
2070 FORMAT (' PAYDANIN DERECESI=', $)
READ (5,*)N
NIN=N+1
WRITE (5,2090)
2090 FORMAT (' PAYIN KATSAYILARI',/, '-----')
DO 2080 I=1,NR+1
WRITE (5,2100)I-1
IF (NEP.EQ.1) THEN
READ (5,*)AA(I)
ELSE
READ (5,*)C(I)
END IF
2080 CONTINUE
2100 FORMAT (' A(',I2,' )=', $)
WRITE (5,2110)
2110 FORMAT (' PAYDANIN KATSAYILARI',/, '-----')
DO 2120 I=1,N+1
WRITE (5,2130)I-1
IF (NEP.EQ.1) THEN
READ (5,*)A(I)
ELSE
READ (5,*)E(I)
END IF
2120 CONTINUE
2130 FORMAT (' B(',I2,' )=', $)
LA=N
IF (NPA.EQ.1) THEN
WRITE (5,3100)
3100 FORMAT (' F12 PAYININ DERECESI=', $)
READ (5,*)NP
WRITE (5,3000)
3000 FORMAT (' F12 PAYININ KATSAYILARI',/, '-----')
DO 3200 I=1,NP+1
READ (5,*)A(I)
3200 WRITE (5,3300)I-1
3300 FORMAT (' C(',I2,' )=', $)
IF (NEMP.EQ.1) THEN
CALL ZSHIFT (C,NR,E,N,A,NP)
ELSE
CALL ZSHIFT (E,N,C,NR,A,NP)
END IF
AR=1
GOTO 6666
END IF
IF (NEP.EQ.1)GOTO 8888
CALL GWRTZ (C,E,A,AA,N,LA,NR)
WRITE (KONT,10)
10 FORMAT (' ***** PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI *****')

```

```

DO 3 I=1,LA+1
WRITE (KONT,12)I,A(I)
12  FORMAT ( ' B(' ,I2, ' )=' ,T8,F10.3)
3   CONTINUE
    A(LA+2)=0.
    WRITE (KONT,20)
20  FORMAT ( '***** PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI *****' )
    DO 4 I=1,NR+2
    WRITE (KONT,22)I,AA(I)
22  FORMAT ( ' A(' ,I2, ' )=' ,T8,F10.3)
4   CONTINUE
8888 CONTINUE
    IF (NEMP.EQ.1) THEN
    CALL CFE (LA,NR,AA,A,)
    ELSE
    CALL CFE (NR,LA,A,AA)
    END IF
    J=1
    CALL VERSAK (A,M,B,N,J)
    CALL ANGIR (A,B,AR)
    WRITE(KONT,2300)AR
2300 FORMAT ( ' R=' ,F8.3)
6666 CALL SONYAZ (AR)
    DO 432 I=1,22
    A(I)=0
    D(I)=0
    B(I)=0
    X(I)=(0,0)
    R(I)=(0,0)
    AA(I)=0.
    C(I)=0.
432  E(I)=0.
    PRINT*, 'DEV'
    READ(5,*)DEV
    IF (DEV.EQ.1) GOTC 1889
    CLOSE (3)
    STOP
    END
C*****
C GWRT SUB. REEL KISMI VERILEN FONKSIYONUN ASLINI HESAPLAR
C   GIRDIRLER:
C   RECF(S)J=(C(0)+C(1)+...+C(NR))/(E(0)+E(1)+...+E(N))
C   CIKTILAR:
C   F(S)=(AA(0)+AA(1)+...+AA(NR))/(A(0)+A(1)+...+A(LA))
C*****
SUBROUTINE GWRTZ (C,E,A,AA,N,LA,NR)
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),AA(22),C(22),E(22)
COMPLEX *16 X(22)
COMPLEX *16 R(22)
CALL PFACT (E,R,N+1)
L=1
DO 2 I=1,N
Z=REAL(R(I))
IF (Z.LE.0) GOTO 2
X(L)=R(I)
L=L+1
X(L)=(0.,0.)
2   CONTINUE
LA=N/2

```

```

CALL PCOF (LA,X,A)
A(LA+2)=0.
DO 3 I=1,NR+1
3 C(I)=C(I)/E(1)
CALL GMAT (LA,C,A,AA,NR)
RETURN
END
C*****
C GMAT SUB. GEWERTZ YONTEMINDE KULLANILAN MATRISI OLUSTURUR
SUBROUTINE GMAT (N,A,B,D,M)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),C(22,22),D(22)
DO 10 L=1,2
MN=L-1
MS=MN
DO 10 K=L,N+1,2
DO 15 I=L,N+1,2
MN=MN+1
15 C(MN,K)=B(I)*(-1)**(L-1)
MN=MS+1
MS=MS+1
10 CONTINUE
DO 16 I=1,N+1
16 C(I,N+2)=A(I*2-1)
N1=N+1
CALL SOLV (C,N)
DO 20 I=1,N1
D(I)=C(I,N1+1)
20 CONTINUE
M=N1
40 IF (D(M).EQ.0) THEN
M=M-1
GOTO 40
END IF
M=M-1
RETURN
END
C*****
C SOLV SUB N1 BILINMIYENLI N1 DENKLEMI GAUSS-JORDON YONTEMI ILE COZ
SUBROUTINE SOLV (A,N1)
C*****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22,22)
N=N1+1
DO 10 I=1,N
IS=-1
13 IS=IS+1
IF (A(I+IS,I).EQ.0.) GOTO 13
DO 19 K=1,N+1
19 A(I,K)=A(I,K)+A(I+IS,K)
T=A(I,I)
DO 7 K=1,N+1
7 A(I,K)=A(I,K)/T
DO 10 J=1,N
IF (J-I) 15,10,15
15 T=A(J,I)
DO 35 K=1,N+1
35 A(J,K)=A(J,K)-T*A(I,K)
10 CONTINUE

```

```

RETURN
END
C*****
C PFACT SUB. IMSL PAKET PROGRAMINDAKI KOK BULMA SUB. CAGIRIR
SUBROUTINE PFACT (E,R,NIN)
C*****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION E(22),A(22)
COMPLEX*16 R(22)
K=NIN+1
DO 10 I=1,NIN
K=K-1
10 A(K)=E(I)
NDEG=NIN-1
CALL ZRPOLY (A,NDEG,R,ICONT)
RETURN
END
C*****
C DARLINGTON YONTEMINI KULLANARAK EMPEDANS FONKSIYONUNDAN
C IKI KAPILI DEVRE PAREMETRELERINI HESAPLAR
SUBROUTINE CFE (N,M,A,B)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22)
DO 3 I=1,M+3
CK=DABS(A(I))
CK1=DABS(B(I))
IF (CK.LT.1E-6) THEN
A(I)=0
END IF
IF (CK1.LT.1E-6) THEN
B(I)=0
END IF
3 CONTINUE
J=0
CALL VERSAK (A,M,B,N,J)
CALL KOKE (A,M,B,N)
RETURN
END
C*****
C YONTEM SUB: IKI KAPILI DEVRE PAREMETRELERINI YAZAR
C VE SENTEZIN HANGISINDEN YAPILACAGINA KARAR VERIR
SUBROUTINE YONTEM (A,M,B,N,C,K,D,KA,E,KB)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
COMMON KONT
DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22),E(22)
WRITE (KONT,100)
100 FORMAT (' ',/, ' Z11 PAY POLINOMU',/, ' -----')
DO 1 I=1,M+1
1 WRITE (KONT,110)I-1,A(I)
110 FORMAT (' A(',I2,')=',F10.3)
WRITE (KONT,120)
120 FORMAT (' ',/, ' Z11 PAYDA POLINOMU',/, ' -----')
DO 2 I=1,N+1
2 WRITE (KONT,130)I-1,B(I)
130 FORMAT (' B(',I2,')=',F10.3)
WRITE (KONT,140)
140 FORMAT(' ',/, ' Z12 PAY POLINOMU',/, ' -----')
DO 3 I=1,K+1

```

```

      CK=DABS(C(I))
      IF (CK.LT.1E-4) THEN
      C(I)=0
      END IF
3      WRITE (KONT,150)I-1,C(I)
150     FORMAT (' C(',I2,')=' ,F10.3)
      WRITE (KONT,160)
160     FORMAT (' ',/, ' Z22 PAY POLONOMU',/, ' -----')
      DO 4 I=1,KA+1
4      WRITE(KONT,170)I-1,D(I)
170     FORMAT (' D(',I2,')=' ,F10.3)
      WRITE(KONT,180)
180     FORMAT(' ',/, ' Y22 ILE Z11 AYNI PAY POLINOMUNA SAHIP',/, ' --
1-----',/, ' ',/, ' Y22 PAYDA POLINOMU',/, '
2-----')
      DO 5 I=1,KB+1
5      WRITE (KONT,190)I-1,E(I)
190     FORMAT (' E(',I2,')=' ,F10.3)
      CALL ORTAKZ (A,B,M,N,K1)
      CALL ORTAKZ (A,E,M,KB,K2)
      CALL ORTAKZ (D,B,KA,N,K3)
      IF (M.GE.KA.AND.K1.EQ.0.AND.N.GE.KB) THEN
200     WRITE (KONT,200)
      FORMAT (' GIRISTEN BAKILİYOR , ÇIKIŞ ACIK DEVRE')
      CALL BAKIS (1,0,0)
      CALL ZSHIFT (A,M,B,N,C,K)
      ELSE IF (KB.GE.N.AND.K2.EQ.0.AND.M.GE.KA.OR.K3.GT.K2) THEN
210     WRITE (KONT,210)
      FORMAT (' ÇIKIŞTAN BAKILİYOR, GİRİŞ KISA DEVRE')
      CALL BAKIS (1,1,0)
      CALL ZSHIFT (E,KB,A,M,C,K)
      ELSE
220     WRITE (KONT,220)
      FORMAT(' ÇIKIŞTAN BAKILİYOR, GİRİŞ ACIK DEVRE')
      CALL BAKIS (1,1,0)
      CALL ZSHIFT (D,KA,B,N,C,K)
      END IF
      RETURN
      END
C*****
C      A VE B POLINOMLARINDAKİ ORTAK SIFIRLARIN SAYISINI BULUR
      SUBROUTINE ORTAKZ (A,B,M,N,K)
C*****
      IMPLICIT REAL *8(A-H,D-Z)
      DIMENSION A(22),B(22),X(22),S(22)
      COMPLEX *16 C(22)
      COMPLEX *16 D(22)
      COMPLEX X,S
      K=0
      IF (M.EQ.0.OR.N.EQ.0) GOTO 2
      CALL PFACT (A,C,M+1)
      CALL PFACT (B,D,N+1)
      DO 1 I=1,M
      X(I)=C(I)
      E=(AIMAG (X(I)))
      DO 1 J=1,N
      S(J)=D(J)
      G=(AIMAG (S(J)))
      IF ((DABS(G)).LT.1E-4) GOTO 1
      IF ((DABS(E-G)).LT.1E-4) K=K+1

```

```

1      CONTINUE
      IF ((DABS(A(1)+B(1))).LT.2E-4) K=K+1
2      RETURN
      END
C*****
C A POLINOMUNUN CIFT KATSAYILARINI C,TEK KATSAYILARINI T DIZISINE KO
      SUBROUTINE FONK (A,M,C,N,T,L)
C*****
      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),C(22),T(22)
      N=0
      L=0
      DO 1 I=1,M+1
      K=I/2
      K=2*K
      C(I)=0
      T(I)=0
      IF(K.EQ.I) THEN
      L=I
      T(L)=A(L)
      ELSE
      N=I
      C(N)=A(N)
      END IF
1      CONTINUE
      N=N-1
      L=L-1
      IF (C(N+1).EQ.0) N=N-1
      IF (T(L+1).EQ.0) L=L-1
      RETURN
      END
C*****
C Z12 VEYA Y12'NIN PAY POLINOMUNU HESAPLAR
      SUBROUTINE ALTKOK (A,M)
C*****
      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22)
      COMPLEX *16 C(22)
      COMPLEX *16 D(22)
      N=0
      L=M/2
      L=L*2
      IF (L.EQ.M) THEN
      K=1
      L=M/2
      ELSE
      K=2
      L=(M+1)/2
      END IF
      DO 1 I=K ,M+1,2
      N=N+1
      B(N)=A(I)
1      CONTINUE
90     SE=DABS(B(N))
      IF (SE.LT.1E-4) THEN
      B(N)=0
      N=N-1
      SE=DABS(B(N))
      END IF
      IF (SE.LT.1E-4) GOTO 90

```

```

IF (N.LT.3) GOTO 33
CALL PFACT (B,C,N)
KA=0
L=1
DO 2 I=1,N-1
D(I)=(0,0)
AT=-REAL(C(I))
ATA=DABS(AT)
IF (ATA.LT.6E-2) THEN
AT=0
END IF
IF (AT.GT.0) THEN
AT=SQRT(AT)
KA=KA+1
D(KA)=(-1)**L*AT*(0,1)
L=L+1
END IF
IF (AT.EQ.0) THEN
KA=KA+1
D(KA)=(0,0)
END IF
2 CONTINUE
CALL PCOF (KA,0,A)
M=KA
GOTO 44
33 IF (N.LT.2) THEN
B(1)=DABS(B(1))
A(1)=SQRT(B(1))
M=0
ELSE
B(2)=DABS(B(2))
M=1
A(2)=SQRT(B(2))
END IF
44 RETURN
END
C*****
SUBROUTINE KOKÉ (A,M,B,N)
C DARLINGTON YONTEMINDEKI A VEYA B DURUMUNA KARAR VERIR
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,D-Z)
DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22),E(22)
DIMENSION F(22),G(22),H(22),R(22)
INTEGER X,Y,W,Z,T,S
CALL FONK (A,M,C,X,D,Y)
CALL FONK (B,N,F,W,G,Z)
CALL POCAR (C,X,F,W,E,T)
CALL POCAR (D,Y,G,Z,H,S)
IF (T.LT.S) THEN
T=S
END IF
DO 1 I=1,T+1
E(I)=E(I)-H(I)
1 CONTINUE
CALL ALTKOK (E,T)
K=T/2
K=K*2
IF (K.NE.T) THEN
PRINT*,'B YONTEMI'
CALL BAKIS (3,2,0)

```

```

CALL YONTEM (D,Y,F,W,E,T,G,Z,C,X)
ELSE
PRINT*, 'A YONTEMI'
CALL BAKIS (3,1,0)
CALL YONTEM (C,X,G,Z,E,T,F,W,D,Y)
END IF
RETURN
END

```

```

C*****
C SUBROUTINE POLCOF(N,X,A,A0,B,B0)
C X DIZISINDEKI KOMPLEKS SIFIRLARDAN A POLINOMUNU HESAPLAR
C*****

```

```

SUBROUTINE PCOF(N,X,A)
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22)
COMPLEX *16 X(22)
COMPLEX B,B0

```

C

```

NN=N-1
B0=X(1)*X(2)
B(1)=X(1)+X(2)

```

C

```

IF(N.EQ.2) GOTO 200
DO 1 K=2,NN
B(K)=B(K-1)+X(K+1)
KK=K-1
IF(KK.EQ.1)GOTO 100

```

C

C

```

DO 2 II=2,KK
I=KK-II+2
B(I)=B(I-1)+B(I)*X(K+1)
CONTINUE
B(1)=B0+B(1)*X(K+1)
B0=B0*X(K+1)
CONTINUE

```

2

100

1

```

B(N)=CMPLX(1.0,.0)
DO 555 I=1,NN
A(I)=REAL(B(I))
A(N)=1

```

555

200

C

C

```

REDUCED THE COMPLEX ERROR
IF (REAL(B0).EQ.0) GOTO 999
DO 3 I=1,NN
A(I)=(REAL(B(I)))/(REAL(B0))
CONTINUE
A(N)=1.0/REAL(B0)
B0=(1,0)
CONTINUE
DO 777 I=N,1,-1
A(I+1)=A(I)
A(1)=REAL(B0)

```

3

999

777

```

RETURN
END

```

C

C

```

C*****
      SUBROUTINE ZSHIFT (A,M,B,N,D,L)
C   IKI KAPILI DEVRE PAREMETRELERINDEN Z11,Z22,1/Y22 DEN BIRI
C   VE Z12 VEYA Y12' NIN PAY POLINOMU GIRILEREK SIFIR KAYDIRMA
C   YONTEMIYLE DEVRE SENTEZ EDILIR
C   GIRDI:
C   F11=(A(0)+A(1)+...+A(M))/(B(0)+B(1)+...+B(N))
C   F12=(D(0)+D(1)+...+D(L)
C   BULUNAN ELEMENLER ANDIZI SUB. SAKLANIR
C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON KONT
      DIMENSION A(22),B(22),D(22)
      DIMENSION AA(22),BA(22),DA(22)
      B1=0.
      B4=0
      A1=1
      CALL VERHAZ (D,DA,L,IH)
1     IF ((N+M).LT.1) GOTO 3
      IF ((DABS(A(1)+B(1))).LT.1E-4) THEN
      DO 88 I=1,M
88    A(I)=A(I+1)
      DO 89 I=1,N
89    B(I)=B(I+1)
      A(M+1)=0.
      B(N+1)=0.
      N=N-1
      M=M-1
      GOTO 1
      END IF
      CALL VERHAZ (A,AA,M,IF)
      CALL VERHAZ (B,BA,N,IG)
      IF (N.GT.M) GOTO 4
      IF (IH.EQ.0) GOTO 2
      IF (DA(1).GT.0.AND.IG.GE.IH) THEN
      IF (DA(IH).GE.AA(IH)) THEN
2     CALL RIGHT (A,M,B,N,DA,IH,A1,B4)
      B1=0
      GOTO 1
      END IF
      END IF
4     IF (IH.EQ.0) GOTO 5
      IF (DA(1).EQ.0.AND.B(1).EQ.0) THEN
      CALL LEFT (A,M,B,N,DA,IH,A1,B4)
      B1=0
      GOTO 1
      END IF
5     CALL TERSAL (A,M,B,N,A1)
      B1=B1+1
      IF (B1.LT.2) GOTO 1
      WRITE (KONT,7654)
7654  FORMAT (' EMPEDANS FONKSIYONU SIFIR KAYDIRMA YONTEMIYLE
1     GERCEKLENEMEZ')
      CALL EXIT
3     RETURN
      END
C*****
C   EMP VEYA ADM FONKSIYONUNDAKI SIFIRLARI SAG TARAFI DOGRU KAYDIRIR
      SUBROUTINE RIGHT (A,M,B,N,DA,IH,A1,B4)
C*****

```

```

IMPLICIT REAL *8(A-H,G-Z)
DIMENSION A(22),B(22),DA(22),E(3)
COMPLEX Z
B5=0
IF(A1.EQ.1) THEN
A2=1
ELSE
A2=2
END IF
A(1)=A(1)
B(1)=B(1)
DA(1)=DA(1)
IF (IH.EQ.0) THEN
1 CALL PRPOLEI (A,B,M,EN)
CALL SONUC (A1,A2,B4,EN,B5)
GOTO 3
END IF
CALL MINEL (A,B,M,N,DA,IH,E,0)
EN=E(1)
K=E(2)
IF (EN.EQ.E(3)) GOTO 1
Z=DA(K)*(0,1)
IF (EN.EQ.0) GOTO 2
CALL PAPOLEI (A,B,M,EN,Z)
CALL SONUC (A1,A2,B4,EN,B5)
2 A2=3
B1=A1
IF (A1.EQ.1) THEN
A1=2
ELSE
A1=1
END IF
CALL PRPOLEF (B,A,M,N,AK,Z)
CALL SONUC (A1,A2,B4,AK,Z)
CALL YOKSIF (DA,IH,K)
A1=B1
3 RETURN
END
C
C*****
C EMP VEYA ADM FONKSIYONUNDAKI SIFIRLARI SOL TARAFI DOGRU KAYDIRIR
SUBROUTINE LEFT (A,M,B,N,DA,IH,A1,B4)
C*****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),DA(22),E(3)
COMPLEX Z
A(1)=A(1)
B(1)=B(1)
DA(1)=DA(1)
B5=0
IF (A1.EQ.1) THEN
A2=2
ELSE
A2=1
END IF
CALL MINEL (A,B,M,N,DA,IH,E,1)
EN=E(1)
K=E(2)
IF (DA(K).EQ.0) GOTO 4
IF (EN.EQ.E(3)) THEN

```

```

4      CALL PRPOLEZ (A,B,N,M,C)
      C=1/C
      CALL SONUC (A1,A2,B4,C,B5)
      GOTO 3
      END IF
      Z=DA(K)*(0,-1)
      IF (EN.EQ.0) GOTO 2
      CALL PAPOLEZ (A,B,N,M,C,Z)
      C=1/C
2      CALL SONUC (A1,A2,B4,C,B5)
      B1=A1
      IF (A1.EQ.1) THEN
      A1=2
      ELSE
      A1=1
      END IF
      A2=3
      CALL PRPOLEF (B,A,M,N,AK,Z)
      CALL SONUC (A1,A2,B4,AK,Z)
      A1=B1
3      CALL YOKSIF (CA,IH,K)
      RETURN
      END

```

C

C*****

C MINIMUM ARTIK TERIMIN BULUNMASI

SUBROUTINE MINEL (A,B,M,N,DA,K,F,I)

C*****

IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)

DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22),DA(22),F(3)

COMPLEX Z

L=0

KA=K

1

CONTINUE

DO 2 IB=1,M+2

C(IB)=A(IB)

2

D(IB)=B(IB)

ME=M

NE=N

IF (L.EQ.0) THEN

L=L+1

IF (I.EQ.0) THEN

CALL PRPOLEI (C,D,ME,EN)

ELSE

CALL PRPOLEZ (C,D,NE,ME,EN)

F(2)=1

END IF

F(1)=EN

F(3)=EN

GOTO 1

END IF

IF ((DABS(DA(KA))).LT.1E-4) GOTO 3

IF (I.EQ.0) THEN

Z=DA(KA)*(0,1)

CALL PAPOLEI (C,D,ME,EN,Z)

ELSE

Z=DA(KA)*(0,-1)

CALL PAPOLEZ (C,D,NE,ME,EN,Z)

END IF

IF (DABS(EN).LT.1E-3) EN=0.

```

IF (EN.GE.0.AND.EN.LT.F(1)) THEN
F(1)=EN
F(2)=KA
END IF
3 KA=KA-1
IF (KA.GT.0) GOTD 1
RETURN
END

C
C *****
C VERILERIN KULLANIMA HAZIRLANMASI
SUBROUTINE VERHAZ (A,AA,M,IF)
C *****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),AA(22)
COMPLEX *16 AR(22)
IF (M.EQ.0) THEN
IF=0
AA(1)=0
GOTO 1
END IF
IF (M.EQ.1) THEN
AR(1)=(0,0)
ELSE
CALL PFACT (A,AR,M+1)
END IF
CALL LITTLE (AR,M,AA,IF)
1 RETURN
END

C
C *****
C RASYONEL FONKSIYONUN TERSININ ALINMASI
SUBROUTINE TERSAL (A,M,B,N,A1)
C *****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22)
DO 1 I=1, M+2
T=A(I)
A(I)=B(I)
1 B(I)=T
I=M
M=N
N=I
IF (A1.EQ.1) THEN
A1=2
ELSE
A1=1
END IF
RETURN
END

C
C *****
C GERCEKLENEREN ILETIM SIFIRININ SILINMESI
SUBROUTINE YOKSIF (A,IH,K)
C *****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22)
COMPLEX *16 AR(22)
A(K)=1E+10
DO 1 I=1,IH

```

```

1      AR(I)=A(I)*(0,1)
      CALL LITTLE (AR,IH,A,IK)
      IH=IK-1
      RETURN
      END
C*****
C ER DIZISI ICINDEKI KOMPLEX SAYILARIN POZITIF SANAL KISMINI
C REEL SAYI OLARAK KUCUKTEN BUYUGE DOGRU R DIZISINDE SIRALAR
      SUBROUTINE LITTLE (ER,L,R,M)
C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION R(22)
      COMPLEX *16 ER(22)
      M=0
      DO 4 I=1,L
      ER(I)=ER(I)*(0,-1)
      A=REAL(ER(I))
      IF(A.GT.0. OR . A.EQ.0) GOTD 5
4      CONTINUE
      GOTD 6
5      M=M+1
      R(M)=A
      GOTD 4
6      DO 1,I=1,M
      DO 1,K=I,M
      IF(R(K).LT.R(I))GOTD 2
1      CONTINUE
      GOTD 3
2      T=R(I)
      R(I)=R(K)
      R(K)=T
      GOTD 1
3      CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C SAGA KAYDIRMA ISLEMI SONUCUNDA HESAPLANAN ELEMEN
C DEGERINI FONKSIYONDAN CIKARTIR
      SUBROUTINE POLEI(A,B,N,EN)
C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22)
      IF ((DABS(EN)).LT.1E-4) EN=0.
      DO 1 I=2,N+1
1      A(I)=A(I)-B(I-1)*EN
      IF ((DABS(A(N+1))).LT.1E-4) THEN
      A(N+1)=0.
      A(N)=0.
      N=N-2
      END IF
      RETURN
      END
C*****
C SONSUZDAKI KUTPU TAM OLARAK UZAKLASTIRIR
      SUBROUTINE PRPOLI(A,B,N,EN)
C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22)
      IF (B(N).EQ.0) THEN
      EN=1E+10

```

```

      GOTO 1
      END IF
      EN=A(N+1)/B(N)
      CALL POLEI (A,B,N,EN)
1     RETURN
      END
C*****
C  SONSUZDAKI KUTPU KISMI OLARAK UZAKLASTIRIR
      SUBROUTINE PAPOLEI (A,B,N,EN,Z)
C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22)
      COMPLEX Z,TN,TD
      B(N+1)=0.
      TN=(0,0)
      TD=(0,0)
      DO 1 I=1,N+1
      TN=A(I)*Z**(I-1)+TN
      TD=B(I)*Z**(I-1)+TD
1     CONTINUE
      IF (TD.EQ.(0,0)) THEN
      EN=1E+10
      GOTO 2
      END IF
      EN=REAL(TN/(TD*Z))
      CALL POLEI (A,B,N,EN)
2     RETURN
      END
C*****
C  SOLA KAYDIRMA ISLEMI SONUCUNDA HESAPLANAN ELEMAN
C  DEGERINI FONKSIYONDAN CIKARTIR
      SUBROUTINE POLEZ (A,B,N,M,E)
C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22)
      B(N+2)=0
      A(M+2)=0
      C=1/E
      DO 1 I=1,M+1
1     A(I)=A(I)*C-B(I+1)
      DO 3 I=1,N+1
      B(I)=C*B(I)
3     CONTINUE
      IF ((DABS(A(1)+B(1))).LT.1E-4) THEN
      DO 2 I=1,N
2     B(I)=B(I+1)
      DO 4 I=1,M
4     A(I)=A(I+1)
      B(N+1)=0
      A(M+1)=0.
      N=N-1
      M=M-1
      END IF
      RETURN
      END
C*****
C  SIFIRDAKI KUTPU TAM OLARAK UZAKLASTIRIR
      SUBROUTINE PRPOLEZ (A,B,N,M,C)
C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)

```

```

DIMENSION A(22),B(22)
C=A(1)/B(2)
IF ((DABS(C)).LT.1E-4) THEN
C=0
GOTO 1
END IF
CALL POLEZ (A,B,N,M,C)
1
END
C*****
C SIFIRDAKI KUTPU KISMI OLARAK UZAKLASTIRIR
SUBROUTINE PPOLEZ (A,B,N,M,C,Z)
C*****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22)
COMPLEX Z,TN,TD
TN=(0,0)
TD=(0,0)
DO 1 I=1,N+1
1 TN=B(I)*Z**(I-1)+TN
DO 2 I=1,M+1
2 TD=A(I)*Z**(I-1)+TD
CONTINUE
IF (TN.EQ.(0,0)) THEN
C=1E+10
GOTO 3
END IF
C=REAL((TD*Z)/TN)
IF ((DABS(C)).LT.1E-4) THEN
C=0.
GOTO 3
END IF
CALL PPOLEZ (A,B,N,M,C)
3
END
C*****
C A VE B POLINOMLARINI BIRBIRLERINE BOLEREK
C SONUCU B DIZISINE KOYAR
SUBROUTINE DIV (A,B,N,Z)
C*****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22)
DO 1 I=N-1,1,-2
B(I)=0.
L=0
DO 2 J=I,N-1,2
B(I)=(A(J+2))*(Z)**L+B(I)
L=L+1
2 CONTINUE
1 CONTINUE
B(N)=0
RETURN
END
C*****
C SONLU BIR YERDEKI KUTPU TAM OLARAK UZAKLASTIRIR
C A PAYIN KATSAYILARIN BULUNDUGU DIZI
C B PAYDANIN KATSAYILARIN BULUNDUGU DIZI
C N PAYDANIN DERECESI
C AK ARTIK TERIM
SUBROUTINE PRPDLF (A,B,N,L,AK,Z1)

```

```

C*****
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22)
      COMPLEX Z1,TN,TD
      Z=REAL(Z1**2)
      IF (Z.EQ.0) GOTO 123
      TN=(0,0)
      TD=(0,0)
      X=B(N+1)
      DO 10 I=1,N+1
10      B(I)=B(I)/B(N+1)
      DO 11 I=1,L+1
11      A(I)=A(I)/X
      CALL DIV (B,C,N,Z)
      C(N)=0.
      C(N+1)=0.
      DO 1 I=1,L+1
      TN=A(I)*Z1**(I-1)+TN
      TD=C(I)*Z1**(I-1)+TD
      B(I)=C(I)
1      CONTINUE
      B(N+1)=C(N+1)
      AK=REAL(TN/(TD*Z1))
      DO 2 I=1 ,L
      D(I+1)=A(I+1)-AK*C(I)
2      CONTINUE
      D(1)=A(1)
      CALL DIV (D,A,L,Z)
      GOTO 321
123      AK=A(2)
321      B(N+1)=0
      B(N)=0
      A(L+1)=0
      A(L)=0
      N=N-2
      L=L-2
      RETURN
      END

```

```

C*****
C ELEMENIN YERINI,CINSINI VE DEGERINI ANDIZI SUB. SAKLAR
  SUBROUTINE SONUC (B1,B2,B4,EN,B6)

```

```

C*****
      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
      COMPLEX B6
      B5=-REAL(B6**2)
      B4=B4+1
      B7=0
      J=B4
      CALL ANDIZI (B1,B2,EN,B5,J,B7)
      CALL BAKIS (2,J,0)
      RETURN
      END

```

```

C*****
C SENTEZ SONUCUNDA BULUNAN DEVREYI YAZDIRIR
  SUBROUTINE SONYAZ (R)

```

```

C*****
      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
      COMMON KONT
      B7=1
      CALL BAKIS (2,J,1)

```

```

CALL BAKIS (1,I,1)
IF(I.EQ.0) THEN
R=1
END IF
DO 1 I=1,J
CALL ANDIZI (B1,B2,EN,B5,I,B7)
IF (B1.EQ.1.AND.B2.EQ.1) THEN
SEN=EN*R
10 WRITE (KONT,10)SEN
FORMAT (' SERI KOLDA BOBIN=',F8.3)
END IF
IF (B1.EQ.1.AND.B2.EQ.2) THEN
SEN=EN/R
20 WRITE (KONT,20)SEN
FORMAT (' SERI KOLDA KONDANSATOR=',F8.3)
END IF
IF (B1.EQ.1.AND.B2.EQ.3) THEN
WRITE (KONT,30)B5,EN*R/B5,1/(EN*R)
30 FORMAT (' SERI KOLDA PARALEL LC',/, ' ILETIM SIFIRI W=',F8.3,/
1' BOBIN=',F8.3,/, ' KONDANSATOR=',F8.3)
END IF
IF (B1.EQ.2.AND.B2.EQ.1) THEN
WRITE (KONT,50)EN*R
50 FORMAT (' PARALEL KOLDA BOBIN=',F8.3)
END IF
IF (B1.EQ.2.AND.B2.EQ.2) THEN
WRITE (KONT,60)EN/R
60 FORMAT (' PARALEL KOLDA KONDANSATOR=',F8.3)
END IF
IF (B1.EQ.2.AND.B2.EQ.3) THEN
WRITE (KONT,40)B5,R/EN,EN/(B5*R)
40 FORMAT (' PARALEL KOLDA SERI LC',/, ' ILETIM SIFIRI W=',F8.3,/
1' BOBIN=',F8.3,/, ' KONDANSATOR=',F8.3)
END IF
1 CONTINUE
RETURN
END
C*****
C SENTEZIN DOGRULUGUNU KONTROL EDER
SUBROUTINE ANGIR (C,D,R)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22)
CALL BAKIS (1,J,1)
B8=J
CALL BAKIS (2,L,1)
B4=L
CALL ANALIZ (A,M,B,N,B4,B8)
CALL BAKIS (3,J,1)
CALL RBUL (A,M,B,N,C,D,B8,J,R)
RETURN
END
C*****
C ANALIZ YAPARAK SONUCU A VE B DIZILERINE KOYAR
SUBROUTINE ANALIZ (A,M,B,N,B4,B8)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22)
A(1)=1
B(1)=1

```

```
M=0
N=0
B7=1
IF (B8.EQ.1) THEN
E=1
F=B4
G=1
ELSE
E=B4
F=1
G=-1
END IF
DO 1 I=E,F,G
CALL ANDIZI (B1,B2,EN,B5,I,B7)
IF (EN.EQ.0) GOTO 1
IF (B1.EQ.1) THEN
IF (B2.EQ.1) THEN
C(1)=0.
C(2)=EN
L=1
D(1)=1
K=0
END IF
IF (B2.EQ.2) THEN
C(1)=1
L=0
D(1)=0
D(2)=EN
K=1
END IF
IF (B2.EQ.3) THEN
C(1)=0
C(2)=EN/B5
L=1
D(1)=1
D(2)=0
D(3)=1/B5
K=2
END IF
CALL TOPLA (A,M,B,N,C,L,D,K)
END IF
IF (B1.EQ.2) THEN
IF (B2.EQ.1) THEN
C(1)=1
L=0
D(1)=0
D(2)=EN
K=1
END IF
IF (B2.EQ.2) THEN
C(1)=0
C(2)=EN
D(1)=1
L=1
K=0
END IF
IF (B2.EQ.3) THEN
C(1)=0
C(2)=EN/B5
L=1
```

```

D(1)=1
D(2)=0
D(3)=1/B5
K=2
END IF
CALL TOPLA (B,N,A,M,C,L,D,K)
END IF
1 CONTINUE
RETURN
END
C*****
C B7 DEGISKENI '0' OLDUGUNDA VERILER SAKLANIR
C AKSI TAKDIRDE VERILER CIKISA AKTARILIR
SUBROUTINE ANDIZI (B1,B2,EN,B5,B4,B7)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
INTEGER B4
DIMENSION A(22,4)
IF (B7.EQ.0) THEN
A(B4,1)=B1
A(B4,2)=B2
A(B4,3)=EN
A(B4,4)=B5
ELSE
B1=A(B4,1)
B2=A(B4,2)
EN=A(B4,3)
B5=A(B4,4)
END IF
RETURN
END
C*****
C A VE D PLINOMLARINI CARPARAK SONUCU E POLINOMUNA KOYAR
SUBROUTINE POCAR (A,M,D,K,E,N)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),D(22),E(22)
N=K+M
DO 3 I=1,22
3 E(I)=0.0
DO 1 J=1,K+1
DO 1 I=1,M+1
1 E(I+J-1)=A(I)*D(J)+E(I+J-1)
2 IF (E(N+1).EQ.0) THEN
N=N-1
END IF
IF (E(N+1).EQ.0) GOTD 2
RETURN
END
C*****
C IKI RASYOLEL FONKSIYONU TOPLAR VE SONUCU
C ILK RASYONEL FONKSIYONA KOYAR
SUBROUTINE TOPLA (A,M,B,N,C,L,D,K)
C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22)
DIMENSION E(22),F(22)
CALL POCAR (A,M,D,K,E,J)
CALL POCAR (B,N,C,L,F,I)
IF (J.GT.I) THEN

```

```

M=J
ELSE
M=I
END IF
DO 1 I=1,22
1 A(I)=0.0
DO 2 I=1,M+1
2 A(I)=E(I)+F(I)
CALL PDCAR (B,N,D,K,F,J)
DO 3 I=1,J+1
3 B(I)=F(I)
N=J
6 IF ((B(1)+A(1)).EQ.0) THEN
DO 4 I=1,N
4 B(I)=B(I+1)
N=N-1
DO 5 I=1,M
5 A(I)=A(I+1)
M=M-1
END IF
IF ((A(1)+B(1)).EQ.0) GOTO 6
DO 7 I=1,22
7 D(I)=0.0
C(I)=0.0
L=0
K=0
RETURN
END

```

```

C*****
C SENTEZ SONUCUNDA SONLANDIRILAN DIRENCI HESAPLAR
SUBROUTINE RBUL (A,M,B,N,C,D,B8,J,R)

```

```

C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22),E(22),G(22)
IF (B8.EQ.1) THEN
F=B(N+1)/D(N+1)
R=F*C(M+1)/A(M+1)
GOTO 1
END IF
CALL FONK (A,M,E,MC,G,MT)
IF (J.EQ.1) THEN
R=(A(MT+1)*C(MC+1))/(A(MC+1)*C(MT+1))
ELSE
R=(A(MC+1)*C(MT+1))/(A(MT+1)*C(MC+1))
END IF
1 RETURN
END

```

```

C*****
C DEVRE PARAMETRELERINDEN HANGISINDEN GIDILDIGINI SAKLAR
SUBROUTINE BAKIS (I,J,K)

```

```

C*****
IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(4)
IF (K.EQ.0) THEN
A(I)=J
ELSE
J=A(I)
END IF
RETURN
END

```

```
C*****
C J DEGISKENI '0' OLDUGUNDA GIRIS EMP VEYA ADM
C FONKSIYONUNU SAKLAR DEGILSE CIKISA AKTARIR
  SUBROUTINE VERSAK (A,M,B,N,J)
C*****
  IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
  DIMENSION A(22),B(22),C(22),D(22),E(4)
  IF (J.EQ.0) THEN
    E(1)=M
    E(2)=N
    DO 1 I=1,M+1
1     C(I)=A(I)
    DO 2 I=1,N+1
2     D(I)=B(I)
    ELSE
    M=E(1)
    N=E(2)
    DO 3 I=1,M+1
3     A(I)=C(I)
    DO 4 I=1,N+1
4     B(I)=D(I)
    END IF
    RETURN
  END
```

EK-3
ÖRNEK 1
Z(S)

84

GIRILEN FONKSIYONUN PAY POLINOMU

A(0)= 1.000
A(1)= 6.000
A(2)= 6.000
A(3)= 11.000

GIRILEN FONKSIYONUN PAYDA POLINOMU

B(0)= 1.000
B(1)= 1.000
B(2)= 2.000

Z11 PAY POLINOMU

A(0)= 1.000
A(1)= 0.000
A(2)= 6.000

Z11 PAYDA POLINOMU

B(0)= 0.000
B(1)= 1.000

Z12 PAY POLINOMU

C(0)= 1.000
C(1)= 0.000
C(2)= 1.000

Z22 PAY POLINOMU

D(0)= 1.000
D(1)= 0.000
D(2)= 2.000

Y22 İLE Z11 AYNI PAY POLINOMUNA SAHİP

Y22 PAYDA POLINOMU

E(0)= 0.000
E(1)= 6.000
E(2)= 0.000
E(3)= 11.000

ÇIKIŞTAN BAKILIYOR, GİRİŞ KISA DEVRE

R= 1.000

SERİ KOLDA BOBİN= 1.000

PARALEL KOLDA SERİ LC

İLETİM SIFIRI W= 1.000

BOBİN= 1.000

KONDANSATOR= 1.000

SERİ KOLDA BOBİN= 5.000

GIRILEN FONKSIYONUN PAY POLINOMU

A(0)= 4.000
A(1)= 0.000
A(2)= 4.000
A(3)= 0.000
A(4)= 1.000

GIRILEN FONKSIYONUN PAYDA POLINOMU

B(0)= 1.000
B(1)= 0.000
B(2)= 2.000
B(3)= 0.000
B(4)= 7.000
B(5)= 0.000
B(6)= 5.000
B(7)= 0.000
B(8)= 1.000

F(S) PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI

D(1) 1.000
D(2) 2.000
D(3) 3.000
D(4) 1.000
D(5) 1.000

F(S) PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI

C(1) 4.000
C(2) 5.000
C(3) 2.000
C(4) 2.000
C(5) 0.000

Z11 PAY POLINOMU

A(0)= 4.000
A(1)= 0.000
A(2)= 2.000

Z11 PAYDA POLINOMU

B(0)= 0.000
B(1)= 2.000
B(2)= 0.000
B(3)= 1.000

Z12 PAY POLINOMU

C(0)= 1.000
C(1)= 0.000
C(2)= 0.500

Z22 PAY POLINOMU

D(0)= 1.000
D(1)= 0.000
D(2)= 3.000

Y22 İLE Z11 AYNI PAY POLİNOMUNA SAHİP

Y22 PAYDA POLİNOMU

E(0)= 0.000

E(1)= 5.000

E(2)= 0.000

E(3)= 2.000

ÇIKIŞTAN BAKILIYOR, GİRİŞ AÇIK DEVRE

R= 4.000

SERİ KOLDA BOBİN= 4.000

SERİ KOLDA PARALEL LC

İLETİM SIFIRI W= 2.000

BOBİN= 1.000

KONDANSATOR= 0.500

PARALEL KOLDA KONDANSATOR= 0.500

ÖRNEK 3
Z(S)

87

GIRILEN FONKSIYONUN PAY POLINOMU

A(0)= 3.000
A(1)= 1.000
A(2)= 9.000
A(3)= 2.000
A(4)= 6.000
A(5)= 1.000

GIRILEN FONKSIYONUN PAYDA POLINOMU

B(0)= 1.000
B(1)= 6.000
B(2)= 3.000
B(3)= 9.000
B(4)= 2.000

Z11 PAY POLINOMU

A(0)= 3.000
A(1)= 0.000
A(2)= 9.000
A(3)= 0.000
A(4)= 6.000

Z11 PAYDA POLINOMU

B(0)= 0.000
B(1)= 6.000
B(2)= 0.000
B(3)= 9.000

Z12 PAY POLINOMU

C(0)= 1.000
C(1)= 0.000
C(2)= 2.000
C(3)= 0.000
C(4)= 1.000

Z22 PAY POLINOMU

D(0)= 1.000
D(1)= 0.000
D(2)= 3.000
D(3)= 0.000
D(4)= 2.000

Y22 İLE Z11 AYNI PAY POLINOMUNA SAHİP

Y22 PAYDA POLINOMU

E(0)= 0.000
E(1)= 1.000
E(2)= 0.000
E(3)= 2.000
E(4)= 0.000
E(5)= 1.000

CIKISTAN BAKILIYOR, GIRIS ACIK DEVRE

PARALEL KOLDA SERI LC
ILETIM SIFIRI W= 1.000
BOBIN= 1.000
KONDANSATOR= 1.000
SERI KOLDA BOBIN= 1.000
PARALEL KOLDA SERI LC
ILETIM SIFIRI W= 1.000
BOBIN= 1.000
KONDANSATOR= 1.000

ÖRNEK 4
Re[Z(S)]

89

GİRİLEN FONKSIYONUN PAY POLİNOMU

A(0)= 0.000
A(1)= 0.000
A(2)= -1.000
A(3)= 0.000
A(4)= -4.000
A(5)= 0.000
A(6)= -4.000

GİRİLEN FONKSIYONUN PAYDA POLİNOMU

B(0)= 1.000
B(1)= 0.000
B(2)= 2.000
B(3)= 0.000
B(4)= 7.000
B(5)= 0.000
B(6)= 5.000
B(7)= 0.000
B(8)= 1.000

F(S) PAYDA POLİNOMUNUN KATSAYILARI

D(1) 1.000
D(2) 2.000
D(3) 3.000
D(4) 1.000
D(5) 1.000

F(S) PAY POLİNOMUNUN KATSAYILARI

C(1) 0.000
C(2) 5.000
C(3) 9.000
C(4) 13.000
C(5) 0.000

Z11 PAY POLİNOMU

A(0)= 0.000
A(1)= 5.000
A(2)= 0.000
A(3)= 13.000

Z11 PAYDA POLİNOMU

B(0)= 1.000
B(1)= 0.000
B(2)= 3.000
B(3)= 0.000
B(4)= 1.000

Z12 PAY POLİNOMU

C(0)= 0.000
C(1)= 0.500
C(2)= 0.000
C(3)= 1.000

Z22 PAY POLİNOMU

D(0)= 0.000

$D(1) = 2.000$
 $D(2) = 0.000$
 $D(3) = 1.000$

Y22 İLE Z11 AYNI PAY POLİNOMUNA SAHİP

Y22 PAYDA POLİNOMU

$E(0) = 0.000$
 $E(1) = 0.000$
 $E(2) = 9.000$

GİRİSTEN BAKILIYOR , ÇIKIŞ ACIK DEVRE
 $R = 4.000$

PARALEL KOLDA BOBİN = 6.000

SERİ KOLDA PARALEL LC

İLETİM SIFIRI $w = 0.500$

BOBİN = 18.000

KONDANSATÖR = 0.111

PARALEL KOLDA BOBİN = 12.000

PARALEL KOLDA KONDANSATÖR = 0.250

ÖRNEK 5
Re[Z(S)]

91

GIRILEN FONKSIYONUN PAY POLINOMU

A(0)= 1.000
A(1)= 0.000
A(2)= 4.000
A(3)= 0.000
A(4)= 4.000

GIRILEN FONKSIYONUN PAYDA POLINOMU

B(0)= 1.000
B(1)= 0.000
B(2)= 2.000
B(3)= 0.000
B(4)= 7.000
B(5)= 0.000
B(6)= 5.000
B(7)= 0.000
B(8)= 1.000

F(S) PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI

D(1) 1.000
D(2) 2.000
D(3) 3.000
D(4) 1.000
D(5) 1.000

F(S) PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI

C(1) 1.000
C(2) 2.000
C(3) 5.000
C(4) 5.000
C(5) 0.000

Z11 PAY POLINOMU

A(0)= 1.000
A(1)= 0.000
A(2)= 5.000

Z11 PAYDA POLINOMU

B(0)= 0.000
B(1)= 2.000
B(2)= 0.000
B(3)= 1.000

Z12 PAY POLINOMU

C(0)= 1.000
C(1)= 0.000
C(2)= 2.000

Z22 PAY POLINOMU

D(0)= 1.000
D(1)= 0.000
D(2)= 3.000
D(3)= 0.000
D(4)= 1.000

Y22 İLE Z11 AYNI PAY POLİNOMUNA SAHİP

Y22 PAYDA POLİNOMU

EC 0)= 0.000

EC 1)= 2.000

EC 2)= 0.000

EC 3)= 5.000

ÇIKIŞTAN BAKILIYOR, GİRİŞ AÇIK DEVRE

R= 1.000

SERİ KOLDA BOBİN= 0.333

PARALEL KOLDA SERİ LC

İLETİM SIFIRI W= 0.500

BOBİN= 1.111

KONDANSATÖR= 1.800

SERİ KOLDA BOBİN= 1.667

PARALEL KOLDA KONDANSATÖR= 0.200