

GENİŞ BANDLI TRANSFORMATÖRSÜZ EMPEDANS UYDURUCU
DEVRELERİN DAĞILMIŞ DEVRE ELEMANLARIYLA TASARIMI

Mustafa Kula

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

Danışman: Doç.Dr. Binboğa Sıddık Yarman



Şubat-1987

Mustafa Kula'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Geniş Bandlı Transformatörsüz Empedans Uydurucu Devrelerin Dağılmış Devre Elemanlarıyla Tasarımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

9.3.1987

Üye :



DOÇ. DR. SİDDİK YARMANCI

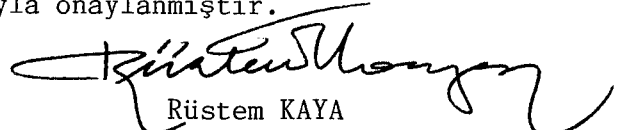
Üye :

Doç. Dr. Atilla Barkana

Üye :

Doç. Dr. Atalay Barkana

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..18.3.1987.....
gün ve ..143-13..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

ÖZET

Mikrodalga frekanslarında sinyallerin bir üniteden başka bir üniteye belli koşullar altında iletilmesi arada kullanılacak devrenin tasarımına bağlıdır. Basitçe kaynak ve yük olarak tanımlanan bu ünitelerin sırasıyla çıkış ve giriş empedansları bilindiğinde, tasarımın temel fiziksel özellikleri belirlenebilir. Bu bilgiler optimizasyon hazır paket programlarına verilerek ara devreyi tanımlayan bir fonksiyon elde edilir.

Bu çalışmada optimizasyon aşamasından sonraki sentez işlemi üzerinde durulmuştur. Devre fonksiyonları, sıfır kaydırma yöntemiyle mikrodalga frekanslarında çalıştırılabilecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Pratik gerçekleştirme yapacak tasarımcıya gerekli kolaylığın sağlanması için toplu devre elemanlarıyla bulunan devre, dağılmış devre elemanlarına dönüştürülerek parametreleri verilmiştir. Bunun için gereken bilgisayar programı FORTRAN-77 dilinde geliştirilmiştir.

SUMMARY

In designing microwave communication networks, one of the basic problem is to construct power matching 2-ports for transmitting the microwave energy from one unit to another unit. These units are simply named as generator and load networks. Once the specification of generator and load are known, then the physical limitations, imposed on the system design, can be established. The network parameters of the lossless matching networks can be optimized by means of nonlinear optimization programs, However practical synthesis of the circuits are not easy tasks.

In this work, from the given circuit parameters, lossless 2-ports are synthesized as a ladder networks. Different zero-shifting techniques were employed throughout the thesis. Computer programs were developed in FORTRAN-77 language to carry out the synthesis procedure automatically. Once the lumped ladder form of the lossless two-port is obtained, the practical distributed element version can easily be derived by use of lumped-distributed transformations. Examples are included.

T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı bana yüksek lisans bitirme tezi olarak veren ve bu konudaki bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren Değerli Hocam Doç.Dr.Binboğa Sıddık Yarman'a, çalışmalarım esnasında her konuda yardımlarını esirgemeyen Bölüm Başkanımız, Hocam Sayın Doç.Dr.Atalay Barkana'ya, bilgisayar programlama işlemlerinde ihtiyacım olan bilgisayarları hizmetime sunan STFA Savronik A.Ş. yetkililerine, daktiloda sabır ve titizlikle çalışan Sayın Leyla Sevinç'e, şekillerin çiziminde ve tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Mikrodalga Kuvvetlendiricileri	1
1.2. Empedans Uyumlaştırılması	2
2. UYUMLAŞTIRICI DEVRELER	5
2.1. Uyumlu Devre Fonksiyonlarının Bulunması.....	5
2.1.1. Reel frekans tekniği.....	5
2.1.2. 'Basitleştirilmiş reel frekans tekniği.....	6
2.2. Empedans Fonksiyonunun Reel Kısımından Türetilmesi	8
2.3. Empedans Fonksiyonunun Giriş Saçılma Parametresinden Türetilmesi	10
3. GİRİŞ İMMİTANS FONKSİYONLARININ GERÇEKLENMESİ...	14
3.1. Darlington Devresi	15
3.2. Sıfır Kaydırma Yönteminin Reaktan ya da Suseptansı Fonksiyonlarına Uygulanması.....	18
3.3. Sıfır Kaydırma Yönteminin Direk Giriş Empedans Fonksiyonuna Uygulanması	23
3.3.1. Giriş empedans fonksiyonun özellikleri.....	25
3.3.2. Giriş empedans fonksiyonun sıfır kaydırma yöntemiyle gerçekleştirilmesi...	27
3.3.3. Bir uygulama.....	32
4. DAĞILMIŞ DEVRE ELEMANLARIYLA GERÇEKLEME	35
4.1. Dağılmış Devre Elemanlarının Gerçeklemedeki Önemi.....	35

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2. Kayıpsız İletim Hatlarının Empedansı.....	35
4.2.1. Bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iletim hatlarının empedansı	35
4.2.2. Sonu kısa-devre ve açık-devre kayıpsız iletim hatlarının empedansı.....	36
4.3. Kayıpsız Devre Elemanlarının Kayıpsız İletim Hatlarıyla Gerçeklenmesi	39
5. HAZIRLANAN BİLGİSAYAR PROGRAMI	43
5.1. Girdi fonksiyonunun tanımlanması ve çıktıları için gereken düzenlemelerin yapılması	46
5.2. Verilen fonksiyon türünden giriş empedans fonksiyonunun türetilmesi	46
5.3. Giriş empedans fonksiyonun sentezi.....	49
5.4. Dağılmış devre elemanlarına dönüşüm	51
5.5. Sonuçların yazdırılması	51
6. GENEL SONUÇLAR	53
6.1. Sonuçlar	53
6.2. Tartışmalar	54
KAYNAKLAR DİZİNİ	55

EKLER

1. Hangi Kola Hangi Elemanın Geleceğinin Tesbiti ve Değerlerinin Hesabı
2. Geliştirilen Bilgisayar Programı
3. Program Çıktıları

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Mikrodalga Kuvvetlendirici	2
1.2. Kuvvetlendiricinin ve aktif elemanın kazanç eğrileri	3
2.1. Uyumlaştırıcı devre	5
2.2. İki-kapılı bir devrede gelen ve yansıyan dalgalar	10
3.1. Darlington devresi	15
3.2. Z_{11} Reaktans fonksiyonun frekansa göre değişimi	19
3.3. Alçak-geçiren devre elemanları	21
3.4. Yüksek-geçiren devre elemanları	22
3.5. Band geçiren tipinde iki kapılı-devreler.....	24
3.6. Band-geçiren devre elemanları	30
3.7. Gerçeklenen devre	34
4.1. Bir dirençle sonlandırılmış iletim hattı	35
4.2. Sonu kısa-devre kayıpsız iletim hattının reaktansının uzunluğuna göre değişimi	37
4.3. Sonu açık-devre kayıpsız iletim hattının reaktansının uzunluğuna göre değişimi	38
4.4. Sonu kısa-devre kayıpsız iletim hattının ve bir bobinin reaktansının frekansa göre değişimi	39
4.5. Sonu açık-devre kayıpsız iletim hattının ve bir kondansatörün reaktansının frekansa göre değişimi	40
4.6. a) Sonu kısa-devre b)sonu açık-devre iletim hatlarının ve LC rezonans devrelerinin reaktan- sının frekansa göre değişimi	41
4.7. İletim hatlarıyla gerçekleştirilen devre	42
5.1. Yapılan programın genel akış şeması	45
5.2. Girdi fonksiyonunun tanımlanması ve çıktılar için gerekli düzenlemelerin yapılmasını gösteren akış şeması.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3. Verilen fonksiyon türünden giriş empedans fonksiyonunun türetilmesini gösteren akış şeması	48
5.4. Giriş empedans fonksiyonunun sentezini gösteren akış şeması	50

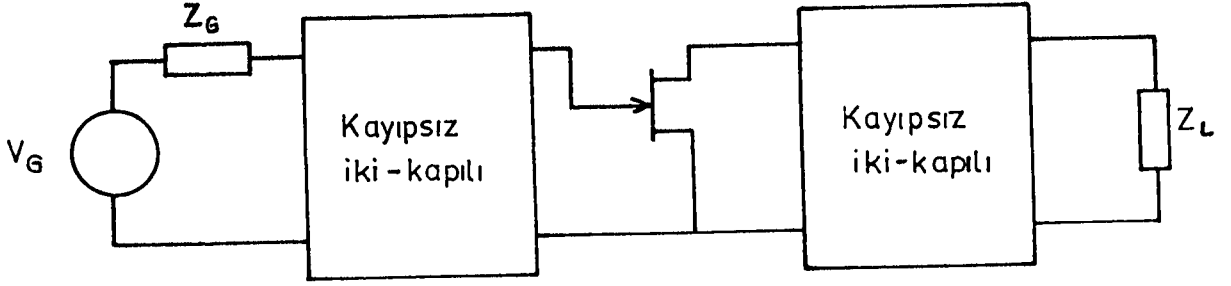
1.GİRİŞ

1.1 Mikrodalga Kuvvetlendiricileri

Günümüzde, çok yüksek frekanslarda çalışan iletişim sistemlerinin kullanım alanlarının gelişmesi ve bu sistemlere olan ihtiyacın artması sonucu Mikrodalga Kuvvetlendirici Tasarımı büyük önem kazanmıştır. Telefon hatlarında, radyo, televizyon ve uydu haberleşme araçlarında, radar sistemlerinde, kaynaktan üretilen sinyalin kuvvetlendirilerek antene verilmesi işleminde ara-devre olarak bu kuvvetlendiriciler kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte geniş bir frekans bandında sabit ve yüksek kazanç sağlamak için en uygun devreleri gerçekleştirme yöntemleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Mikrodalga Kuvvetlendiricilerinin tasarımında karşılaşılan en büyük" sorun, güç kaybından dolayı oluşan ısınmanın ve gürültünün(Noise) giderilmesidir. Gürültünün en aza indirilmesi amacıyla az sayıda pasif elemandan oluşan uyumlaştırma devreleri kullanılır. Aktif elemanların, termal ve eklem bölgelerinde oluşan gürültülerinden dolayı, uyumlaştırma devrelerinde kullanılmaları tercih edilmez. Kaynaktan çekilen gücü istenilen bantta maksimum kazanç elde edilebilecek şekilde yüke aktarma işlemide, o kuvvetlendiricinin ısınma problemi azaltır.

Şekil-1.1 de genel bir kuvvetlendirici devre şeması verilmiştir. Burada kuvvetlendirici olarak aktif eleman (FET) ve kaynakla yük arasında maksimum ve sabit güç transferini sağlamak için uyumlaştırıcı devreler kullanılmıştır. Aktif elemanı tanımlayan parametreler (saçılma parametreleri, hibrid parametreleri), kaynak iç direnci ve yük empedans değeri bilindiğinde kuvvetlendiricinin çalışma frekanslarında istenilen özellikleri göstermesi için tasarımda kullanılması gereken bilgiler elde edilmiş demektir. Bu bilgiler yardımıyla uyumlaştırıcı devrelerin giriş empedans fonksiyonu hesaplanır. Elde edilen bu fonksiyonun sentezi, uygun yöntemle yapılarak mikrodalga kuvvetlendirici tasarımı gerçekleştirilir.



Şekil 1.1 Mikrodalga Kuvvetlendirici

1.2 Empedans Uyumlaştırılması

Yüksek frekanslarda çalışan bir devrenin performansının ölçüsü çevrim güç kazancıdır. (Transducer Power Gain). Yükte harcanacak gücün (P_L), kaynaktan çekilebilecek maksimum güce (P_A) oranı şeklinde tanımlanan çevrim güç kazancının bire çok yakın değerlerde olması istenir. Çünkü, ancak bu şart altında, kaynaktan çekilen gücün tamamına yakın bir kısmı yüke iletilir.

$$\text{Ç.G.K.} = \frac{\text{Yükte harcanan güç}}{\text{Kaynaktan çekilebilecek maksimum güç}} = \frac{P_L}{P_A}$$

$$\text{Ç.G.K.} = \frac{4R_G R_L}{(R_G + R_L)^2 + (X_G + X_L)^2} \quad (1.1)$$

Burada $Z_L = R_L + jX_L$

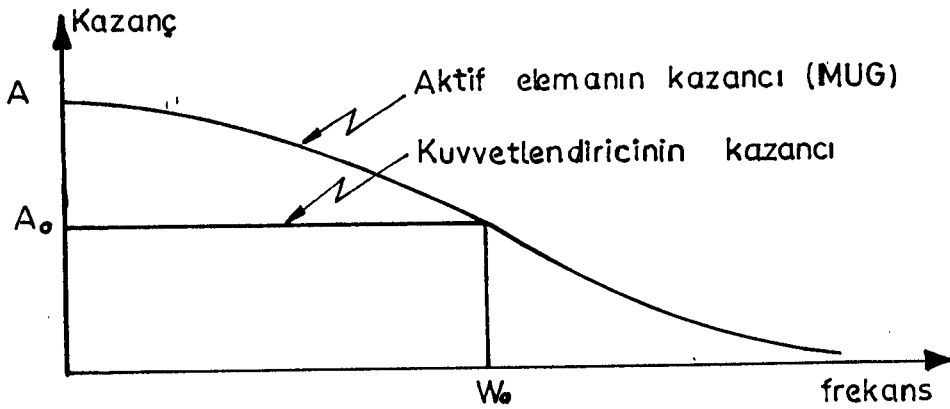
$$Z_G = R_G + jX_L$$

(1.1) nolu denklemden çevrim güç kazancının bir olması için gerekli koşul,

$$Z_G = Z_L^* \quad (1.2)$$

olmasıdır. Bu durumda kaynaktan çekilen güç olduğu gibi yüke aktarılır.

Fakat kuvvetlendirici tasarımında gözönünde bulundurulması gereken önemli noktalardan biri, mümkün olan en yüksek gücü yükü aktarabilmenin yanında, istenilen çalışma bandında düz bir kazanç elde etmektir. Kuvvetlendirici katında, kullanılan aktif elemanın kapasitif özelliğinden dolayı, frekans yükseldikçe kazanç düşer. O halde aktif elemanın çalışma bandının en yüksek frekans değerindeki kazancı, kuvvetlendiricinin tüm çalışma bandındaki kazancı olarak ele alınmalı (Şekil 1.2) ve tasarım öyle yapılmalıdır.



Şekil 1.2 Kuvvetlendiricinin ve aktif elemanın kazanç eğrileri.

Yine bir veya birkaç frekans değerinde gürültü sinyalinin yok edilmesi veya keskin bir kazanç karakteristiği istenmesi durumunda, sonlu frekans değerlerinde gücü yüke aktarmayan bir kuvvetlendirici tasarımı da istenebilir.

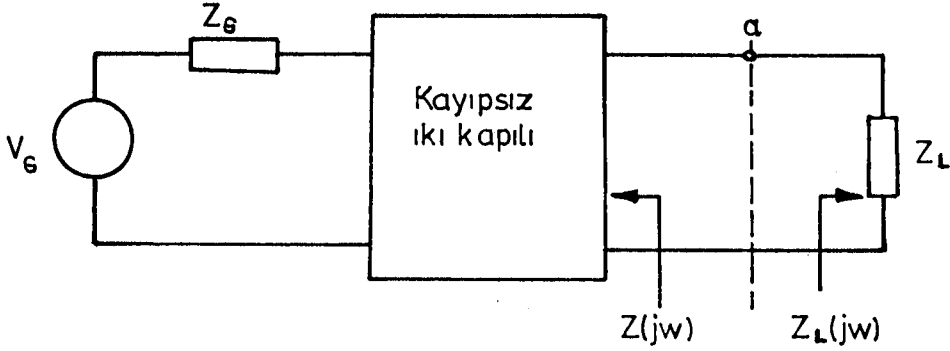
Söz konusu koşulları sağlamak için kaynakla aktif eleman ve aktif elemanla yük empedansı arasına bağlanan devrelere uyumlaştırıcı devreler (Matching network), işleme ise empedans uyumlaştırılması (Impedance matching) denir.

Kuvvetlendirici tasarımıda başarılması en zor olan da budur. Uyumlastırıcı devrelerin optimizasyon paket programlarının da yardımıyla istenilen özelliklere en uygun fonksiyonlarının (giriş empedansının reel kısmı veya giriş yansıma katsayısı) hesaplanıp gerçekleştirilmesi gerekir. Fakat bu kezde pratikte gerçekleştirme sorunlarıyla karşılaşılır. Örneğin çok yüksek frekanslarda transformatör gerçekleştirme güçlükleri nedeniyle transformatörsüz tasarım tercih edilir. Bu yönden birçok sentez yöntemi de kullanılamaz duruma gelir. Brune sentezi buna bir örnektir.

Şimdiye kadar yapılan tasarımlarda, uyumlastırıcı devrelerin fonksiyonlarından birini elde ederken, optimizasyon programlarına verilen kısıtlar sonucu, iletim sıfırları orijinde ve sonsuzda oluşturulmuştur. Darlington'un herhangi bir $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonunun, R direnciyle sonlandırılmış kayıpsız bir devre olarak gerçekleştirilebileceği ifadesi gereğince, bütün iletim sıfırları $j\omega$ ekseninde olduğundan transformatörsüz olarak devam eden kesirli açılım (continued fraction expansion) yöntemiyle bu devreler sentez edilegelmiştir. Fakat keskin bir kazanç karakteristiği ve sonlu değerde istenen bazı frekans bileşenlerinin iletilmemesi özelliğinden yoksun olan bu yöntem, bazı problemler için yetersiz kalmış, daha farklı sentez yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

Bu çalışmada, uyumlastırıcı devrelerin empedansının reel kısmı veya giriş yansıma parametresi fonksiyonlarından biri verildiğinde, önce giriş empedans fonksiyonları türetilmiş ve bunun sentezi istenilen özellikleri sağlayan sıfır kaydırma yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede, sonlu frekans değerlerinde iletim sıfırları gerçekleştirilmiş, daha önce kullanılan bazı tekniklerin dezavantajları giderilmeye çalışılmıştır. Kullanılan bu yöntemin bilgisayar paket programı da geliştirilerek kullanıma sunulmuştur.

2.1.1 Reel frekans tekniği



Şekil 2.1 Uyumlaştırıcı Devre

Şekil 2.1'de verilen devrenin Çevrim Güç Kazancı ÇGK

$$\text{ÇGK} = 4 \cdot \frac{R(w) R_L(w)}{[R(w) + R_L(w)]^2 + [X(w) + X_L(w)]^2} \quad (2.1)$$

şeklinde verilir. Burada

$$Z(jw) = R(w) + jX(w)$$

$$Z_L(jw) = R_L(w) + jX_L(w) \quad (2.2)$$

sırasıyla uyumlaştırıcı devrenin ve yükün a noktasından görülen empedanslarıdır. $Z_L(jw)$ bilindiğinde (2.1) nolu denklemde ifade edilen çevrim güç kazancı $R(w)$ ile $X(w)$ ya bağımlı kalır. $Z(jw)$ minimum reaktans fonksiyonuysa $r(w)$ ile $X(w)$ arasında Hilbert transformasyonları yardımıyla, bir bağıntı kurulabilir. Öyleyse çalışma bandında, çevrim güç kazancı optimize edilerek, $R(w)$ hakkında bilgi sahibi olunabilir. uyumlaştırıcı devrenin reel kısmındanda Gewertz ya da Bode yöntemiyle $Z(jw)$ elde edilerek, devrenin sentezi yapılabilir,

2.1.2 Basitleştirilmiş reel frekans tekniği-saçılma yaklaşımı

Şekil 2.1'deki kayıpsız iki kapılının minimum faz yapısında ve iletim sıfırlarının orijinde ve sonsuzda olduğu

kabul edilsin. Bu durumda,

$$S_{11}(s) = \frac{h(s)}{g(s)} = \frac{h_0 + h_1 s + \dots + h_n s^n}{g_0 + g_1 s + \dots + g_n s^n} \quad (2.3)$$

olarak verilirse $S_{21}(s)$ ve $S_{22}(s)$ saçılma parametreleri

$$S_{21}(s) = S_{12}(s) = \frac{S^k}{g(s)} \quad (2.4)$$

$$S_{22}(s) = -(-1)^k \frac{h(-s)}{g(s)} \quad (2.5)$$

olur[9]. Uyumlaştırıcı devre kayıpsız olduğundan

$$g(s)g(-s) = h(s)h(-s) + (-1)^k s^{2k} \quad (2.6)$$

yazılır. Bu teknikle $S_{11}(s)$ 'ün $h(s)$ polinomu, bilinmeyen olarak seçilir. Çevrim güç kazancı saçılma parametreleri cinsinden,

$$\text{ÇGK} = (1 - |S_G|^2) \frac{|S_{21}|^2 |1 - |S_L||^2}{|1 - S_{11} S_G|^2 |1 - \hat{S}_{22} S_L|^2} \quad (2.7)$$

olarak yazılır. Burada

$$\hat{S}_{22} = S_{22} + \frac{S_{21}^2 S_G}{1 - S_{11} S_G}$$

$$S_G = \frac{1 - Z_G}{1 + Z_G}$$

$$S_L = \frac{1 - Z_L}{1 + Z_L} \quad (2.8)$$

olarak verilir. (2.6) denkleminde $g(s)$ ile $h(s)$ arasındaki bağıntı verilmiştir. (2.7) formülündeki bütün değişkenler o halde, $h(s)$ cinsinden yazılabilir. Çevrim güç kazancının çalışma bandındaki optimizasyonu sonucu elde ettiğimiz $h(s)$ polinomundan $g(s)$ 'i dolayısıyla $s_{11}(s)$ 'i elde etmemiz mümkündür. $s_{11}(s)$ 'den devrenin $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonu rahatlıkla elde edilir.

Yapılan çalışmada girdi fonksiyonu olarak devrenin empedansının reel kısmının ve $s_{11}(s)$ giriş saçılma parametresinin seçilmesindeki amaç, kullanıcının istediği optimizasyon tekniğini kullanarak sonuçlarını bu yapılan programa uydurabilmesidir.

2.2. Empedans Fonksiyonunun Reel kısmından Türetilmesi

Herhangi bir devrenin giriş empedansı minimum reaktans veya giriş admitansı minimum suseptans bir fonksiyonsa Hilbert teoremine göre, reel kısım ile sanal kısım arasında bir ilişki kurulabilir. Dolayısıyla böyle bir fonksiyon verilen sanal veya reel kısmından türetilebilir.

Bu çalışmada, program girdilerinden biri fonksiyonun reel kısmı olduğundan fonksiyonun kendisi Gewertz yöntemiyle türetilecektir. Burada $F(s)$ olarak, giriş empedans fonksiyonu $Z_{in}(s)$ 'ten veya giriş admitans fonksiyonu $Y_{in}(s)$ 'ten bahsedilecektir.

Verilen fonksiyon minimum ise,

$$\operatorname{Re} [F(s)] = \frac{A(-s^2)}{B(-s^2)} \quad (2.9)$$

denkleminde verilen $B(-s^2)$ payda polinomunun $j\omega$ ekseninde kökü bulunmamalı ve $A(-s^2)$ nin derecesi, $B(-s^2)$ nin derecesinden büyük olmamalıdır. Böyle bir $F(s)$ fonksiyonu

$$F(s) = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0} = \frac{m_1 + n_1}{m_2 + n_2} \quad (2.10)$$

şeklinde tanımlansın. Burada m_1 ve m_2 ile n_1 ve n_2 sırasıyla pay ve payda polinomlarının çift ve tek kısımlarıdır. Bu fonksiyonun reel kısmı

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}[F(s)] &= \frac{m_1 m_2 - n_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2} = \frac{A(-s^2)}{B(-s^2)} \\ &= \frac{A_n s^{2n} + A_{n-1} s^{2(n-1)} + \dots + A_1 s^2 + A_0}{B_n s^{2n} + B_{n-1} s^{2(n-1)} + \dots + B_1 s^2 + B_0} \quad (2.11) \end{aligned}$$

olarak yazılır.

$$B(-s) = m_2^2 - n_2^2 = (m_2 + n_2)(m_2 - n_2) = B(s)B(-s) \quad (2.12)$$

olduğundan ve $j\omega$ ekseninde sıfırı olmayacağından sıfırlar simetrik dağılır. $F(s)$ fonksiyonunun payda polinomu $B(s)$, s düzleminin sol yarısındaki köklerden oluşmuştur. Bu kökler tesbit edilip $F(s)$ ' in payda polinomu oluşturulur. Böylece $b_i (i=0,1,\dots,n)$ katsayıları elde edilir.

$\operatorname{Re}[F(s)]$ 'in pay polinomunun katsayıları A_i 'ler, a_i ve b_i 'ler cinsinden şöyle yazılabilir.

$$A_0 = a_0 b_0$$

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

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

$$\begin{aligned} A_3 &= a_0 b_6 + a_2 b_4 + a_4 b_2 + a_6 b_0 - a_1 b_5 - a_3 b_3 - a_5 b_1 \\ &\vdots \end{aligned} \quad (2.13)$$

Bu denklem takımında bilinmeyenler sadece a_i katsayılarıdır. Oluşturulan bu $n+1$ bilinmeyenli $n+1$ adet denklem çözülerek a_i katsayıları da bulunur. Böylece $F(s)$ fonksiyonu

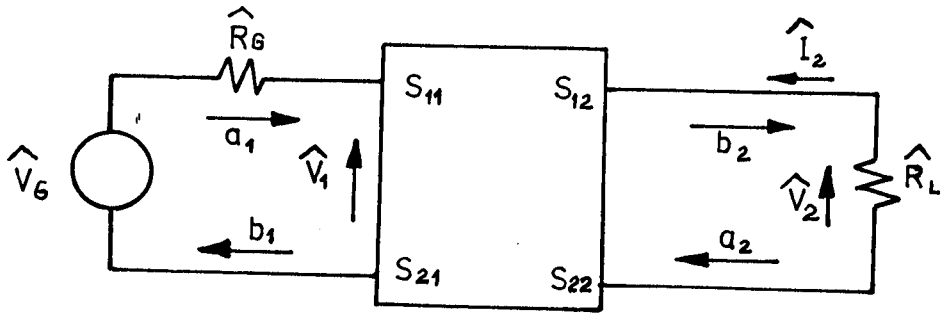
(2.10) da verilen şekliyle elde edilir.

(2.13) de verilen denklem takımının genel ifadesi

$$A_k = \sum_{i=-k}^k (-1)^{k+i} a_{k+i} b_{k-i} \quad (2.14)$$

olarak yazılır.

2.3 Empedans Fonksiyonunun Giriş Saçılma Parametresinden Türetilmesi



Şekil 2.2 İki kapılı bir devrede gelen ve yansıyan dalgalar

Herhangi bir iki-kapılılığın saçılma değişkenleri, gelen ve yansıyan dalgaların (akım ve gerilim) bir ifadesidir. Şekil 2.2'de verilen devreye göre a_1 ve a_2 sırasıyla kaynaktan ve yükten gelen dalgaları, b_1 ve b_2 ise iki kapılıdan yansıyan dalgaları gösterirler. Bu durumda gelen ve yansıyan dalgalar,

$$a_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{\hat{V}_1}{\sqrt{r_0}} + \hat{I}_1 \sqrt{r_0} \right]$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{\hat{V}_2}{\sqrt{r_0}} - \hat{I}_1 \sqrt{r_0} \right]$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{\hat{V}_2}{\sqrt{r_0}} + \hat{I}_2 \sqrt{r_0} \right]$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{\hat{V}_2}{\sqrt{r_0}} - \hat{I}_2 \sqrt{r_0} \right] \quad (2.15)$$

şeklinde tanımlanır. Burada r_0 pozitif reel bir normalizasyon sabitidir.

$$\begin{aligned} V &= \frac{\hat{V}}{\sqrt{r_0}} \\ I &= \hat{I} \sqrt{r_0} \\ R &= \frac{\hat{R}}{r_0} \end{aligned} \quad (2.16)$$

şeklindeki bir normalizasyon denklikleriyle gelen ve yansıyan dalgalar,

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{2} (V_1 + I_2) \\ b_1 &= \frac{1}{2} (V_1 - I_1) \\ a_2 &= \frac{1}{2} (V_2 + I_2) \\ b_2 &= \frac{1}{2} (V_2 - I_2) \end{aligned} \quad (2.17)$$

olarak yazılır. Gelen ve yansıyan bu dalgalar arasındaki bağıntıyı veren fonksiyonlara saçılma (scattering) parametreleri denir.

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}(s)a_1 + S_{12}(s)a_2 \\ b_2 &= S_{21}(s)a_1 + S_{22}(s)a_2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

$S_{11}(s)$ giriş saçılma parametresi

$$S_{11}(s) = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.19)$$

a_2 gelen dalgasının sıfır olması $R_L=1$ veya başka bir deyişle $\hat{R}_L=r_0$ olması demektir. Bu durumda,

$$S_{11}(s) = \frac{b_1}{a_1} = \frac{\frac{V_1 - I_1}{V_1 + I_1}}{\frac{V_1 - I_1}{V_1 + I_1}} = \frac{\frac{V_1}{I_1} - 1}{\frac{V_1}{I_1} + 1} = \frac{Z_{in}(s) - 1}{Z_{in}(s) + 1} \quad (2.20)$$

olarak yazılır. Denklemden $Z_{in}(s)$ çekilirse,

$$Z_{in}(s) = \frac{1 + S_{11}(s)}{1 - S_{11}(s)} \quad (2.21)$$

bulunur.

$$S_{11}(s) = \frac{h(s)}{g(s)}$$

şeklinde verilmişse

$$Z_{in}(s) = \frac{1 + \frac{h(s)}{g(s)}}{1 - \frac{h(s)}{g(s)}} = \frac{g(s) + h(s)}{g(s) - h(s)} \quad (2.22)$$

olarak türetilir.

Yapılan bilgisayar programında, giriş empedans fonksiyonunun reel kısmı ya da giriş saçılma parametresi verildiğinde $Z_{in}(s)$ empedans fonksiyonu türetilecek ve sentezi yapılacaktır. Bahsedilen iki girdi fonksiyonu, varolan optimizasyon paket programlarının çıktılarıdır. Kullanıcı bu optimizasyon çıktılarını herhangi bir işleme tabi tutmadan hazırlanan programa girebilecektir. Ayrıca herhangi bir

$Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonu, sentezinin yapılabilmesi için, programa direk verilebilecektir.

3. GİRİŞ İMMİTANS FONKSİYONLARININ GERÇEKLENMESİ

Birçok transfer fonksiyonunun gerçekleşmesi aslında bir giriş immitans fonksiyonunun (Driving Point Function) sentezi problemidir. Bu fonksiyonlar iki tip eleman içeren veya genelde tezde sentezinin yapılmasının amaçlandığı bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iki-kapılı devrelerin ifadesidir. Yüksek frekanslarda böyle fonksiyonların, mümkün olan en az sayıda eleman kullanılması için, basamak yapısında transformatörsüz olarak gerçekleşmesi istenir.

Giriş fonksiyonlarının sentezinde kullanılacak Brune yönteminde, gerçekleştirme için gerek ve yeter şart fonksiyonunun pr^1 olmasıdır. Fakat bu yöntem, gerçeklemede transformatörler gerektirir. Seri kolagelebilecek bobin değerinin negatif çıkmasıyla, bu eleman kendinden sonra gelen bobinlerle bir trafo şekline dönüştürülebilir. Bott ve Duffin ise herhangi bir pr giriş fonksiyonunun transformatörsüz olarak gerçekleştirilebileceğini bildirmişlerdir [10]. Fakat önerdikleri yöntem, gerçeklemede çok fazla sayıda eleman gerektirmektedir. Bu yüzden bu iki yöntem, devrelerin gürültü faktörünü ve fiyatını olumsuz yönde etkiler.

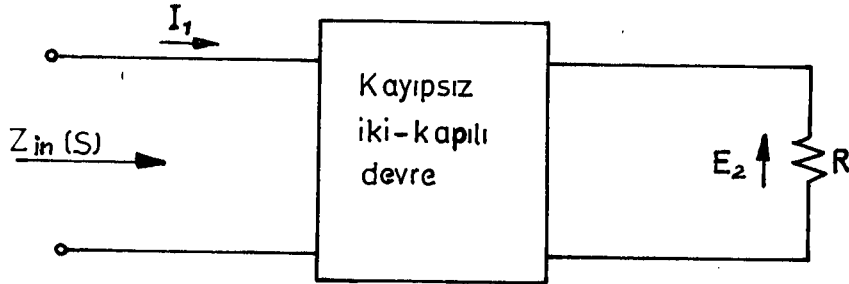
Darlington ise bir giriş fonksiyonunun gerçekleşmesi için alternatif bir yöntem önermiştir. Herhangi bir giriş empedans ya da admitans fonksiyonunun, bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iki kapılı devre şeklinde gerçekleştirileceğini göstermiş ve bunun için iki yol önermiştir. Birincisinde Z ya da Y parametreleri çıkarılan devrenin reel kısmının sıfırları bir adımda hesaplanır (Cauer Yöntemi). Bu hem transformatörlü hemde basamak yapısında olmayan bir devre gerçeklemedir. İkinci yöntem ise devrenin adım adım sentezidir ve her adımda Z_{11} ya da Z_{22} (veya Y_{11} ya da Y_{22}) nin sıfırları olarak anılan Z_{12} 'nin sıfırlarının bulunduğu yere

1 Pozitif reel

kaydırılır ve fonksiyondan uzaklaştırılır. Böylece iletim sıfırları tek tek gerçekleşir. Buna sıfır kaydırma yöntemi denir ve devre basamak yapısında gerçekleşir.

Hazırlanan bu tezde, bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iki kapılı devrelerin Z ve Y parametrelerinin nasıl bulunduğunu belirten Darlington yönteminden, bulunan bu parametrelerden sıfır kaydırma yönteminde nasıl yararlanılacağından ve daha sonra bu işlemin direk $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonuna nasıl uygulanacağından bahsedilecektir.

3.1 Darlington Devresi



Şekil 3.1 Darlington Devresi

Şekil 3.1'de görülen bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iki kapılıya Darlington devresi denir. Böyle bir devrenin giriş empedans fonksiyonu, Z ve Y parametreleri cinsinden şöyle yazılabilir.

$$Z_{in}(s) = \frac{RZ_{11} + |Z|}{R + Z_{22}} = Z_{11} \frac{1 + 1/R Y_{22}}{1 + Z_{22}/R} \quad (3.1)$$

Burada

$$|Z| = Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21} = Z_{11}Z_{22} - Z_{12}^2 \quad (3.2)$$

şeklinde verilir. $Z_{in}(s)$ 'in pay ve payda polinomları çift ve tek kısımlarına ayrılırsa,

$$Z_{in}(s) = \frac{m_1+n_1}{m_2+n_2} = \frac{m_1}{n_2} \frac{1+n_1/m_1}{1+m_2/n_2} \quad (3.3)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada m_1 ve n_1 pay polinomunun, m_2 ve n_2 ise payda polinomunun sırasıyla çift ve tek kısımlarıdır. (3.1) ile (3.2) denklemleri arasındaki benzerlikten

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

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

$$RY_{22} = \frac{m_1}{n_1} \quad (3.4)$$

olarak yazılır. m_1+n_1 ve m_2+n_2 pay ve payda polinomları Hurwitz polinomu¹ olduğundan (3.3) le verilen parametreler birer reaktans fonksiyonlarıdır. Yani LC basamak devresi halinde gerçekleştirilirler.

Z_{12} transfer empedans fonksiyonu (3.2) ve (3.4) nolu denklemler yardımıyla,

$$Z_{12} = Z_{11}Z_{22} - |Z| = \sqrt{R} \frac{\sqrt{m_1 m_2 - n_1 n_2}}{n_2} \quad (3.5)$$

olarak bulunur. Görüldüğü gibi $Z_{12}/\sqrt{R}$ 'nin pay polinomunun karesi, empedansın reel kısmının pay polinomuna eşittir. O halde bir empedans fonksiyonunun reel kısmının sıfırları, o empedans fonksiyonunun iletim sıfırlarını oluşturur.

$Z_{in}(s)$ fonksiyonunu n_1/m_2 parantezine alırsak,

¹ Köklerinin hepsi sol yarı s düzleminde olan polinom

$$Z_{in}(s) = \frac{m_1 + n_1}{m_2 + n_2} = \frac{n_1}{m_2} \frac{1+m_1/n_1}{1+n_2/m_2} \quad (3.6)$$

şeklinde yazabiliriz. Bunun (3.1) denklemiyle benzetiminden

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

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

$$RY_{22} = \frac{m_1}{n_1} \quad (3.7)$$

yazılabilir. Z_{12} transfer empedansı ise

$$Z_{12} = \sqrt{R} \frac{\sqrt{m_1 m_2 - n_1 n_2}}{m_2} \quad (3.8)$$

ile ifade edilir.

(3.3) ile (3.5) nolu denklemler, Darlington'un A durumu olarak adlandırılır ve bu durum ancak alçak geçiren ya da orijindeki iletim sıfırlarının sayısı çift olan kayıpsız devreler için geçerlidir. (3.7) ve (3.8) de verilen denklemlerle belirtilen B durumu ise, orijinde iletim sıfırlarının sayısı tek olan devrelerde uygulanır.

Darlington yöntemiyle elde edilen Z ve Y parametreleri kayıpsız bir devreyi oluşturacak LC reaktans ya da suseptans fonksiyonu görünümündedir. O halde bu parametreler bilindiğinde iki kapılı basamak devre kayıpsız olarak sıfır kaydırma yöntemiyle gerçekleştirilebilir. Z_{11} , Z_{12} , Y_{11} ve Y_{22} kayıpsız devrenin girişten ya da çıkıştan gördüğü reaktans ya da suseptans fonksiyonlarıdır. Z_{12} veya Y_{12} ise iki kapılılığın iletim sıfırlarının nerede olması gerektiği bilgisini verir.

3.2 Sıfır Kaydırma Yönteminin Reaktans ya da Suseptans Fonksiyonlarına Uygulanması

Cauer'in kayıpsız basamak devre gerçeklemede kullandığı yöntemde, verilen reaktans fonksiyonundan orijindeki ya da sonsuzdaki kutupların tamamıyla uzaklaştırılması prensibi vardır. Bu durumda tasarımı istenen devrenin iletim sıfırlarının ya orijinde ya da sonsuzda bulunması gerekir. Orijinden ya da sonsuzdan uzaklaştırılan bu kutupların yerini, fonksiyonun sonlu değerdeki sıfırlarından biri kayarak alır. Daha sonra fonksiyonun tersi alınıp aynı yerden kutup tekrar uzaklaştırılır ve bu, sentez işlemi bitene kadar devam eder. Buna devam eden kesirli açılım (Continued-fraction expansion) işlemi denir. Sonsuzdaki ve orijindeki iletim sıfırlarının sayısı bilindiğinde sentez işlemi böylece devam eder.

Fakat devrenin iletim sıfırları sonlu frekans değerindeyse Cauer yöntemi geçersiz kalır. Devrenin Darlington yöntemiyle bulunan Z parametrelerinden Z_{11} , kayıpsız devrenin giriş reaktans fonksiyonunu, Z_{12} ise iletim sıfırlarını tanımlar. Z_{12} 'nin sıfırlarından bazıları sonlu frekans değerinde olabilir. Bu durumda Z_{11} 'in sıfırlarını, fonksiyonun pr özelliğini ve yapısını bozmadan, Z_{12} 'nin sıfırlarının bulunduğu yere kaydırmak gerekir.

Bu işlemin nasıl yapılacağından ve dikkat edilecek özelliklerden bahsedilirken, reaktans fonksiyonu olarak Z_{11} ele alınacak ve iletim sıfırlarının nerede olması gerektiğinin bilindiği kabul edilecektir.

Kayıpsız iki kapılının giriş reaktans fonksiyonu,

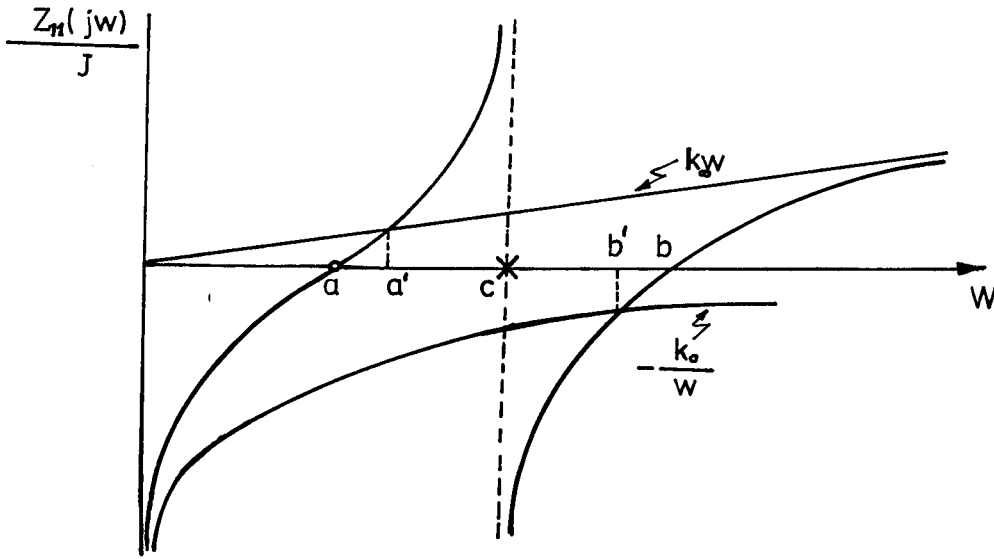
$$Z_{11}(s) = \frac{A(s^2+a^2)(s^2+b^2)}{s(s^2+c^2)} \quad (3.9)$$

şeklinde verilsin. Bu fonksiyonun frekansa göre değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Sonsuzdaki kutbun artık-terim (Residue) değeri,

$$K = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{Z_{11}(s)}{s} \quad (3.10)$$

olarak tanımlanır. Eğer bu artık-terim değeriyle sonsuzdan bir kutup

uzaklaştırılırsa, b değerindeki sıfır sonsuza, a değerindeki sıfır ise a' değerine kayar. Sonsuzdaki kutup kısmi olarak uzaklaştırılırsa, yani uzaklaştırılacak kutbun artık-terim değeri k_{∞} 'dan küçük ise, o zaman a değerindeki sıfır a ile a' arasına, b değerindeki sıfır ise b ile sonsuz arasında bir değere kayar. Fonksiyonun iletim sıfırları bu belirlenen yerlerde ise, Z_{11} 'in sıfırları sonsuzdaki kutbun kısmi olarak uzaklaştırılmasıyla istenilen yere getirilir.



Şekil 3.2 Z_{11} Reaktans fonksiyonunun frekansa göre değişimi

İletim sıfırı a' ile c arasındaysa, sonsuzdaki kutbun k_{∞} değerinden büyük bir artık-terim değeriyle uzaklaştırılması gerekir. Ancak bu işlem o fonksiyonun pr özelliğini bozar. Z_{11} 'in sıfırlarını orijin ile a ve c ile b arasında bir değere kaydırmak ise sonsuzdan uzaklaştırılacak kutbun artık-teriminin negatif olması anlamına gelir. Buda kollarla bağlanacak devre elemanının negatif değerde olması demektir. Bu durumda, verilen fonksiyonun sıfırları, sonsuzdaki kutbun kısmi olarak uzaklaştırılmasıyla orijin ile a ve a' ile b arasına kaydırılamaz. Başka bir deyişle iletim sıfırının olduğu w_i değerine Z_{11} 'in sıfırlarını kaydırmak için

$$K_1 = \frac{Z_{11}(jw_i)}{jw_i} \quad (3.11)$$

formülü ile bulunacak olan artık-terim değeri,

$$0 \leq K_1 \leq K_\infty \quad (3.12)$$

şartını sağlamalıdır. Bu sağlanıyor ise iletim sıfırı kaydırabilecek bölge içinde demektir.

(3.11) de bulunan artık-terim, (3.12) şartını sağladığında, $Z_{11}(s)$ den bu değerle sonsuzdan kutup uzaklaştırılır.

$$Z_1(s) = Z_{11}(s) - K_1 s \quad (3.13)$$

Elde edilen yeni $Z_1(s)$ fonksiyonu w_i de sifıra sahiptir. w_i değerindeki iletim sıfırını gerçeklemek için $Z_1(s)$ 'in tersi alınır. $1/Z_1(s)$ 'de oluşan bu sonlu değerdeki kutup uzaklaştırılır.

$$\longrightarrow Y_2(s) = \frac{1}{Z_1(s)} - \frac{k_2 s}{s^2 + w_i^2} \quad (3.14)$$

Burada,

$$K_2 = \lim_{s \rightarrow jw_i} \frac{s^2 + w_i^2}{s} \cdot \frac{1}{Z_1(s)} \quad (3.15)$$

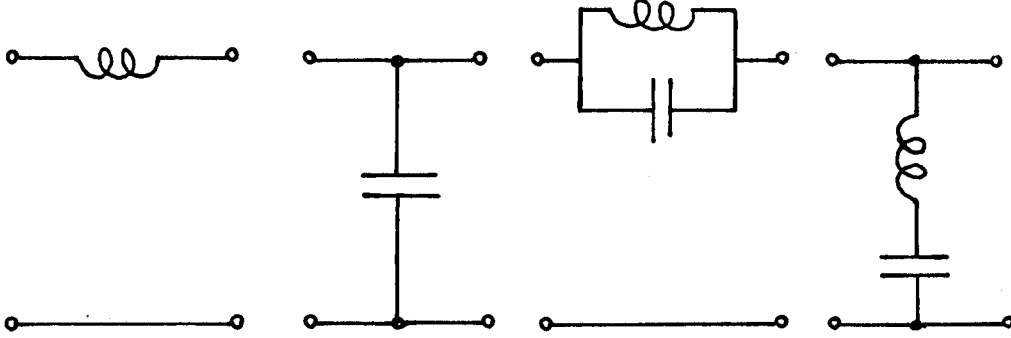
ile bulunur.

Gerçeklenen devrelerde, iletim sıfırları, seri kollarda görülen empedansın ve paralel kollarda görülen admitansın kutuplarından oluşmuştur. Devrelerde paralel ya da seri kollara bağlanan elemanlar kutupların kısmi ya da tamamıyla uzaklaştırılmasıyla elde edilirler. O halde, verilen fonksiyondan ancak iletim sıfırının bulunduğu frekans değerindeki kutuplar kısmi ya da tamamıyla uzaklaştırılırlar. Bu da, sağa kaydırma olarak da anılan sonsuzdan kutbun kısmi uzaklaştırılması işleminde, devrenin sonsuzda en az bir iletim sıfırının olması şartını gerektirir.

Ayrıca iletim sıfırının bulunduğu frekans değerindeki kutbun kısmi olarak uzaklaştırılması ile iletim sıfırı oluşmaz. İletim sıfırı ancak ve ancak o frekans değerindeki kutbun tamamıyla uzaklaştırılmasıyla gerçekleşir.

Sağa kaydirmede, her iki fonksiyon türünden de (Reaktans ya da suseptans) ks gibi bir terim uzaklaştırılır. Reaktans fonksiyonundan

uzaklaştırılıyorsa seri kola bir bobin, suseptans fonksiyonundan uzaklaştırılıyorsa paralel kola bir kondansatör gelir. İletim sıfırları ise seri kola gelen paralel LC veya paralel kola gelen seri LC rezonans devreleriyle gerçekleşir. Sağa kaydırma işlemi sonucu devreye Şekil 3.3.'de gösterilen devre elemanları bağlanarak ancak alçak geçiren tip-te bir devre elde edilir.



Şekil 3.3 Alçak geçiren devre elemanları

$Z_{11}(s)$ 'in sıfırları sağa doğru, sonsuzdan kısmi kutup uzaklaştırılmasıyla, ancak sınırlı bölgelere kaydırılabilmiş iletim sıfırları verilen bir $Z_{11}(s)$ fonksiyonunun sentezi, oldukça kısıtlı bir durumda kalmıştır. Öyleyse bu bölgeyi daha da genişletmek gerekir. Bu ise sonsuzdakilerin yanısıra orijindeki kutupların K/s terimiyle kısmi olarak uzaklaştırılmasıyla mümkün olur. Orijinde en az bir iletim sıfırı olması şartını gerektiren bu durumda sıfırlar sola yani orijine doğru kayarlar.

Şekil 3.2'de verilen $Z_{11}(s)$ fonksiyonun orijinde bir kutbu vardır ve bu kutbun artık-terim değeri

$$k_0 = \lim_{s \rightarrow 0} s Z_{11}(s) \quad (3.16)$$

ile hesaplanır. Sıfırdaki kutup bu artık terim değeriyle uzaklaştırılırsa a değerindeki sıfır orijine, b değerindeki sıfır b' değerine kayar. Uzaklaştırılacak kutbun artık-terim değeri k_0 'dan küçükse, yani orijinden kutup kısmi olarak uzaklaştırılırsa, a değerindeki sıfır a ile orijin, b değerindeki sıfır b ile b' arasına istenilen herhangi bir değere kayar. Böylece iletim sıfırları, bu bölgeler içindeyse, sola kaydırma işlemiyle, gerçekleşir. İletim sıfırının bulunduğu ω_1 frekansına, sıfır-

ların kayması için orijinden uzaklaştırılacak kutbun artık-terim değeri

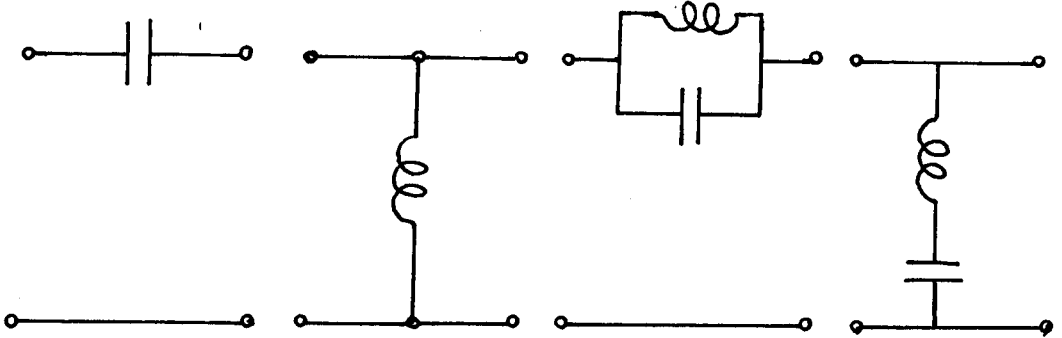
$$K_3 = j\omega_i Z(j\omega_i) \quad (3.17)$$

ile bulunur. ve bu değer

$$0 \leq K_3 \leq K_0 \quad (3.18)$$

aralığında bulunmalıdır.

Sola kaydırma işlemi için reaktans ya da suseptans fonksiyonundan K/s gibi bir terimin uzaklaştırılmasıyla, Şekil 3.4'de verildiği gibi ancak seri kola bir kondansatör, paralel kola bir bobin gelir. İletim sıfırları ise yine paralel koldaki seri LC ya da seri koldaki paralel LC rezonans devreleriyle gerçekleştirilebilir. Sola kaydırma işlemiyle gerçekleştirilen devre yüksek geçiren yapıdadır.



Şekil 3.4 Yüksek geçiren devre elemanları

Sağa ve sola kaydırmalar sonucunda yine de sıfırların kayamayacağı bölgeler vardır. Şekil 3.2'den de anlaşılabileceği gibi $Z_{11}(s)$ fonksiyonunun sıfırları, a' ile b' değerleri arasına kayamaz. İletim sıfırları bu bölge içindeyse gerçekleştirme de izlenebilecek bir yol daha vardır. Bu da sıfırların kaydırılabileceği bölgenin değiştirilmesidir. Bu işlem $Z_{11}(s)$ 'in pay ya da payda polinomlarından herhangi birisinin derecesi, $Z_{12}(s)$ 'in pay polinomunun derecesinden büyükse ve orijindeki ve sonsuzdaki iletim sıfırlarının toplam sayısı en az iki ise, orijindeki ya da sonsuzdaki kutuplardan en uygununun tamamıyla uzaklaştırılmasıyla başlanır. Böylece fonksiyonun sıfırlarının yer değiştirmesi sağlanır ve geri kalan fonksiyonun sıfırlarının kayabileceği bölge değişmiş olur. İletim sıfırları bu bölge içine girmişse gerçekleştirilir. Girmemişse tekrar sıfırların sayısı kontrol edilerek işleme devam edilir.

Sıfırların iletim sıfırlarının bulunduğu değerlere kayması için hesaplanan artık-terim değerlerinin (3.12) ya da (3.18) şartını sağlayanları, birden fazlaysa, minimum artık-terim değeriyle kutup uzaklaştırılmalıdır. Böylece sonsuzda ya da orijinde bir iletim sıfırı varsa, sadece bu iletim sıfırının bulunduğu değere doğru kaydırma işlemiyle iletim sıfırlarının gerçekleşmesi sağlanır.

Verilen LC fonksiyonun yukarda bahsedilen yöntemle gerçekleştirilmesi, devrenin basamak yapısında transformatörsüz olarak gerçekleştirilmesi demektir.

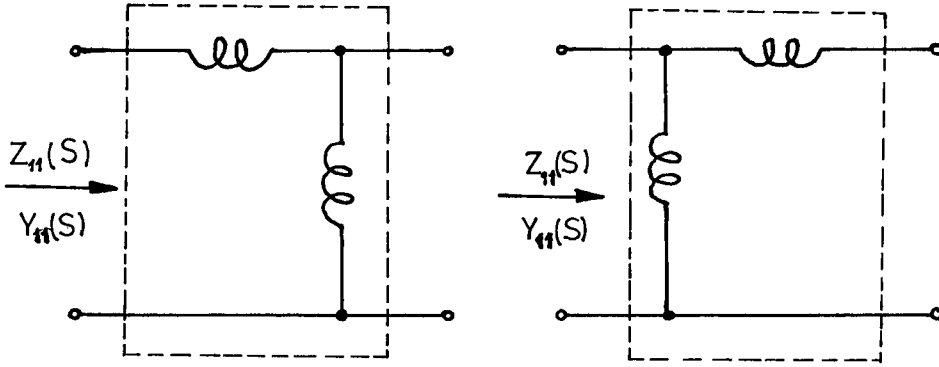
3.3. Sıfır Kaydırma Yönteminin Direk Giriş Empedans Fonksiyonuna Uygulanması

Bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iki kapılının, bulunan Z ve Y parametreleri yardımıyla, sentezinde bir takım güçlükler vardır. Bilindiği gibi Z açık devre parametreleri, Y ise kısa devre parametreleridir. Z_{11} giriş açık devre parametresi en son seri koldaki eleman, Y_{11} giriş kısa devre parametresi ise en son paralel koldaki eleman hakkında bilgi taşımaz. Bu bilgi Z_{22} ve Y_{22} 'de vardır. Bu yüzden iki kapılı devrenin sentezinin yapılabilmesi için üç ayrı parametrenin (Z_{11} , Z_{22} , ve Z_{12}) işleme sokulması gerekir.¹ $Z_{11}(s)$ 'in bilgi sahibi olmadığı en son seri koldaki elemanın cinsi ve değeri $Z_{22}(s)$ 'in ilk seri koluna gelecek elemanın cinsi ve değeriyle aynıdır. Fakat bu çözümü tek olan filtreler için geçerlidir. Çözümü tek olmayan filtrelerde Z_{22} 'nin ilk seri koluna gelecek elemanın cinsi bobin ya da kondansatör olabilir. Sıfırda ve sonsuzda iletim sıfırlarına sahip band-geçiren devrelerde bu duruma rastlanır. $Z_{22}(s)$ 'den kutup ilk olarak sonsuzdan uzaklaştırıldığında bobin, orijinden uzaklaştırıldığında kondansatör, ilk seri kola gelir. Bu durumda bu elemanın hangisi olacağını bulmak uzun işlemler gerektirir.

→ Akla gelebilecek bir başka çözüm ise, iki kapılının sentezinde $Z_{11}(s)$ ya da $Y_{11}(s)$ fonksiyonlarından en fazla bilgi taşıyanını kullanmaktır. Bu durumda en son eleman seri kolda ise $Y_{11}(s)$, paralel kolda ise $Z_{11}(s)$ daha fazla bilgi taşır ve pay ve payda polinomlarının derecelerinin toplamı diğerinkinden büyüktür. İletim sıfırlarının değeri de

¹ $Z_{12} = Z_{21}$ şartını sağlayan pasif elemanlardan oluşan devrelerde

bilindiğinde devrenin tümü hakkında bilgi sahibi olunduğu akla gelebilir. Ancak Şekil 3.5'de verilen band-geçiren devre tiplerinde yine sorun çıkar. Gerçeklenmesi gereken iki eleman olduğu halde, her iki fonksiyonda sadece bir eleman bilgisi taşır.



Şekil 3.5 Band geçiren tipinde iki kapılı devreler.

Bir başka sorunda iki kapılı devreyi sonlandıran direnç değerinin bulunmasıdır. Alçak geçiren devrelerde,

$$R = \lim_{s \rightarrow 0} Z_{in}(s) \quad (3.19)$$

yüksek geçiren filtrelerde,

$$R = \lim_{s \rightarrow \infty} Z_{in}(s) \quad (3.20)$$

olarak bulunur. Bu filtrelerde çözüm tektir ve bulunacak R direnç değeri önceden bilinir. Ancak band-geçiren devrelerde, verilen bir fonksiyonun çözümü tek olmadığından, bulunacak R direncinin değeri çözüm yoluna bağlıdır. Bu değer de, ancak iki kapılılığın sentezinin bitiminden sonra yapılacak analiz işlemi ile bulunabilir.

İki kapılı devrelerin açık-devre ve kısa-devre parametreleri yardımıyla gerçeklenmeleri, yukarıda bahsedilen zorlukları beraberinde getirir. Sentez işlemini kısa zamanda ve fazla işleme gerek duyulmadan yapılmasını sağlamak için, direk $Z_{in}(s)$ giriş empedans veya $Y_{in}(s)$ giriş admitans fonksiyonuna sıfır kaydırma yönteminin uygulanması gerekir. Çünkü bu fonksiyonlar, kayıpsız iki kapılı ve sona bağlanacak R direnci

hakkındaki tüm bilgileri her zaman üzerlerinde taşırlar. $j\omega$ eksenini üzerindeki kutupların uzaklaştırılarak yapıldığı sentez işlemi, daha önce çıkarılan elemanlardan bağımsız olarak devam eder. Eğer $Z_{11}(s)$ 'in sıfırlarından biri iletim sıfırının bulunduğu yere kaydırılıyorsa, (3.1) nolu denklem gereğince, $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonunun da, $j\omega$ ekseninde, o frekans değerinde sıfırı oluşur. $Z_{11}(s)$ reaktans fonksiyonundan uzaklaştırılan kutupların, aynı artık-terim değeriyle $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonundan çıkarılmasıyla devrenin sentezi yapılır.

3.3.1 Giriş empedans fonksiyonunun özellikleri

$Z_{in}(s)$ empedansı

$$Z_{in}(s) = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0} = \frac{m_1 + n_1}{m_2 + n_2} \quad (3.21)$$

şeklinde tanımlansın. Böyle bir empedans fonksiyonunun, bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iki-kapılı devre halinde gerçekleştirilebileceği Darlington tarafından belirtilmiştir. Şekil 3.1'de görülen böyle bir devrenin basamak yapısında transformatörsüz olarak gerçekleştirilmesi için iletim sıfırlarının $j\omega$ ekseninde olması gerekir. Şekil 3.1'deki iki kapılı devre kayıpsız olduğu için, kaynaktan çekilecek aktif güç tamamıyla R direnci üzerinde harcanacaktır.

$$\begin{aligned} |I_1|^2 R_e [Z_{in}(j\omega)] &= \frac{|E_2|^2}{R} \\ R \operatorname{Re} [Z_{in}(j\omega)] &= \left| \frac{E_2}{I_1} \right|^2 = |Z_{12}|^2 \end{aligned} \quad (3.22)$$

(3.22) nolu denklemden anlaşılacağı gibi transfer empedansı Z_{12}' 'nin büyüklüğünün karesi, $Z_{in}(s)$ empedansının reel kısmına eşittir. O halde $Z_{in}(s)$ empedansının reel kısmının sıfırları da iletim sıfırlarını verir.

Şekil 3.1'deki kayıpsız iki kapılı devre alçak geçiren bir yapıdaysa $Z_{in}(s)$ fonksiyonunun sonsuzda mutlaka bir kutbu veya sıfırı vardır. Yani pay ve payda polinomlarının dereceleri arasında,

$$|n-m| = 1 \quad (3.23)$$

bağıntısı vardır. Bu ise sonsuzda en az bir iletim sıfırının varolduğunu gösterir. Sonsuzda birden fazla iletim sıfırı varsa,

$$\frac{a_n}{a_{n-1}} = \frac{b_n}{b_{m-1}} \quad (3.24)$$

eşitliği yazılır. Bu durumda sonsuzdan bir kutup tamamiyle uzaklaştırıldığında ($n > m$ için)

$$Z_1(s) = Z_{in}(s) - k_{\infty} s = Z_{in}(s) - \frac{a_n}{b_m} s$$

$$Z_1(s) = \frac{(a_n - b_m \frac{a_n}{b_m})s^n + (a_{n-1} - b_{m-1} \frac{a_n}{b_m})s^{n-1} + \dots + (a_1 - b_0 \frac{a_n}{b_m})s + a_0}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0} \quad (3.25)$$

elde edilir. (3.24) kuralı gereğince, yeni elde edilen pay polinomunun en büyük iki derecesinin katsayısı sıfıra eşit çıkar ve fonksiyonun sonsuzda bu defa sıfırı oluşur. Polinomlar arasında derece farkı yine vardır. Sonsuzda sadece bir iletim sıfırı varsa (3.24)'de verilen eşitlik yazılamaz. Bu durumda sonsuzdan kutup uzaklaştırıldığında en büyük derecenin katsayısı sıfıra eşit çıkar ve polinomların dereceleri birbirine eşitlenir. $Z_1(s)$ fonksiyonunun artık sonsuzda iletim sıfırı yoktur. O halde ancak ve ancak pay ve payda polinomları arasında derece farkı olduğunda, sonsuzdaki kutup kısmı ya da tamamiyle uzaklaştırılır.

İki kapılı devre yüksek geçiren yapıdaysa, orijinde mutlaka bir kutbu veya sıfırı olmalıdır. Bu ise, pay ya da payda polinomlarından bir tanesinin sıfırinci derecenin katsayısının sıfıra eşit olmasını gerektirir. Ayrıca bu yapıda polinomların dereceleri de birbirine eşittir. Bu durumda orijinde en az bir tane iletim sıfırı vardır.

(3.21) nolu denklemde $n=m$ ve $b_0=0$ olduğu varsayılınsın. Bu durumda orijinde birden fazla iletim sıfırı varsa,

$$\frac{a_0}{a_1} = \frac{b_1}{b_2} \quad (3.26)$$

eşitliği yazılır. Orijindeki kutbun tamamiyle uzaklaştırılması sonucu

$$Z_2(s) = Z_{in}(s) - \frac{k_0}{s} = Z_{in}(s) - \frac{a_0}{b_1 s}$$

$$Z_2(s) = \frac{a_n s^n + (a_{n-1} - b_m \frac{a_0}{b_1}) s^{n-1} + \dots + (a_1 - b_2 \frac{a_0}{b_1}) s + (a_0 - b_1 \frac{a_0}{b_1})}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s}$$

(3.27)

elde edilir. Görüldüğü gibi (3.26) eşitliği gereği, pay polinomunun en küçük derecesinin katsayısı sıfırlanır. Bu durumda pay ve payda polinomları s terimine bölünerek, dereceler bir azaltılır ve orijinde bir sıfır oluşur. Orijinde sadece bir iletim sıfırı varsa (3.27)'de verilen $Z_2(s)$ 'in pay polinomunun sadece en küçük derecesinin katsayısı sıfırlanır ve $Z_2(s)$ 'in, artık orijinde iletim sıfırı yoktur.

Band geçiren devreler ise yukarıda bahsedilen iki devre tipinin bir devre halinde bütünleşmesinden oluşur. Böyle bir devrenin hem orijinde hem de sonsuzda enaz bir iletim sıfırı olmalıdır ve yüksek-geçiren ile alçak geçiren devrelerin tüm özelliklerini üzerinde taşımalıdır.

3.3.2 Giriş empedans fonksiyonunun sıfır kaydırma yöntemiyle gerçekleştirilmesi

Basamak yapısında kayıpsız alçak-geçiren bir devrenin transformtörsüz olarak gerçekleştirilmesi için gerekli şartlar Fujisawa tarafından belirtilmiştir. Bu şartlar şöyle sıralanabilir.

1. İletim sıfırları $j\omega$ ekseninde olmalıdır.
2. $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonunun sonsuzda bir kutbu veya sıfırı olmalıdır.
3. Kayıpsız basamak devrenin Z ve Y parametrelerinin sonlu değerdeki iletim sıfırlarının sayısına eşit veya bundan büyük olmalıdır.
4. $j\omega$ eksenindeki k adet iletim sıfırı $w_1 < w_2 < \dots < w_k$ olarak belirtilsin. Bu durumda Z_{11} , Z_{22} , Y_{11} ve Y_{22} parametrelerinden herhangi birisinin, i'inci iletim sıfırıyla orijin arasında en az i adet sıfırı olmalıdır.

Bu şartları sağlayan bir $Z_{in}(s)$ empedans fonksiyonundan, sonsuzdaki kutbun kısmi olarak uzaklaştırılmasıyla sıfırlar sonlu değerde bulunan bütün iletim sıfırlarına doğru hareket ettirilirler.

0 halde alçak geçiren bir devrede, sıfırlar sonsuzda bulunan iletim sıfırına doğru kaydırılmalıdır. Bu işlem $Z_{in}(s)$ empedans ya da $Y_{in}(s) = 1/Z_{in}(s)$ admitans fonksiyonunun sonsuzda kutbu olanından, k_s gibi bir terimin uzaklaştırılmasıyla gerçekleşir. Empedans fonksiyonundan uzaklaştırılıyorsa seri kola bobin, admitans fonksiyonundan uzaklaştırılıyorsa paralel kola kondansatör gelir.

$Z_{in}(s)$ fonksiyonunun sonsuzda kutbu olduğu varsayılсын. w_i değerindeki iletim sıfırının gerçekleşmesi için sonsuzdan uzaklaştırılacak kutbun artık-terim değeri,

$$k_i = \frac{Z_{in}(jw_i)}{jw_i} \quad (3.28)$$

ile hesaplanır. Bu artık terim değeriyle kutup uzaklaştırılırsa,

$$\begin{aligned} Z_a(s) &= Z_{in}(s) - k_i s \\ &= \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0} - k_i s \\ &= \frac{(s^2 + w_i^2)(a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s + a_0)}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0} \end{aligned} \quad (3.29)$$

bulunur. İletim sıfırını gerçeklemek için ise, fonksiyonun tersi çevrilerek, w_i sonlu değerindeki kutup tamamıyla uzaklaştırılmalıdır.

$$Y_{a2}(s) = \frac{1}{Z_{a1}(s)} - \frac{k_{a1} s}{s^2 + w_i^2} \quad (3.30)$$

Bunun için gereken artık-terim değeri

$$k_{a1} = \frac{s^2 + w_i^2}{s} \left. \frac{1}{Z_{a1}(s)} \right|_{s=jw_i} \quad (3.31)$$

ile bulunur.

Reaktans fonksiyonlarında olduğu gibi (3.28) nolu denklemde bulunan artık-terim değeri

$$0 \leq k_i \leq k_\infty \quad (3.32)$$

kuralına uymalıdır. Aksi takdirde geriye kalan Z_{a1} fonksiyonunun pr özelliği bozulur ya da bulunan eleman değeri negatif çıkar.

$Z_{in}(s)$ fonksiyonunun k adet iletim sıfırı olsun ve (3.28) de bulunan k_i ($i= 1,2,\dots,k$) değerleri (3.32) kuralına uyduğu varsayılınsın. Bu durumda sonsuzdan uzaklaştırılacak kutbun artık-terim değeri, sağa kaydırma işleminin sonuna kadar devam edebilmesi için

$$k = \min \{ k_1, k_2, k_3, \dots, k_k \} \quad (3.33)$$

ile seçilir.

Kayıpsız basamak yapısında yüksek geçiren bir devrenin transformtörsüz olarak gerçekleşmesi için gereken şartlar alçak geçiren devredesine benzer olarak şöyle sıralanabilir.

1. İletim sıfırları $j\omega$ ekseninde olmalıdır.
2. $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonunun orijinde bir kutbu veya sıfırı olmalıdır.
3. Devrenin Z ve Y parametrelerinin herhangi birisinin sonlu değerdeki kutupların sayısı, sonlu değerdeki iletim sıfırlarının sayısına eşit ya da büyük olmalıdır.
4. $j\omega$ ekseninde sonlu değerde k adet iletim sıfırı $w_1 < w_2 < \dots < w_k$ olarak belirtilsin. Bu durumda Z_{11}, Z_{22}, Y_{11} ve Y_{22} parametrelerinin herhangi birisinin, i .inci iletim sıfırıyla sonsuz arasında, en az $(k - i + 1)$ adet sıfırı bulunmalıdır.

Bu şartları sağlayan bir devrenin sentezi, alçak geçireninkine benzer olarak yapılabilir. Ancak sıfırlar, iletim sıfırlarının olduğu değerlere, ancak orijinde kutbu olan $Z_{in}(s)$ empedans ya da $1/Z_{in}(s)$ admittans fonksiyonundan kutbun kısmi olarak uzaklaştırılmasıyla, kaydırılabilir. Empedans fonksiyonundan uzaklaştırılıyor ise seri kola kondansatör admittans fonksiyonundan uzaklaştırılıyor ise paralel kola bobin gelir. Orijinden uzaklaştırılacak kutbun artık-terim değeri

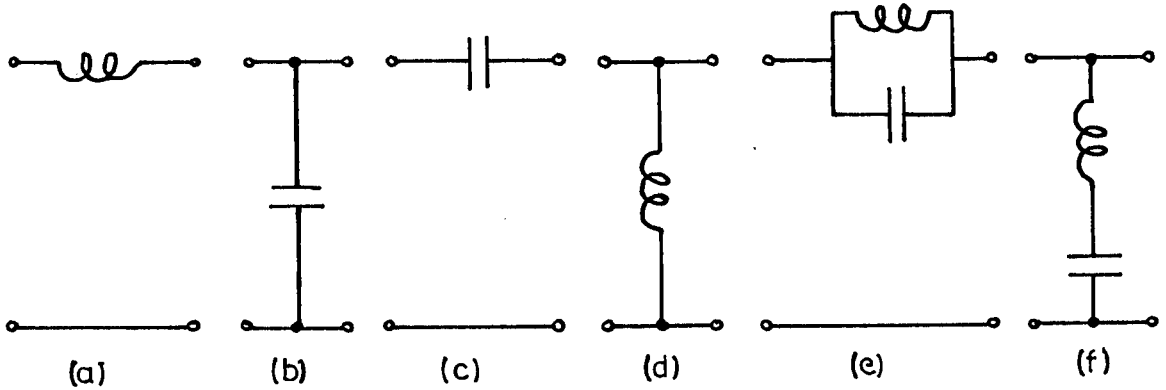
$$k_i = j\omega_i Z_{in}(j\omega_i) \quad (3.34)$$

ile bulunur. Bu artık terim değeriyle orijinden kutup uzaklaştırılırsa (3.29) daki gibi bir fonksiyon elde edilir. w_i sonlu değerindeki kutup ise (3.30) da verildiği gibi tamamiyle uzaklaştırılır. Sıfırın kaydırılması için bulunan artık terim değeri,

$$0 \leq k_i \leq k_o \quad (3.35)$$

kuralına uymalıdır. K_o orijindeki kutbun tamamıyla uzaklaşması için gereken artık-terim değeridir. Ayrıca (3.35) kuralını sağlayan birden fazla artık terim değeri bulunuyorsa en küçüğü seçilmelidir.

Bir band geçiren devrenin sentezinde ise, her iki tip devredeki kurallar uygulanır. Orijinde ve sonsuzda iletim sıfırları olduğu için sıfırlar hem sağa hem de sola kaydırılabilir. Sağa kaydırılacaksa sonsuzda kutbu olan, sola doğru kaydırılacaksa orijinde kutbu olan empedans ya da admitans fonksiyonundan kısmi olarak kutup uzaklaştırılır. Böyle bir band geçiren devre ise Şekil (3.6)'da gösterilen devre elemanlarından oluşabilir. Sıfırların kaydırılması için sonsuzdan kutup uzaklaştırıldığında, (a) ve (b) şıklarındaki, orijinden kutup uzaklaştırıldığında (c) ve (d) şıklarındaki devre elemanları devreye bağlanır. (e) ve (f) şıklarındaki devre elemanları ise sonlu değerdeki iletim sıfırlarının gerçekleşmeleri içindir.



Şekil 3.6 Band-geçiren devre elemanları

Bütün bu bahsedilenlerden sonra verilen herhangi tipteki bir fonksiyonu, sıfır kaydırma yöntemiyle, aşağıdaki verilen sırayla sentez edilmelidir.

1. Fonksiyonun sonsuzdaki, orijindeki ve sonlu değerdeki iletim sıfırlarını ve sayısını bul. Bu işlem için reel kısmın sıfırlarına bak.

2. Eğer orijinde iletim sıfırı varsa, sıfırların sola doğru iletim sıfırlarının olduğu değere kaydırılıp kaydırılamayacağını kontrol et. Bunun için (3.34)'de bulunan artık-terim değeri (3.35) kuralına uyuyorsa orijindeki bu artık-terim değeriyle kutup uzaklaştır ve oluşan iletim sıfırını gerçekleştir. Gerçekleniyorsa diğer iletim sıfırlarının gerçekleştirilmesi için tekrar 2. aşamadan başla.
3. Sonsuzda iletim sıfırı varsa, sıfırların sağa doğru istenen değerlere kaydırılıp kaydırılamayacağını (3.28) ve (3.32) nolu denklikleri kullanarak kontrol et. Şartlar sağlanıyorsa, bulunan artık-terim değeriyle sonsuzdan kutup uzaklaştır ve iletim sıfırını gerçekleştir. Gerçekleniyor ise diğer iletim sıfırlarının gerçekleştirilmesi için ikinci aşamadan başla.
4. İkinci ve üçüncü aşamada iletim sıfırları gerçekleştiriliyorsa sıfırların kaydırılamayacağı bölge içinde demektir. Bu bölgeyi değiştirmek, yani fonksiyonun sıfırlarının yerini değiştirerek iletim sıfırlarını kaydırılabilecek bölge içinde almak, amacıyla orijinden ya da sonsuzdan kutupların en uygununu tamamiyle uzaklaştır. En uygun kutup uzaklaştırma ise iletim sıfırlarının herhangi birini kaydırılabilecek bölge içine alacak olanıdır. Her iki yöne kaymanın işlemin sonuna kadar mümkün olabilmesi için orijindeki ya da sonsuzdaki iletim sıfırlarının hangisi sayı olarak fazlaysa oradan tamamiyle kutup uzaklaştır. Orijinde ya da sonsuzda bir iletim sıfırı kalması halinde tekrar ikinci aşamadan başla.
5. Bu aşamaya gelindiğinde eğer sonlu değerde hala gerçekleştirilemeyen iletim sıfırı varsa, verilen fonksiyon kayıpsız basamak yapısında trafosuz olarak gerçekleştirilemez. Eğer bütün sonlu değerdeki iletim sıfırları gerçekleştirilmişse orijinde ve sonsuzdaki geri kalan iletim sıfırlarını gerçekleştir.
6. Bütün iletim sıfırları gerçekleştirildiğinde, geriye kalan fonksiyon, sadece R direncinin değerinin ne olacağı hakkındaki bilgiyi taşır. ve bir sabite eşittir. Bu değerdeki bir direnci, kayıpsız iki kapılının sonuna bağla.

Yukarıda verilenler transformatörsüz olarak basamak yapısında ger-

çeklenebilecek bir R direnciyle sonlandırılmış kayıpsız bir iki kapılı-
nın sentez kurallarıdır. Bu kurallar alçak-geçiren, yüksek-geçiren ve
band-geçiren devre sentezinde kullanılır. Band-yutan devrenin orijinde
ve sonsuzda iletim sıfırları olmadığından bahsedilen kurallar bu tip i-
çin geçersizdir. Ancak sonlu değerdeki bir kutbun kısmi olarak uzak-
laştırılmasıyla iletim sıfırları gerçekleştirilebilir. Bu tip bir devreyle
uğraşıl mayacağından tezde bahsedilmeyecektir.

3.3.3 Bir uygulama

$$Z_{in}(s) = \frac{13s^3 + 9s^2 + 5s}{s^4 + s^3 + 3s^2 + 2s + 1}$$

Verilen giriş empedans fonksiyonunu gerçeklemek için önce iletim
sıfırlarının sayısı ve yeri tesbit edilir.

$$Re[Z_{in}(s)] = \frac{-4s^6 - 4s^4 - s^2}{s^8 + 5s^6 + 7s^4 + 2s^2 + 1} = \frac{4(s^2 + 0,5)^2}{s^8 + 5s^6 + 7s^4 + 2s^2 + 1}$$

Buna göre $j\omega$ ekseninde $\mp 0,5$ de, orijinde ve sonsuzda iletim sı-
fırı vardır.

İlk önce sıfırların sola kaydırılarak $\omega^2 = -0,5$ değerine istenen
şartlarda ulaşılıp ulaşıldığına bakılır. $1/Z_{in}(s)$ 'in orijinde kutbu oldu-
ğundan,

$$k_1 = j\sqrt{0,5} \frac{1}{Z_{in}(j\sqrt{0,5})} = \frac{1}{6}$$

bulunur. Bu artık-terim değeri $K_0 = 1/5$ 'den küçük pozitif bir sayı oldu-
ğuna göre k_1/s terimi, $1/Y_{in}(s)$ 'den çıkarılıp iletim sıfırı gerçekleştirir.

$$\begin{aligned} Y_1(s) &= \frac{1}{Z_{in}(s)} - \frac{k_1}{s} = \frac{s^4 + s^3 + 3s^2 + 2s + 1}{13s^3 + 9s^2 + 5s} - \frac{1}{6s} \\ &= \frac{s^4 + s^3 + \frac{5}{6}s^2 + \frac{1}{2}s + \frac{1}{6}}{13s^3 + 9s^2 + 5s} = \frac{(s^2 + s + \frac{1}{3})(s^2 + 0,5)}{13s^3 + 9s^2 + 5s} \end{aligned}$$

$$Z_2(s) = \frac{1}{Y_1(s)} - \frac{K_2 s}{s^2 + 0,5}$$

Burada,

$$K_2 = \left. \frac{s^2 + 0,5}{s} \cdot \frac{1}{Y_1(s)} \right|_{s = j\sqrt{0,5}} = 9$$

bulunur.

$$Z_2(s) = \frac{13s^3 + 9s^2 + 5s}{(s^2 + s + \frac{1}{3})(s^2 + 0,5)} - \frac{9s}{s^2 + 0,5}$$

$$Z_2(s) = \frac{4s}{s^2 + s + \frac{1}{3}}$$

Fonksiyonun artık sonlu bir frekans değerinde iletim sıfırı yoktur. 0 halde sağa ya da sola kaydırma işlemlerine gerek kalmamıştır. Orijindeki ve sonsuzdaki iletim sıfırları, sırasıyla, orijindeki ve sonsuzdaki kutupların tamamıyla uzaklaştırılmasıyla gerçekleşir.

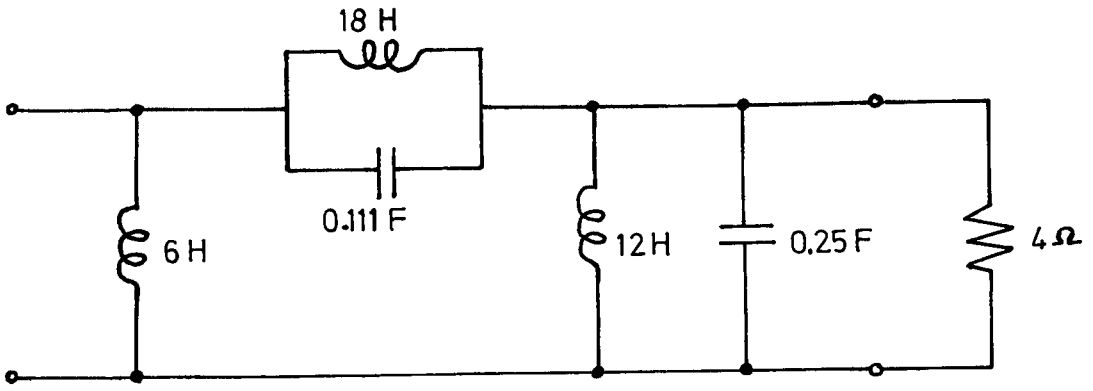
$$Y_3(s) = \frac{1}{Z(s)} - \frac{k_3}{s} = \frac{s^2 + s + \frac{1}{3}}{4s} - \frac{1}{12s} = \frac{s + 1}{4}$$

$$Y_5(s) = Y_3(s) - K S = \frac{s + 1}{4} - \frac{s}{4} = \frac{1}{4}$$

Bulunan bu artık-terim değerlerinden devre elemanlarının hangi kola hangi değerle geleceği EK-1'deki çizelgeye göre hesaplanır.

Bütün iletim sıfırları hesaplandığında fonksiyon artık bir sabite eşittir. Bu ise sona bağlanacak direncin değerini verir.

$$R = Z_5(s) = 4$$



Şekil 3.7 Gerçeklenen devre

4. DAĞILMIŞ DEVRE ELEMANLARIYLA GERÇEKLEME

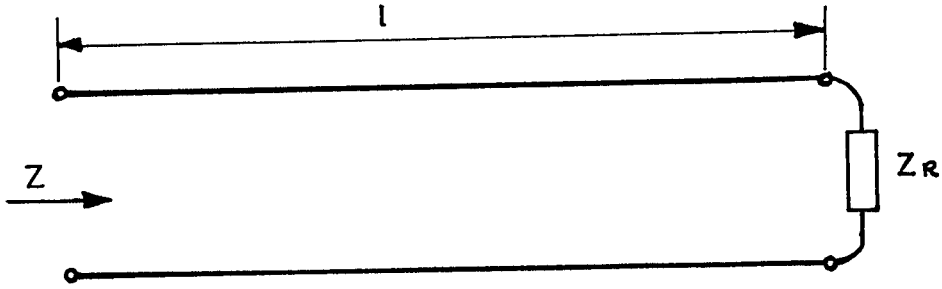
4.1. Dağılmış Devre Elemanlarıyla Gerçeklemenin Önemi

Buraya kadar verilen fonksiyonlardan devrelerin toplu devre elemanlarıyla gerçeklenmeleri anlatılmıştır. Çok yüksek frekanslarda sinyalin dalga boyu, (10 GHz'de 3cm) gerçeklenecek toplu devre elemanlarının boyutuyla karşılaştırılabilir ölçüler içine girer. Elektromagnetik dalgaların böyle toplu devre elemanları üzerinden iletimi, istenen performansta olamaz. Çünkü bu elemanlar, yüksek kalite özelliğinden yoksundur. Mikrodalga frekans bandında, elemanların pratikteki bütün gerçeklemeleri, dağılmış devre elemanlarıyla yapılır. Ince-film (thin-film) tekniğiyle, dağılmış devre elemanları ucuza ve küçük boyutlarda imal edilmektedir. Bundan başka bir tek dağılmış devre elemanı, birden fazla toplu devre elemanının yaptığı işi başarabilmektedir.

Bu çalışmada dağılmış devre elemanı olarak belirli bir Z_0 karakteristik empedansına sahip kayıpsız iletim hatları kullanılmış ve bunların sadece 1 boyu hesaplanarak istenen bobin, kondansatör ve rezonans devrelerinin gerçeklenmesine çalışılmıştır.

4.2. Kayıpsız İletim Hatlarının Empedansı

4.2.1. Bir dirençle sonlandırılmış kayıpsız iletim hatları



Şekil 4.1 Bir dirençle sonlandırılmış iletim hattı

Şekil 4.1'de verilen iletim hattının empedansı

$$Z = Z_0 \frac{Z_R + Z_0 \tanh \gamma l}{Z_0 + Z_R \tanh \gamma l} \quad (4.1)$$

olarak belirlenir [4]. Z_0 , iletim hattının karakteristik empedansı ve γ ise yayılım (Propagation) sabitidir. Kayıpsız hatlarda,

$$\gamma = j\beta$$

olduğundan (4.1) denklemi

$$Z = Z_0 \frac{Z_R + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_R \tan \beta l} \quad (4.2)$$

şeklinde yazılır. Burada β hattın faz sabitidir ve,

$$\beta = \omega \sqrt{LC} \quad (4.3)$$

olarak ifade edilir. Hattın faz hızı,

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4.4)$$

ve sinyalin dalga boyu,

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (4.5)$$

olduğundan (4.3) denklemi

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4.6)$$

şeklinde yazılır. Bu durumda hattın giriş empedansını uygulanan sinyalin dalga boyu cinsinden yazabiliriz.

$$Z = Z_0 \frac{Z_R + jZ_0 \tan 2\pi l/\lambda}{Z_0 + jZ_R \tan 2\pi l/\lambda} \quad (4.7)$$

4.2.2. Sonu kısa-devre ve açık-devre kayıpsız iletim hatlarının empedansı

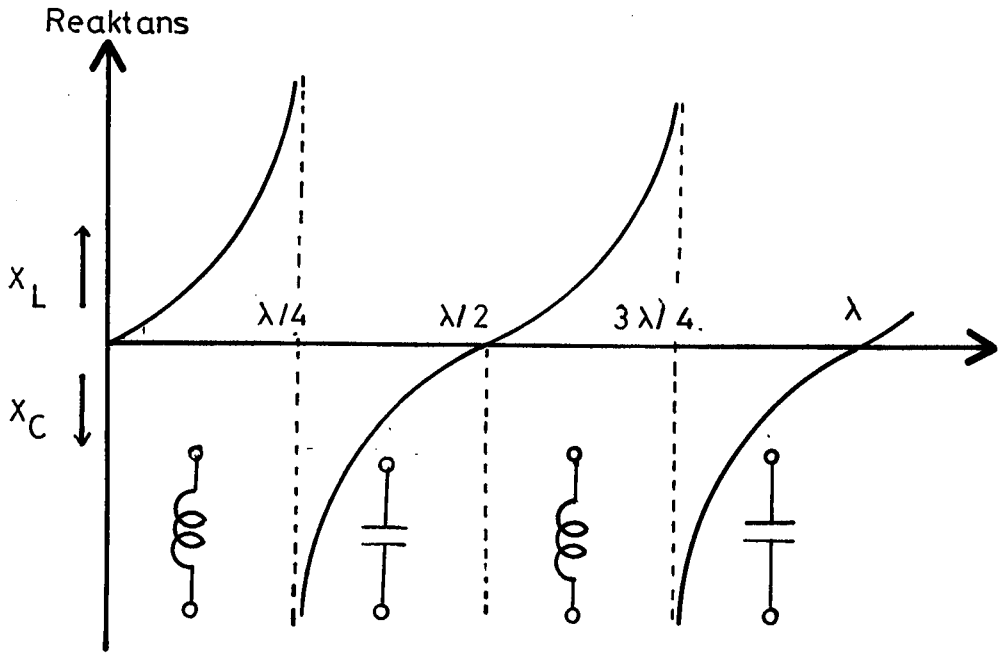
Dağılmış devre elemanı olarak gerçekleştirilecek toplu devre elemanlarının hepsi kayıpsız olduğundan Şekil 4.1'de verilen iletim hattının sonu ya açık-devre ($Z_R \rightarrow \infty$) ya da kısa-devre ($Z_R \rightarrow 0$) edilmelidir. Bu durumda kayıpsız empedansın giriş empedansı Z , saf bir reaktans görünümündedir ve l boynunun değişmesiyle belirli bir frekansta istenen bobin

kondansatör veya rezonans devrelerinin değerlerini alır.

Hattın sonu kısa-devre edildiğinde,

$$Z = j Z_0 \tan \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \mp n\pi \right) \quad (4.8)$$

olur. Burada $2\pi l/\lambda$ radyan cinsindendir. (4.8)'de verilen saf bir reaktans görünümündedir ve hattın boyuna göre değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Sonu kısa-devre kayıpsız iletim hattının reaktansının uzunluğuna göre değişimi

Böyle bir iletim hattının reaktansı,

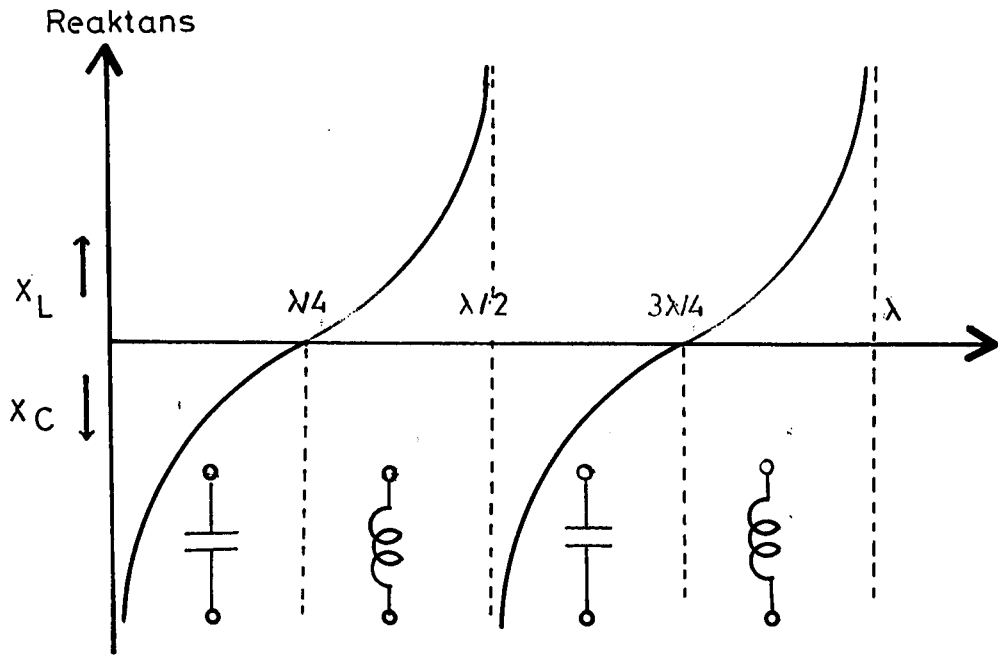
$$X = \begin{cases} X_L, & \frac{(n-1)\lambda}{2} < l < \frac{(2n-1)\lambda}{4} \\ X_C, & \frac{(2n-1)\lambda}{4} < l < \frac{n\lambda}{2} \\ \infty, & l = \frac{(2n-1)\lambda}{4} \\ 0, & l = \frac{n\lambda}{2} \end{cases}$$

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ

görünümündedir. Hattın sonu açık-devre edildiğinde, hattın empedansı,

$$Z = \frac{Z_0}{j \tan(2\pi l/\lambda \mp n\pi)} \quad (4.9)$$

olarak yazılır. Hattın boyuna göre değişimi ise Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Sonu açık-devre kayıpsız iletim hattının reaktansının uzunluğuna göre değişimi

Bu iletim hattının reaktansı,

$$X = \begin{cases} X_C, & \frac{(n-1)\lambda}{2} < l < \frac{(2n-1)\lambda}{4} \\ X_L, & \frac{(2n-1)\lambda}{4} < l < \frac{n\lambda}{2} \\ 0, & l = \frac{(2n-1)\lambda}{4} \\ \infty, & l = \frac{n\lambda}{2} \end{cases}$$

görünümündedir.

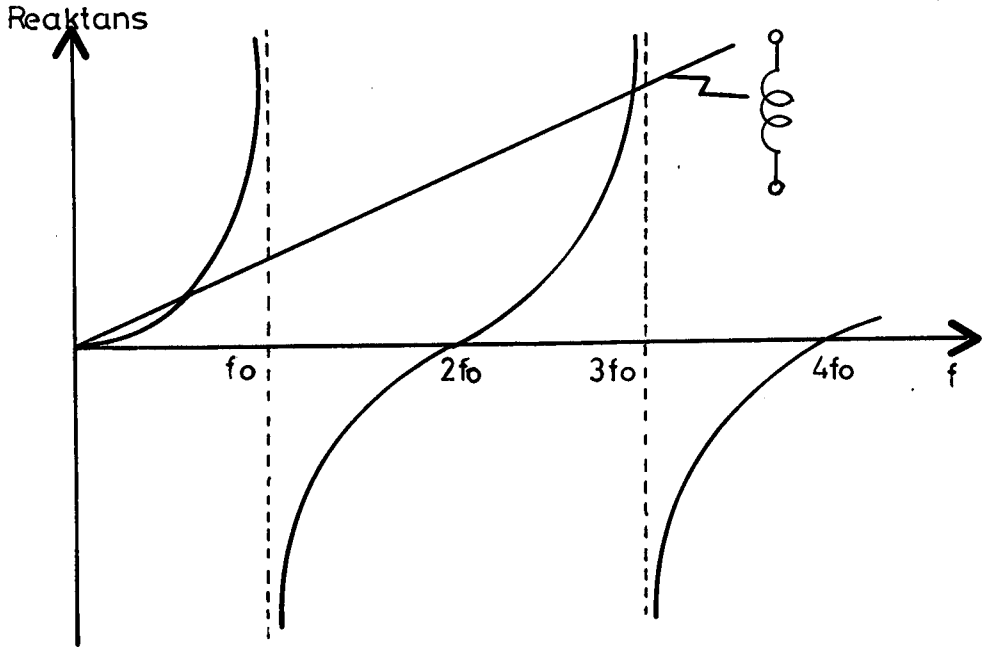
4.3. Kayıpsız Devre Elemanlarının Kayıpsız İletim Hatlarıyla Gerçeklenmesi

Toplu devre elemanlarını dağılmış devre elemanlarıyla gerçeklemek için devre elemanlarının karakteristiğine en uygun empedansı veren iletim hatları seçilmelidir. Bunun için toplu ve dağılmış devre elemanlarının frekansa göre değişimlerini incelemek gerekir.

Sonu kısa devre edilmiş bir iletim hattının empedansı, (4.5) nolu denklem yardımıyla,

$$Z = j Z_0 \tan\left(\frac{2\pi l_0}{v} f \mp n\pi\right) = Z_0 \tan\left(\frac{\pi f}{2f_0} \mp n\pi\right) \quad (4.10)$$

şekline dönüşür. Burada l_0 , f_0 frekansındaki sinyalin dalga boyunun dörtte birine eşittir. Böyle bir iletim hattının ve bir bobinin frekansa göre değişimleri şekil 4.4.'de verilmiştir. İletim hattının reaktansı, bobininkine f_0 'dan küçük frekanslarda pratik kabul edilebilir sınırlar içinde yakınsamaktadır.



Şekil 4.4 Sonu kısa devre kayıpsız iletim hattının ve bir bobinin reaktansının frekansa göre değişimi

Belirli bir frekansta bobinin reaktans değeri iletim hattının reaktans değerine eşit olması gerektiğinden,

$$j2\pi fL = j Z_0 \tan \left(\pi \frac{f + 2nf_0}{2f_0} \right) \quad (4.11)$$

yazılır. f_0 'dan küçük frekanslarda çalışıldığından (4.11) nolu denklem

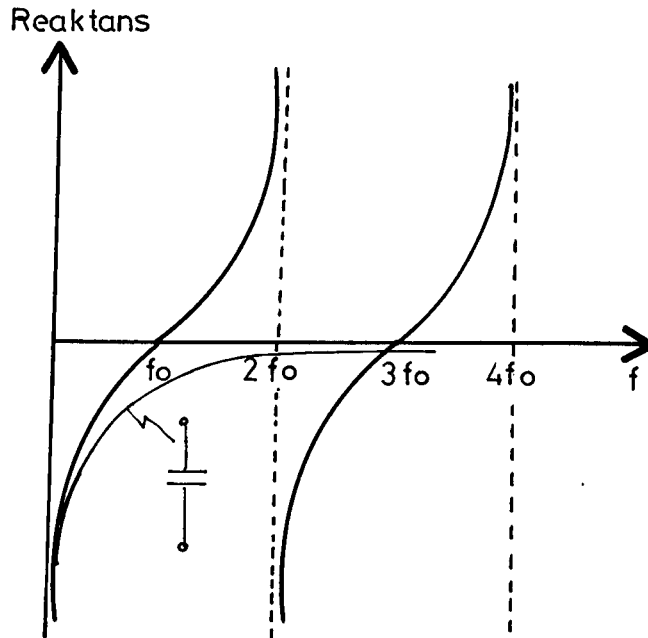
$$j2\pi fL = j Z_0 \tan \left(\frac{\pi f}{2f_0} \right) = j Z_0 \tan \left(\frac{2\pi l}{v} f \right) \quad (4.12)$$

şekline dönüşür. Buradan, hattın boyu,

$$l = \frac{v}{2\pi f} \tan^{-1} \left(\frac{2\pi fL}{Z_0} \right) \quad (4.13)$$

olarak bulunur. Burada v elektromagnetik dalgaların hızıdır ve 3×10^{-8} m/sn değerine eşittir.

Sonu açık-devre iletim hattı ise bir kondansatörün gerçekleşmesinde kullanılır. Şekil 4.5 de frekansa göre değişimleri verilmiştir. f_0 'dan küçük frekanslarda,



Şekil 4.5 Sonu açık-devre iletim hattının ve bir kondansatörün reaktansının frekansına göre değişimi

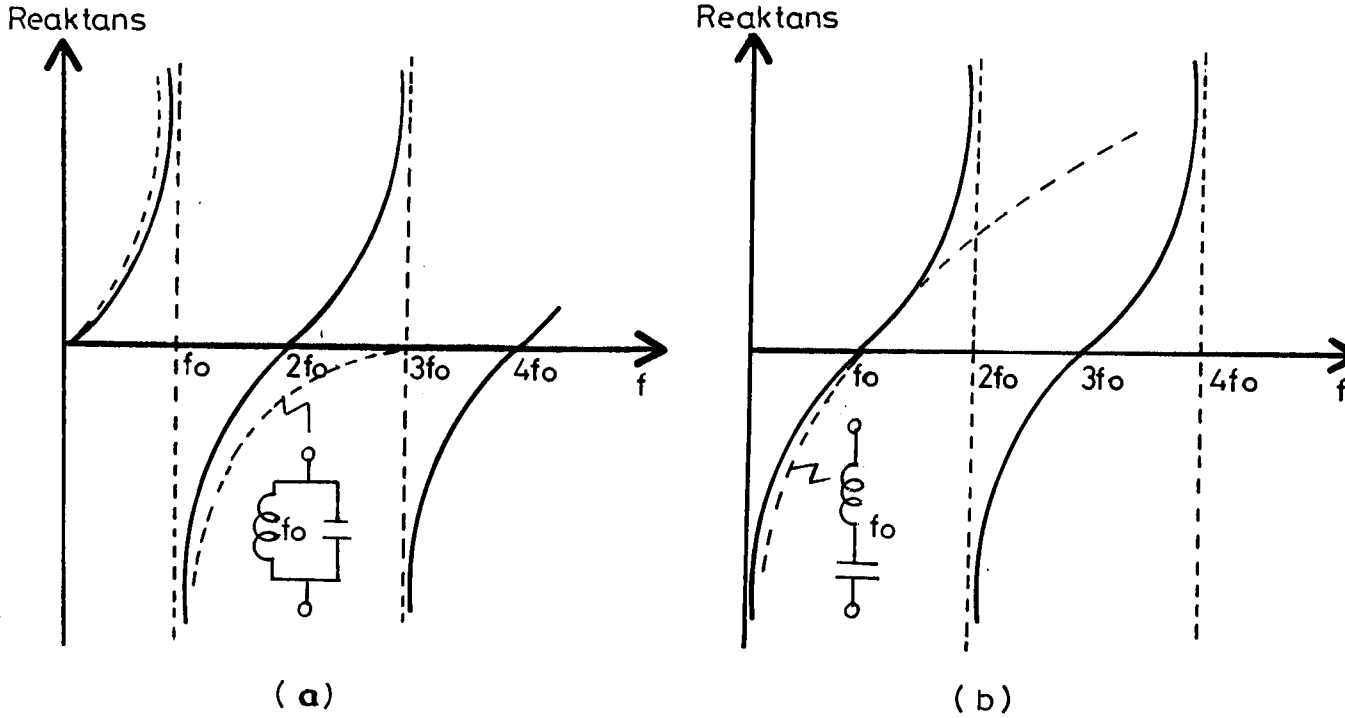
iletim hattının karakteristiği kondansatörünkine daha iyi yakınsamaktır. Belli bir frekansta,

$$\frac{1}{j 2 \pi f C} = \frac{Z_0}{j \tan\left(\frac{2 \pi l}{v} f\right)} \quad (4.14)$$

yazılacağından, hattın boyu,

$$l = \frac{v}{2 \pi f} \tan^{-1}(2 \pi f C Z_0) \quad (4.15)$$

olarak bulunur.



Şekil 4.6 a) Sonu kısa-devre b) Sonu açık-devre iletim hatlarının ve LC rezonans devrelerinin reaktansının frekansa göre değişimi

İletim sınırlarını gerçekleyen LC rezonans devrelerinin reaktans karakteristiğiye sonu kısa-devre ve açık-devre iletim hatlarının reaktans karakteristiğine Şekil 4.6'da verildiği gibi yakınsar. Paralel LC rezonans devresi $1/\sqrt{LC}$ frekansında açık devredir. Bu frekansta sonu kısa-devre iletim hattının açık-devre özelliği göstermesi için, hattın boyu,

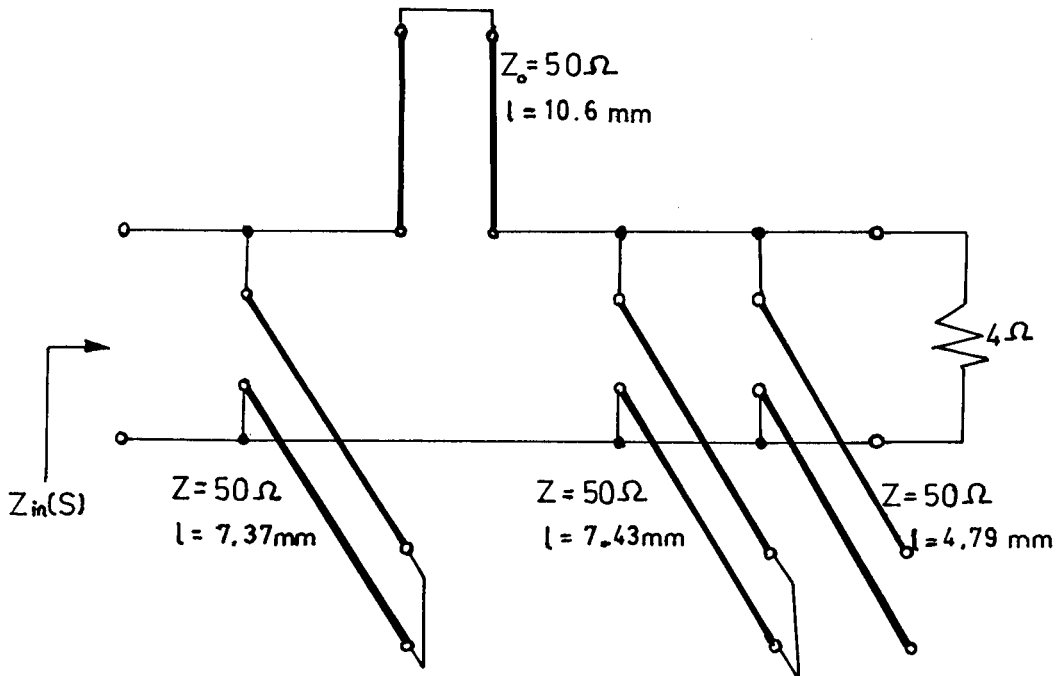
$$l = \frac{v}{4f} = \frac{v\sqrt{LC}}{4} \quad (4.16)$$

olmalıdır.

Sonu açık-devre iletim hattı ise Şekil 4.6'da görüldüğü gibi seri LC rezonans devresine daha iyi yakınsar. $1/\sqrt{LC}$ frekansında kısa-devre özelliği gösteren bu devrelerin boyu, yine (4.16)'da verilen eşitlikle bulunur.

Bu durumda bobin ve kondansatörü dağılmış devre elemanlarıyla gerçekleştirilmede kullanılan iletim hatlarının boyu, hiçbir zaman çalışma frekansındaki sinyalin dalga boyunun dörtte birinden büyük olamaz. Rezonans devrelerinin gerçekleşmesinde ise hattın boyu, rezonans frekansındaki sinyalin dalga boyunun dörtte birine eşittir. Daha geniş bir çalışma bandı ve frekansa olan bağımlılığın daha az olması bu sonucu doğurur.

Bölüm 3.3.3'deki uygulamada toplu devre elemanlarıyla gerçekleştirilen devre, (4.13), (4.15) ve (4.16) nolu denklemler yardımıyla dağılmış devre elemanlarına Şekil 4.7'de verildiği gibi dönüştürülmüştür. Burada toplu devre elemanları denormalize edilerek gerçek değerleri bulunmuştur. Z_0 karakteristik empedansının r_0 normalizasyon sabitine eşit olduğu kabul edilmiştir. (Çalışma frekansı 10 GHz seçilmiştir.)



Şekil 4.7 İletim hatlarıyla gerçekleştirilen devre

5. HAZIRLANAN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Verilen bir giriş emedans yada admitans fonksiyonunun sentezi için bugüne değin bir hayli yöntem önerilmiştir. Herbir sentez yöntemi fonksiyonu gerçeklerken değişik yollar takip etmekte, dolayısıyla kullanılırken istenen özellikleri sağlayanları tercih edilmektedir. Örneğin çok yüksek frekanslarda gerçekleştirilecek devrelerde kullanılacak eleman sayısının az olması gerektiği, devrenin basamak yapısında olmasını ve tasarımda transformatör olmamasını zorunlu hale getirir.

Fonksiyonun sentezi verilen kıstaslar çoğaldıkça daha karmaşık bir yapıya bürünür. Bu şartları sağlayan sentez yöntemleri ise genelde belli bir takım kurallar zincirinde oluşmazlar. Tasarımcı verilen fonksiyonun sentezini yapmak için kullanacağı sentez yönteminin ve devrenin tüm özelliklerini çok iyi bilmeli, işlemin sonuna kadar, en iyi yolu seçmek için bunları devamlı gözönünde bulundurmalıdır.

Böylesine yoğun çalışma gerektirecek sentez yöntemlerinin tasarımcıya çok zaman ve efor kaybettireceği ise açıktır. Bu nedenle çok özel amaçlı devrelerin sentezinde kullanılan bu tür yöntemlerin programlanıp bilgisayarlara yüklenmesi ve yapılabilecek en iyi çözümün bu cihazlar tarafından kısa zamanda başarılması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada sıfır kaydırma yönteminin bilgisayar paket programı yazılmıştır. İstenen şartları sağlayan bir empedans ya da admitans fonksiyonunun sentezi, bu sayede bilgisayarlarca çok kısa bir süre zarfında yapılır. Program, gereken bilgileri içinde taşıyan fonksiyonun direk verilmesiyle çalışmaya başlar ve sonuçta gerçekleştirilen devreyi ve kullanılan elemanların değerlerini çıktı olarak verir.

Program FORTRAN 77 dilinde yazılmıştır. Bu dil kompleks sayılarla işlem yapabilme, ana ve alt programlar halinde bütünleşebilme ve arşiv fonksiyonlarının zengin olması nedeniyle tercih edilmiştir. Programlamada VAX 11/750 bilgisayarı kullanılmıştır. Programlar IBM uyumludur.

Program, çalıştırıldığında, girilecek tüm bilgileri kullanıcıdan sırasıyla ister. Yanlış veri girildiğinde kullanıcıyı uyararak herhangi bir hataya mahal vermez. Kullanıcıya her yönden yardımcı (User-friendly) olacak niteliktedir.

Hazırlanan program üç ayrı fonksiyonun girilmesi halinde giriş em-

pedans ya da admitans fonksiyonunun bulunması ve bunun gerçekleşmesi amacıyla yapılmıştır. Beş ayrı aşamadan oluşur.

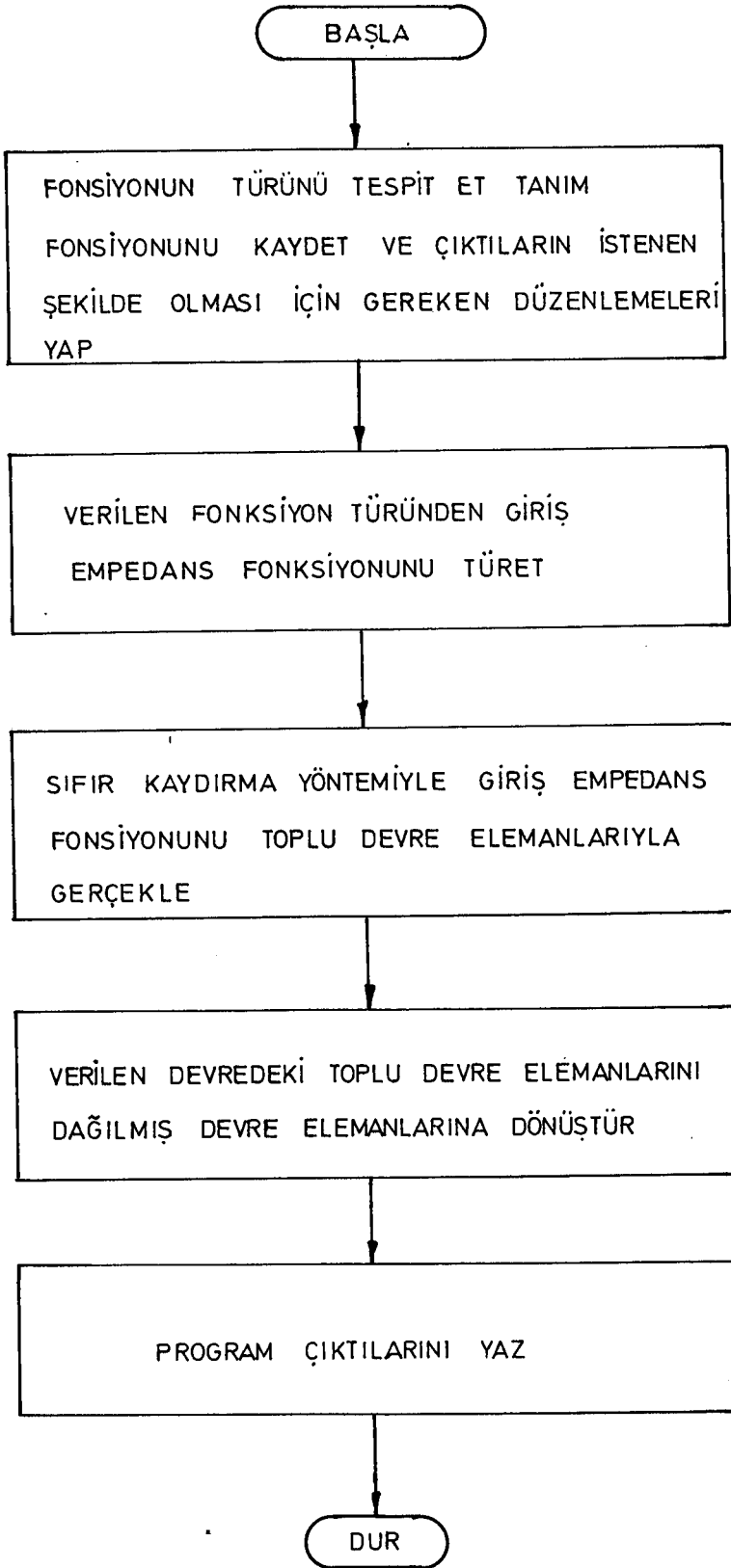
İlk aşama, fonksiyonun belirlenmesi ve çıktıların nasıl yazdırılacağına anlaşılmıştır. Bu aşamada girdi fonksiyonunun türü, fonksiyonun pay ve payda polinomları belirlenir, çıktıların istenen şekilde olması için gereken düzenlemeler yapılır.

İkinci aşamada verilen fonksiyon türünden giriş empedans fonksiyonunun türetilmesi yapılır. Böylece fonksiyon, bilgisayarın sentezini yapabileceği şekle dönüşür.

Üçüncü aşama, giriş empedans fonksiyonu verilen herhangi bir devrenin sıfır kaydırma yöntemiyle yapılmasıdır. Sonuçta bulunan devre toplu devre elemanlarıyla belirtilir.

Toplu devre elemanlarıyla oluşturulan devrenin dağılmış devre elemanlarıyla gerçekleşmesi dördüncü aşamada yapılır. Burada toplu devre elemanları tek tek dağılmış devre elemanlarına dönüştürülür.

Son aşamada ise elde edilen sonuçlar istenen yere aktarılır.



Şekil 5.1. Yapılan programın gelen akış şeması

5.1. Girdi Fonksiyonunun Tanımlanması ve Çıktılar İçin Gereken Düzenlemelerin yapılması

Program çalıştırıldığında ilk olarak çıktıların nereye yazılacağı sorulur. Çıktılar ekranda görülmek isteniyorsa "EKTRAN" yazılır. Yazıcıda yazdırılmak isteniyor ise "YAZIC" komutu verilir. Fakat bu durumda sonuçlar SONUÇ.DAT isimli kütüğe atılır. Bu işlem için formatlarda gereken düzenleme program tarafından yapılır. Kullanıcı, programın çalışması sona erdiğinde, SONUÇ.DAT isimli kütüğe kaydedilen sonuçları özel bir komutla yazıcıda yazdırabilir.

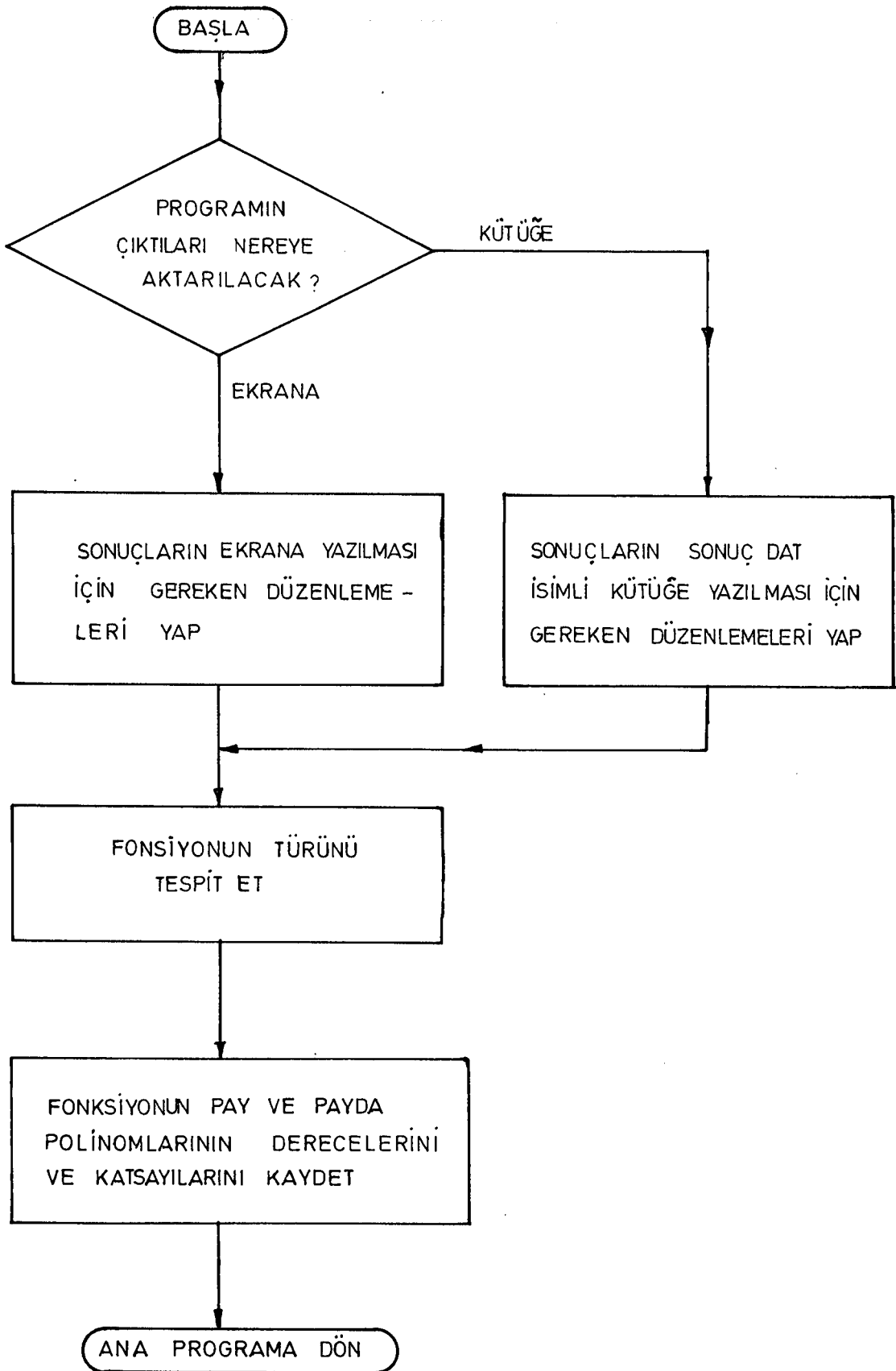
Bu işlem bittikten sonra fonksiyonun türü sorulur. Girilen fonksiyon giriş empedansının reel kısmı ise "REEMP", giriş saçılma parametresi ise "SCATT", giriş empedans fonksiyonunun kendisi ise "EMPED" komutu verilir. Bunun için kullanılan kontrol değişkenine farklı sayılar program tarafından atanır ve program verilen fonksiyonun sentezinin yapılması için gereken yerlere dallanır.

Bundan sonra fonksiyonun tanımlanmasına geçilir. Bütün bilgiler kullanıcıdan tek tek istenir. Önce fonksiyonun pay ve payda polinomlarının dereceleri, daha sonra katsayıları, en küçük dereceye ait olanlar önce olmak kaydıyla girilir. Kullanıcının fazla dikkatli olmasını gerektirmeden, girilecek katsayıların hangi dereceye ait olduğu bildirilerek hemen yanına yazması istenir.

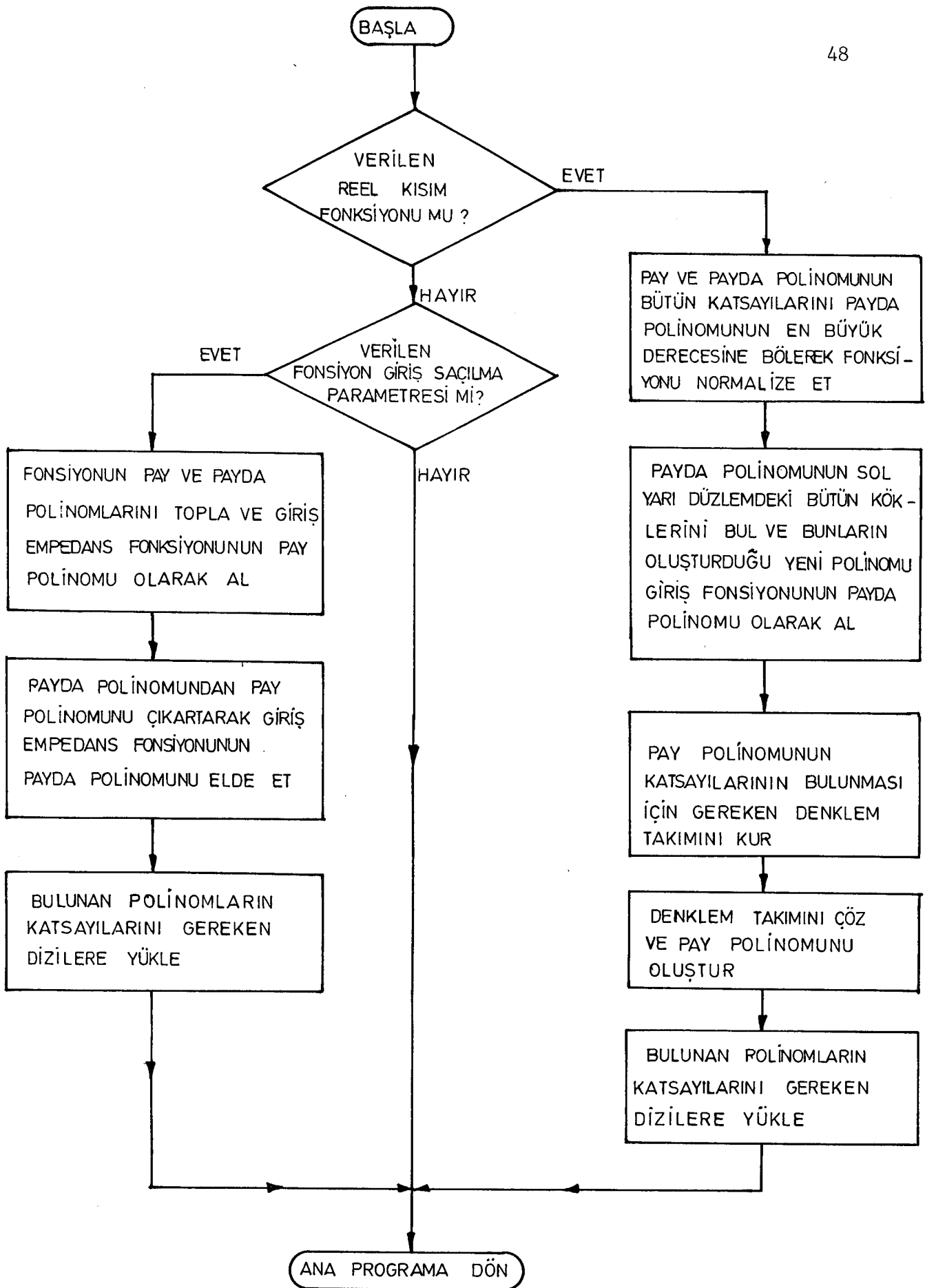
Bu aşamadan sonra verilen fonksiyonun sentezinin yapılması için gereken bütün bilgiler elde edilmiş olur. Bundan sonra kullanıcıya herhangi birşey sorulmadan sentez işlemi bitirilir.

5.2. Verilen Fonksiyon Türünden Giriş Empedans Fonksiyonun Türetilmesi

Verilen fonksiyon türünden bilgisayar sentezini yapabileceği fonksiyon türüne dönüşümü bu aşamada Şekil 5.3'de görüldüğü gibi yapılır. Eğer girilen reel kısım fonksiyonuysa, Gewertz yöntemi kullanılarak fonksiyonun aslı elde edilir. Bu işlem için polinomun köklerini bulan (2.14) de verilen formül gereği denklem takımı kuran, denklem takımını çözen ve verilen köklerden polinom oluşturan altprogramlar kullanılır. Gewertz yönteminde verilen köklerden oluşturulan polinom, bir sabite bölünmüş şekliyle elde edilir. Bunu önlemek için işleme başlamadan önce



Şekil 5.2. Girdi fonksiyonunun tanımlanmasını ve çıktıları için gereken düzenlemelerin yapılmasını gösteren akış şeması



Şekil 5.3 Girilen fonksiyon türünden giriş empedans fonksiyonunun
Türetilmesini gösteren akış şeması

payda polinomunun en büyük derecesini bire eşitlemek için normalizasyon uygulanır.

Girdi fonksiyonu olarak giriş saçılma parametresi verilmişse (2.22) nolu denklem gereği pay ve payda polunomu birbiriyle toplanarak ve birbirlerinden çıkarılarak geniş empedans fonksiyonunun sırasıyla pay ve payda polinomları oluşturulur. Bu işlem için başka herhangi bir alt-programa ihtiyaç yoktur.

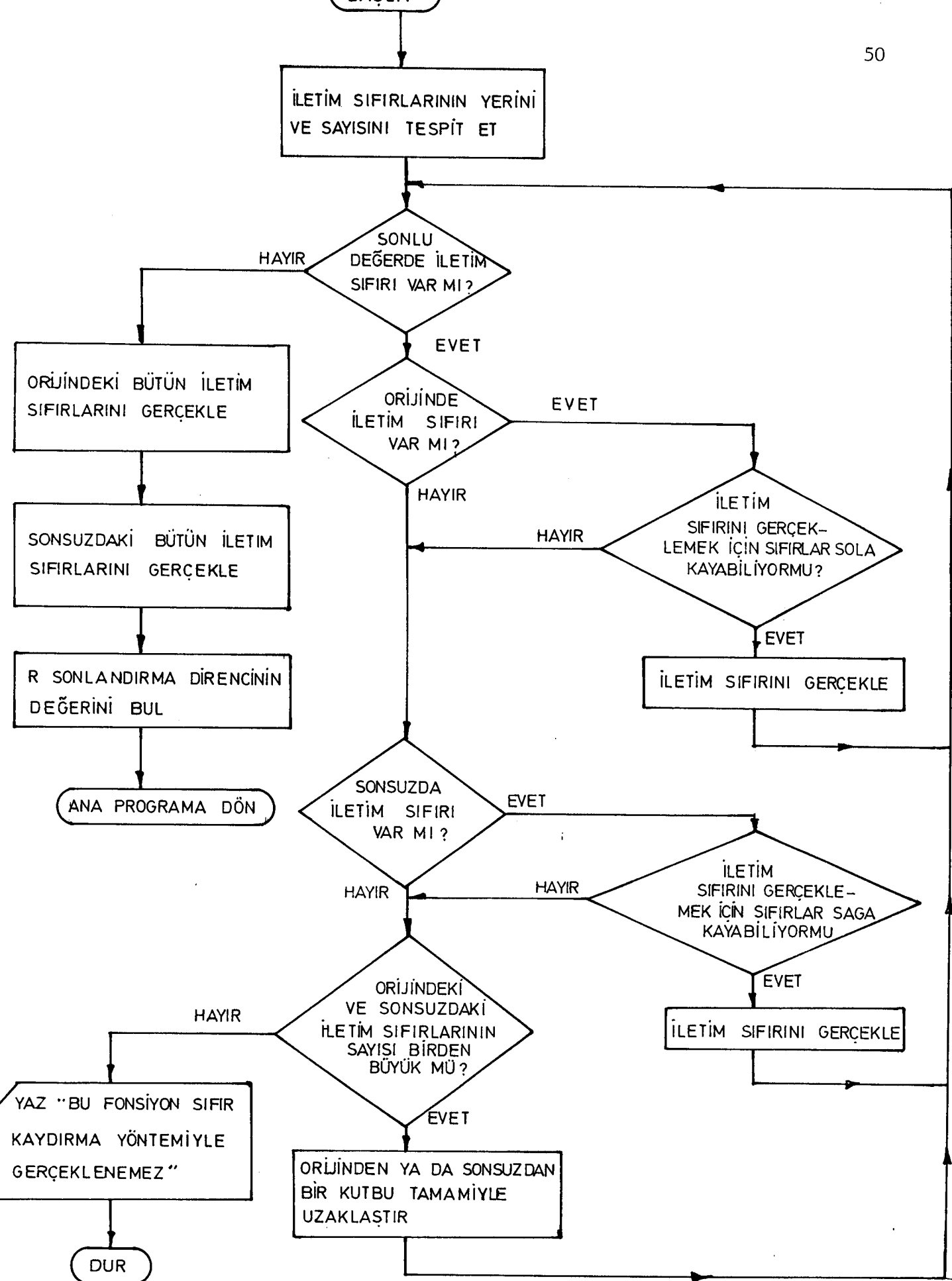
Giriş empedans fonksiyonu sentez edilmek üzere direk programa girilmişse, gereken dizilere pay ve payda polinomları yerleştirilir. Daha önce bahsedilen iki girdi türünden türetilen giriş empedans fonksiyonunun pay ve payda polinomları da aynı dizilere işlem bittikten sonra yüklenir. Artık sentez işleminin başlaması için gereken herşey hazırdır.

5.3. Giriş Empedans Fonksiyonunun Sentezi

İşleme iletim sıfırlarının sayısının ve değerinin tesbit edilmesiyle başlanır. Sonlu değerlerde iletim sıfırları varsa önce sola kaydırma işlemine geçilir. Bölüm 3.3.2'de verilen iletim sıfırlarının oluşması için gereken koşullar sağlanıyor ise sıfırlar sola kaydırılarak sonlu değerdeki bir iletim sıfırı gerçekleşir. Sola kaymıyorsa sağa kayma şartları aranır. Kayıyorsa iletim sıfırlarından biri gerçekleşir. Bu da başarılamiyorsa orijinden ya da sonsuzdan bir kutup fonksiyondan tamamiyle uzaklaştırılır. Kutup, orijindeki ya da sonsuzdaki iletim sıfırlarının hangisinin sayısı büyükse oradan uzaklaştırılır. ve işlemin başına dönülür. Ancak bu işlemin yapılması için orijindeki ve sonsuzdaki iletim sıfırlarının toplam sayısı en az iki olmalıdır. İkiden az ise fonksiyon sıfır kaydırma yöntemiyle çözülemez.

Sonlu değerdeki bütün iletim sıfırları gerçekleşmişse, sırasıyla, orijindeki ve sonsuzdaki bütün iletim sıfırları gerçekleşir. Arta kalan terim sona bağlanacak R direnci hakkındaki bilgiyi taşır. ve R direnç değerinde bulunmasıyla bu aşama da tamamlanır.

Yapılan bu program diliminde sonsuzdan, orijinden ve sıfırdan kutup uzaklaştırma ile bunun gereken artık-terim değerlerinin bulunması işlemleri ayrı altprogramlarda yapılır. Bu altprogramlar da üzerlerine düşen vazifeleri yapmak için diğer altprogramlardan faydalanır.



Şekil 5.4. Giriş empedans fonksiyonun sentezini gösteren akış şeması

Sentez işleminde sadece belirli bir yok takip ederek devrenin çözümlenmesi mümkün değildir. Ancak belirli şartlar sağlandığında belirli işlemlerin yapılması gerekir. Programlarda çözümün yapılabilmesi için gereken bütün şartlar gözönüne alınır ve her adımda şartların uygunluğu tesbit edilir. Uygun değilse başka çarelere başvurulur. Bu nedenle esnek yapısı vardır.

Bu aşama sonucunda devreyi oluşturan toplu-devre elemanlarının cinsi değerleri ve hangi kola gelecekleri belirlenir. Artık teorik sentez işlemi bitmiştir. Sıra, pratik gerçeklemede kullanılacak devrenin dağılmış devre elemanlarıyla verilmesine gelmiştir.

5.4. Dağılmış Devre Elemanlarına Dönüşüm

Bu aşamada (4.8) ve (4.9)'da verilen sonu kısa-devre ve sonu-açık-devre kayıpsız iletim hattının empedansı hattın boyutuyla değişir. Yapılan çalışmada kayıpsız iletim hatları dağılmış devre elemanları olarak irdelenir ve devredeki toplu devre elemanlarının değerleri hattın boyunun değiştirilmesiyle elde edilmeye çalışılır.

Bu dönüşümde çalışma frekansları 10 GHz kabul edilir ve eleman değerlerini veren 50Ω'lük karakteristik empedansına sahip hattın uzunluğu milimetre cinsinden bulunur. Daha geniş bir çalışma bandının sağlanması için iletim hattının uzunluğu toplu devre elemanının karakteristiğine en iyi uyan boyutta bulunur. Verilen bobin ve kondansatör değerleri 10 GHz'lik frekansta hesaplanır. Bobinler sonu kısa-devre kondansatörler ise sonu açık-devre iletim hatlarıyla gerçekleştirir. Paralel LC rezonans devreleri, rezonans frekansının dalga boyunun $1/4$ 'üne eşit uzunluktaki sonu açık devre iletim hatlarıyla, seri LC rezonans devreleri ise, rezonans frekansının dalga boyunun $1/4$ 'üne eşit uzunluktaki sonu kısa-devre iletim hatlarıyla gerçekleştirir. Bu uzunluktaki hatlar sadece rezonans frekansında toplu-devre elemanının değerini alır. Fakat yan frekanslarda da toplu-devre elemanının karakteristiğine yakınsar.

5.5. Sonuçların Yazdırılması

Sonuçlar kullanıcı tarafından baştan belirlenen yere yazdırılır. Sadece devre elemanlarının cinsi, değerleri ve hangi kola bağlandıkları belirtilir.

Çıktıların yazılması giriş empedans fonksiyonunun bakış yönünden başlar. Önce toplu-devre elemanlarının hangi kola geleceği değeriyle birlikte verilir. Hemen altındaki satıra ise Z_0 karakteristik empedansına sahip iletim hattının, bu devre elemanının değerini sağlayacak, uzunluğu milimetre cinsinden yazılır. Daha sonra sırasıyla bundan sonra gelecek t oplu devre elemanının değeri ile eşdeğer iletim hattının uzunluğu aynı şekilde yazılır. Bu, devreyi oluşturan bütün elemanlar yazılınca kadar devam eder. En sonunda da R direncinin değeri yazılır. Böylece işlem, sentezi yapılan devrenin pratik gerçeklemede kullanılacak parametrelerin verilmesiyle bitirilir.

6. GENEL SONUÇLAR

6.1. Sonuçlar

Bir kaynakla bir yük arasına bağlanan uyumlaştırıcı devrelerin maksimum ve sabit güç transferi yaptığı bilinmektedir. Çevrim güç kazancının optimizasyonu yardımıyla en uygun fonksiyonları bulunan bu devreler oldukça kısıtlı sentez yöntemleriyle gerçekleştirilebilmektedir. Mikrodalga frekanslarında kullanılan bu devrelerde ise kısıtlar daha da çoğalmaktadır. Örneğin devre, az gürültülü çalışması ve pratik uygulama için, mümkün olan en az sayıda pasif elemandan oluşmalı ve tasarımda trafo kullanılmamalıdır.

Bu çalışmada uyumlaştırıcı devre sentezi bu alanda yeni sayılacak sıfır kaydırma yöntemiyle yapılmış ve bunun için bilgisayar paket programı geliştirilmiştir. Bu yöntemde orijin ve sonsuzda olabileceği gibi sonlu frekans değerinde de iletim sıfırı olan devreler istenen özelliklerde sentez edilebilmektedir. Böylece maksimum güç transferi yanında, uyumlaştırıcı devreler, istenmeyen frekansların iletilmemesi ve keskin bir kazanç karakteristiği gösterme özelliklerini de kazanmıştır. Sentezi yapılan devreler olabilecek en az devre elemanı ile basamak yapısında ve trafosuz olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Yapılan bilgisayar programına, optimizasyon program çıktılarına uyumlu olması amacıyla, empedansın reel kısmı, giriş saçılma parametresi ve giriş empedans fonksiyonları uyumlaştırıcı devrenin sentezi için girilebilmektedir.

Fonksiyon türünden elde edilen $Z_{in}(s)$ giriş empedans fonksiyonuna direk sıfır kaydırma yöntemi uygulanmıştır. Devrenin yapısı ve sona bağlanacak direncin değeri hakkındaki tüm bilgileri taşıyan bu fonksiyona işlemin direk uygulanması ile kısa zamanda fazla işleme gerek duyulmadan gerçekleştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen programla alçak-geçiren, yüksek-geçiren ve band-geçiren devrelerin herhangi bir türünün sentezi yapılabilmektedir.

Sonuçta elde edilen toplu devre elemanları dağılmış devre elemanlarına dönüştürülmüştür. Pratik gerçekleştirilmede kolaylık olması amacıyla toplu devre elemanı olarak kullanılan sonu açık-devre veya kısa-devre kayıpsız iletim hatlarının gereken parametreleri verilmiştir. Çalışma

bandının daha geniş olması amacıyla toplu devre elemanının çalışma frekanslarındaki empedans karakteristiğine en uygun karakteristiği veren uzunlukta iletim hatları hesaplanmıştır. Hesaplama işleminde iletim hattının karakteristik empedansı 50Ω ve çalışma frekansı 10 GHz kabul edilmiş, hattın boyu milimetre cinsinden bulunmuştur.

Bilgisayar programı kompleks sayılarla işlem yapabilme ana ve alt programlar halinde bütünleşebilme ve arşiv fonksiyonlarının zengin olması nedeniyle FORTRAN 77 dilinde yapılmıştır. Bu program IBM uyumlu tüm bilgisayarlara girilebilir. Ayrıca yapılan program kullanıcıya gerekli kolaylığı sağlayacak nitelikte geliştirilmiştir.

6.2. Tartışmalar

Sıfır kaydırma yöntemiyle tüm giriş empedans fonksiyonlarının sentezi istenen özelliklerde yapılamamaktadır. Ancak Fujisawa şartlarını sağlayan alçak geçiren devrelerin ve bu devrelerden yola çıkılarak yapılan dönüşümler sonucu elde edilen band-geçiren ve yüksek-geçiren kayıpsız iki-kapılı devrelerin sentezi yapılabilir. Bu yüzden sentezi yapılacak uyumlaştırma devrelerinin fonksiyonları elde edilirken, kullanılacak optimizasyon programlarına bu şartları sağlaması için, gereken kısıtların verilmesi gerekir.

Devre sentezinde band-geçiren devrelerin çözümü tek değildir. Yapılan bilgisayar programında böyle devrelerin gerçeklenmelerinde, orijindeki iletim sıfırının gerçeklenmesine ve sola kaydırma işlemine öncelik verilmiştir. Gidilen yola bağımlı olan sonlandırma direncinin değeride bu yüzden istenmeyen oranda çıkabilir. Bundan sonra bu alanda yapılabilecek tüm devrelerin oluşturulması ve en uygununun seçilmesi bilgisayar tarafından sağlanabilir, veya bilgisayar, programın çalıştırılması esnasında gidilecek yolu tasarımcıya sorabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

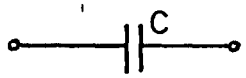
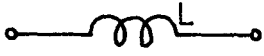
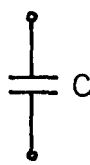
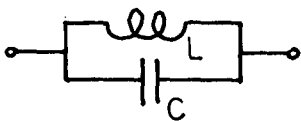
1. Balabanian, N., 1958, Network Synthesis, Prentice-Hall, 430 p.
2. Corlin, H.J., 1976, A new approach to gain-bandwidth problems, ZEEE inc., 6 p.
3. Corlin, H.J. and Komiak, J.J., 1979, A new method of broad-band equalization applied to microwave amplifiers, REEE inc., 7 p.
4. Johnson, W.C., 1950, Transmission Lines and networks, McGraw-Hill inc., 361 p.
5. Keskinel F., ve Karadoğan F., 1984, Açıklamalı örneklerle Fort-ran IV ve fortran 77 algoritma kurma ve program geliştirme, Bir-sen Yayınevi, 378 s.
6. Matthaei G.L., Young L. and Jones, E.M.T., 1964., Microwave filters impedance matching networks and coupling structures McGraw-Hill inc., 1096 p.
7. Temes G.C., 1977, Introduction to circuit synthesis and design McGraw-Hill inc., 596 p.
8. Yarman B.S.B., 1984, Modern approaches tobroadband matching problems, IEEE proceedings, Vol.132, 6 p.
9. Yarman B.S.B., 1985, Doğrusal reel frekans tekniği ile geniş bandlı empedans uyumlaştırılması ve mikrodalga kuvvetlendirici tasarımı, Anadolu Üniversitesi Vakfı, 68 s.
10. Weinberg L., 1962, Network analysis and synthesis, 692 p.

EKLER

- EK.1. Hangi Kola Hangi Eleman Geleceğinin
Tesbiti ve Değerlerinin Hesabı
- EK.2. Bilgisayar Programı
- EK.3. Birkaç Program Çıktısı

EK.1. Hangi kola hangi elemanın geleceğinin tesbiti ve değerlerinin hesabı

Devredeki eleman değerleri uzaklaştırılan kutbun artık terim değerine, hangi kola geleceği kutupların uzaklaştırıldığı fonksiyon türüne (empedans veya admitans) ve ^{cinsi} ~~akısı~~ ise uzaklaştırılan kutbun frekans değerine bağlıdır. Bu tablo halinde verilebilir. Toblo'da uzaklaştırılan kutbun artık-terim değeri K olarak verilmiştir.

		Kutbun uzaklaştırıldığı fonksiyon türü	
		Empedans	Admitans
Uzaklaştırılan kutbun yeri	Orijin	Seri kolda kondansator  $C = 1/K$	Paralel kolda bobin  $L = 1/K$
	Sonsuz	Seri kolda bobin  $L = K$	Paralel kolda kondansatör  $C = K$
	ω_i Sonlu frekans değeri	Seri kolda paralel LC rezonans devresi  $C = 1/K$, $L = 1/\omega_i^2 C$	Paralel kolda seri LC rezonans devresi  $L = 1/K$ $C = 1/\omega_i^2 L$

GGGGGGGGGG
GGGGGGGGGG
GGGGGGGGGG

FFFFF	000	RRRR	::	388	55555
F	0	R R	::	8 8	5
F	0	R R		8 8	555
FFFF	0	RRRR	::	388	5
F	0	R R	::	8 8	5
F	0	R R	:	8 8	5 5
F	000	R R	:	888	555

GGGGGGGG
GGGGGGGG
GGGGGGGG

```

C *****
C *      PROGRAM SENTEZ
C *      BU PROGRAMDA ZIN(S),RECZIN(S)],RECYIN(S)] YADA S11(S)
C *      FONKSIYONLARINDAN HERHANGI BIRISININ SENTEZI SIFIR KAYDIRMA
C *      YONTEMI ILE YAPILABILMEKTEDIR.PROGRAMIN CALISMASI ICIN
C *      ZIN(S) FONKSIYONUNUN FIALKOW SARTLARINI SAGLAMASI
C *      GEREKIR.KULLANICI BUNA DIKKAT ETMELIDIR.
C *      KULLANICININ YUKARIDA BELIRTILEN DORT FONKSIYONDAN
C *      BIRININ SENTEZINI BILGISAYARDAN ALABILMESI ICIN FONKSI-
C *      YONUN NE OLDUGUNU BELIRTMESE VE SIRASIYLA PAY VE PAYDA
C *      POLINOMLARININ DERECELERINI VE KATSAYILARINI GIRMESI
C *      YETERLI OLACAKTIR
C *      PROGRAMDA AYRICA GIRILEN FONKSIYON HEM EMPEDANS OLARAK
C *      HEMDE ADMITANS OLARAK SENTEZ EDILECEKTIR
C
C              GIRILENLER
C              -----
C      PAY(I)  :PAY POLINOMUNUN KATSAYILARININ BULUNDUGU DIZI
C      PAYDA(I):PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARININ BULUNDUGU DIZI
C      NPAY    :PAY POLINOMUNUN DERECESI
C      NPAYDA  :PAYDA POLINOMUNUN DERECESI
C *****
C
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      CHARACTER*10,KAR,NN
      DIMENSION PAY(22),PAYDA(22)
      COMMON KSM'
      COMMON /BLOK/LOUZ,W02
      OPEN (2,FILE='SONUC',STATUS='OLD')
14      LOUZ=0
      DO 216 I=1,22
      PAY(I)=0.
216      PAYDA(I)=0.
      PRINT*,'EKRANCA MI GORMEK ISTER SINIZ,YOKSA YAZICIDA MI?'
      PRINT*,'EKRAN/YAZIC'
      READ (5,301)KAR
      IF (KAR.NE.'EKRAN')THEN
      IF (KAR.EQ.'EKRAN') GOTO 13
      IF (KAR.EQ.'YAZIC') GOTO 13
      IF (KAR.EQ.'YAZIC') GOTO 13
      WRITE (5,302)
302      FORMAT(' YANLIS YAZIYORSUNUZ!.. BIR DAHA GIRIN')
      GOTO 14
13      END IF
      KSM=5
      IF (KAR.EQ.'YAZIC') KSM=2
      IF (KAR.EQ.'YAZIC') KSM=2
      PRINT*,'HANGI FONKSIYONUN GIRILECEGINE DIKKAT EDIN'
305      PRINT*,' *****'
      PRINT*,' *      Z(S) ISE <EMPED> GIRIN      *'
      PRINT*,' *      RECF(S)] ISE <REEMP> GIRIN    *'
      PRINT*,' *      S11(S) ISE <SCATT> GIRIN      *'
      PRINT*,' *****'
      READ (5,301)NN
301      FORMAT (A5)
      IF (NN.NE.'EMPED') THEN
      IF (NN.EQ.'EMPED') GOTO 303
      IF (NN.EQ.'REEMP') GOTO 303
      IF (NN.EQ.'REEMP') GOTO 303
      IF (NN.EQ.'SCATT') GOTO 303

```

```

IF (NN.EQ.'SCATT') GOTO 303
WRITE (5,304)
304 FORMAT (' YANLIS YAZIYORSUNUZ!.. BIR DAHA GIRIN')
GOTO 305
303 END IF
WRITE (5,306)
306 FORMAT(' PAY POLINOMUNUN DERECESEI=', $)
READ(5,*)NPAY
321 FORMAT (1H+,T30,I2)
WRITE (5,8)
8 FORMAT (' PAYDA POLINOMUNUN DERECESEI=', $)
READ (5,*)NPAYDA
WRITE (5,9)
9 FORMAT (' PAY POLINOMUNUN KATSAYILARINI GIRIN',/, ' -SIFIRINCI
1 DERECEININ KATSAYISINDAN BASLAYARAK LUTFEN-')
DO 322 I=1,NPAY+1
WRITE (5,323)I-1
READ (5,*)PAY(I)
322 CONTINUE
323 FORMAT (5H PAY(,I2,3H )=, $)
WRITE (5,11)
11 FORMAT (' PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARINI GIRIN',/, '-YINE SIFIR
1 DERECEININ KATSAYISINDAN BASLAYIN-')
DO 332 I=1,NPAYDA+1
WRITE (5,333)I-1
READ (5,*)PAYDA(I)
332 CONTINUE
333 FORMAT (7H PAYDA(,I2,3H )=, $)
IF (NN.EQ.'EMPED') CALL ZIN (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)
IF (NN.EQ.'EMPED') CALL ZIN (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)
IF (NN.EQ.'REEMP') CALL GEWERTZ (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)
IF (NN.EQ.'REEMP') CALL GEWERTZ (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)
IF (NN.EQ.'SCATT') CALL SCAT (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)
IF (NN.EQ.'SCATT') CALL SCAT (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)
IF (KSM.EQ.2) WRITE (5,19)
19 FORMAT (' SONUCLARI <SONUC.DAT> ISIMLI KUTUKTEN ALABILIRSINIZ'
CLOSE (2,STATUS='KEEP')
STOP
END

C
C *****SUBROUTINE SCAT (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)*****
C *
C *      BU ALT PROGRAMDA,VERILEN HERHANGI BIR S11(S) SACILMA
C *      PARAMETRESINDEN ZIN(S) GIRIS EMPEDANS FONKSIYONU TURETILIR
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      PAY(I) :S11(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      PAYDA(I):S11(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      NPAY :PAY POLINOMUNUN DERECESEI
C *      NPAYDA :PAYDA POLINOMUNUN DERECESEI
C *      CIKTIILAR
C *      -----
C *      A(I) : ZIN(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(I) : ZIN(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N : PAY POLINOMUNUN DERECESEI
C *      M : PAYDA POLINOMUNUN DERECESEI
C *
C *****
C

```

```

SUBROUTINE SCAT (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),PAY(22),PAYDA(22)
COMMON KSM
WRITE (KSM,220)
220  FORMAT (' GIRILEN S11(S) FONKSIYONUNUN PAY POLINOMUNUN
1 KATSAYILARI',/, ' -----
2-----')
DO 230 I=1,NPAY+1
230  WRITE (KSM,240)I-1,PAY(I)
240  FORMAT (' PAY(',I2,' )=',F16.8)
WRITE (KSM,250)
250  FORMAT (' ',/, ' GIRILEN S11(S) FONKSIYONUNUN PAYDA POLINOMUNUN
1 KATSAYILARI',/, ' -----
2-----')
DO 260 I=1,NPAYDA+1
260  WRITE (KSM,270)I-1,PAYDA(I)
270  FORMAT (' PAYDA(',I2,' )=',F16.8)
WRITE (KSM,280)
280  FORMAT (' *****',/)
K=NPAY
IF(NPAYDA.GT.K) K=NPAYDA
DO 10 I=1,K+1
A(I)=PAYDA(I)+PAY(I)
10  B(I)=PAYDA(I)-PAY(I)
M=K
IF (DABS(B(K+1)).LT.1.E-4) M=M-1
N=K
IF (DABS(A(K+1)).LT.1.E-4) N=N-1
CALL ZIN (A,B,N,M)
RETURN
END

C
C *****SUBROUTINE GEWERTZ (PAY,PAYDA,NPAY,NPAYDA)*****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA VERILEN HERHANGI BIR RECF(S)) REEL
C *      IMMITANS FONKSIYONUNDAN GEWERTZ YONTEMI YARDIMIYLA F(S)
C *      IMMITANS FONKSIYONU ELDE EDILIR. AYRICA GIRILEN FONKSIYONUN
C *      EMPEDANSIN MI YCKSA ADMITANSIN MI REEL KISMI OLDUGU SORULUR
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      PAY(I) : RECF(S)) PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      PAYDA(I): RECF(S)) PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      NPAY   : PAY POLINOMUNUN DERECECI
C *      PAYDA  : PAYDA POLINOMUNUN DERECECI
C *      CIKTILAR
C *      -----
C *      A(I) : F(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(I) : F(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUDUGU DIZI
C *      N    : PAY POLINOMUNUN DERECECI
C *      M    : PAYDA POLINOMUNUN DERECECI
C *
C *****
C
SUBROUTINE GEWERTZ (PAY,PAYDA,KDEGNUM,N)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
CHARACTER*5,KAR
COMPLEX*16 R(22)
DIMENSION A(22,23),PAY(22),PAYDA(22),E(22)

```

```

COMMON /BLOK/LOUZ,W02
COMMON KSM
WRITE (KSM,220)
220  FORMAT (' GIRILEN RECF(S)) FONKSIYONUNUN PAY POLINOMUNUN
1 KATSAYILARI',/, ' -----
2-----')
DO 230 I=1,K DEGNUM+1
230  WRITE (KSM,240)I-1,PAY(I)
240  FORMAT (' PAY(',I2,' )=',F16.12)
WRITE (KSM,250)
250  FORMAT (/, ' GIRILEN RECF(S)) FONKSIYONUNUN PAYDA POLINOMUNUN
1 KATSAYILARI',/, ' -----
2-----',/)
DO 260 I=1,N+1
260  WRITE (KSM,270)I-1,PAYDA(I)
270  FORMAT (' PAYDA(',I2,' )=',F16.12)
WRITE (KSM,280)
280  FORMAT (' *****')
302  WRITE (5,300)
300  FORMAT (' GIRDIGINIZ REEL FONKSIYON EMPEDEANSIN MI
1 YOKSA',/, ' ADMITANSINMI?(E/A)')
READ (5,303)KAR
303  FORMAT (A5)
IF (KAR.EQ.'E'.OR.KAR.EQ.'E') THEN
LOUZ=0
ELSE IF (KAR.EQ.'A'.OR.KAR.EQ.'A') THEN
LOUZ=1
ELSE
WRITE (5,301)
301  FORMAT (' ANLAYAMADIM. BIR DAHA GIRIN LUTFEN')
GOTO 302
END IF
MK=N/2-1
IF (KDEGNUM.EQ.N) MK=N/2
N1=N/2
K=N+2
DO 75 I=1,N+1
K=K-1
75  E(K)=PAYDA(I)
CALL ZRPOLY (E,N,R,ICON)
IF (ICON.NE.0) THEN
WRITE (5,310)
310  FORMAT(' OZUR DILERIM YAPAMAM')
IF (ICON.EQ.129) WRITE (5,320)
IF (ICON.EQ.130) WRITE (5,330)
320  FORMAT (' CUNKU SIFIRINCI DERECE DEN POLINOMU GIRIYORSUNUZ')
330  FORMAT (' CUNKU EN BUYUK DERECE NIN KATSAYISINI SIFIR GIRIYORSUNUZ')
GOTO 102
END IF
K=0
DO 100 I=1,N
PRINT*,R(I)
IF (KDEGNUM.GT.N.OR.ABS(REAL(R(I))).LT.1.E-3) THEN
WRITE (5,305)
305  FORMAT (' GIRILEN RECF(S)) MINIMUM BIR FONKSIYONUN
1 REEL KISMI DEGIL.')
GOTO 102
END IF
IF (REAL(R(I))) 110,110,100
110  K=K+1

```

```

R(K)=R(I)
100 CONTINUE
M=N/2
CALL MUS (R,M,PAYDA)
C *****NORMALIZASYON*****
T=PAYDA(1)
DO 28 I=1,N1+1
28 PAYDA(I)=PAYDA(I)/T
DO 1 I=1,N+1
DO 1 J=1,N+2
1 A(I,J)=0.
CALL MATRIS (A,N,PAY,PAYDA)
CALL GAUSS (A,N1+1)
DO 70 I=1,N1+1
70 PAY(I)=A(I,N1+2)
CALL ZIN (PAY,PAYDA,MK,N1)
102 RETURN
END

C
C *****SUBROUTINE MATRIS (A,N,PAY,PAYDA)*****
C *
C * BU ALTPROGRAMDA GEWERTZ YONTEMİNDE İFADE EDİLEN REKU-
C * BAGINTISI GEREĞİNCE ELDE EDİLMESİ GEREKEN N+1 BİLİNME-
C * YENLİ N+1 ADET DENKLEM, (N+1,N+2) BOYUTLU BİR MATRİSE
C * YERLESTİRİLMEKTEDİR.
C *
C * GİRDİLER
C * -----
C * PAY(N+1) :RECF(S)] FONKSİYONUNUN PAY POLİNOMUNUN
C * BULUNDUGU DİZİ
C * PAYDA(N+1):RECF(S)] PAYDASINDAKİ D(S)D(-S)POLİNOMUNUN LHP
C * DEKİ KOKLERİNİN OLUŞTURDUGU D(S) POLİNOMUNUN
C * BULUNDUGU DİZİ
C * N :D(S) POLİNOMUNUN DERECEİ
C * ÇIKTILAR
C * -----
C * A(N+1,N+2):DENKLEMLERİN YERLESTİRİLDİĞİ MATRİS
C *
C *****
C
SUBROUTINE MATRIS (A,N,PAY,PAYDA)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22,23),PAY(22),PAYDA(22)
N=N/2
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 A(MN,K)=PAYDA(I)*(-1)**(L-1)
MN=MS+1
MS=MS+1
10 CONTINUE
DO 16 I=1,N+1
16 A(I,N+2)=PAY(I*2-1)
N=N*2
RETURN
END
C

```

```

C *****SUBROUTINE GAUSS (A,N1)*****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA (N1,N1+1) BOYUTLU BIR MATRIS ICINDE
C *      VERILEN N1 BILINMEYENLİ N1 ADET DENKLEMIN COZUMU GAUSS-JORDAN
C *      YONTEMIYLE YAPILIR VE COZUMLER YINE AYNI MATRISTE (N+1) INCI
C *      SUTUNDA YER ALIR.
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      A(N1,N1+1) :DENKLEM TAKIMININ OLUSTURDUGU MATRIS
C *      N1          :DENKLEM VE BILINMEYEN SAYISI
C *      CIKTI LAR
C *      -----
C *      A(N1,N1+1) IN SON SUTUNU :COZUMLERIN BULUNDUGU SUTUN
C *
C *****
C
SUBROUTINE GAUSS (A,N1)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22,23)
N=N1
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 *****SUBROUTINE MUS (N,N,S1)*****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA VERILEN KOKLERDEN POLINOM ELDE EDILIR
C *      PROGRAM ICINDE KULLANILMAYAN FAKAT ISTENILDIGINDE L'NIN 0 YADA
C *      1 OLMASI KOSULUNA GORE DEGISIK POLINOMLAR ELDE EDILEBILEN
C *      BIR YAPISI VARDIR.EGER L=0 ISE
C *      (S+W1)(S+W2).....(S+WN) N=1,2,...
C *      CARPIMLARININ OLUSTURDUGU POLINOM;L=1 ISE
C *      (S^2+W1^2)^2.....(S^2+WN^2)^2 N=1,2,...
C *      CARPIMLARININ OLUSTURDUGU POLINOM ELDE EDILMEKTEDIR
C *      PROGRAMIMIZDA MUS ALTPROGRAMININ HER CAGIRILISINDA L=0
C *      ALINDIGI ICIN VERDIGIMIZ KOKLER SONUCUNDA DEVAMLI ILK FORMU
C *      ELDE ETMEKTEYIZ.
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      X(N) :N ADET KOKUN BULUNDUGU KOMPLEKS DIZI
C *      N      :KOK SAYISI VEYA ELDE EDILECEK POLINOMUN DERECE SI
C *      CIKTI LAR
C *      -----
C *      S1(N+1):ELDE EDILEN POLINOMUN BULUNDUGU DIZI

```


C *

C *****

C

```

SUBROUTINE MUS (X,N,S1)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION IB(22),S1(22)
COMPLEX*16 X(22),A(22,3),TOP,S(22)
L=0
DO 17 I=1,22
  IB(I)=0
  S1(I)=0.
  S(I)=(0.,0.)
DO 17 J=1,3
17  A(I,J)=(0.,0.)
  IF (N.GT.0) GOTO 627
DO 626 I=1,22
626  S1(I)=0.
  GOTO 629
627  L=L+2
  DO 24 I=1,N
  IF (L.EQ.2) GOTO 12
  A(I,1)=1
  A(I,2)=2*X(I)**2
  A(I,3)=X(I)**4
  GOTO 24
12  A(I,1)=1
  A(I,2)=-X(I)
24  CONTINUE
  DO 25 I=1,2*N+1
25  S(I)=(0.,0.)
  K=0
  DO 30 M=L**N-1,0,-1
  LSAYI=M
  DO 40 K=N,1,-1
  LBOLUM=LSAYI/L**(K-1)
  KALAN=LSAYI-L**(K-1)*LBOLUM
  IB(K)=LBOLUM+1
40  LSAYI=KALAN
  TOP=(1.,0.)
  LV=0
  DO 45 I=1,N
  K=IB(I)
  TOP=TOP*A(I,K)
45  LV=LV+IB(I)
  LV=LV-N+1
  S(LV)=TOP+S(LV)
30  S1(N+2-LV)=S(LV)
629  RETURN
END

```

C

C *****SUBROUTINE ZIN (A,B,N,M)*****

C *

C *

C *

C *

C *

C *

C *

C *

C *

C *

BU ALTPRAGRAMA DISARDAN GIRILEN BIR F(S) FONKSIYONU
 (ZIN(S) YADA YIN(S) OLABILIR) SIFIR KAYDIRMA YONTEMIYLE HEM
 EMPEDANS HEM DE ADMITANS FONKSIYONU OLARAK SENTEZ EDILIR
 BURAYA GIRILEN F(S) FONKSIYONUNUN MINUMUM BIR IMMITANCE FONK-
 SIYONU OLMASI SART DEGILOIR

GIRDILER

```

C *      A(N): F(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(M): F(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N   : PAY POLINOMUNUN DERECECI
C *      M   : PAYDA POLINOMUNUN DERECECI
C *
C *      CIKTI LAR
C *      -----
C *      BU PROGRAM SONUCUNDA CIKTI LAR EKRANDA YADA SONUC.DAT ISIMLI
C *      KUTUKTE BULUNUR
C *
C *****
C
      SUBROUTINE ZIN (A,B,N,M)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22),E(22),TS(22),SMAT(3),AN(11),AM(11),BN(11)
      DIMENSION BM(11)
      COMPLEX*16 Z,C(11)
      COMMON KSM
      COMMON /BLOK/LDUZ,W02
      LDUZ1=LDUZ
      KUL=1
C *****
C ***** GIRILEN FONKSIYONUN CIKISA YAZDIRILMASI *****
C *****
      WRITE (KSM,675)
675      FORMAT (/,' ZIN(S)DIN PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI',/,',')
      1 -----')
      DO 677 I=1,N+1
677      WRITE (KSM,676)I-1,A(I)
676      FORMAT (4H A( ,I2,2H)=,F8.4)
      WRITE (KSM,678)
678      FORMAT (/,' ZIN(S)DIN PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI',/,',')
      1 -----')
      DO 681 I=1,M+1
681      WRITE (KSM,679)I-1,B(I)
679      FORMAT(4H B( ,I2,2H)=,F8.4)
      IF (N.GT.M) CALL TERS (A,B,N,M)
C *****
C ***** TRANSMISYON SIFIRLARININ BULUNMASI *****
C *****
      DO 90 I=1,N+1,2
90      AM(I/2+1)=A(I)
      DO 91 I=2,N+1,2
91      AN(I/2)=A(I)
      DO 92 I=1,M+1,2
92      BM(I/2+1)=B(I)
      DO 93 I=2,M+1,2
93      BN(I/2)=B(I)
      DO 94 I=1,22
94      E(I)=0.
      IF ((-1)**N.EQ.1) THEN
        MA=N
        NA=N-1
      ELSE
        NA=N
        MA=N-1
      END IF
      IF ((-1)**M.EQ.1) THEN
        MB=M
        NB=M-1
      ELSE

```

```

NB=M
MB=M-1
END IF
CALL CARPIM (AN,BN,NA,NB,E,KDEGNUM)
K=KDEGNUM
DO 96 I=1,22
96  E(I)=-E(I)
CALL CARPIM (AM,BM,MA,MB,E,KDEGNUM)
IF (KDEGNUM.LT.K) KDEGNUM=K
K=0
DO 98 I=KDEGNUM/2+1,1,-1
IF (DABS(E(I)).GT.1.E-4) GOTO 99
98  K=K+1
99  KDEGNUM=KDEGNUM-2*K
K=0
DO 80 I=1,KDEGNUM/2+1
IF (DABS(E(I)).GT.1.E-3) GOTO 31
K=K+1
80  CONTINUE
C *****
C ***** TRANSMISYON SIFIRLARININ SAYISI *****
C ***** NTSZ : SIFIRDAKI *****
C ***** NTSI : SONSUZDAKI *****
C ***** NO : SONLU DEGERDEKI *****
C *****
81  NTSZ=K
NTSI=M-KDEGNUM/2
NO=(M-NTSZ-NTSI)/2
IF ((2*NO+NTSI+NTSZ).NE.M) THEN
WRITE (5,410)
410  FORMAT (' GIRDIGINIZ FONKSIYONUN SIFIR KAYDIRMA YONTEMI
1  ILE SENTEZ EDILEBILMESI ICIN GEREKLI OLAN KOSULLAR
2  SAGLANMIYOR.KATSAYILARI VIRGULDEN SONRAKI BESINCI HANEYE
3  KADAR GIRIN LUTFEN...')
GOTO 1002
END IF
K=KDEGNUM/2+2
DO 141 I=1,KDEGNUM/2+1
K=K-1
141  AN(K)=E(I)
IF (KDEGNUM.LE.0) GOTO 47
CALL ZRPOLY (AN,KDEGNUM/2,C,ICONT)
47  CONTINUE
K=KDEGNUM
DO 780 I=1,K/2
DO 780 J=I,K/2
IF (ABS(REAL(C(I))).GT.ABS(REAL(C(J)))) GOTO 780
Z=C(I)
C(I)=C(J)
C(J)=Z
780  CONTINUE
C *****
C * SONLU DEGERDEKI TRANSMISYON SIFIRLARININ TS DIZISINE *
C * YERLESTIRILMESI *
C *****
DO 82 I=1,NO
82  TS(I)=REAL(C(2*I-1))
PRINT*, 'TRANSMISYON SIFIRLARI', (TS(I), I=1, NO)
PRINT*, 'NTSZ, NTSI, NO', NTSZ, NTSI, NO
C *****

```

```

C * F(S) FONKSIYONUNUN HEM EMPEDANS HEM DE ADMITANS OLARAK SENTEZ *
C *          EDILMESINI SAGLAYAN DILIM *
C *****
202   IF (KUL.EQ.1) THEN
      LDUZ2=LDUZ
      DO 203 I=1,22
        AN(I)=TS(I)
        AM(I)=A(I)
203   BM(I)=B(I)
      MAK=N
      MBK=M
      MNTSI=NTSI
      MNTSZ=NTSZ
      MNO=NO
      KUL=KUL+1
      IF((-1)*LDUZ1.EQ.1) WRITE (KSM,51)
      IF ((-1)*LDUZ1.EQ.-1) WRITE (KSM,52)
      ELSE IF (KUL.EQ.2) THEN
        DO 204 I=1,22
          TS(I)=AN(I)
          A(I)=AM(I)
204   B(I)=BM(I)
          NTSI=MNTSI
          NTSZ=MNTSZ
          NO=MNO
          N=MAK
          M=MBK
          KUL=KUL+1
          LDUZ=LDUZ2+1
          IF ((-1)*LDUZ1.EQ.1) WRITE (KSM,52)
          IF ((-1)*LDUZ1.EQ.-1) WRITE (KSM,51)
          ELSE
            GOTO 1002
          END IF
51   FORMAT (/, ' VERILENI EMPEDANS FONKSIYONU OLARAK SENTEZ EDIYORU
52   FORMAT (/, ' VERILENI ADMITANS FONKSIYONU OLARAK SENTEZ EDIYORU
C *****
C *          SOLA KAYDIRMA ISLEMI BASLIYOR.
C *****
205   NCONT=N
      MCONT=M
      IF (NO.EQ.0) GOTO 999
      IF (NTSZ.LE.0) GOTO 230
      IF (A(1).LT.B(1)) CALL TERS (A,B,N,M)
      CALL SOL (A,B,N,M,L,SMAT,TS,NO)
      IF (L.EQ.0) GOTO 230
      W02=SMAT(2)
      RESID=SMAT(1)
      CALL RPZ (A,B,N,M,RESID,NTSZ)
      CALL TERS (A,B,N,M)
      CALL RESFIN (A,B,N,M,RESID,W02)
      CALL RPF (A,B,N,M,RESID,TS,NO)
      GOTO 205
230   CONTINUE
C *****
C *          SAGA KAYDIRMA ISLEMI BASLIYOR
C *****
105   IF (NO.EQ.0) GOTO 999
      IF (NTSI.LE.0) GOTO 130
      IF (N.LT.M) CALL TERS (A,B,N,M)

```

```

CALL SAG (A,B,N,M,L,SMAT,TS,NO)
IF (L.EQ.0) GOTO 130
W02=SMAT(2)
RESID=SMAT(1)
CALL RPI (A,B,N,M,RESID,NTSI)
CALL TERS (A,B,N,M)
CALL RESFIN (A,B,N,M,RESID,W02)
CALL RPF (A,B,N,M,RESID,TS,NO)
GOTO 105
130  CONTINUE
C *****
C * SAGA YADA SOLA ISTENILEN FREKANS DEGERINE KAYMA ISLEMI MUMKUN *
C * OLMADIGINDA SIFIRDAKI YADA SONSUZDAKI KUTUPLARDAN BIR TANESI *
C * ATILIYOR *
C *****
      IF (N+M.NE.NCONT+MCONT) GOTO 205
      IF (NTSZ.GT.0.AND.NTSZ.GE.NTSI) THEN
      IF (A(1).LT.B(1)) CALL TERS (A,B,N,M)
      IF (N.LT.2) GOTO 999
      W02=0.
      CALL RESZER (A,B,N,M,RESID,W02)
      CALL RPZ (A,B,N,M,RESID,NTSZ)
      GOTO 205
      ELSE IF (NTSI.GT.0) THEN
      IF (N.LT.M) CALL TERS (A,B,N,M)
      IF (N.LT.2) GOTO 999
      W02=0.
      CALL RESIN (A,B,N,M,RESID,W02)
      CALL RPI (A,B,N,M,RESID,NTSI)
      GOTO 205
      END IF
C *****
C * SONLU DEGERDE TRANSMISYON SIFIRI KALMADIGINDA SIFIR VE *
C * SONSUZDAKI TRANSMISYON SIFIRLARININ OLUSTURULMASI *
C * (ONCE SIFIRDAKILER OLUSTURULUR) *
C *****
999  IF (NO.GT.0) THEN
      WRITE (KSM,3333)
3333  FORMAT (' BU FONKSIYON GERCEKLENEMEZ',////)
      GOTO 1002
      END IF
      W02=0.
900  IF (N+M.LT.1) GOTO 1000
      IF (NTSZ.GE.1) THEN
      IF (A(1).LT.B(1)) CALL TERS (A,B,N,M)
      CALL RESZER (A,B,N,M,RESID,W02)
      CALL RPZ (A,B,N,M,RESID,NTSZ)
      GOTO 900
      ELSE IF (NTSI.GE.1) THEN
      IF (N.LT.M) CALL TERS (A,B,N,M)
      CALL RESIN (A,B,N,M,RESID,W02)
      CALL RPI (A,B,N,M,RESID,NTSI)
      GOTO 900
      END IF
1000  CONTINUE
C *****
C * R DIRENCININ ELDE EDILMESI *
C *****
      RTERM=A(1)/B(1)
      IF ((-1)*#LDUZ.EQ.-1) RTERM=1/RTERM

```

```

1001      WRITE (KSM,1001)RTERM
          FORMAT(' R=',F8.4,3H0HM)
          DO 37 I=1,3
37         WRITE (KSM,38)
38         FORMAT ('      ')
          GOTO 202
1002      RETURN
          END

C
C *****SUBROUTINE CARPIM (A,B,N,M,CAR,K)*****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA S^2 NIN FONKSIYONU OLAN POLINOMLAR CARPILIR
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      A(N),B(M): CARPILACAK OLAN POLINOMLARIN BULUNDUGU DIZILER
C *      N,M      : SIRASIYLA DERECELERI
C *      CIKTIILAR
C *      -----
C *      CAR(K)   : ELDE EDILEN POLINOMUN BULUNDUGU DIZI
C *      K        : ELDE EDILEN POLINOMUN KATSAYISI
C *
C *****
C
      SUBROUTINE CARPIM (A,B,N,M,CAR,K)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22),CAR(22)
      L=1
      IF ((-1)**N.EQ.-1) L=0
      DO 10 I=1,N/2+1
      DO 10 J=1,M/2+1
      LT=I+J-L
10      CAR(LT)=A(I)*B(J)+CAR(LT)
      K=M+N
      RETURN
      END

C
C ***** SUBROUTINE TERS (A,B,N,M) *****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA F(S) FONKSIYONUNUN TERSI ALINIR
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      A(N),B(M) : YER DEGISTIRECEK OLAN POLINOMLAR
C *      N,M      : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
C *      CIKTIILAR
C *      -----
C *      CIKTIILAR YINE AYNI DEGISKENLERDEN ALINIR.(A ILE B VE N ILE M
C *      YER DEGISTIMIS OLARAK
C *
C *****
C
      SUBROUTINE TERS (A,B,N,M)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22)
      COMMON /BLOK/LOUZ,W02
      K=N
      IF (M.GT.K) K=M
      DO 10 I=1,K+1
      Z=A(I)

```

```

10      A(I)=B(I)
      B(I)=Z
      L=M
      M=N
      N=L
      LOUZ=LOUZ+1
      RETURN
      END

C
C ***** SUBROUTINE BOLUM (A,B,N,M) *****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA A(N) POLINOMU B(M) POLINOMUNA BÖLÜRÜLÜR.SONUC
C *      YINE A(N) POLINOMUNDAN ALINIR
C *
C *****
C
      SUBROUTINE BOLUM (A,B,N,M)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22),C(22)
      SD=1
      IF(A(1).LT.1.E-6) SD=0
      DO 5 I=1,22
      C(I)=A(I)
5      A(I)=0.
      NC=N-M
      DO 10 K=N+1,M+1,-1
      A(K-M)=C(K)/B(M+1)
      DO 10 I=M+1,1,-1
      C(K-M-1+I)=C(K-M-1+I)-A(K-M)*B(I)
10     CONTINUE
      N=NC
      A(1)=A(1)*SD
      RETURN
      END

C
C ***** SUBROUTINE RESIN (A,B,N,M,RESID,W02) *****
C *
C *      BU PROGRAMDA F(S) FONKSIYONUNUN TRANSMISYON SIFIRININ SAGA
C *      BELIRLI BIR W02 FREKANS DEGERINE KAYMASI ICIN GEREKEN RESIDUE
C *      DEGERI HESAPLANIR. W02=0. ISE SONSUZDAKI KUTBUN TAMAMIYLA
C *      UZAKLASMASI ICIN GEREKLI RESIDUE DEGERI HESAPLANIR
C *
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      A(N) : F(S) FONKSIYONUNUN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(M) : F(S) FONKSIYONUNUN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N,M : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
C *      W02 : RESIDUE NUN HESAPLANDIGI FREKANS DEGERI
C *      CIKTI LAR
C *      -----
C *      RESID : RESIDUE DEGERI
C *
C *****
C
      SUBROUTINE RESIN (A,B,N,M,RESID,W02)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMPLEX*16 PAY,PAYDA,Z
      DIMENSION A(22),B(22)
      IF (W02.NE.0) GOTO 5
      RESID=A(N+1)/B(M+1)

```

```

5      GOTO 30
      PAY=0
      PAYDA=0
      Z=W02*(1.,0.)
      Z=CDSQRT(Z)
      DO 10 I=1,N+1
10     PAY=PAY+A(I)*Z**(I-1)
      DO 20 I=1,M+1
20     PAYDA=PAYDA+B(I)*Z**I
      RESID=REAL(PAY/PAYDA)
30     RETURN
      END

```

```

C
C ***** SUBROUTINE RESZER (A,B,N,M,RESID,W02) *****
C *

```

```

C *      BU PROGRAMDA F(S) FONKSIYONUNUN TRANSMISYON SIFIRININ SOLA
C *      BELIRLI BIR W02 FREKANS DEGERINE KAYMASI ICIN GEREKEN RESIDUE
C *      DEGERI HESAPLANIR. W02=0. ISE SIFIRDAKI KUTBUN TAMAMIYLA
C *      UZAKLASMASI ICIN GEREKLI RESIDUE DEGERI HESAPLANIR
C *

```

```

C *      GIRDILER
C *

```

```

C *      A(N) : F(S) FONKSIYONUNUN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(M) : F(S) FONKSIYONUNUN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N,M   : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
C *      W02   : RESIDUE NUN HESAPLANDIGI FREKANS DEGERI
C *      CIKILAR
C *

```

```

C *      RESID : RESIDUE DEGERI
C *

```

```

C *****
C

```

```

      SUBROUTINE RESZER (A,B,N,M,RESID,W02)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMPLEX*16 PAY,PAYDA,Z
      DIMENSION A(22),B(22)
      DO 2 I=N+2,22
2       A(I)=0.
      DO 3 I=M+2,22
3       B(I)=0.
      IF (W02.NE.0.) GOTO 5
      RESID=A(1)/B(2)
      GOTO 30
5       PAY=0.
      PAYDA=0.
      Z=W02*(1.,0.)
      Z=CDSQRT(Z)
      DO 10 I=1,N+1
10      PAY=PAY+A(I)*Z**(I-1)
      DO 20 I=2,M+1
20      PAYDA=PAYDA+B(I)*Z**(I-2)
      RESID=REAL(PAY/PAYDA)
30      CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

C
C ***** SUBROUTINE RESFIN (A,B,N,M,RESID,W02) *****
C *      BU ALT PROGRAMDA SONLU FREKANS DEGERINDEKI BIR KUTBUN TAMA
C *      MIYLA UZAKLASTIRILMASI ICIN GEREKEN RESIDUE DEGERI HESAPLANIR
C *

```



```

C *                                     GIRDILER
C *                                     -----
C *      A(N) : F(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(M) : F(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N,M   : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
C *      W02   : KUTBUN BULUNDUGU FREKANS DEGERI
C *                                     CIKTIAR
C *                                     -----
C *      RESID : BULUNAN RESIDUE DEGERI
C *
C *****
C
      SUBROUTINE RESFIN (A,B,N,M,RESID,W02)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(22),B(22),E(22),F(22)
      COMPLEX*16 PAY,PAYDA,Z
      DO 3 I=N+2,22
3        A(I)=0.
      DO 4 I=M+2,22
4        B(I)=0.
      DO 5 I=1,M+1
5        F(I)=B(I)
      PAY=(0.,0.)
      PAYDA=(0.,0.)
      MB=M
      E(1)=-W02
      E(2)=0.
      E(3)=1.
      NB=2
      CALL BOLUM (F,E,MB,NB)
      Z=W02*(1.,0.)
      Z=CDSQRT(Z)
      DO 10 I=1,N+1
10       PAY=PAY+A(I)*Z**(I-1)
      DO 20 I=1,MB+1
20       PAYDA=PAYDA+F(I)*Z**I
      RESID=REAL(PAY/PAYDA)
      DO 56 I=1,MB+1
56       B(I)=F(I)
      M=MB
      RETURN
      END
C
C ***** SUBROUTINE RPI (A,B,N,M,RESID,NTSI) *****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA SONSUZDAN RESID DEGERINDE BIR KUTUP UZAKLASTI
C *      RILIR.BU UZAKLASTIRMA PARCALI VEYA TAMAMIYLA OLABILIR
C *
C *                                     GIRDILER
C *                                     -----
C *      A(N) : F(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(M) : F(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N,M   : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
C *      RESID: RESIDUE DEGERI
C *      NTSI  : SONSUZDAKI TRANSMISYON SIFIRI SAYISI
C *                                     CIKTIAR
C *                                     -----
C *      EKRANA YADA SGNUC.DAT ISIMLI FILE'E ATILIR
C *
C *****

```

C

```

SUBROUTINE RPI (A,B,N,M,RESID,NTSI)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22)
DO 10 I=M+1,1,-1
10  A(I+1)=A(I+1)-B(I)*RESID
    NE=2
    CALL ELDEG (RESID,NE)
    IF (A(N+1).GT.1.E-6) GOTO 13
    NTSI=NTSI-1
    N=N-2
    IF (NTSI.LE.0) N=N+1
13  CONTINUE
    DO 14 I=N+2,22
14  A(I)=0.
    DO 15 I=M+2,22
15  B(I)=0.
    RETURN
END

```

C

C ***** SUBROUTINE RPZ (A,B,N,M,RESID,NTSZ) *****

C *

C * BU ALTPROGRAMDA SIFIRDAN RESID DEGERINDE BIR KUTUP UZAKLASTI
 C * RILIR.BU UZAKLASTIRMA PARCALI VEYA TAMAMIYLA OLABILIR

C *

C *

GIRDILER

C *

C * A(N) : F(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
 C * B(M) : F(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
 C * N,M : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
 C * RESID: RESIDUE DEGERI
 C * NTSI : SIFIRDAKI TRANSMISYON SIFIRI SAYISI
 C * CIKILAR

C *

C * EKRANA YADA SONUC.DAT ISIMLI FILE'E ATILIR

C *

C *****

C

```

SUBROUTINE RPZ (A,B,N,M,RESID,NTSZ)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22)
DO 10 I=M,1,-1
10  A(I)=A(I)-RESID*B(I+1)
    NE=1
    CALL ELDEG (RESID,NE)
    IF (A(1).GE.1.E-6) GOTO 18
    DO 15 I=1,21
15  A(I)=A(I+1)
    B(I)=B(I+1)
    M=M-1
    N=N-1
    NTSZ=NTSZ-1
    IF (NTSZ.GE.1) A(1)=0.
18  CONTINUE
    DO 1 I=N+2,22
1  A(I)=0.
    DO 2 I=M+2,22
2  B(I)=0.
    RETURN
END

```

```

C
C ***** SUBROUTINE RPF (A,B,N,M,RESID,TS,NO) *****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA SONLU FREKANS DEGERINDE BIR KUTUP TAMAMIYLE
C *      UZAKLASTIRILIR
C *
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      A(N) : F(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(M) : F(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N,M   : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
C *      RESID : RESIDUE DEGERI
C *      NTSI  : SONLU DEGERDEKI TRANSMISYON SIFIRI SAYISI
C *      TS    : TRANSMISYON SIFIRLARININ BULUNDUGU DIZI
C *      CIKILAR
C *      -----
C *      EKRANA YADA SONUC.DAT ISIMLI FILE'E ATILIR
C *
C *****

```

```

SUBROUTINE RPF (A,B,N,M,RESID,TS,NO)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(22),B(22),E(10),TS(22)
COMPLEX*16 C(22),D(22)
COMMON /BLOK/LDUZ,W02
E(1)=-W02
E(2)=0.
E(3)=1.
NB=2
DO 10 I=M+1,1,-1
10  A(I+1)=A(I+1)-B(I)*RESID
CALL BOLUM (A,E,N,NB)
DO 20 I=1,NO
IF (TS(I).EQ.W02) GOTO 30
20  CONTINUE
30  DO 40 J=I,NO
40  TS(J)=TS(J+1)
NO=NO-1
NE=3
CALL ELDEG (RESID,NE)
RETURN
END

```

```

C
C ***** SUBROUTINE SAG (A,B,N,M,L,SMAT,TS,NO) *****
C *
C *      BU ALT PROGRAM SAGA DOGRU KAYACAK SIFIRLARI BULUR.BUNU YAPARKE
C *      SONSUZDAKI RESIDUE DEGERINDEN KUCUK YADA ESIT VE SIFIRDAN BUYU
C *      YADA ESIT RESIDUE DEGERI CIKARTIR.AYRICA BIRDEN FAZLA DEGER BU
C *      LUYORSA BUNLARIN EN KUCUGUNU ALIR.
C *
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      A(N) : F(S) IN PAY POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      B(M) : F(S) IN PAYDA POLINOMUNUN BULUNDUGU DIZI
C *      N,M   : SIRASIYLA POLINOMLARIN DERECELERI
C *      TS(NO) : TRANSMISYON SIFIRLARININ BULUNDUGU DIZI
C *      NO    : SONLU DEGERDEKI TRANSMISYON SIFIRI SAYISI
C *      CIKILAR
C *      -----
C *      SMAT(3):KAYDIRILABILECEK FREKANS VE RESIDUE DEGERINI ICEREN

```

```

C *           DIZI
C *   L       : KONTROL DEGİSKENİ.SİFİRDAN FARKLIYSA SAGA KAYABİLİY
C *           ANLAMINDA
C *
C *****
C
SUBROUTINE SAG (A,B,N,M,L,SMAT,TS,NO)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION SMAT(3),TS(22)
L=0
SMAT(1)=0.
W=0.
CALL RESIN (A,B,N,M,RK,W)
DO 10 I=1,NO
W=TS(I)
PRINT*,'W02=',W
CALL RESIN (A,B,N,M,RESID,W)
PRINT*,'RK,RESID=',RK,RESID
IF (RESID.LT.0.OR.RESID.GT.RK+1.E-10) GOTO 10
IF (RESID.LT.SMAT(1).OR.L.EQ.0) GOTO 20
GOTO 10
20  L=L+1
SMAT(1)=RESID
SMAT(2)=W
10  CONTINUE
RETURN
END

C ***** SUBROUTINE SOL (A,B,N,M,L,SMAT,TS,NO) *****
C *
C *   BU ALT PROGRAM SOLA DOGRU KAYACAK SIFIRLARI BULUR.BUNU YAPAR
C *   SIFIRDAKI RESIDUE DEĞERİNDEN KUCUK YADA ESİT VE SIFIRDAN BUY
C *   YADA ESİT RESIDUE DEĞERİ ÇIKARTIR.AYRICA BİRDEN FAZLA DEĞER
C *   LUYORSA BUNLARIN EN KUCUGUNU ALIR.
C *
C *           GİRDİLER
C *           -----
C *   A(N)    : F(S) İN PAY POLİNOMUNUN BULUNDUGU DİZİ
C *   S(M)    : F(S) İN PAYDA POLİNOMUNUN BULUNDUGU DİZİ
C *   N,M     : SİRASIYLA POLİNOMLARIN DERECELERİ
C *   TS(NO)  : TRANSMİSYON SIFIRLARININ BULUNDUGU DİZİ
C *   NO      : SONLU DEĞERDEKİ TRANSMİSYON SIFIRI SAYISI
C *           ÇIKTILAR
C *           -----
C *   SMAT(3):KAYDIRILABİLECEK FREKANS VE RESIDUE DEĞERİNİ İCEREN
C *           DİZİ
C *   L       : KONTROL DEĞİSKENİ.SİFİRDAN FARKLIYSA SOLA KAYABİLİY
C *           ANLAMINDA
C *
C *****
C
SUBROUTINE SOL (A,B,N,M,L,SMAT,TS,NO)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION SMAT(3),TS(22)
L=0
W=0.
CALL RESZER (A,B,N,M,RK,W)
IF (NO.EQ.0) SMAT(1)=RK
DO 10 I=1,NO
W=TS(I)

```

```

CALL RESZER (A,B,N,M,RESID,W)
IF (RESID.LT.0.OR.RESID.GT.RK+1.E-10) GOTO 10
IF (RESID.LT.SMAT(1).CR.L.EQ.0) GOTO 20
GOTO 10
20  L=L+1
    SMAT(1)=RESID
    SMAT(2)=W
10  CONTINUE
    RETURN
    END

C
C ***** SUBROUTINE ELDEG (RESID,NE) *****
C *
C *   KUTUPLARIN UZAKLASTIRILDIGI RPI RPZ VE RPF ALPROGRAMLARINDAN
C *   GELINEN BU ALTPROGRAMDA HANGI KOLA HANGI ELEMANIN GELECEGI
C *   TESPIT EDILIR.
C *
C *
C *   GIRDILER
C *   -----
C *   RESID = UZAKLASTIRILAN KUTUPLARIN RESIDUE DEGERI
C *   NE     = KONTROL DEGISKENI. HANGI UZAKLASTIRMA PROGRAMINDAN
C *           GELINDIGINI BELIRTIR
C *           NE=1 ISE RPZ' DEN
C *           NE=2 ISE RPI' DEN
C *           NE=3 ISE RPF' DEN
C *   LDUZ   = CIKAN ELEMANIN EMPEKANSTAN MI YOKSA ADMITANSTAN MI
C *           UZAKLASTIRILDIGINI BELIRTIR
C *           LDUZ=TEK SAYI ISE ADMITANSTAN;
C *           LDUZ=CIFT SAYI ISE EMPEKANSTAN.
C *   W02    = RPF DEN UZAKLASTIRILAN KUTBUN FREKANSININ KARESİ
C *           CIKTIKILAR
C *   -----
C *   EKRANA YADA SCONUC.DAT ISIMLI FILE'E ATILIR
C *
C *****
C
SUBROUTINE ELDEG (RESID,NE)
IMPLICIT REAL*8(A-H,D-Z)
COMMON /BLOK/LDUZ,W02
COMMON KSM
W02=-W02
IF (RESID.LT.1.E-6) GOTO 40
IF (NE.EQ.1) GOTO 10
IF (NE.EQ.2) GOTO 20
IF ((-1)**LDUZ.EQ.1) GOTO 30
WRITE (KSM,5)
5  FORMAT(' PARALEL KOLDA SERI LC')
XL=1./RESID
C=RESID/W02
WRITE (KSM,100)XL,C
CALL LINES (W02,E,3)
GOTO 40
30  WRITE (KSM,31)
31  FORMAT(' SERI KOLDA SHUNT LC')
C=1./RESID
XL=RESID/W02
WRITE(KSM,100)XL,C
CALL LINES (W02,E,4)
GOTO 40
10  IF ((-1)**LDUZ.EQ.1) GOTO 50

```

```

11      WRITE (KSM,11)
      FORMAT (' PARALEL KOLDA L')
      WRITE (KSM,80)1/RESID
      CALL LINES (1.,1/RESID,2)
      GOTO 40
50      WRITE (KSM,51)
51      FORMAT (' SERI KOLDA C')
      WRITE(KSM,90)1/RESID
      CALL LINES (1.,1/RESID,1)
      GOTO 40
20      IF ((-1)**LDUZ.EQ.1) GOTO 60
      WRITE (KSM,21)
21      FORMAT (' PARALEL KOLDA C')
      WRITE (KSM,90)RESID
      CALL LINES (1.,RESID,1)
      GOTO 40
60      WRITE (KSM,61)
61      FORMAT (' SERI KOLDA L')
      WRITE (KSM,80)RESID
      CALL LINES (1.,RESID,2)
40      W02=-W02
80      FORMAT (' L=',F7.3)
90      FORMAT (' C=',F7.3)
100     FORMAT (' L=',F7.3,'          C=',F7.3)
      RETURN
      END

```

```

C
C ***** SUBROUTINE LINES (W,ELD,NELD) *****
C *
C *      BU ALTPROGRAMDA BULUNAN ELEMAN DEGERLERININ TRANSMISYON HAT-
C *      LARIYLA GERCEKLESTIRILMESI SAGLANMAKTADIR
C *
C *      GIRDILER
C *      -----
C *      W      : CALISILAN NORMALIZE FREKANS DEGERI
C *      ELD    : GERCEKLESTIRILECEK ELEMAN DEGERI
C *      NELD   : CONTROL DEGISKENI
C *      NELD=1 ISE BIR KAPASITOR GERCEKLENECEK
C *      NELD=2 ISE BIR ENDUKTANS GERCEKLENECEK
C *      NELD=3 ISE SERI BIR LC GERCEKLENECEK
C *      NELD=4 ISE PARALEL BIR LC GERCEKLENECEK
C *      CIKTIAR
C *      -----
C *      EKRANDA YADA SONUC.DAT ISIMLI KUTUKTE GORULUR
C *
C *****
C

```

```

      SUBROUTINE LINES (W,ELD,NELD)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON KSM
      PI=3.14159
      IF (NELD.NE.1) GOTO 10
      D=(30/(2*PI*W))*DATAN(2*PI*W*ELD)
      WRITE (KSM,100)D
10      IF (NELD.NE.2) GOTO 20
      D=(30/(2*PI*W))*DATAN(2*PI*W*ELD)
      WRITE (KSM,110)D
20      IF (NELD.LT.3) GOTO 30
      D=30/(DSQRT(W)*4)
      IF (NELD.EQ.3) WRITE (KSM,100)D

```

```
IF (NELD.EQ.4) WRITE (KSM,110)D
30  CONTINUE
100  FORMAT (' SONU ACIK HAT,D=',F8.4,2HMM,5X,'Z0=50 OHM')
110  FORMAT (' SONU KISA DEVRE HAT,D=',F8.4,2HMM,5X,'Z0=50 OHM')
      RETURN
      END
```

EK_3

ÖRNEK 1

ZIN(S)AİN PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI

A(0)= 1.0000
 A(1)= 7.0000
 A(2)= 15.0000
 A(3)= 84.0000

ZIN(S)AİN PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI

B(0)= 0.0000
 B(1)= 4.0000
 B(2)= 28.0000
 B(3)= 12.0000

VERILENI EMPEDANS FONKSIYONU OLARAK SENTEZ EDİYORUM

SERİ KOLDA C

C= 4.000

SONU AÇIK HAT, D= 7.3162MM

Z₀=50 OHM

PARALEL KOLDA L

L= 3.000

SONU KISA DEVRE HAT, D= 7.2413MM

Z₀=50 OHM

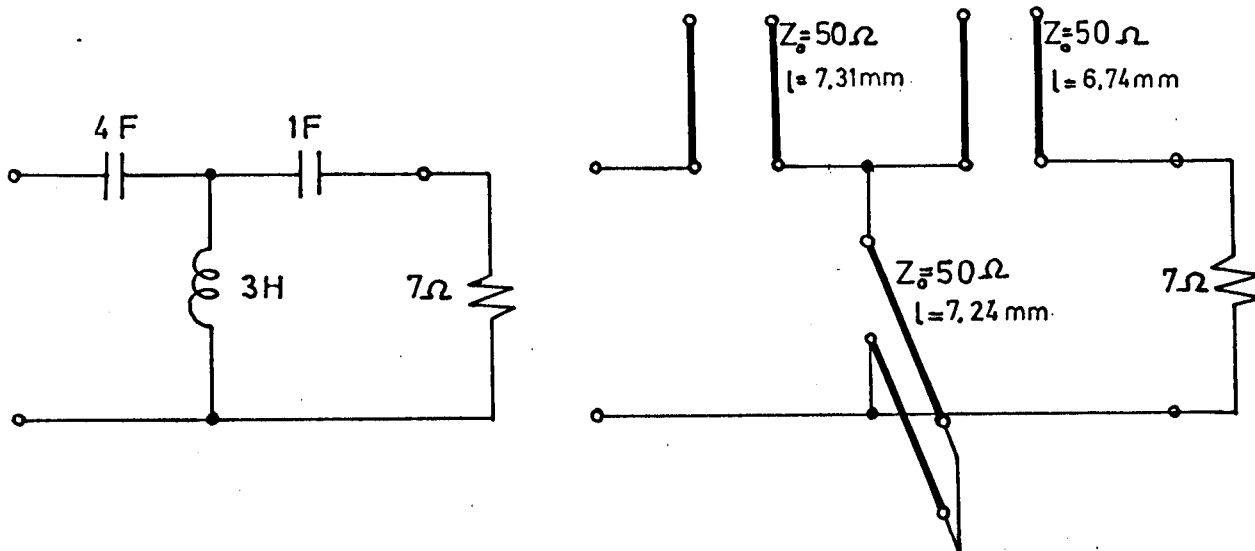
SERİ KOLDA C

C= 1.000

SONU AÇIK HAT, D= 6.7448MM

Z₀=50 OHM

R= 7.00000OHM



ÖRNEK 2

GİRİLEN RECF(S)) FONKSIYONUNUN PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI

 PAY(0)= 1.000000000000
 PAY(1)= 0.000000000000
 PAY(2)= 4.000000000000
 PAY(3)= 0.000000000000
 PAY(4)= 4.000000000000

GİRİLEN RECF(S)) FONKSIYONUNUN PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI

 PAYDA(0)= 1.000000000000
 PAYDA(1)= 0.000000000000
 PAYDA(2)= 2.000000000000
 PAYDA(3)= 0.000000000000
 PAYDA(4)= 7.000000000000
 PAYDA(5)= 0.000000000000
 PAYDA(6)= 5.000000000000
 PAYDA(7)= 0.000000000000
 PAYDA(8)= 1.000000000000

ZIN(S))İN PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI

 A(0)= 1.0000
 A(1)= 2.0000
 A(2)= 5.0000
 A(3)= 5.0000

ZIN(S))İN PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI

 B(0)= 1.0000
 B(1)= 2.0000
 B(2)= 3.0000
 B(3)= 1.0000
 B(4)= 1.0000

VERİLENI EMPEDANS FONKSIYONU OLARAK SENTEZ EDİYORUM

PARALEL KOLDA C

C= 0.200

SONU AÇIK HAT,D= 4.2940MM Z0=50 OHM

SERİ KOLDA L

L= 1.667

SONU KISA DEVRE HAT,D= 7.0458MM Z0=50 OHM

PARALEL KOLDA SERİ LC

L= 1.111 C= 1.800

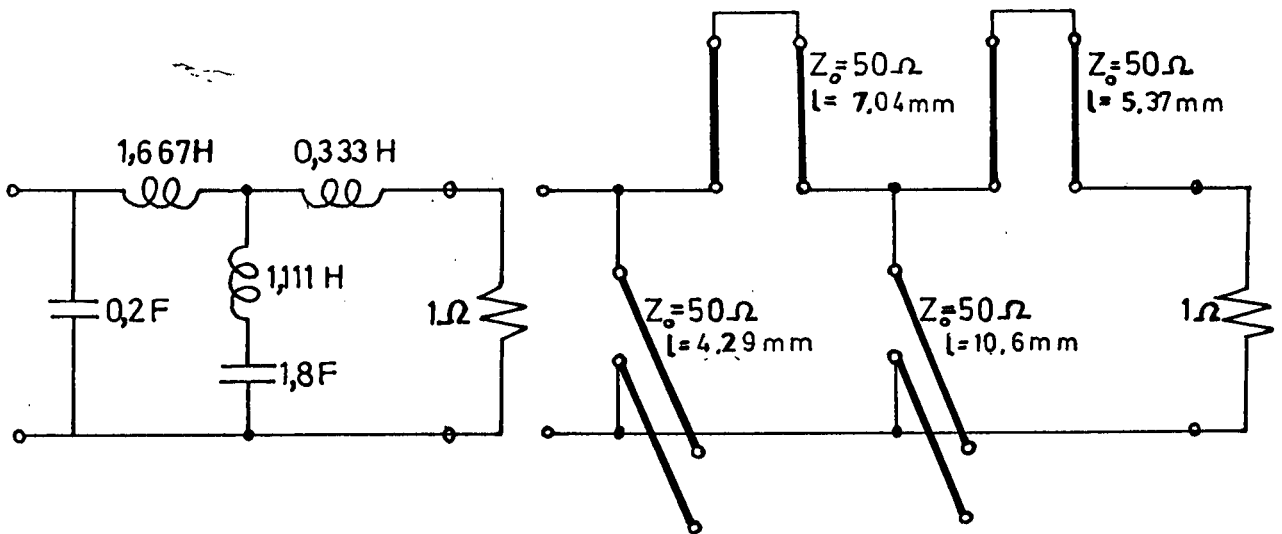
SONU AÇIK HAT,D= 10.6000MM Z0=50 OHM

SERİ KOLDA L

L= 0.333

SONU KISA DEVRE HAT,D= 5.3799MM Z0=50 OHM

R= 1.0000OHM



ÖRNEK 3

GİRİLEN RECF(S)] FONKSIYONUNUN PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI

```

-----
PAYC 0 )= 0.000000000000
PAYC 1 )= 0.000000000000
PAYC 2 )= 0.000000000000
PAYC 3 )= 0.000000000000
PAYC 4 )= 0.062500000000
PAYC 5 )= 0.000000000000
PAYC 6 )= 0.750000000000
PAYC 7 )= 0.000000000000
PAYC 8 )= 3.250000000000
PAYC 9 )= 0.000000000000
PAYC10 )= 6.000000000000
PAYC11 )= 0.000000000000
PAYC12 )= 4.000000000000

```

GİRİLEN RECF(S)] FONKSIYONUNUN PAYDA POLINOMUNUN KATSAYILARI

```

-----
PAYDAC 0 )= 1.000000000000
PAYDAC 1 )= 0.000000000000
PAYDAC 2 )= 0.000000000000
PAYDAC 3 )= 0.000000000000
PAYDAC 4 )= 0.000000000000
PAYDAC 5 )= 0.000000000000
PAYDAC 6 )= 0.000000000000
PAYDAC 7 )= 0.000000000000
PAYDAC 8 )= 0.000000000000
PAYDAC 9 )= 0.000000000000
PAYDAC10 )= 0.000000000000
PAYDAC11 )= 0.000000000000
PAYDAC12 )= 0.000000000000
PAYDAC13 )= 0.000000000000
PAYDAC14 )= 0.000000000000
PAYDAC15 )= 0.000000000000
PAYDAC16 )= 1.000000000000

```

ZIN(S)@IN PAY POLINOMUNUN KATSAYILARI

```

-----
AC 0)= 0.0000
AC 1)= 0.1522
AC 2)= 0.7800
AC 3)= 1.8941
AC 4)= 2.8487
AC 5)= 2.6685
AC 6)= 1.6709
AC 7)= 0.3260

```

ZIN(S)@IN PAYDA POLINGMUNUN KATSAYILARI

```

-----
BC 0)= 1.0000
BC 1)= 5.1258
BC 2)= 13.1371
BC 3)= 21.8462
BC 4)= 25.6884
BC 5)= 21.8462
BC 6)= 13.1371
BC 7)= 5.1258
BC 8)= 1.0000

```

VERILENI EMPEDANS FONKSIYONU CLARAK SENTEZ EDİYORUM

PARALEL KOLDA L

$$L = 0.232$$

$$\text{SONU KISA DEVRE HAT, } D = 4.6292\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

SERI KOLDA SHUNT LC

$$L = 0.368$$

$$C = 5.431$$

$$\text{SONU KISA DEVRE HAT, } D = 10.6000\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

PARALEL KOLDA L

$$L = 0.095$$

$$\text{SONU KISA DEVRE HAT, } D = 2.5668\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

SERI KOLDA SHUNT LC

$$L = 0.171$$

$$C = 23.391$$

$$\text{SONU KISA DEVRE HAT, } D = 15.0000\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

PARALEL KOLDA L

$$L = 0.163$$

$$\text{SONU KISA DEVRE HAT, } D = 3.8078\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

SERI KOLDA C

$$C = 89.564$$

$$\text{SONU ACIK HAT, } D = 7.4998\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

PARALEL KOLDA C

$$C = 11.373$$

$$\text{SONU ACIK HAT, } D = 7.4387\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

SERI KOLDA L

$$L = 0.010$$

$$\text{SONU KISA DEVRE HAT, } D = 0.2959\text{MM}$$

$$Z_0 = 50 \text{ OHM}$$

$$R = 0.0508\text{OHM}$$

