

ANAHTARLAMALI KAPASİTE FİLTRELERİNDE FREKANS
KARAKTERİSTİKLERİNİN BİLGİSAYAR YARDIMIYLA BULUNMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mehmet SEZGİN

ANA BİLİM DALI : ELEKTRONİK VE HABERLEŞME

PROGRAMI : ELEKTRONİK VE HABERLEŞME

ANAHTARLAMALI KAPASİTE FİLTRELERİNDE FREKANS
KARAKTERİSTİKLERİNİN BİLGİSAYAR YARDIMIYLA BULUNMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mehmet SEZGİN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Ocak 1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 1990

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cevdet ACAR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. İ.Cem GÖKNAR

: Prof.Dr. Fuat ANDAY

OCAK 1990

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında değerli yardımlarını esirgemyen sayın hocam Prf. Dr. Cevdet Acar ve Bilkent Üniversitesi öğretim üyelerinden sayın Doç. Dr. M. Ali Tan'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Anahtarlamaalı Kapasite Filtrelerinin Alçak frekanslarda Analizi.....	1
1.2. Anahtarlamaalı Kapasite Filtrelerinin Yüksek Frekanslarda Analizi.....	3
BÖLÜM 2. ANAHTARLAMALI KAPASİTE FİLTRELERİNİN DURUM UZAYINDA İNCELENMESİ.....	6
2.1. Gerilim Kaynağı, Transformatör ve İşlemsel Kuvvetelendirici Eşdeğer Devreleri.....	7
2.2. Durum Uzayına İndirgeme.....	9
2.2.1. Düğüm Renklendirme Yöntemi.....	12
2.3. Anahtarlamaalı Kapasite Filtrelerinin Durum Uzayı Modelinin Elde Edilmesi.....	13
2.4. Durum Denklemlerinin Çözümü.....	21
2.5. Z-domeninde Transfer Fonksiyonunun elde edilmesi ve çözümü.....	22
BÖLÜM 3. ÖRNEK DEVRELERİN "SCFIL4" PROGRAMI YARDIMIYLA İNCELENMESİ.....	27
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	55
EK A. KULLANIM KILAVUZU.....	57
EK B. PROGRAM LİSTESİ.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÖZET:

Bu çalışmada ilk olarak anahtarlama kapasite (A.K.) filtrelerinin durum uzayına indirgenebilirliği incelendikten sonra, (A.K.) filtrelerinin yüksek frekanslarda analizini yapabilen SCFIL4 programı yardımıyla, bazı örnek devrelerde ideal olmayan elemanların frekans cevabına etkileri incelenmiştir.

Sözkonusu program bir devre analizi programı olup, devredeki elemanların ideal olmama etkilerini; örneğin sıfır olmayan anahtar dirençlerini, sonlu işlemel kuvvetlendirici kazançlarını ve parazitik kapasiteleri de gözönüne alarak (A.K.) filtrelerinin analizini yapabilmektedir.

ANSI FORTRAN-77 Standardında yazılmış bulunan SCFIL4 programı, ele alınan devrenin tek ve çift saat peryotlarında durum uzayı modelini kurup, devrenin z-domenindeki transfer fonksiyonunu bularak frekans cevabının elde edilmesini sağlar. Giriş ve çıkışlar örneklenmiş ve tutulmuş olarak kabul edilmiştir.

SUMMARY

COMPUTER-AIDED EVALUATION OF FREQUENCY CHARACTERISTICS OF SWITCHED CAPACITOR FILTERS

In recent years, many algorithms have been devised for the analysis of switched capacitor (S.C.) networks. Most of these algorithms are capable of analyzing S.C. networks only if the waveforms present in the network are piecewise constant. In practice this restricts the analysis to low clock and signal frequencies, where the network completely settles during each clock phase. However, efforts are currently being made to extend the operation of S.C. filters to the highest possible frequencies, where the circuit no longer settles completely between switching instants. At high frequencies, this settling behavior becomes the dominant factor that limits the performance of the filter. It is therefore of interest to investigate S.C. networks under such condition.

The program which was used in this thesis, SCFIL4 analysis S.C. networks with any nonidealities that can be represented by a time invariant linear admittance model within a clock phase. A two phase clock is assumed to analyze S.C. networks with such nonidealities, computation must proceed in the time domain. The problem is formulated as a set of linear ordinary differential equations with constant coefficients, one for each clock phase. They are coupled by the fact that the final conditions for one clock phase become the initial conditions for the next. If the input is restricted to be piecewise constant, and the output is sampled just before each switching instant, the entire circuit can be characterized in the z-domain, even with the nonidealities. This greatly speeds up the the analysis, and it has been shown that the errors resulting from this technique are small.

A state space formulation is used to obtain the exact time domain solution of the circuit dynamics within each clock phase. The state space approach has fallen into disuse in recent years; however, it is the most efficient formulation for the time domain analysis. In order to reduce such effects as charge injection and to improve power supply rejection, S.C. circuits have

recently been fabricated that are fully differential from input to output.

Thus an analysis program ought to be able to cope with such a complication. At first glance, it would appear that a differential circuit would have approximately twice as many nodes as its single ended counterpart, slowing down the analysis considerably, but one can take advantage of the symmetry of the network. In such a circuit one half the nodes can be discarded for the purpose of analysis if one permits in the model the use of a few ideal inverting transformers. These are needed to handle the instances where signals cross from one half of the symmetrical circuit to the other.

However their use introduces certain degeneracies into the network dynamics, and complicates the algorithm to produce the state space form from the initial nodal admittance description.

The circuit can be described in the time domain by the nodal equations,

$$C \dot{v} + G v = i_c \quad (1)$$

where C is the capacitance matrix, v is the node voltage vector, G is the conductance matrix and i_c is the independent current source vector.

If C is the identity matrix, the equations (1) would be in state space form. Unfortunately, because C is rarely identity matrix, and is usually not even full rank, row and column operations must be applied to (1) to reduce C to block identity form.

Formally, nonsingular matrices P and Q are found such that,

$$P C Q = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad P G Q = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}$$

Thus pre multiplying (1) by P and insert the identity as $Q Q^{-1}$ in appropriate places, results in :

$$P C Q Q^{-1} \dot{v} + P G Q Q^{-1} v = P i_c \quad (2)$$

further defining,

$$Q^{-1} v = x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_2 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad P i_c = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_2 \end{bmatrix}$$

equation (2) can be written as,

$$\begin{bmatrix} I & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \vdots \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

And system (3) is now in state space form. If the circuit consist solely of elements that have an admittance description and there are no degeneracies, the reduction to produce (3) from (1) is fairly straightforward. It can be shown that the C matrix is positive semi definite and therefore it can be reduced to diagonal form by Cholesky decomposition with diagonal pivoting. The equations can then be scaled to complete the reduction of C to a block identity matrix. If C is rank deficient, the last few equations will be algebraic, system is nonsingular, it can be solved, and thus the problem is separated into two parts, a set of differential equations in state space form, and a set of algebraic equations, whose solution is straightforward.

If one allows the use of ideal voltage elements, as mentioned earlier, the equations can degenerate in a number of ways. The most important degeneracy occurs when an ideal transformer or voltage source shorts together two capacitors. The rank of the state space thus becomes less than the rank of the capacitance matrix.

If the circuit is a degenerate circuit we have to spend more efforts to separate state space and determine effective dimension of the state space.

As a prelude to the reduction about to be described let us reformulate equations (1) by assimilating the constant vector into the system matrix. This does not greatly alter the course of reduction, but certain computational difficulties in time domain solution can be discarded by such a change.

In the nodal admittance equations (1), the independent current source vector can be made part of the conductance matrix G in the following way. We create an extra node, which is connected to ground through a capacitor (the value of the capacitor is immaterial, so we arbitrarily set it unity). We don't make any connections to this capacitor, so no current flows into or out of the node, thus the voltage remains constant. However we can use this node as the control node for transconductances whose output currents will be therefore constant. In matrix notation we can express it as follows.

$$\begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ v_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

If we write out the individual sets of equations:

$$C \dot{v} + G v = i_c v$$

$$\dot{v}_c = 0$$

If initial condition of the extra capacitor is 1 volt we have,

$$C \dot{v} + G v = i_c \quad \text{which is the same as (1).}$$

In general, equation (4) can be reduced to the following form.

$$\begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 & b_1 \\ 0 & 0 & S & b_2 \\ 0 & S & 0 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

x_1 , x_2 and x_3 comprise the state vector, x_c is the extra state variable mentioned above, D is a diagonal submatrix formed from the identity matrix by setting the last few diagonal elements to zero. The variables b_1 , b_2 and b_3 comprise the constant vector (now part of the state matrix). The submatrices S are of the form :

$$S = \begin{bmatrix} 0 & & 1 \\ & \ddots & \\ 1 & & 0 \end{bmatrix} \quad \text{or} \quad s_{ij} = \begin{cases} 1 & i+j = n+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

These equations are corresponding :

$$\dot{x}_1 = A x_1 + b_1 \quad (5.a.)$$

$$x_2 = -S b_3 \quad (5.b.)$$

$$x_3 = -S b_2 \quad (5.c.)$$

Now (5.a.) is state space form and others are algebraic. Solution of these equations are trivial.

To get z- domain representation, we can write out difference equations for each clock phase as follows.

$$v((n+1)2T) = A^e v(nT) + b^e U^e$$

$$v((n+1)T) = A^o v((n+1/2)T) + b^o U^o$$

T : sampling period.

And we can pass to z-domain representation by replacing

$z^{1/2}$ and z for time delay. If we solve z-domain linear algebraic system, we can therefore obtain frequency response of the circuit.

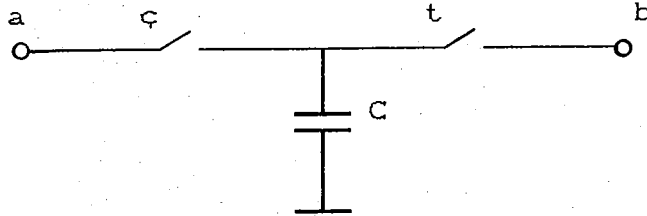
In this thesis a program SCFIL4 was used to examine the frequency response of the some sample circuits, uses the above mentioned reduction.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Özellikle son 10 yıl içerisinde anahtarlama kapasite filtreleriyle ilgili birçok makaleler yayınlanmış, araştırmalar yapılmıştır. Filtrelerin entegre devre olarak üretilmesinde karşılaşılan bazı problemlerin, anahtarlama kapasite (A.K) filtreleri kullanılarak çözümlenmiş olması (A.K) filtrelerinin güncelliğini artırmış ve (A.K) filtrelerinin entegre devre olarak piyasada yer almasına sebep olmuştur.

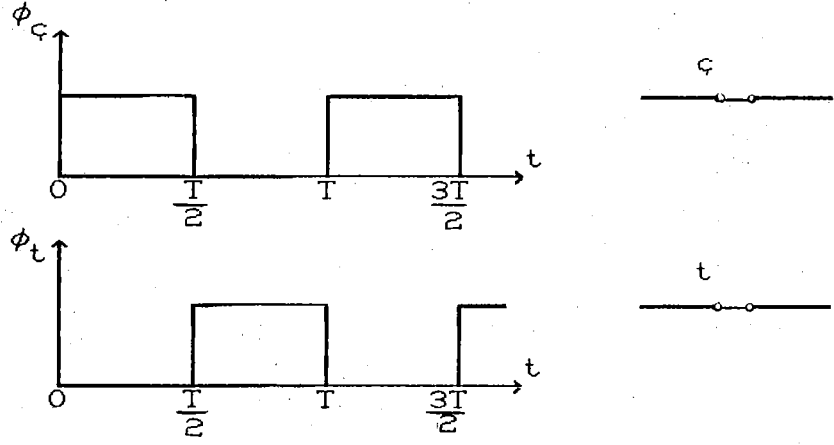
1.1. Anahtarlama Kapasite (A.K) Filtrelerinin Alçak Frekanslarda Analizi.

Anahtarlama kapasite filtrelerinin alçak frekans analizinde kullanılan en basit direnç eşdeğeri şekil 1.1. deki gibidir.



Şekil 1.1. Anahtarlama kapasite basit direnç eşdeğeri.

Şekil 1.1. de a-b uçları arasında görülen direnç yaklaşık olarak $R_{a-b} \cong 1 / (C f_c)$ dir. Burada f_c anahtarlama frekansıdır. Çift saat periyodunda ϕ anahtarı kapalı t anahtarı açık, tek saat periyodunda ϕ anahtarı açık t anahtarı kapalıdır. Anahtarların açılıp kapanma sırası şekil 1.2. den rahatça görülebilir.



Şekil 1.2. Çift ve tek saat fazları

Sözkonusu eşdeğer devre kullanılarak herhangi bir R-C filtre devresinde, dirençler yerine (A.K) eşdeğeri konularak filtre (A.K) devresi haline dönüştürülebilir.

Ancak burada iki önemli problem vardır. Bunlardan ilki ve açıkça görüleni kondansatördeki yük değişiminin ayırık yapısının ihmal edilmesidir. Eğer filtre edilecek işaretin frekansı saat frekansına göre bağıl olarak düşük ise bu bir problem oluşturmaz. Ancak işaretin frekansı arttıkça filtrenin cevabı hızla kayar.

İkinci problem ise direnç modelindeki eksikliklerdir. Zira anahtarlama olayı bir örnekleme olayının oluşmasına sebep olur. Bu da kapasitenin girişe bağlı olmadığı zamanlarda, filtrenin giriş işaretine tamamen duyarsız olması sonucunu ortaya çıkaracaktır.

Bu iki nedenden dolayı filtre cevabının tahmin edilenden farklı olması sözkonusudur. Hatta filtre cevabının sıfır olması gereken bazı durumlarda şekil 1.1.deki eşdeğer devreyi kullanmak filtre cevabının sıfırdan farklı olması sonucunu ortaya çıkarabilecektir.

Dolayısıyla olayı tam olarak inceleyebilmek için,

bazı karmaşık işlemleri yapma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. 1980 yılında Wehrhahn [1] sıradan bir devre analizi programıyla bu işi yapmaya çalışmıştır. Buna benzer çalışmalar De Man [2], Vandewalle [3] ve Nelin [4] tarafından da yapılmıştır.

Anahtarlama kapasite devrelerini analiz eden programların çoğu, devreyi yük denklemlerini kurarak incelemektedirler. Fakat bu incelemelerde hesap ağırlığı oldukça fazladır. Ancak bazı sistematik teknikler vasıtasıyla [5] olayı alçak frekanslarda incelemek mümkündür.

1.2. Anahtarlama Kapasite Filtrelerinin Yüksek Frekans Analizi.

Anahtarlama kapasite devrelerinin, yüksek frekanslarda tam bir analizinin yapılabilmesi için, oldukça karmaşık bazı işlemlerin yapılması gerekir. Zira yüksek frekanslarda anahtarlama esnasındaki devre dinamiği de önem kazanır.

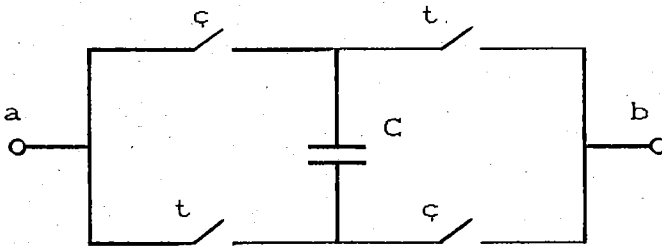
Sıfır olmayan anahtar direnci, sonlu işlemsel kuvvetlendirici, kazanç-band genişliği çarpımı ve sıfır olmayan çıkış direnci devrenin tüm frekans cevabı üzerinde önemli rol oynar.

Herbir saat fazı esnasında devrenin analizi için devrenin durum uzayı modelinin oluşturulup, diferansiyel denklemlerin çözümü ile devrenin bir saat fazı içerisindeki çözümünü elde etmek mümkündür. Çift ve tek saat peryotlarındaki çözümler arasındaki bağlantı da fark denklemleri yardımıyla belirlenebilir. Açıktır ki bu diferansiyel denklem takımı - fark denklem takımı çiftinin elle çözümü kolay değildir.

Bu problemleri çözmek için birçok yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlardan birisi Lau ve Swell [6] tarafından geliştirilen her işlemsel kuvvetlendiriciyi (f.K) mümkün olduğunca kendi alt devreleriyle birlikte zaman domeninde inceleyip çıkış gerilimini bir evvelki anahtarlama anındaki giriş gerilimi cinsinden bulmaktır. Böylece devrenin ayrık zaman tanımını dolayısıyla, z- domen gösterilimini elde etmek mümkündür. Ayrıca her bir (f.K) nin z-domeni gösterilimi ile tüm devrenin z- domeninde incelenebilmesi ve çözümün alçak frekans analizi tekniklerinde olduğu gibi elle yapılabilmesi mümkün hale gelmektedir. Ancak her bir (f.K) ye ilişkin kaynakların dinamiği birbirinden farklı kabul edildiklerinden bu yöntem her zaman işlemez.

İdeal olmama etkilerini hesaba katabilmenin bir diğer yolu da her bir parazitik anahtar direncini anahtarlama kapasite devresi ile değiştirmektir. Bu anahtarlama kapasite devresi devrenin geri kalan kısmından daha yüksek frekansta anahtarlanaarak parazitik direncin ideal bir direnç gibi davranması sağlanabilir.

Ancak yapılan incelemeler bu direnç eşdeğer modelinin düşük frekanslarda bile büyük hatalara sebep olduğunu buna rağmen şekil 1.3.deki direnç eşdeğeri yardımıyla bu hatalardan önemli ölçüde kurtulmanın mümkün olduğu belirlenmiştir. Bu iki uçlu aynı zamanda bilineer z-dönüşümünü gerçeklemektedir [7].



Şekil 1.3. Bilineer (A.K.) Direnç Eşdeğer devresi.

Sözkonusu devre için a-b uçları gözönüne alındığında herbir faz için devre topolojisinin değişmediği kolayca görülebilir.

Bu metodu ideal olmayan işlemsel kuvvetlendiriciler içeren devrelere uygulamak mümkündür. Sözkonusu metod Fang [8] tarafından incelenmiştir.

Genel de sürekli olarak anahtarlanan devrelere ilişkin çözüm yöntemleri uzun zamandan beri bilinmektedir [9], [10]. Ancak bu yöntemler doğrudan anahtarlamalı kapasite devrelerine uygulanabilecek halde değildirler.

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki (A.K.) devrelerini yüksek frekanslarda incelemenin en etkili yolu, devreyi herbir saat fazında durum uzayında inceleyip durum geçiş matrislerini elde etmek ve daha sonra elde edilen durum geçiş matrislerini devrenin z- domeni cevabını bulmak için birleştirmektir [11]. Bu çalışmada da izlenen yol budur.

BÖLÜM 2. ANAHTARLAMALI KAPASİTE FİLTRELERİNİN DURUM UZAYINDA İNCELENMESİ

Anahtarlamalı kapasite filtrelerinin durum uzayında incelenmesine geçmeden önce incelenecek devrenin hangi özelliklere sahip olduğunu ve bazı kısıtlamaları sıralamakta fayda olacaktır.

1) Devrenin lineer zamanla değişmeyen ve toplu elemanlı olduğu varsayılmış, slew-rate problemi gözönüne alınmamıştır.

2) İki fazlı anahtarlamanın var olduğu varsayılmıştır.

3) Sıfır anahtar direncine mücade edilmemiştir.

4) Giriş işaretinin parça parça sabit olduğu varsayılmıştır. Girişin parça parça sabit olması varsayımı Wehrhahn [12] tarafından incelenmiş ve bu kısıtlama varken ve yokken yapılan incelemeler arasında çok az bir fark olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada da girişin parça parça sabit olduğu varsayılmıştır.

5) Devrenin direnç, kondansatör, bağımsız gerilim kaynağı, bağımsız akım kaynağı, ideal transformatör ve gerilim kontrollü akım kaynaklarından oluştuğu varsayılmıştır.

Bu sıralanan özelliklere sahip olan bir elektrik devresini, değiştirilmiş düğüm gerilimleri yöntemi ile her iki saat fazı içerisinde matematiksel olarak ifade etmek mümkündür [13],[14]. Girişler parça parça sabit ve örneklenmiş ve tutulmuş olduğundan fark denklemleri vasıtasıyla da devrenin z- domeni gösterilimi elde edilebilir. Bu gösterilim elde edildikten sonra,

filtrenin frekans cevabını bulmak için birçok frekansta bu denklem takımının çözümünü bulmak yeterli olacaktır.

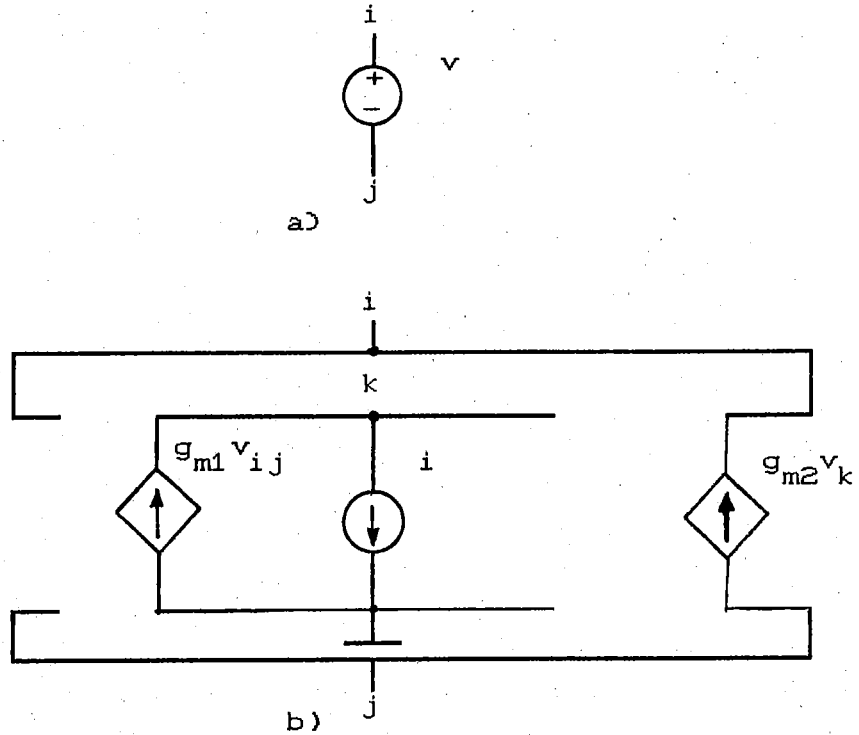
2.1. Gerilim Kaynağı, Transformotör ve İşlemsel Kuvvetlendirici. Eşdeğer Devreleri

İncelenen devre eğer ideal gerilim kaynağı içeriyorsa, bu elemanın katkısını düğüm iletkenlik matrisine katabilmek için şekil 2.1.b) deki eşdeğerini kullanmamız yeterli olacaktır. Eger k düğümüne ilişkin akım denklemi yazılır ve i-j uçlarından görülen empedans hesaplanırsa:

$$V_{ij} = i/g_{m1}$$

$$Z_{ij} = 0$$

elde edilir bu da ideal bir gerilim kaynağıdır.

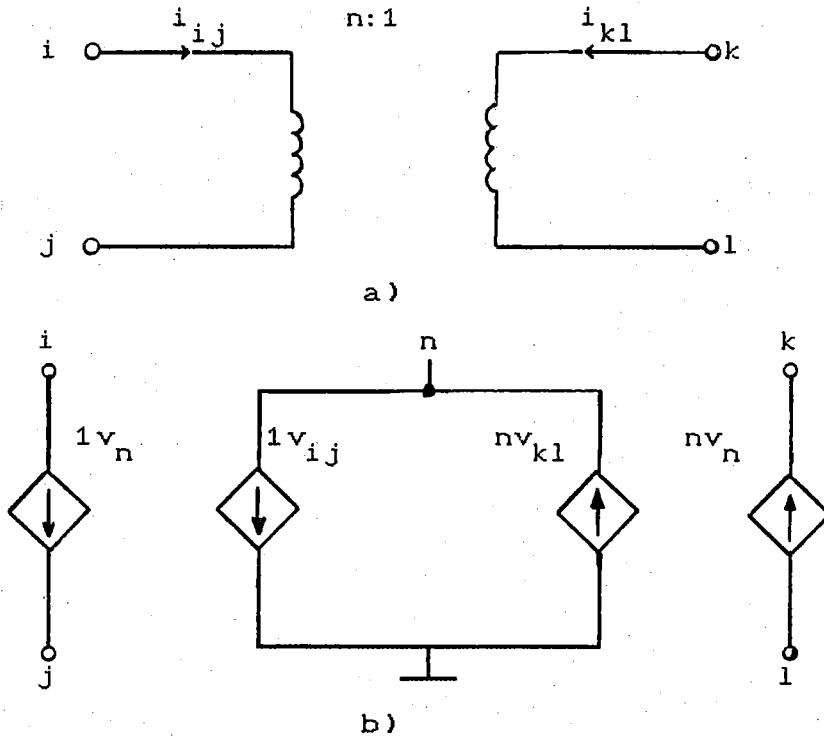


Şekil 2.1. a)ideal gerilim kaynağı, b)eşdeğeri.

Gerilim kaynağı kaç volt değerinde ise i, g_{m1} ve g_{m2} değerlerini iletkenlik matrisindeki diğer elemanlar mer-
tebesinde tutarak i/g_{m1} değeri belirlenebilir.

İdeal bir transformotörün eşdeğer devresini ise şe-
kil 2.2.b) deki gibi vermek mümkündür. n -düğümüne iliş-
kin akım denklemi yazılırsa:

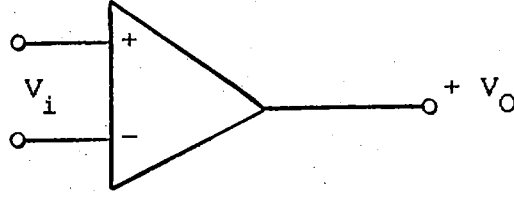
$v_{ij} = n v_{kl}$ elde edilir; ayrıca şekil 2.2.b. den
 $i_{ij} = (-1/n) i_{kl}$ olduğu görülebilir. Bu iki denklemde ideal
bir transformotörü belirler.



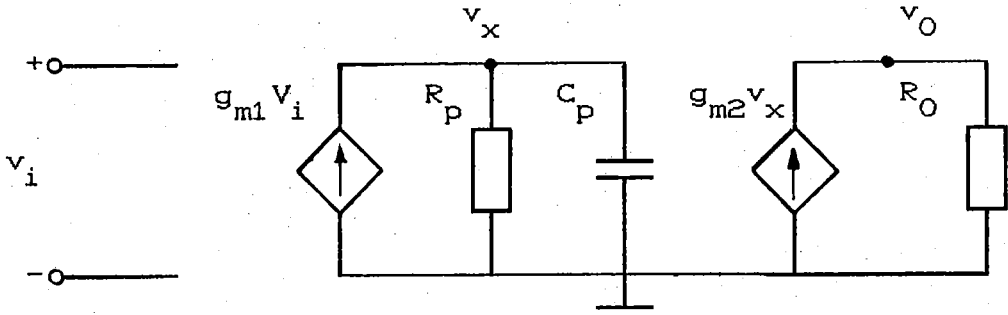
Şekil 2.2. a) İdeal transformotör, b) eşdeğeri.

Kazancı sonlu olan bir işlemsel kuvvetlendiriciyi
düğüm iletkenlik matrisi içerisinde gösterebilmek için
ise $GB/(s+p_0)$ transfer fonksiyonunu gerçekleyen şekil
2.3.b) deki devre kullanılabilir.

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{g_{m1} g_{m2} (R_o / C_p)}{s + \frac{1}{R_p C_p}} = \frac{GB}{s + p_0}$$



a)



b)

Şekil 2.3. a) İdeal işlemsel kuvvetlendirici b) eşdeğeri

2.2. Durum Uzayına İndirgeme

Durum uzayına indirgenebilen bir elektrik devresine ilişkin durum uzayı modeli:

$$\dot{x} = Ax + b \quad (2.1)$$

x : $n \times 1$ boyutlu durum değişkenleri vektörü.

A : $n \times n$ boyutlu sabit bir matris.

b : $n \times 1$ boyutlu bir matris.

şeklinde belirlenebilir.

Aynı zamanda lineer zamanla değişmeyen ve direnç, kondansatör, bağımsız gerilim kaynağı, ideal transformatör ve gerilim kontrollü akım kaynağı içeren bir elektrik devresine ilişkin devre denklemleri gerilim elemanları yerine daha evvel bahsedilen eşdeğerleri konularak s-domeninde (2.2.) deki gibi ifade edilebilir.

$$G(s) v = i_c \quad (2.2.)$$

$G(s) : n_d - 1 \times n_d - 1$ boyutlu düğüm iletkenlik matrisi.

$v : n_d - 1 \times 1$ boyutlu düğüm gerilimleri vektörü.

$i_c : n_d - 1 \times 1$ boyutlu bağımsız akım kaynakları vektörü.

n_d : devredeki düğüm sayısı.

$G(s)$ 'i $G(s) = G_1(s) + G_2$ şeklinde iki kısma ayırarak (2.2.) denklemlerini $G_1(s)v + G_2v = i_c$ haline dönüştürmek mümkündür. Eğer ele alınan devre sadece direnç kondansatör ve kayanaklardan oluşuyorsa (2.2) denklemleri (2.3) deki gibi ifade edilebilir.[11]

$$C \dot{v} + G v = i_c \quad (2.3.)$$

C : Kapasitans matrisi.

G : İletkenlik matrisi.

Eğer (2.3.) ü (2.1.) haline dönüştürebilirse standart yöntemler vasıtasıyla sistemin çözümünü bulmak mümkündür. Bunu yapabilmek için akla gelen ilk şey (2.3.) ü C^{-1} ile çarpmaktır. Ancak C^{-1} her zaman mevcut olmadığından bu mümkün değildir. Buna rağmen C kapasitans matrisinin bazı özellikleri indirgemede kolaylık sağlar.

C kapasitans matrisi yarı-pozitif tanımlı bir matristir.

Tanım : Simetrik bir A matrisine ilişkin kuadratik yapı $x^T A x$ bütün sıfırdan farklı x vektörleri için asla sıfırdan küçük olmuyorsa A simetrik matrisine yarı-pozitif tanımlı matris denir.

Ayrıca pozitif tanımlı bir matrisin Gauss eliminasyonu ile köşegen hale getirilebileceği bilinegelmektedir. Gauss eliminasyonun yarı pozitif tanımlı matrislerde sonuç vermeyişinin sebebi, yarı pozitif tanımlı matrislerde sıfır pivota rastlanması halinde indirgemeye daha fazla

devam edilememesidir. Ancak C kapasitans matrisinde sıfır pivota rastlandığında o satır ve sütuna ilişkin bütün elemanlar sıfır olacağından C kapasitans matrisinin Gauss eliminasyonu ile blok köşegen hale getirilebileceği sonucuna varmak mümkündür.

Ayrıca C kapasitans matrisi k tane matrisin toplamı şeklinde $C = \sum_k C_k$ biçiminde yazılabilir.

k: toplam kapasite sayısı.

Herhangi iki i-j düğümleri arasına bağlı olan c_k kondansatörünün C kapasitans matrisine olan katkısı aşağıda gösterildiği gibi olacaktır.

$$C_k = \begin{matrix} & & i & & j & \\ & & | & & | & \\ i & & \cdots & c_k & \cdots & -c_k & \\ & & | & & | & \\ & & \cdots & & \cdots & \\ j & & \cdots & -c_k & \cdots & c_k & \\ & & | & & | & \end{matrix}$$

Kuadratik yapı oluşturulursa :

$$x^T C x = x^T \left(\sum_k C_k \right) x = \sum_k (x^T C_k x) = \sum_k c_k (x_i - x_j)^2 \geq 0$$

elde edilir, bu da C nin yarı-pozitif tanımlı bir matris olduğunu ispatlar.

Ayrıca C kapasitans matrisinin rankı devrenin topolojisinden faydalanarak etkin bir şekilde belirlenebilir. Bu işlem bilgisayarda yapıldığında rank'ın belirlenmesine yuvarlatma hatalarının hiçbir etkisi olmaz. Rank ın belirlenmesi durum uzayına indirgemede nerede durulacağını belirler. Bu çalışmada C kapasitans matrisinin rankını bulmak için düğüm renklendirme yöntemi

(Node coloring algorithm) kullanılmıştır.

2.2.1. Düğüm Renklendirme Yöntemi

Bu yöntem ile R,C ve kaynaklardan oluřan bir elekt-
rik devresine ilişkin (2.3.) ifadesindeki C matrisinin
rankını kolayca belirlemek mümkündür [11]. Kapasiteler
sıra ile iřlenerek rank belirlenir. Her kondansatörün
rank'a katkısı belirlenirken 4 farklı durum ortaya çıkar.

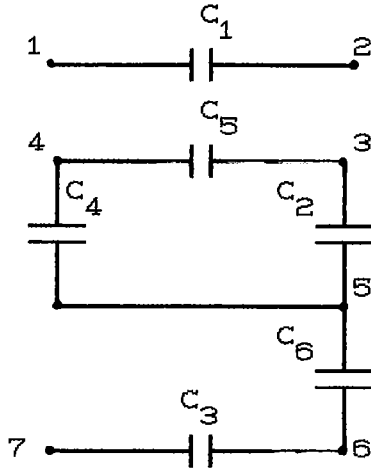
Durum 1: Kapasitenin uçlarından hiçbirinin düğüm
rengi belirlenmemiřtir. Bu durumda yeni bir adacık oluř-
turulur ve bu yeni adacı a bir renk verilir, rank 1 artı-
rılır.

Durum 2: Kapasitenin uçlarından birisi mevcut adacık-
ların birinde yer almakta, diğeri ise henüz herhangi bir
adacı a dahil edilmemiştir. Bu durumda herhangi bir ada-
cı a dahil edilmemiş olan düğüme diğeri düğümün düğüm
rengi verilir, adacık işlenen düğüm dahil edilerek b y -
t l r, rank 1 artırılır.

Durum 3: Kapasitenin her iki ucu da birer adacı a da-
hil edilmiştir, yani her iki ucun da düğüm rengi belirlen-
miştir fakat uçların rengi farklıdır. Bu durumda kapasi-
tenin uçlarının bulunduğ  adacıklardan birinin rengi diğeri
adacı a da verilir, rank 1 artırılır.

Durum 4: Kapasitenin her iki ucu da aynı adacı a da-
hil edilmiştir, yani her iki ucun da düğüm rengi aynıdır.
Bu durumda rank artırılmaz.

Yöntemin iřleyiřini görmek için yöntemi şekil 2.3.de
ki devreye uygulayalım. Devrenin sadece kondansatör ele-
manları çizilmiřtir.



Şekil 2.3. Örnek devre

Tablo 2.1. örnek devrede C kapasitans matrisinin rankının belirlenmesi.

Kapasiteler	Düğüm ler							Rank
	1	2	3	4	5	6	7	
C_1 : Durum 1	1	1						1
C_2 : Durum 1	1	1	2		2			2
C_3 : Durum 1	1	1	2		2	3	3	3
C_4 : Durum 2	1	1	2	2	2	3	3	4
C_5 : Durum 4	1	1	2	2	2	3	3	4
C_6 : Durum 3	1	1	2	2	2	2	2	5

düğüm renk vektörleri

2.3. Anahtarlama Kapasite Filtrelerinin Durum Uzayı Modelinin Elde Edilmesi

İncelenecek olan anahtarlama kapasite filtresine ilişkin (2.3.) denklemlerinin elde edildiğini

varsayalım. Açıktır ki en genel halde C kapasitans matrisinin rankı devredeki düğüm sayısından, dolayısıyla (2.3.) deki denklemlerin sayısından az olacaktır. Bu durumda C matrisinde sıfır satır ve sütunlara rastlanabilir.

C kapasitans matrisini köşegen hale getiren dönüşüm,

$$\tilde{C} = M C M^T = \begin{bmatrix} D & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & 0 \end{bmatrix}$$

M, M^T : Satır sütun permütasyon ve elemanter işlem matrisleri.

D : Köşegenindeki elemanları sıfırdan farklı bir köşegen bir matris.

şeklinde ifade edilebilir. (2.3.) eşitliğinin bozulmaması için aynı dönüşüm eşitliğin diğer kısmına da uygulanırsa,

$$\tilde{C} (M^{-T} v) + M G M^T (M^{-T} v) = M i_c = \tilde{b} \quad (2.4.)$$

elde edilir. $w = M^{-T} v$ değişken dönüşümü ile ve satır sütun ölçekleme işlemleri yapılarak (2.4.) denklemleri,

$$\begin{bmatrix} I & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & 0 \end{bmatrix} w + \begin{bmatrix} g_{11} & & g_{12} \\ & \ddots & \\ g_{21} & & g_{22} \end{bmatrix} w = \begin{bmatrix} \tilde{b}_1 \\ \\ \tilde{b}_2 \end{bmatrix} \quad (2.5.)$$

haline dönüştürülebilir.

(2.5.) denklemlerinde en genel halde g_{12} ve g_{21} sıfırdan farklı olduklarından lineer bağımsız denklem takımı ile durum değişkenleri arasında bir kuplaj oluşacaktır. Eğer g_{12} ve g_{21} sıfır yapılabiliyorsa (2.5) denklemleri:

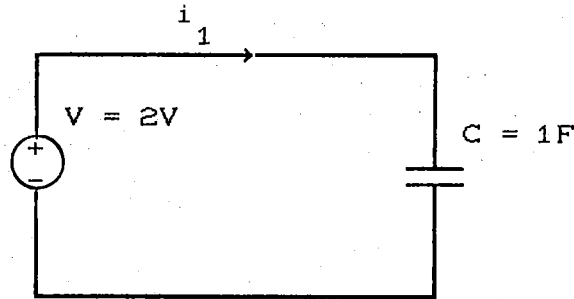
$$\begin{aligned} \dot{w}_1 &= g_{11} w_1 + \tilde{b}_1 \\ w_2 &= g_{22} \tilde{b}_2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

haline dönüşür. Ancak bu yapının elde edilebilmesi için g_{22} nin tekil olmaması gerekmektedir. Eğer bağımsız durum değişkenlerinin sayısı C kapasitans matrisinin rank-ından az ise g_{22} nin satırları lineer bağımlı olacağından (2.5.) i (2.6.) ya indirgemek için yeterli sayıda satır ve sütun bulunmayacaktır. Genelde bu durum ideal gerilim elemanlarının yani, bağımsız gerilim kaynağı ve transformotörlerin devrede bulunduğu durumlarda ortaya çıkar.

Şekil 2.4. deki basit devre gözönüne alınırsa,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_1 \\ \dot{i}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

elde edilir. Görüldüğü gibi denklemleri (2.6) yapısına indirgemek mümkün değildir.



Şekil 2.4. Örnek dejenere devre

Buna karşılık (2.3.) denklemlerini (2.7.) yapısına indirgemek mümkündür [11].

$$\begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 & b_1 \\ 0 & 0 & S & b_2 \\ 0 & S & 0 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_c \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 & & 1 & 1 \\ & \ddots & & \\ 1 & & & 0 \end{bmatrix} \quad s_{ij} = \begin{cases} 1 & i+j = n+1 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

I : Birim matris.

D : Köşegen bir matris.

x_1 : Bağımsız durum değişkenleri vektörü.

x_2 : x_3 'ün elemanları ile arasında lineer bağıntı olan ve devrenin dinamiğini etkilemeyen durum değişkenleri.

x_3 : İdeal gerilim elemanlarına ilişkin değişkenler.

x_c : Bağımsız akım kaynaklarını G iletkenlik matrisi içerisinde gösterebilmek için sadece 1 ucu toprağa bağlanan ve uçlarındaki gerilim $v_c=1$ volt (sabit) olan yardımcı kondansatörün gerilimi. Böylece bağımsız akım kaynaklarının akımlarını devreye dışarıdan bağlanan yardımcı kondansatörün gerilimi ile kontrol ediliyor gibi düşünebiliriz. Yardımcı kondansatörün gerilimi sabit olduğundan bu işlem herhangi bir sorun çıkarmaz. Bunu görebilmek için (2.7.) denklemlerini açıkça yazalım.

$$\dot{x}_1 = A x_1 + b_1 x_c \quad (2.8.a)$$

$$D \dot{x}_2 = S x_3 + b_2 x_c \quad (2.8.b)$$

$$S x_2 + b_3 x_c = 0 \quad (2.8.c)$$

$$\dot{x}_c = 0 \quad (2.8.d)$$

elde edilir. $V_c = V_{c0} = 1$ volt değeri yerine konursa

$$\dot{x}_1 = A x_1 + b_1 \quad (2.9.a)$$

$$x_2 = -S b_3 \quad (2.9.b)$$

$$x_3 = -S b_2 \quad (2.9.c)$$

elde edilir. Böylece gerçekte durum değişkeni olmayan değişkenler durum değişkenliğinden çıkarılarak, (2.3.) ün çözümü bir lineer cebirsel denklem takımı, bir de durum uzayı modeli olarak iki farklı denklem takımının çözümüne indirgenmiş olur.

(2.3.) den (2.9) a indirgemenin mümkün olmasını sağlayan G iletkenlik matrisinin taşıdığı özelliklerdir. Şimdi G iletkenlik matrisinin yapısına bir göz atalım. Başlangıçta G matrisinin yapısı (2.10) daki gibidir.

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & g_1 & b_1 \\ G_{21} & G_{22} & g_2 & b_2 \\ g_1^T & g_2^T & 0 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

C matrisinin blok birim matris yapısına indirgenmesi esnasında uygulanan dönüşüm simetrik olduğundan, G matrisinin yapısı bu indirgeme esnasında bozulmayacaktır.

(2.3.) den (2.7.) ye indirgemedede en önemli aşama g_2 ve g_2^T matrislerinin indirgenmesidir. Zira g_2 matrisinin rankı devredeki dejenerasyonu (D matrisinin rankını) belirlemektedir. İndirgeme esnasında g_2 ve g_2^T un katkısı mümkün olduğunca G_{22} nin içine eklenerek (2.10.) eşitliği :

$$\left[\begin{array}{c|c|c|c} G_{11} & 0 & g_1' & b_1' \\ \hline 0 & 1 & 0 & b_2' \\ \hline g_1'^T & 0 & 0 & \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \quad (2.11.)$$

yapısına indirgenebilir [11]. Buradan hareketle (2.10) nun elde edilebilmesi için g_1' nün köşegen hale getirilmesi gerekmektedir. Ancak bu indirgeme için sütun işlemleri kullanılamaz çünkü en genel halde g_1' nün sütunlarının sayısı satırlarının sayısından az olacaktır. Satır işlemleri uygulandığı takdirde ise C matrisinin yapısı bozulacaktır. Ancak bu indirgemeyi gerçekleştirebilmek için benzerlik dönüşümünden faydalanılabilir. C matrisi blok birim matris yapısına indirgenmiş kapasitans matrisini P ise bir benzerlik dönüşümünün göstermek üzere,

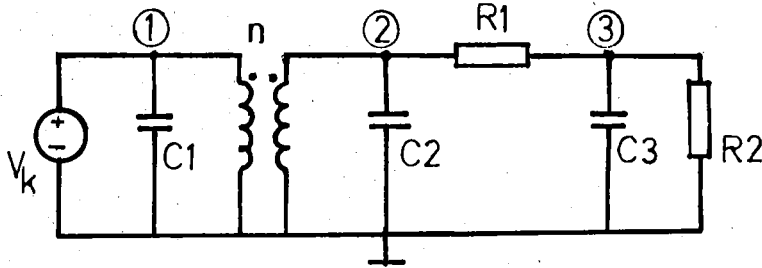
$$P C P^{-1} = C \text{ olacağı aşıkardır.}$$

Dolayısıyla benzerlik dönüşümü kapasitans matrisinin yapısını bozmayacaktır.

Genelde P yi ortogonal bir dönüşüm olarak seçmekte fayda vardır. Çünkü ortogonal dönüşümler hem oldukça kararlı hem de tersi transpozuna eşit olan dönüşümlerdir. (2.11) e ortogonal bir benzerlik dönüşümü uygulanarak , (2.12.) yi elde etmek mümkündür. (2.12.) den hareketle (2.10)'u elde etmek için ise elemanter satır sütun işlemleri yapmak yeterli olacaktır.

$$\begin{bmatrix} G_{11} & 0 & g_1'' & b_1'' \\ 0 & 1 & 0 & b_2'' \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.12.)$$

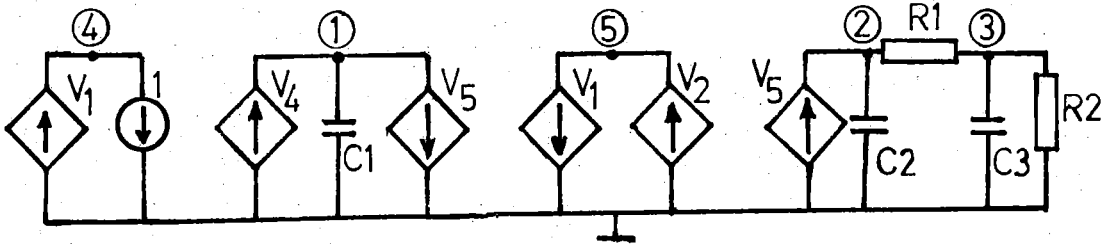
ÖRNEK: Şekil 2.5. deki devreye ilişkin (2.7) gösterilimini elde etmek isteyelim.



$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = 1 \\ C_1 &= C_2 = C_3 = 1 \\ V_k &= 1, \quad n=1 \end{aligned}$$

Şekil 2.5. örnek dejenere devre

Gerilim kaynağı ve transformotör yerine eşdeğerleri konularak,



Şekil 2.6. Eşdeğer devre.

Düğüm denklemleri yazılarak,

$$\begin{aligned} 1 \quad & v_1(sC_1) - v_4 + v_5 = 0 \\ 2 \quad & v_2(G_1 + sC_2) - v_3(G_2) - v_5 = 0 \\ 3 \quad & v_3(G_1 + G_2 + sC_3) - v_2(G_1) = 0 \\ 4 \quad & -v_1 + 1 = 0 \\ 5 \quad & v_1 - v_2 = 0 \end{aligned}$$

elde edilir. Bu denklemleri matrisel form'a getirerek,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_1 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_3 \\ \dot{v}_4 \\ \dot{v}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_3 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_1 \\ \dot{v}_4 \\ \dot{v}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ v_2 \\ v_1 \\ v_4 \\ v_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_3 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_1 \\ \dot{v}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ v_2 \\ v_1 \\ v_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$x_5 = v_5 - v_4$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_3 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_1 \\ \dot{v}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ v_2 \\ v_1 \\ v_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_3 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_1 \\ \dot{v}_4 \\ \dot{y}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ v_2 \\ v_1 \\ v_4 \\ y_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$y_5 = x_5 + v_1 = v_1 + v_5 - v_4$$

Bu son denklemler açık olarak yazıldığında,

$$\begin{aligned} \dot{v}_3 + 2 v_3 &= 1 \\ -v_2 + y_5 &= 1 \\ -v_1 + v_4 &= 1 \\ v_1 &= 1 \\ v_2 &= 1 \end{aligned}$$

ve sonuç olarak da,

$$v_1 = v_2 = v_4 = v_5 = 1 \text{ volt,}$$

$$\dot{v}_3 + 2 v_3 = 1$$

elde edilir. Böylece sistemin çözümü, bir lineer bağımsız denklem takımının çözümü birde durum uzayı modelinin çözümü haline indirgenmiş olur.

2.4. Durum denklemlerinin çözümü

Buraya kadar yapılan incelemeler sonucunda (2.3) denklemlerinin çözümünün bir lineer bağımsız denklem takımı bir de durum denklemleri takımının çözümüne denk olduğu görülmüştür. Şimdi (2.9.a) denklemlerini gözönüne alalım.

$$\dot{x}_1 = A x_1 + b_1 \quad (2.9.a)$$

Bu eşitlikteki b_1 in katkısını A matrisinin içerisinde gösterebilmek için, sadece bir ucu toprağa bağlı ve uçlarında 1 V gerilim bulunan 1 F değerli yardımcı kondansatöre ilişkin diferansiyel denklemi de (2.9.a) nın içine katarak (2.9.a) denklemlerini yeniden yazalım. Bu durumda,

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \vdots \\ \dot{x}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & b_1 \\ \hline 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_c \end{bmatrix}$$

elde edilecektir. $\tilde{x}_1 = [x_1 \quad x_c]^T$ dönüşümü ile,

$$\dot{\tilde{x}}_1 = \tilde{A} \tilde{x}_1$$

yazmak mümkündür. Bu sistemin çözümü ise,

$$\tilde{x}_1(t) = e^{\tilde{A}t} \tilde{x}_1(0)$$

$$e^{\tilde{A}t} = \begin{bmatrix} e^{At} & h \\ \hline 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad h = (e^{At} - I) A^{-1} b$$

şeklinde olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, bu hesaplamanın yapılabilmesi için A^{-1} in var olmasının gerekmemesidir. Çünkü $(e^{At} - I)$ terimi A nın pozitif kuvvetlerini içermekte dolayısıyla A^{-1} çarpanı ortadan kalkmaktadır.

2.5. z - Domeninde Transfer Fonkiyonunun Elde Edilmesi ve çözümü

Daha evvel bahsedildiği gibi anahtarlama kapasite filtreleri giriş ve çıkışların örneklenmiş ve tutulmuş olması şartı altında z-domeninde ifade edilebilirler.

(2.3.) denklemlerinin yardımcı kondansatöre ilişkin denklem de katılarak

$$\tilde{C} \dot{\tilde{v}} = \tilde{G} \tilde{v} \quad (2.14)$$

halinde ifade edilebileceği gösterilmişti. P ve Q (2.14) den (2.7.) ye geçişi sağlayan dönüşümleri ifade etmek üzere (2.14.) eşitlikleri,

$$\begin{aligned} P \tilde{C} Q Q^{-1} \dot{\tilde{v}} &= P \tilde{G} Q Q^{-1} \tilde{v} \\ P \tilde{C} Q &= D, \quad P \tilde{G} Q = A, \quad Q^{-1} \tilde{v} = x \end{aligned} \quad (2.15.)$$

yazılarak

$$D \dot{x} = A x \quad (2.16)$$

şeklinde genelleştirilmiş durum uzayı formuna getirilebilir. (2.9) yardımıyla (2.7.) denklemlerinin çözümü matris formunda yazılırsa ,

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{At} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \\ x_3(0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h \\ -Sb_3 \\ -Sb_2 \end{bmatrix}$$

elde edilir. $\tilde{v} = Q x$ olduğundan düğüm gerilimlerinin çözümünü,

$$\begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \\ v_3(t) \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} e^{At} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} Q^{-1} \begin{bmatrix} v_1(0) \\ v_2(0) \\ v_3(0) \end{bmatrix} + Q \begin{bmatrix} h \\ -Sb_3 \\ -Sb_2 \end{bmatrix}$$

şeklinde bulmak mümkündür. Her iki saat fazı için bu eşitlikler,

$$v^{c,t}(t) = A^{c,t} v^{c,t}(0) + b^{c,t} U(t)$$

$v^c(t)$: Çift fazlarda düğüm gerilimlerinin zaman domainindeki ifadesi.

$v^t(t)$: Tek fazlarda düğüm gerilimlerinin zaman domainindeki ifadesi.

$b^c(t)$: Çift fazlardaki kaynak vektörü.

$b^t(t)$: Tek fazlardaki kaynak vektörü.

$A^c(t)$: Çift saat fazındaki devreye ilişkin durum geçiş matrisi.

$A^t(t)$: Tek saat fazındaki devreye ilişkin durum geçiş matrisi.

biçiminde yazılabilir.

Ayrıca sisteme ilişkin fark denklemlerini de, [11]

$$v((n+1/2)T) = A^c v(nT) + b^c U((n+1/2)T) \quad (2.17.a)$$

$$v((n+1)T) = A^t v((n+1/2)T) + b^t U(nT) \quad (2.17.b)$$

biçiminde yazmak mümkündür. Bu denklemleri z-domaininde ifade edersek,

$$z^{1/2} v^c(z) = A^c v^t(z) + b^c U^c(z) \quad (2.18.a)$$

$$z^{1/2} v^t(z) = A^t v^c(z) + b^t U^t(z) \quad (2.18.b)$$

elde edilir. Eğer girişin periyodun ikinci T/2 lik kısmında sıfır olduğu kabul edilip (2.18.) denklemleri yeniden düzenlenirse,

$$(z I - A^c A^t) H_{cc}(z) = z^{1/2} b^c \quad (2.19.a.)$$

$$(z I - A^t A^c) H_{ct}(z) = A^t A^c \quad (2.19.b.)$$

$$(z I - A^c A^t) H_{tc}(z) = A^c A^t \quad (2.19.c.)$$

$$(z I - A^t A^c) H_{tt}(z) = z^{1/2} b^t \quad (2.19.d.)$$

$H_{cc}(z) = \frac{v_c}{U_c}$: Çift fazdan çift faza transfer fonksiyonu
matrisi

$H_{ct}(z) = \frac{v_t}{U_c}$: Tek fazdan çift faza transfer fonksiyonu
matrisi.

$H_{tc}(z) = \frac{v_c}{U_t}$: Çift fazdan tek faza transfer fonksiyonu
matrisi.

$H_{tt}(z) = \frac{v_t}{U_t}$: Tek fazdan tek faza transfer fonksiyonu
matrisi.

I : Birim matris

elde edilir.

Sistemin frekans cevabını bulmak için ise (2.19) denklemlerinin belli sayıda frekans değeri için çözülmesi gerekmektedir. (2.19) denklemlerini birçok kez çözmek gerektiğinden harcanan zamanı azaltmak amacıyla (2.19) denklemlerine bir P benzerlik dönüşümü uygulayıp sistemi üst Hessenberg yapısına getirerek, denklem sayısının kübüyle orantılı zaman harcaması yerine denklem sayısının karesiyle orantılı zaman harcaması ile frekans cevabını elde etmek mümkündür [11]. (2.19) denklemleri toplu halde,

$$(z I + K) x = r \quad (2.20)$$

şeklinde gösterilebilir.

(2.20.) denklemlerinin çözümü şu sırayla yapılır:

1) Bir P benzerlik dönüşümü ile (2.20) denklemleri

$$P (z I + K) P^{-1} P x = P r$$

$$(z I + H) y = R \quad (2.21)$$

$$H = P K P^{-1}, R = P r$$

H : Üst Hessenberg matris ($h_{ij} = 0$ tüm $i > j+1$ için.)

haline dönüştürölüp, (2.21) denklemlerinden y çözölür.

$$2) x = P^{-1} y \text{ den } x \text{ çözölür.}$$

Böylece (2.19.) denklemleri etkin bir şekilde çözölümüş ve belli bir frekans için filtrenin cevabı belirlenmiş olur. Bu yöntem özellikle düğüm sayısı fazla olan devrelerde çok işe yarar. Örneğin 20 düğümlü bir devre için bilgisayar, bu yöntemle 8000 yerine sadece 400 ile orantılı bir zaman haracayarak (2.20) denklemlerini çözebilecektir.

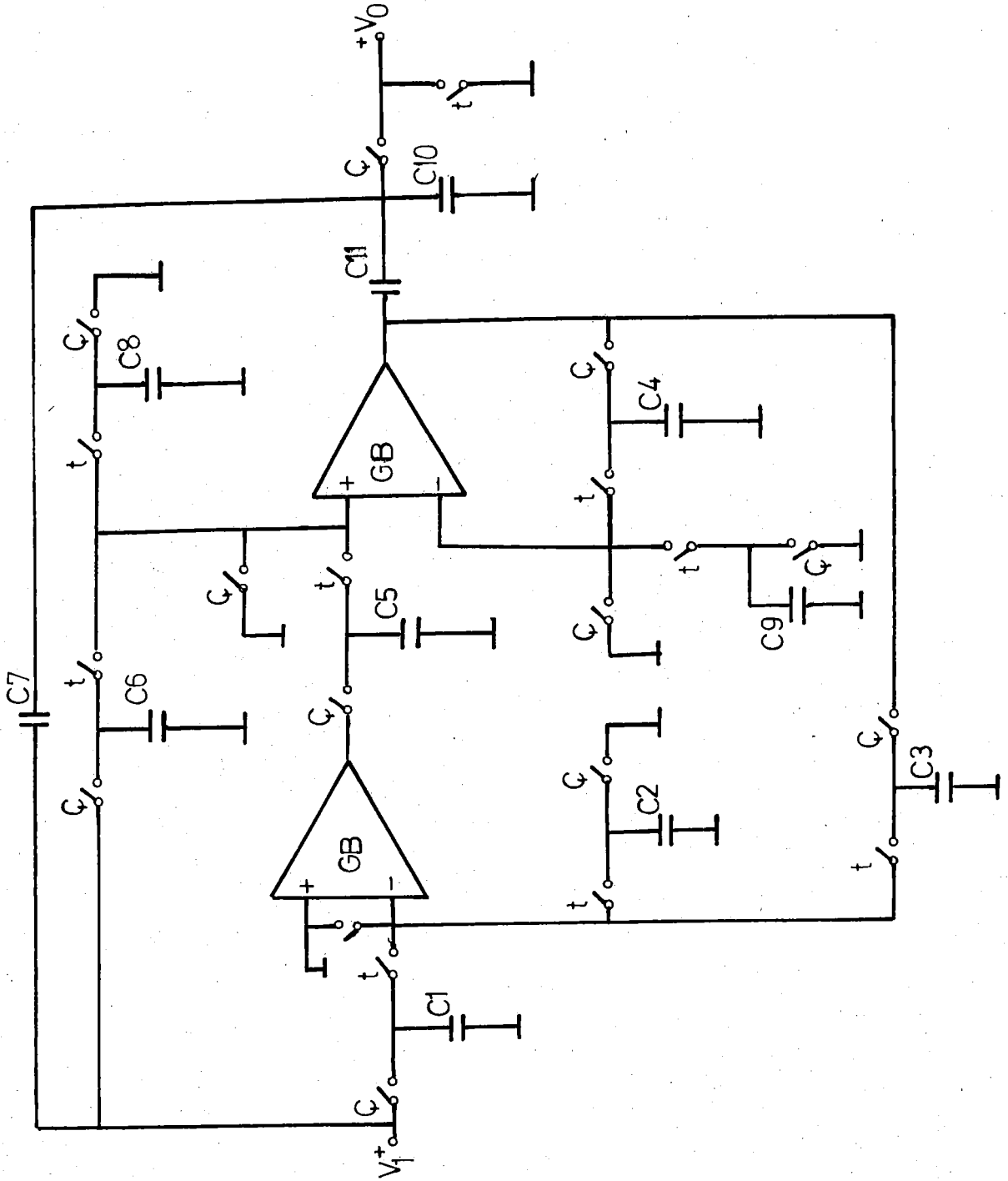
BÖLÜM 3. ÖRNEK DEVRELERİN "SCFIL4" PROGRAMI YARDIMIYLA İNCELENMESİ

Bu bölümde (3.1) ve (3.2.) transfer fonksiyonularını gerçekleyen dört farklı devre incelenmiş ve ideal olmama etkilerinin frekans cevabı üzerinde ne gibi etkileri olduğu gözlenmiştir.

$$H(z) = \frac{0.1219 (1 - z^{-1})(1 + z^{-1})}{1 - 0.5455 z^{-1} + 0.9229 z^{-2}} \quad (3.1)$$

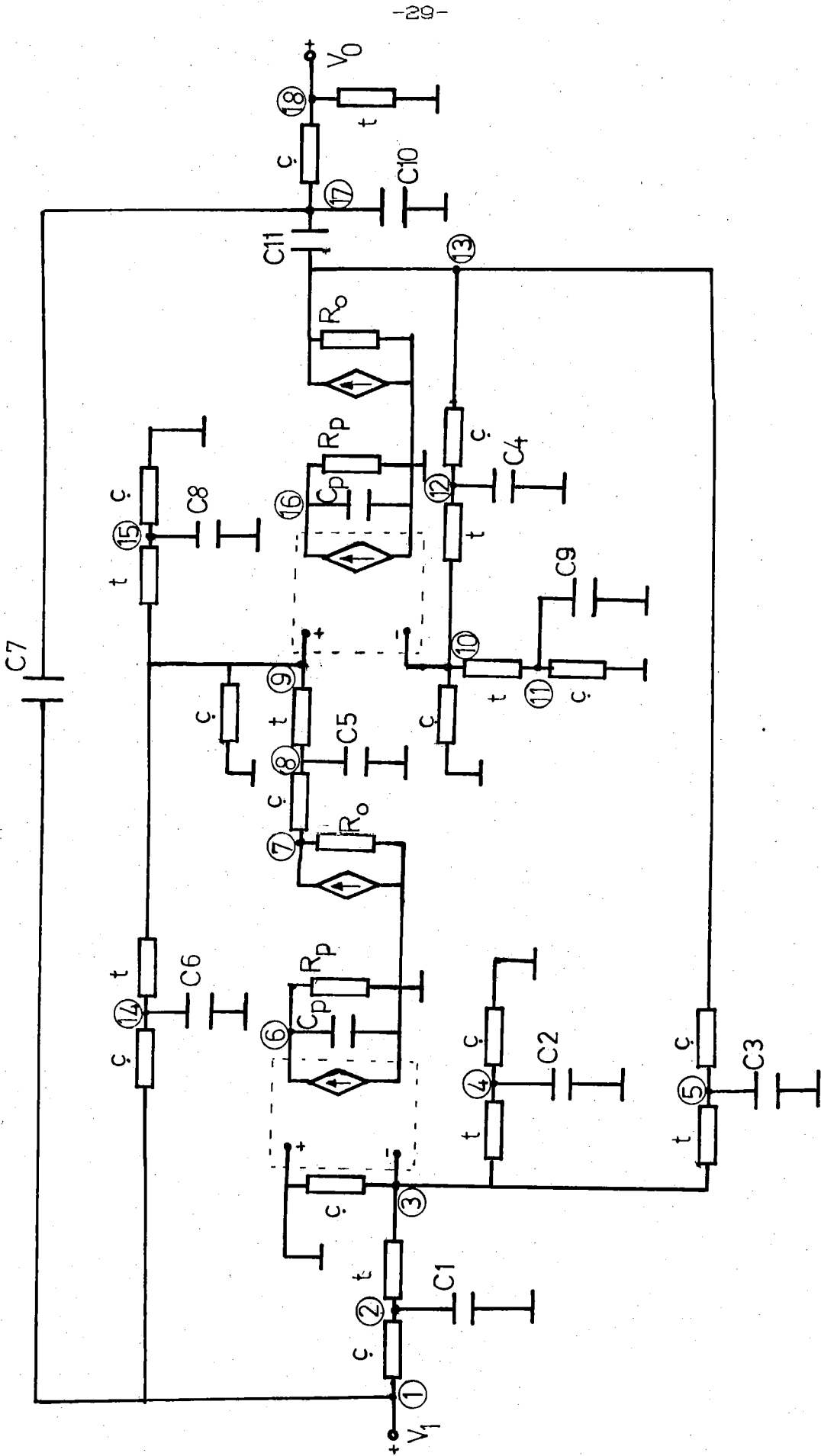
$$H(z) = \frac{0.1953 (1 - z^{-1})}{1 - 0.5455 z^{-1} + 0.9229 z^{-2}} \quad (3.2)$$

ÖRNEK 1: İlk olarak (3.1) transfer fonksiyonunu gerçekleyen şekil 3.1. deki devre incelenmiştir. Sözkonusu devreye ait eşdeğer devre şekil 3.2. de frekans karakteristiği ise şekil 3.3. dedir. Örneğin bu kısımda anahtar dirençlerinin tümüne 100 ohm değeri verilmiş, i.K. modeli olarak da 100 ohm çıkış direncine sahip ideal integratör modeli ($K_V = \text{GB/s}$ $\text{GB} = 10^5$) kullanılmıştır. Şekil 3.1. deki devre özellikle ideal olmayan elemanlar ile gerçeklemeye uygun olarak tasarlandığından [15] frekans cevabı aşağı yukarı hiç değişmemiştir. Ayrıca şekil 3.4. ve şekil 3.5. de de eleman değerlerindeki bazı değişikliklerin frekans karakteristiği üstündeki etkilerini gözlemek mümkündür.



$C_1=2.63$ pf, $C_2= 5$ pf, $C_3=2.16$ pf, $C_4=1.52$ pf $C_5=2.18$ pf
 $C_6=1.45$ pf, $C_7=1.57$ pf, $C_8= 10$ pf, $C_9=5$ pf, $C_{10}= 10$ pf
 $C_{11}=1.28$ pf

Şekil 3.1. 1633 hz band geçiren filtre.



Şekil 3.2. Örnek 1'e ilişkin eşdeğer devre

Örnek 1'e ilişkin giriş dosyası :

```
TITLE
////////// 1633 Hz BAND GECİREN FİLTRE \\\\\\\
CLEAR
V1      1      0      1
*****
* ANAHTARLAR *
*****
G      1      2      1      0      1
G      2      3      0      1      1
G      3      0      1      0      1
G      3      4      0      1      1
G      4      0      1      0      1
G      3      5      0      1      1
G      5      13     1      0      1
G      1      14     1      0      1
G      14     9      0      1      1
G      9      15     0      1      1
G      15     0      1      0      1
G      7      8      1      0      1
G      8      9      0      1      1
G      10     11     0      1      1
G      11     0      1      0      1
G      10     12     0      1      1
G      12     13     1      0      1
G      17     18     1      0      1
G      9      0      1      0      1
G      10     0      1      0      1
G      18     0      0      1      1
*****
* KONDANSATORLER *
*****
C1      2      0      2.63P
C2      4      0      5P
C3      5      0      2.16P
C4      12     0      1.52P
C5      8      0      2.18P
C6      14     0      1.45P
C7      1      17     1.57P
C8      15     0      10P
C9      11     0      5P
C10     17     0      10.0P
C11     13     17     1.28P
*****
CSW
100.0
*****
* İŞLEMSEL KUVETLENDİRİCİ MODELİ *
*      5      *
* Kv= GB/S GB=10 RAD/S *
*****
```

R01	7	0	1	1	100
R02	13	0	1	1	100
CP1	6	0			1.0N
CP2	16	0			1.0N

GM1	6	0	0	3	1M
GM2	7	0	6	0	1M
GM3	16	0	9	10	1M
GM4	13	0	16	0	1M

SETUP

8.E3

PLOT

18

EE

MAG

0.1

0.05 , 0.5

Z

0.204125

18

EE

END

Örnek 1'e ilişkin çıkış dosyası

SCFIL4-- VERSION 1985-10-18

HESAPLAMA ZAMANI= .000000 SANIYE.

BASLIK = '////////// 1633 Hz BAND GECIREN FILTRE \\\\\\\\'

HESAPLAMA ZAMANI= .000000 SANIYE.

SCFIL4-- VERSION 1985-10-18

HESAPLAMA ZAMANI= .000000 SANIYE.

V1 1 0 1.00000 V

* ANAHTARLAR *

G	2	1	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	3	2	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1
G	3	0	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	4	3	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1
G	4	0	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	5	3	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1
G	13	5	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	14	1	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	14	9	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1
G	15	9	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1
G	15	0	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	8	7	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	9	8	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1
G	11	10	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1

G	11	0	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	12	10	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1
G	13	12	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	18	17	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	9	0	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	10	0	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	0
G	18	0	1.00000	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	0	1

* KONDANSATORLER *

C1	2	0	2.63000	P	F
C2	4	0	5.00000	P	F
C3	5	0	2.16000	P	F
C4	12	0	1.52000	P	F
C5	8	0	2.18000	P	F
C6	14	0	1.45000	P	F
C7	17	1	1.57000	P	F
C8	15	0	10.00000	P	F
C9	11	0	5.00000	P	F
C10	17	0	10.00000	P	F
C11	17	13	1.28000	P	F

ANAHTAR DIRENCLERI 1.000E+02 OHM

HESAPLAMA ZAMANI= 1.000000 SANIYE.

* ISLEMSSEL KUVETLENDIRICI MODELİ *

* 5 *

* Kv= GB/S GB=10 RAD/S *

G01	7	0	10.00000	M	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	1
G02	13	0	10.00000	M	S	ANAHTARLAMA VEKTORU	1	1
CP1	6	0	1000.00000	P	F			
CP2	16	0	1000.00000	P	F			

GM1	6	0	1.00000	M	S	KONTROL DUGUMLERI	0	3
GM2	7	0	1.00000	M	S	KONTROL DUGUMLERI	6	0
GM3	16	0	1.00000	M	S	KONTROL DUGUMLERI	9	10
GM4	13	0	1.00000	M	S	KONTROL DUGUMLERI	16	0

SETUP ROUTINE.

KAPASITANS MATRISININ RANKI = 13

SAAT FREKANSI= 8.000E+03HZ.

HESAPLAMA ZAMANI= 86.000000 SANIYE.

TRANSFER MODU EE A AIT PLOT NOKTALARI

F/FCLOCK=	5.000E-02,	EE,GENLIK=	-25.029DB	AND	FAZ=	87.65DERECE
F/FCLOCK=	6.295E-02,	EE,GENLIK=	-22.600DB	AND	FAZ=	87.62DERECE
F/FCLOCK=	7.924E-02,	EE,GENLIK=	-20.032DB	AND	FAZ=	87.39DERECE
F/FCLOCK=	9.976E-02,	EE,GENLIK=	-17.143DB	AND	FAZ=	86.87DERECE
F/FCLOCK=	1.256E-01,	EE,GENLIK=	-13.553DB	AND	FAZ=	85.77DERECE
F/FCLOCK=	1.581E-01,	EE,GENLIK=	-8.120DB	AND	FAZ=	82.73DERECE
F/FCLOCK=	1.119E-01,	EE,GENLIK=	-15.476DB	AND	FAZ=	86.43DERECE
F/FCLOCK=	1.409E-01,	EE,GENLIK=	-11.215DB	AND	FAZ=	84.70DERECE
F/FCLOCK=	1.581E-01,	EE,GENLIK=	-8.120DB	AND	FAZ=	82.73DERECE
F/FCLOCK=	1.774E-01,	EE,GENLIK=	-3.343DB	AND	FAZ=	77.82DERECE
F/FCLOCK=	1.493E-01,	EE,GENLIK=	-9.796DB	AND	FAZ=	83.89DERECE
F/FCLOCK=	1.675E-01,	EE,GENLIK=	-6.053DB	AND	FAZ=	80.94DERECE
F/FCLOCK=	1.774E-01,	EE,GENLIK=	-3.343DB	AND	FAZ=	77.82DERECE
F/FCLOCK=	1.879E-01,	EE,GENLIK=	.587DB	AND	FAZ=	71.02DERECE
F/FCLOCK=	1.724E-01,	EE,GENLIK=	-4.803DB	AND	FAZ=	79.63DERECE
F/FCLOCK=	1.826E-01,	EE,GENLIK=	-1.592DB	AND	FAZ=	75.19DERECE
F/FCLOCK=	1.879E-01,	EE,GENLIK=	.587DB	AND	FAZ=	71.02DERECE
F/FCLOCK=	1.934E-01,	EE,GENLIK=	3.421DB	AND	FAZ=	63.50DERECE
F/FCLOCK=	1.991E-01,	EE,GENLIK=	7.189DB	AND	FAZ=	47.04DERECE
F/FCLOCK=	1.906E-01,	EE,GENLIK=	1.903DB	AND	FAZ=	67.88DERECE

F/FCLOCK=	1.962E-01,	EE,GENLIK=	5.181DB AND FAZ=	57.06DERECE
F/FCLOCK=	1.991E-01,	EE,GENLIK=	7.189DB AND FAZ=	47.04DERECE
F/FCLOCK=	2.019E-01,	EE,GENLIK=	9.247DB AND FAZ=	30.77DERECE
F/FCLOCK=	2.078E-01,	EE,GENLIK=	10.047DB AND FAZ=	-21.25DERECE
F/FCLOCK=	1.991E-01,	EE,GENLIK=	7.189DB AND FAZ=	47.04DERECE
F/FCLOCK=	2.049E-01,	EE,GENLIK=	10.561DB AND FAZ=	6.17DERECE
F/FCLOCK=	2.078E-01,	EE,GENLIK=	10.047DB AND FAZ=	-21.25DERECE
F/FCLOCK=	2.034E-01,	EE,GENLIK=	10.078DB AND FAZ=	19.44DERECE
F/FCLOCK=	2.063E-01,	EE,GENLIK=	10.552DB AND FAZ=	-7.93DERECE
F/FCLOCK=	2.078E-01,	EE,GENLIK=	10.047DB AND FAZ=	-21.25DERECE
F/FCLOCK=	2.093E-01,	EE,GENLIK=	9.187DB AND FAZ=	-32.67DERECE
F/FCLOCK=	2.108E-01,	EE,GENLIK=	8.147DB AND FAZ=	-41.87DERECE
F/FCLOCK=	2.124E-01,	EE,GENLIK=	7.055DB AND FAZ=	-49.09DERECE
F/FCLOCK=	2.154E-01,	EE,GENLIK=	4.966DB AND FAZ=	-59.21DERECE
F/FCLOCK=	2.217E-01,	EE,GENLIK=	1.521DB AND FAZ=	-70.11DERECE
F/FCLOCK=	2.282E-01,	EE,GENLIK=	-1.115DB AND FAZ=	-75.65DERECE
F/FCLOCK=	2.186E-01,	EE,GENLIK=	3.122DB AND FAZ=	-65.70DERECE
F/FCLOCK=	2.250E-01,	EE,GENLIK=	.122DB AND FAZ=	-73.28DERECE
F/FCLOCK=	2.282E-01,	EE,GENLIK=	-1.115DB AND FAZ=	-75.65DERECE
F/FCLOCK=	2.315E-01,	EE,GENLIK=	-2.223DB AND FAZ=	-77.48DERECE
F/FCLOCK=	2.349E-01,	EE,GENLIK=	-3.226DB AND FAZ=	-78.94DERECE
F/FCLOCK=	2.383E-01,	EE,GENLIK=	-4.143DB AND FAZ=	-80.14DERECE
F/FCLOCK=	2.452E-01,	EE,GENLIK=	-5.776DB AND FAZ=	-81.97DERECE
F/FCLOCK=	2.524E-01,	EE,GENLIK=	-7.205DB AND FAZ=	-83.31DERECE
F/FCLOCK=	2.598E-01,	EE,GENLIK=	-8.484DB AND FAZ=	-84.34DERECE
F/FCLOCK=	2.674E-01,	EE,GENLIK=	-9.651DB AND FAZ=	-85.16DERECE
F/FCLOCK=	2.752E-01,	EE,GENLIK=	-10.733DB AND FAZ=	-85.83DERECE
F/FCLOCK=	2.915E-01,	EE,GENLIK=	-12.717DB AND FAZ=	-86.88DERECE
F/FCLOCK=	3.087E-01,	EE,GENLIK=	-14.552DB AND FAZ=	-87.68DERECE
F/FCLOCK=	3.270E-01,	EE,GENLIK=	-16.323DB AND FAZ=	-88.34DERECE
F/FCLOCK=	3.669E-01,	EE,GENLIK=	-19.970DB AND FAZ=	-89.48DERECE
F/FCLOCK=	4.620E-01,	EE,GENLIK=	-32.266DB AND FAZ=	-93.61DERECE
F/FCLOCK=	3.270E-01,	EE,GENLIK=	-16.323DB AND FAZ=	-88.34DERECE
F/FCLOCK=	4.117E-01,	EE,GENLIK=	-24.451DB AND FAZ=	-90.73DERECE
F/FCLOCK=	3.464E-01,	EE,GENLIK=	-18.102DB AND FAZ=	-88.92DERECE
F/FCLOCK=	3.887E-01,	EE,GENLIK=	-22.030DB AND FAZ=	-90.06DERECE
F/FCLOCK=	4.117E-01,	EE,GENLIK=	-24.451DB AND FAZ=	-90.73DERECE
F/FCLOCK=	4.361E-01,	EE,GENLIK=	-27.567DB AND FAZ=	-91.70DERECE
F/FCLOCK=	4.620E-01,	EE,GENLIK=	-32.266DB AND FAZ=	-93.61DERECE
F/FCLOCK=	4.237E-01,	EE,GENLIK=	-25.889DB AND FAZ=	-91.16DERECE
F/FCLOCK=	4.488E-01,	EE,GENLIK=	-29.612DB AND FAZ=	-92.44DERECE
F/FCLOCK=	4.620E-01,	EE,GENLIK=	-32.266DB AND FAZ=	-93.61DERECE
F/FCLOCK=	4.754E-01,	EE,GENLIK=	-36.105DB AND FAZ=	-95.94DERECE
F/FCLOCK=	4.553E-01,	EE,GENLIK=	-30.839DB AND FAZ=	-92.94DERECE
F/FCLOCK=	4.686E-01,	EE,GENLIK=	-33.974DB AND FAZ=	-94.54DERECE
F/FCLOCK=	4.754E-01,	EE,GENLIK=	-36.105DB AND FAZ=	-95.94DERECE
F/FCLOCK=	4.823E-01,	EE,GENLIK=	-38.941DB AND FAZ=	-98.41DERECE
F/FCLOCK=	4.893E-01,	EE,GENLIK=	-43.165DB AND FAZ=	-103.93DERECE
F/FCLOCK=	4.789E-01,	EE,GENLIK=	-37.407DB AND FAZ=	-96.98DERECE
F/FCLOCK=	4.858E-01,	EE,GENLIK=	-40.803DB AND FAZ=	-100.51DERECE
F/FCLOCK=	4.893E-01,	EE,GENLIK=	-43.165DB AND FAZ=	-103.93DERECE
F/FCLOCK=	4.929E-01,	EE,GENLIK=	-46.357DB AND FAZ=	-110.42DERECE
F/FCLOCK=	4.876E-01,	EE,GENLIK=	-41.907DB AND FAZ=	-101.99DERECE
F/FCLOCK=	4.911E-01,	EE,GENLIK=	-44.626DB AND FAZ=	-106.58DERECE
F/FCLOCK=	4.929E-01,	EE,GENLIK=	-46.357DB AND FAZ=	-110.42DERECE

F/FCLOCK= 4.946E-01, EE,GENLIK= -48.449DB AND FAZ=-116.39DERECE
F/FCLOCK= 4.964E-01, EE,GENLIK= -51.000DB AND FAZ=-126.64DERECE
F/FCLOCK= 4.982E-01, EE,GENLIK= -53.857DB AND FAZ=-146.06DERECE
F/FCLOCK= 5.000E-01, EE,GENLIK= -55.477DB AND FAZ= 179.99DERECE
F/FCLOCK= 4.973E-01, EE,GENLIK= -52.432DB AND FAZ=-134.75DERECE
F/FCLOCK= 4.991E-01, EE,GENLIK= -55.011DB AND FAZ=-161.39DERECE
F/FCLOCK= 5.000E-01, EE,GENLIK= -55.477DB AND FAZ= 180.00DERECE
F/FCLOCK= 5.009E-01, EE,GENLIK= -55.009DB AND FAZ= 161.35DERECE
F/FCLOCK= 4.996E-01, EE,GENLIK= -55.356DB AND FAZ=-170.44DERECE
F/FCLOCK= 5.005E-01, EE,GENLIK= -55.355DB AND FAZ= 170.43DERECE
F/FCLOCK= 5.000E-01, EE,GENLIK= -55.477DB AND FAZ= 180.00DERECE

86 NOKTA HESAPLANDI, 62 NOKTA PLOT EDILDI.

HESAPLAMA ZAMANI= 164.000000 SANIYE.

F/FCLOCK= 2.041E-01, EE,GENLIK= 10.372DB AND FAZ= 13.04DERECE

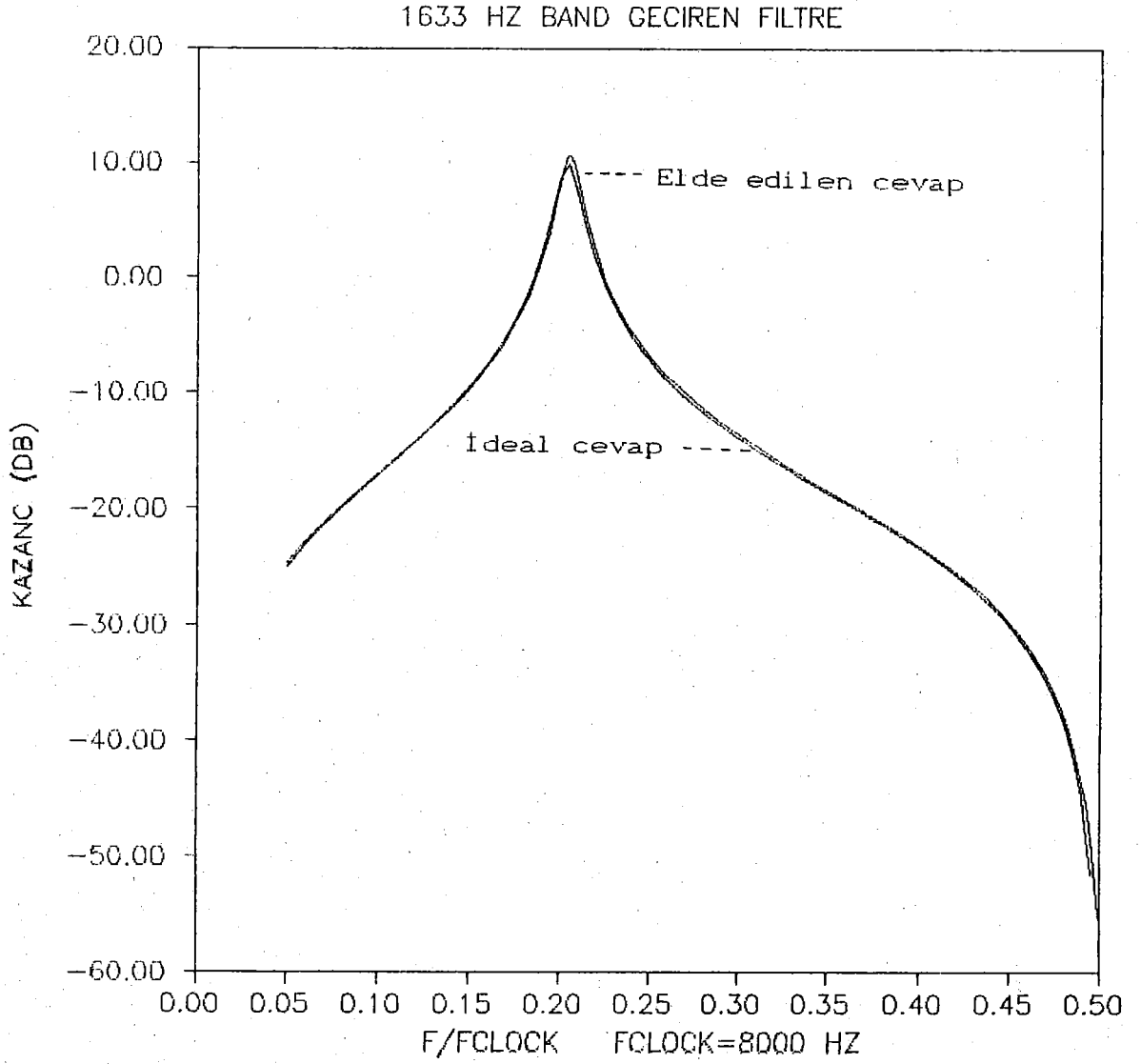
HESAPLAMA ZAMANI= 165.000000 SANIYE.

ANALIZ TAMAMLANDI.

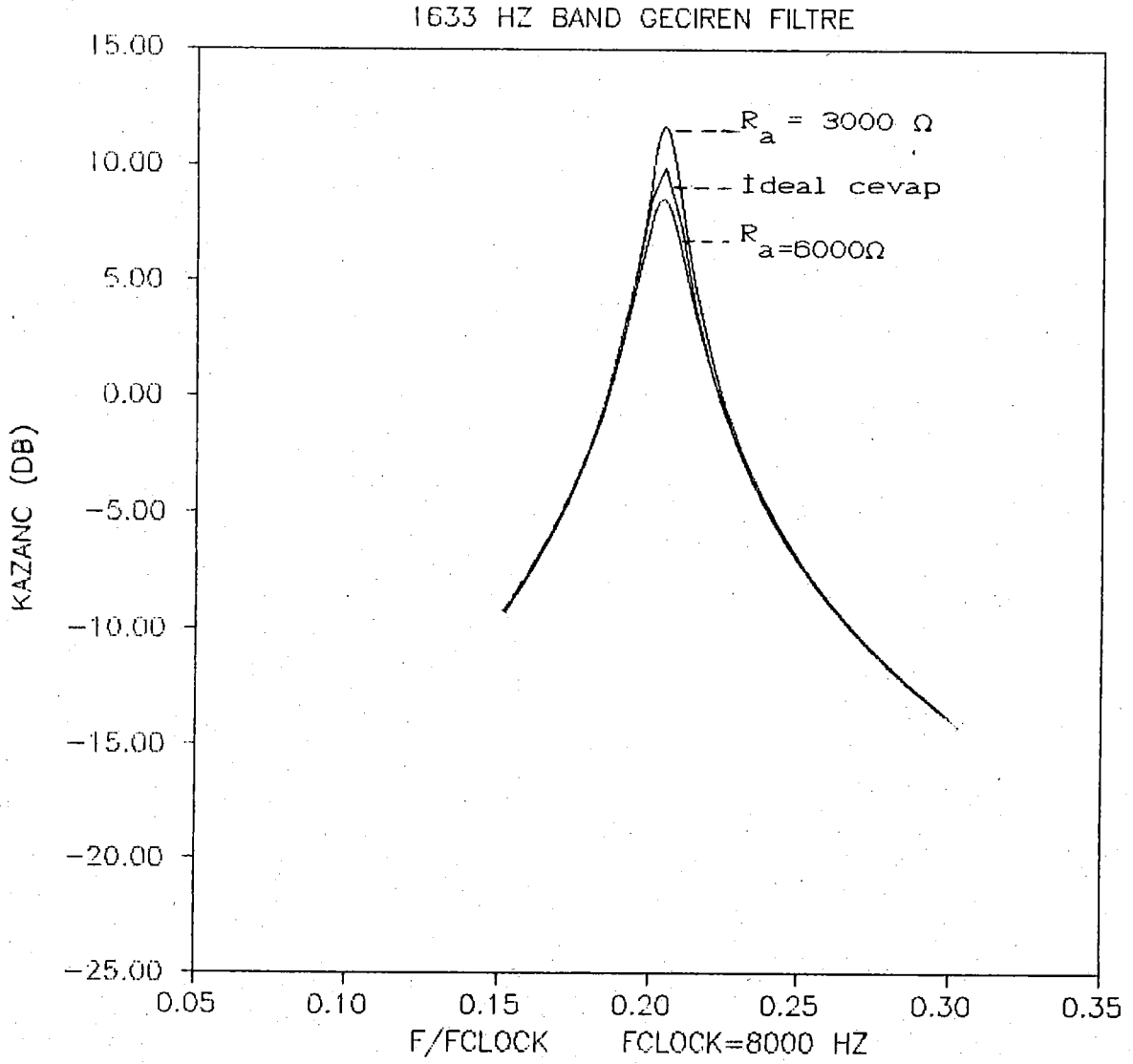
Örnek 1'e ilişkin plot dosyası :

.05000 -25.02908
.06295 -22.59966
.07924 -20.03165
.09976 -17.14346
.11194 -15.47613
.12559 -13.55348
.14092 -11.21453
.14927 -9.79623
.15811 -8.11961
.16748 -6.05318
.17237 -4.80297
.17741 -3.34326
.18259 -1.59166
.18792 .58713
.19064 1.90317
.19341 3.42079
.19621 5.18133
.19905 7.18873
.20194 9.24689
.20340 10.07818
.20487 10.56088
.20635 10.55153
.20784 10.04692
.20934 9.18689
.21545 4.96588
.21857 3.12204
.22174 1.52126
.22495 .12228
.22822 -1.11505
.23152 -2.22288
.23828 -4.14323
.24524 -5.77581
.25240 -7.20458
.25977 -8.48398
.27517 -10.73314
.29147 -12.71688
.32704 -16.32264
.34641 -18.10225
.36694 -19.96985
.38868 -22.02998
.41171 -24.45109
.42374 -25.88885
.43611 -27.56731
.44884 -29.61205
.45535 -30.83942
.46195 -32.26605
.46865 -33.97364
.47544 -36.10457
.47887 -37.40689
.48233 -38.94062
.48581 -40.80322
.48757 -41.90658
.48932 -43.16544

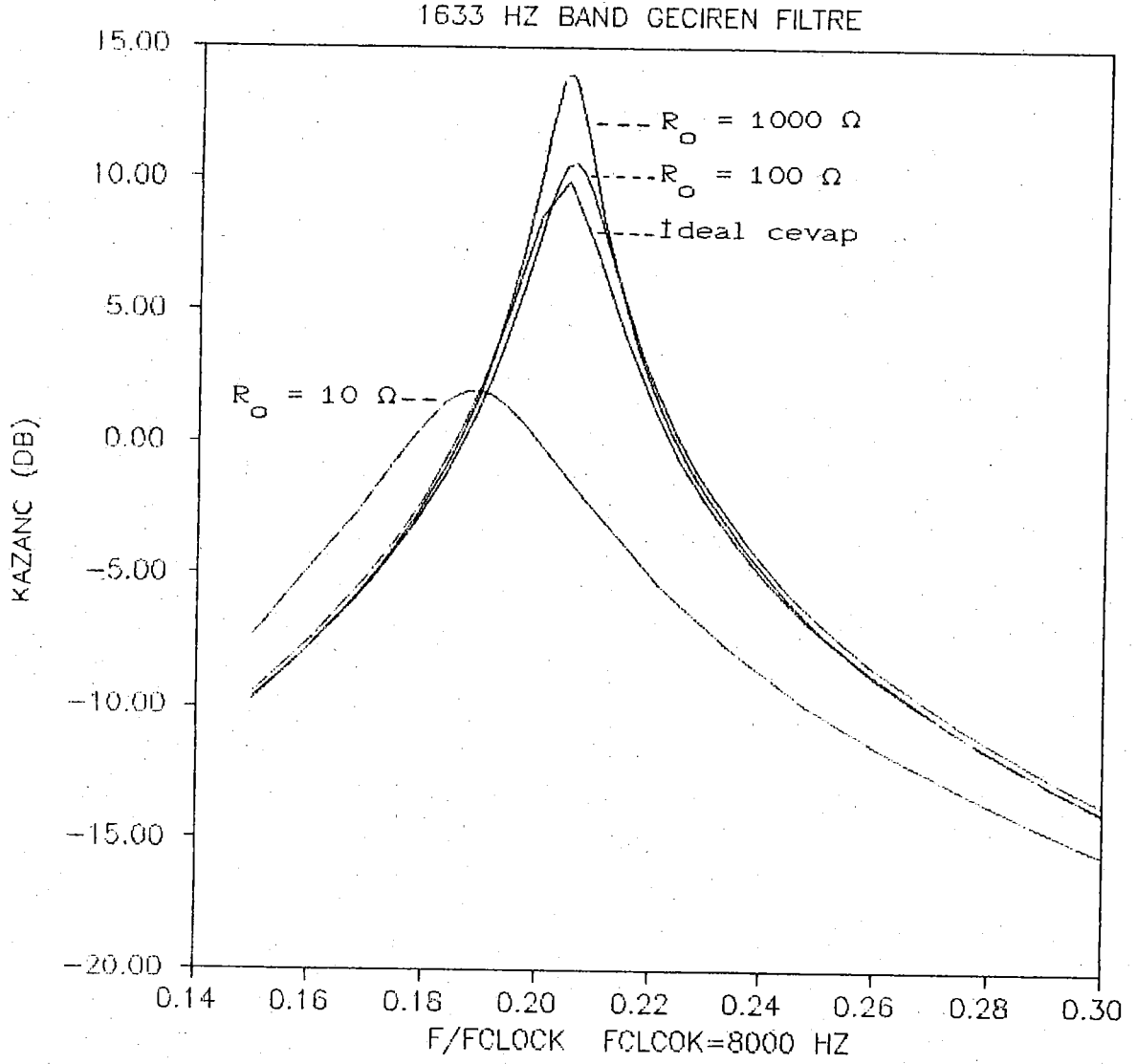
.49109	-44.62649
.49286	-46.35664
.49463	-48.44927
.49642	-51.00046
.49731	-52.43214
.49820	-53.85651
.49910	-55.01115
.49955	-55.35573
.50000	-55.47696



Şekil 3.3. örnek 1'e ilişkin frekans karakteristiği.

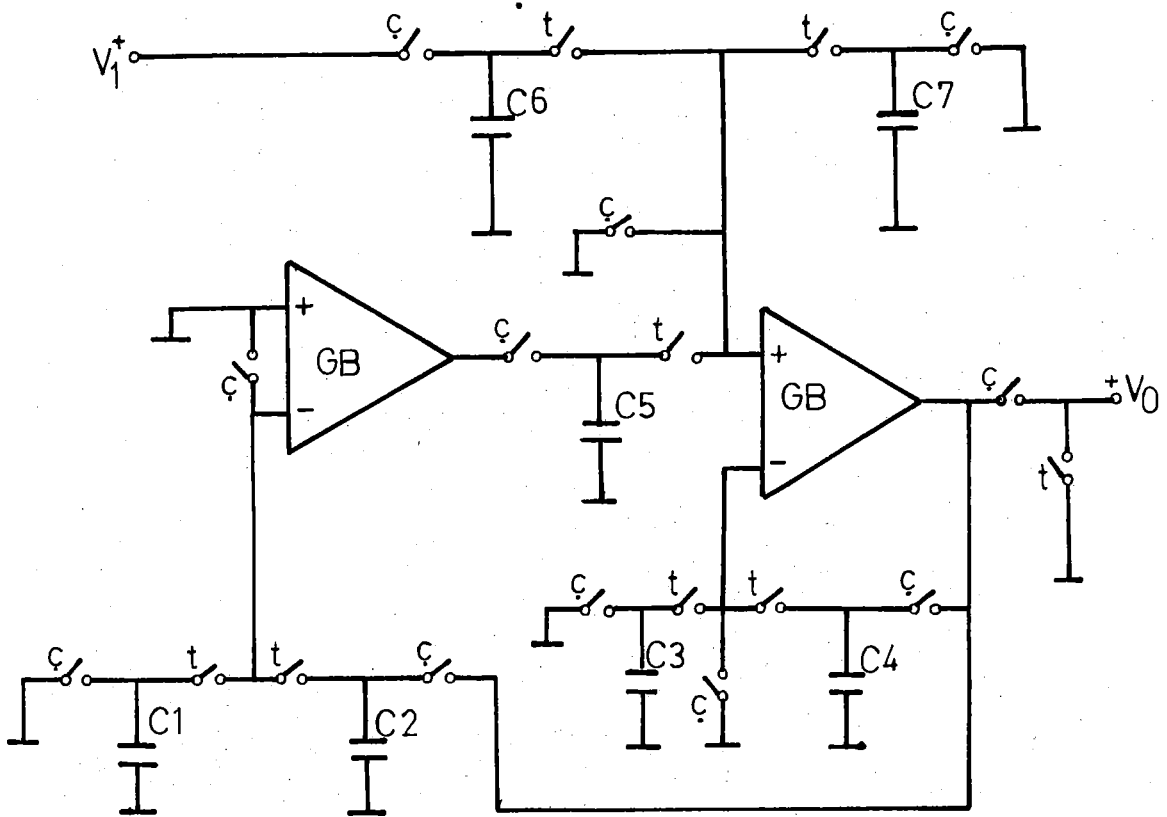


Şekil 3.4. örnek 1 de anahtar direncinin frekans karakteristiği üstüne etkisi



Şekil 3.5. örnek 1 de çıkış direncinin frekans karakteristiği üstüne etkisi

ÖRNEK 2: Bu örnekte (3.2) transfer fonksiyonunu gerçekleyen şekil 3.6. daki devre incelenmiştir [15]. İşlemsel kuvvetlendirici modeli olarak $K_V = 10^5/s$ modeli kullanılmış, işlemsel kuvvetlendiricilerin çıkış dirençleri ve anahtar dirençleri 100 ohm alınmıştır.



$C_1=5$ pf, $C_2=1.41$ pf, $C_3=5$ pf, $C_4=1.52$ pf, $C_5=5.94$ pf
 $C_6=1.16$ pf, $C_7=30$ pf

Şekil 3.6. (3.2) transfer fonksiyonuna ilişkin bir gerçekleştirme.

Örnek 2'ye ilişkin giriş dosyası :

```
TITLE
//////////* 1633 Hz BAND GECIREN FİLTRE *\\\\\\\\\\
V1      1      0      1
*****
* ANAHTARLAR *
*****
G      1      2      1      0      1
G      2      3      0      1      1
G      3      4      0      1      1
G      4      0      1      0      1
G      5      0      1      0      1
G      5      6      0      1      1
G      6      7      0      1      1
G      7      14     1      0      1
G      6      0      1      0      1
G      9      10     1      0      1
G      10     3      0      1      1
G      12     0      1      0      1
G      12     11     0      1      1
G      11     13     0      1      1
G      13     14     1      0      1
G      14     16     1      0      1
G      3      0      1      0      1
G      11     0      1      0      1
G      16     0      0      1      1
*****
* KONDANSATORLER *
*****
C1      5      0      5.0P
C2      7      0      1.41P
C3      12     0      5.0P
C4      13     0      1.52P
C5      10     0      5.94P
C6      2      0      1.16P
C7      4      0      30P
*****
CSW
100.0
*****
* İŞLEMSSEL KUVVETLENDİRİCİ MODELİ *
*      5      *
* Kv= GB/S GB=10 RAD/S      *
*****
R01     14     0      1      1      100
R02     9      0      1      1      100
*****
CP1     8      0      1.0N
CP2     15     0      1.0N
*****
GM1     8      0      0      6      1M
GM2     9      0      8      0      1M
GM3     15     0      3      11     1M
GM4     14     0      15     0      1M
```

SETUP

B.E3

PLOT

16

EE

MAG

0.1

0.05,0.5

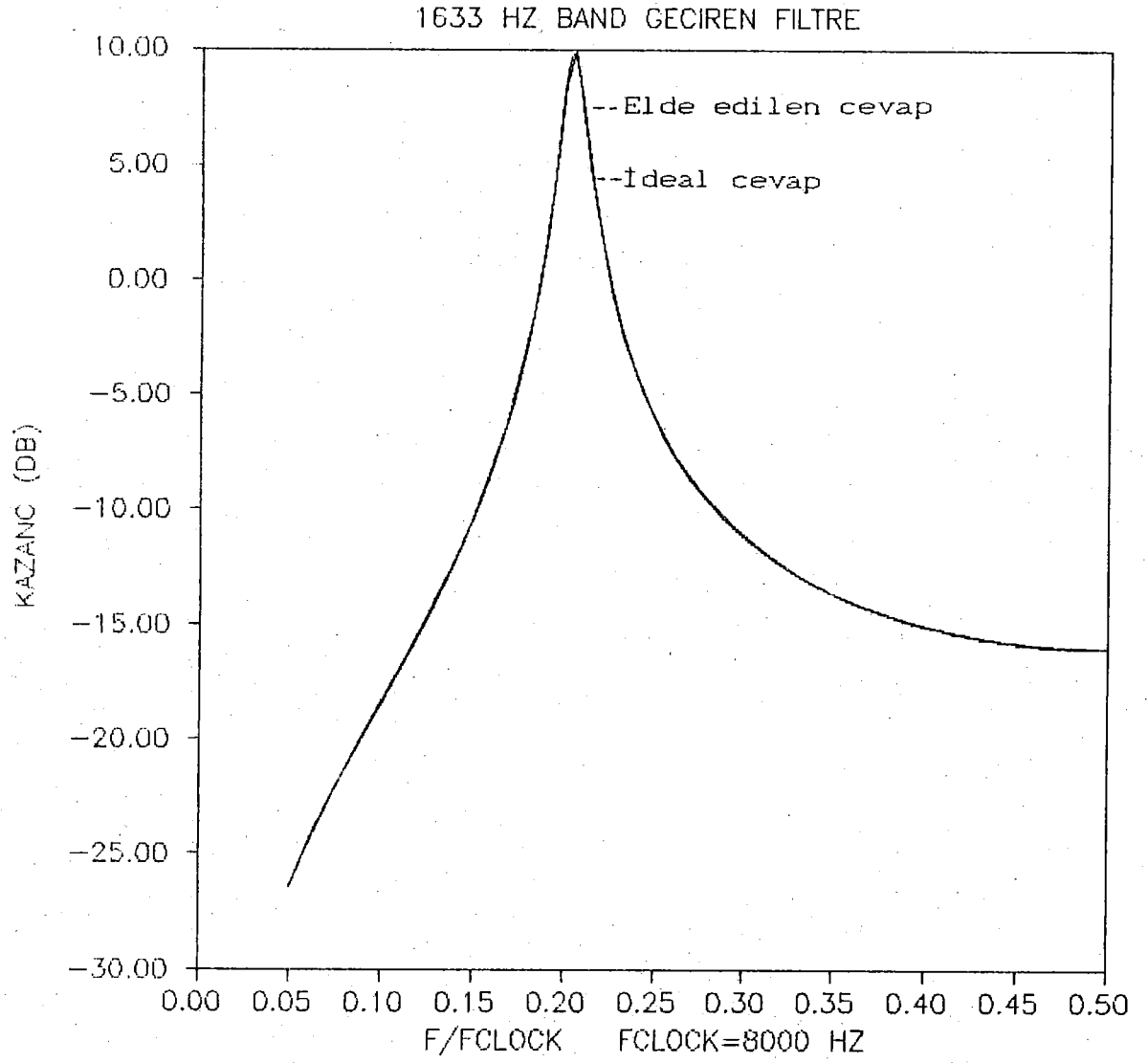
Z

0.204125

16

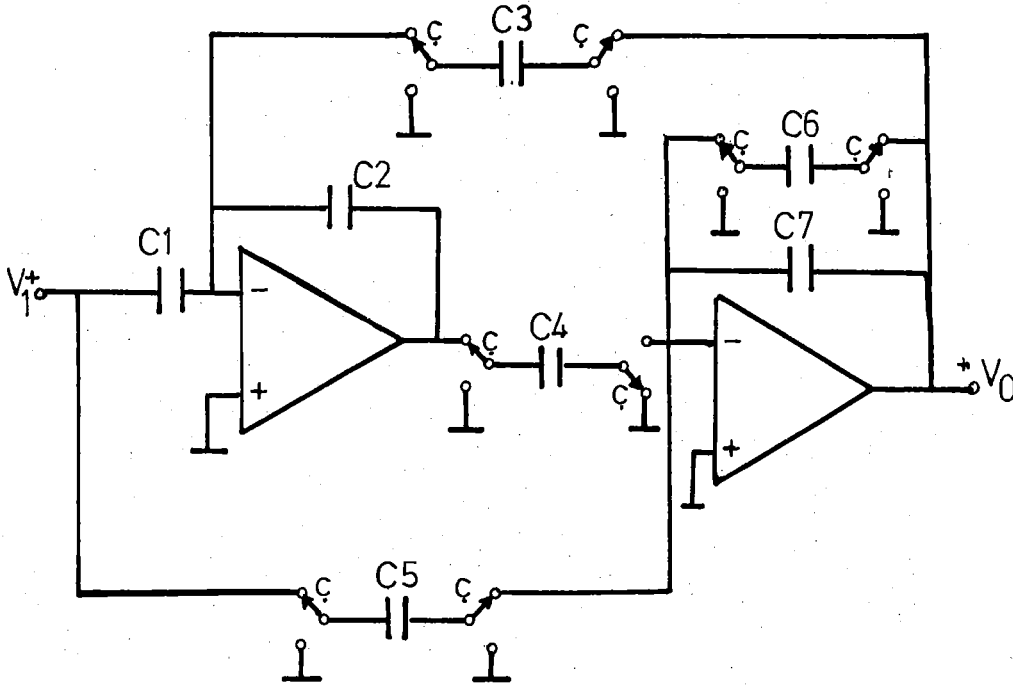
EE

END



Şekil 3.7. örnek 2'ye ait frekans karakteristiği

ÖRNEK 3: (3.1) transfer fonksiyonunu gerçekleyen, şekil 3.8 deki "F tipi" filtreyi gözönüne alalım. Söz konusu filtre ideal halde parazitik kapasitelerden etkilenmeyen bir yapıya sahiptir. Şekil (3.9) daki frekans karakteristiği işlemsel kuvvetlendiriciler yerine GB/s ($GB = 10^{10}$) modeli konularak ve işlemsel kuvvetlendiricilerin çıkış direnci 1100 ohm, anahtar dirençleri 100 ohm alınarak elde edilmiştir.



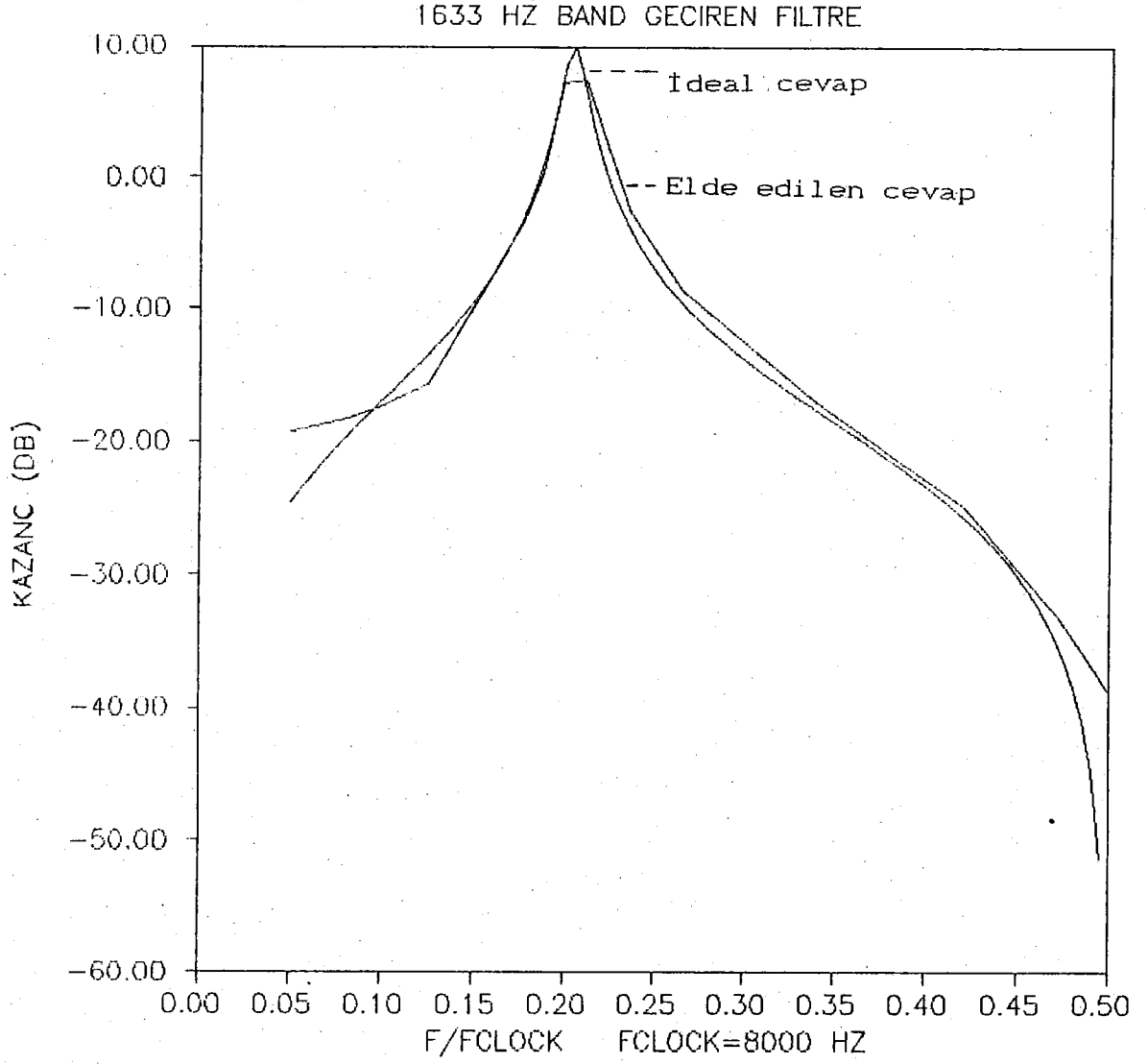
C1= 1 pf, C2= 9.4436 pf, C3= 11.295 pf, C4= 14.95 pf
C5= 1.5825 pf, C6= 1 pf, C7= 11.976 pf

Şekil 3.8. F tipi 1633 hz band geçiren filtre

Örnek 3'e ilişkin giriş dosyası :

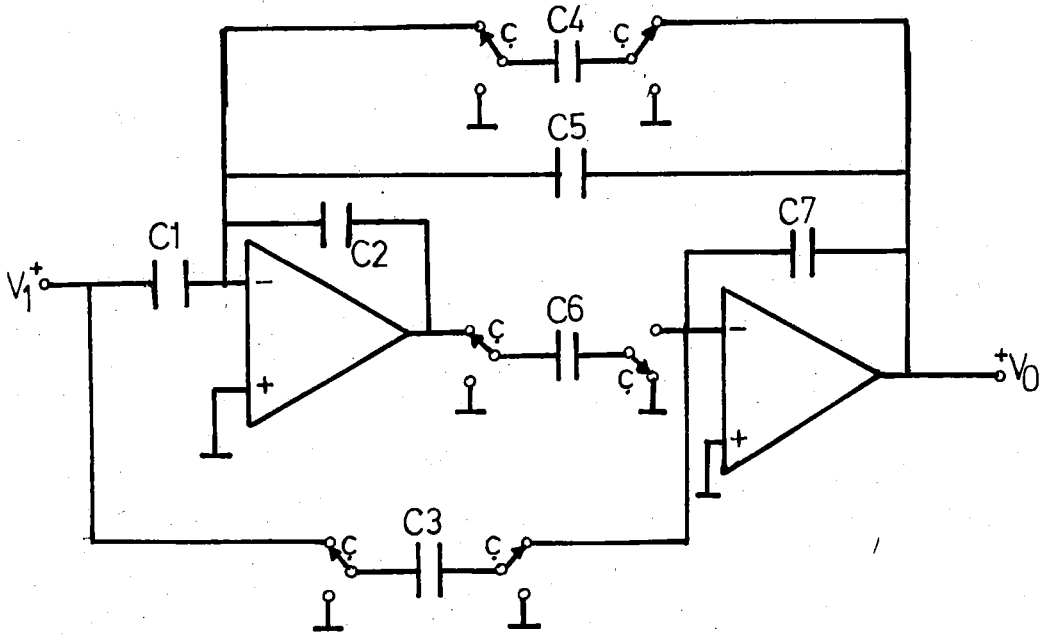
```
TITLE
// F - TIPI 1633 HZ BAND GECIREN FİLTRE \
CLEAR
V1      1      0      1
*****
C1      1      2      1.0P
C2      2      4      9.4436P
C3      15     14     11.295P
C4      5      6      14.95P
C5      7      8      1.5825P
C6      12     13     1.0P
C7      11     10     11.976P
*****
G       1      7      1      0      1
G       7      0      0      1      1
G      11      8      1      0      1
G       8      0      0      1      1
*****
G       4      5      1      0      1
G       5      0      0      1      1
G      11      6      0      1      1
G       6      0      1      0      1
*****
G      11     12      1      0      1
G      12      0      0      1      1
G      10     13      1      0      1
G      13      0      0      1      1
*****
G       2     15      1      0      1
G      15      0      0      1      1
G      10     14      1      0      1
G      14      0      0      1      1
*****
CSW
100.
*****
* İSLEMSSEL KUVVETLENDİRİCİ MODELİ *
*              10              *
* Kv= GB/S    GB=10    RAD/S    *
*****
GM1      3      0      0      2      10M
GM2      4      0      3      0      10M
GM3      9      0      0     11      10M
GM4     10      0      9      0      10M
*****
R01      4      0      1      1      800
R02     10      0      1      1      800
*****
CP1      3      0      .008N
CP2      9      0      .008N
*****
```

```
SETUP
B.E3
PLOT
10
EE
MAG
1.5
.05 , 0.5
Z
0.204125
10
EE
END
```



Şekil 3.9. F-tipi devreye ilişkin frekans karakteristiği.

Örnek 4 : Son olarak yine (3.1) transfer fonksiyonunu gerçekleyen şekil 3.10. daki E-tipi band geçiren filtre incelenmiş ve frekans karakteristiği şekil 3.11. de verilmiştir. İşlemsel kuvvetlendiriciler yerine GB/s ($GB = 6.6 \cdot 10^9$ rad/s) modeli konmuş, çıkış direnci 1100 ohm, anahtar dirençleri 100 ohm alınmıştır.



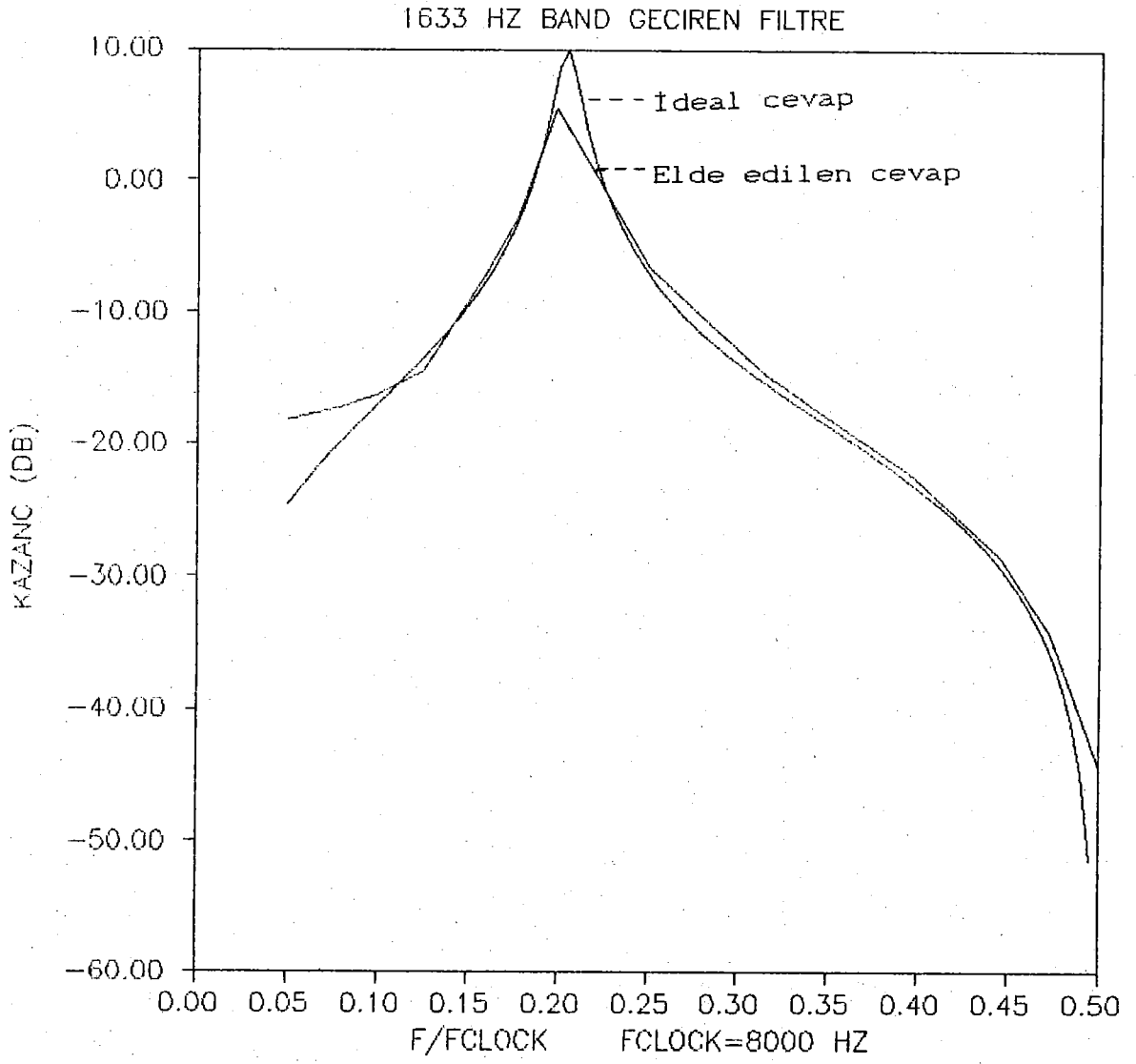
$C1 = 1.5812$ pf, $C2 = 15.54$ pf, $C3 = 1$ pf, $C4 = 17.865$ pf
 $C5 = 1$ pf, $C6 = 9.8305$ pf

Şekil 3.10 E- tipi Band geçiren filtre

Örnek 4'e ilişkin giriş dosyası :

```
TITLE
/// E - TIPI 1633 HZ BAND GECİREN FİLTRE \\\
CLEAR
V1      1      0      1
*****
C1      1      2      1.5812P
C2      2      7      15.54P
C3     11     12      1.0P
C4      3      4      17.865P
C5      2      5      1.0P
C6      8      9      9.8305P
C7     10     5      8.203P
*****
G       1     11      1      0      1
G      11      0      0      1      1
G      10     12      1      0      1
G      12      0      0      1      1
*****
G       7      8      1      0      1
G       8      0      0      1      1
G      10      9      0      1      1
G       9      0      1      0      1
*****
G       2      3      1      0      1
G       3      0      0      1      1
G       5      4      1      0      1
G       4      0      0      1      1
*****
CSW
100.
*****
* İSLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ MODELİ *
*              9              *
* Kv = GB/S   GB= 6.6x10 RAD/S *
*****
R01      7      0      1      1      1100
R02      5      0      1      1      1100
*****
CP1       6      0      .005N
CP2      13      0      .005N
*****
GM1       0      6      2      0      5M
GM2       7      0      6      0      6M
GM3       0     13     10      0      5M
GM4       5      0     13      0      6M
*****
COMP
E
COMP
0
```

```
SETUP  
8.E3  
PLOT  
5  
EE  
MAG  
1.8  
0.05 , 0.5  
Z  
0.204125  
5  
EE  
END
```



Şekil 3.11. Örnek 4'e ilişkin frekans karakteristiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada anahtarlama kapasite devrelerini analiz edebilmek için; her iki saat fazında devreyi durum uzayında ifade edip, daha sonra fark denklemleri vasıtasıyla Z-domeni gösterilimini elde ederek devrenin frekans cevabını bulmanın etkin bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca bu yöntemi kullanarak analiz yapan SCFIL4 programı vasıtasıyla ele alınan örnek devreler incelenmiş ve elemanlar'ın ideal olmama etkilerinin frekans karakteristiği üstünde ne gibi etkileri olduğu belirlenmiştir.

SCFIL4 programının kullanılması esnasında kullanıcının dikkat etmesi gereken en önemli nokta, herhangi bir düğüme ilişkin frekans karakteristiği çizdirilirken giriş dosyasında bildirilen tolerans ("TOL") parametresine uygun bir değerin verilmiş olmasıdır. Tolerans'ın değeri çok küçük tutulduğu takdirde frekans karakteristiğinde keskin kenarlara rastlanması muhtemeldir. Bunu önlemek için başlangıçta tolerans'a 0.8 ... 1.0 değerinin verilmesi yeterli olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] WEHRHAHN, E., "Evaluation of Transfer Functions of ideal S.C Networks in z-Domain Using Standart Linear symbolic or Semisymbolic Network Analysis Programs," Electron. Lett. 16 no. 21 (1980 oct. 9) 801-802
- [2] DE MAN, H. J., J. Rabaey, G. Arnout and J. Vandewalle "Practical Implementation of a General Computer Aided Design Technique for switched Capacitor Circuits," IEEE J. Solid State Circuits SC 15 (1984) 912-918
- [3] VANDEWALLE, J., H.J. De Man and J. Rabaey, "Time, Frequency and z-Domain Modified Nodal Analysis of Switched Capacitor Networks," IEEE Trans. Circuits and Systems. CAS-28 (1981) 186-195.
- [4] NELIN, B.D. "Analysis of Switched Capacitor Networks Using General Purpose Circuit Simulation Programs," IEEE Trans. Circuits and Systems. CAS-30 (1983) 43-48
- [5] RUDD, E.P. and R Schuamann, "A Program For The Analysis of The High Frequency Behavior of Switched Capacitor Networks," Proc. IEEE ISCAS (Kyoto 1985) 1173-1176.
- [6] LAU, J. and J. I. Sewell, "Inclusion of Amplifier Finite Gain and Bandwith in Analysis of Switched Capacitor Filters," Electron. Lett. 16 no. 12 (1980 june 5) 462-463.
- [7] TEMES, G. C. and I. A. Young, "An Improved switched Capacitor Integrator," Electron. Lett. 14 no.9 (1978 April 27) 287-288

- [8] FANG, S.C. "Analysis, Computer Simulation, and Properties of Switched Capacitor Networks," PhD Dissertation, Columbia University, New York (1983)

- [9] LIOU, M. L. "Exact Analysis of linear Circuits Containing Periodically Operated Switches with Applications," IEEE Trans. Circuit Theory CT-19 (1972) 146-154.

- [10] STRÖM, T., and S. Signell, "Analysis of Periodically Switched Linear Circuits," IEEE Trans. Circuits and Systems CAS 24 (1977) 531-541

- [11] RUDD, E. P. "A Program For The High Frequency Analysis of Switched Capacitor Networks," PhD Dissertation, Univesity of Minnesota Minneapolis (1986 June)

- [12] WEHRHAHN, E. "Exact Analysis of Periodically Switched Linear Networks," Proc. IEEE ISCAS (Chicago 1981)

- [13] HO, C. W., A. E. Ruehli and P. A. Brennan, "The Modified Nodal Approach to Network Analysis," IEEE Trans. Circuits and Systems CAS-22 (1975) 504-509

- [14] VLACH, J. K. Singhal and M. Vlach, "Computer Oriented Formulation of Equations and Analysis of Switched Capacitor Networks" IEEE Trans. Circuits and Systems CAS-31 (1984) 753-765.

- [15] TAN M. A., Acar C., and Ghausi M. S., "Design of Switched Capacitor Filters Using Non-ideal Op-Amps," Journal of Franklin Institute Vol.323, No.1, pp 55-72, 1987

EK A. KULLANIM KILAVUZU

Bu ekte kullanıcının programı etkin bir şekilde kullanabilmesi için yapması gerekenler özetlenmiş, programın kabul ettiği komutlar ve SCFIL4 programı vasıtasıyla ne tür analizlerin yapılabileceği anlatılmıştır.

GİRİŞ DOSYASI

Programa bilgi akışı "f5.dat" adlı bir dosyadan yapılmaktadır. Giriş dosyasındaki bütün harflerin büyük yazılması gerekir.

Giriş dosyası ya komutlar ve komuta ilişkin veriler, ya da devre elemanlarının bağlantılarını ve değerlerini içeren bilgilerden oluşur. İlk olarak komut kümesi hakkında bilgi verelim.

CLEAR : Timer hariç bütün program parametrelerini siler. Bu komut bir devrenin analizi bitip başka bir devrenin analizine geçileceği zaman kullanılır.

COMP : Altındaki satırda belirtilen faz içerisinde devrenin değiştirilmiş düğüm gerilimleri yöntemine ilişkin iletkenlik ve kapasitans matrislerini oluşturur. Ayrıca fortran ünite 6'ya ("f6.dat" dosyasına) kapasitans matrisini, iletkenlik matrisini ve kapasitans matrisinin rank'ını yazar. Eğer bu inceleme çift saat fazında yapılmak isteniyorsa "eos" = E , tek saat fazında yapılmak isteniyorsa "eos" = O olarak verilir.

CSW : Devredeki bütün anahtar dirençlerine "rswitch" ile belirlenen değer verilir. Eğer anahtar direnci olarak sıfır verilirse bir hata mesajı ile kullanıcı uyarılır. Bu komuttan sonra herhangi bir anahtar direncinin değeri değiştirilmek istenirse değeri değişmiş haliyle anahtar direncinin yeniden verilmesi yeterli olur. Devredeki

eleman değerlerine bağlı olmak üzere anahtar dirençlerine, sıfıra belli bir mertebeye kadar yakın değer verilmesi halinde bazı nümerik problemlerden dolayı indirgeme yarıda kalabilir.

END : Giriş dosyasının en son satırında yer almalıdır. Program bu komuta rastladıktan sonra giriş dosyasından bilgi okuma işini bitirir ve okuduğu bilgileri işlemeye başlar.

LIST : Devre elemanlarının listesini, bağlı olduğu düğümleri ve özelliklerini "f8.dat" çıkış dosyasına yazar.

PLOT : Adaptif "PLOT" alt programı vasıtasıyla SETUP alt programı tarafından analiz edilen devrenin nokta nokta frekans cevabını oluşturur. "Selout" 'a çıkış düğümünün numarası, "mods" 'a hangi fazdan hangi faz'a transfer fonksiyonunun istendiği, "magphs" 'e genlik ya da fazdan hangisinin hesaplanmasının istendiği, "tol" 'a hesaplamaadaki tolerans'ın mertebesi, "fl,fh" ya hangi frekanslar arasında frekans karakteristiğinin istendiği yazılır.

"mods" = EE çiftten çifte transfer fonksiyonu

"mods" = EO çiftten tek'e transfer fonksiyonu

"mods" = OE tek'ten çifte transfer fonksiyonu

"mods" = OO tek'ten tek'e transfer fonksiyonu

"magphs" = MAG genlik cevabı

"magphs" = PHA faz cevabı

fl ve fh saat frekansına bağlı frekanslardır.

fl fh dan büyük olmamalı ve toleransın minimum değeri de 0.00001 olmalıdır.

Ayrıca bu komut'un yürütülmesi ile frekans cevabını oluşturacak olan frekans ve genlik değerleri ikinci çıkış dosyası "f8.dat" 'a da yazılır.

REDUCE : COMP alt programında ele alınan devrenin genelleştirilmiş durum uzayına indirgenmesini sağlar. COMP komutundan sonra kullanılmalıdır.

SETUP : Sırasıyla heriki saat fazında COMP ve REDUCE komutlarını yürütüp, "fclock" frekansı için z-domaininde devre denklemlerini kurarak PLOT komutunda belirtilen aralık için genlik ya da faz cevabını hesaplar.

TITLE : Analiz edilen devrenin ismini içeren "title" karakterlerinin çıkış dosyasına yazılmasını sağlar.

Z : "frel" frekansında, "selout" ile belirlenen düğümün "mods" ile belirlenen transfer fonksiyonunun genliğini hesaplayarak "f6.dat" çıkış dosyasına yazar.

Eğer giriş dosyasındaki satırlar yukarıda açıklanan satırların birinden oluşmuyorsa, program geri kalan satırları devre elemanı olarak algılamaya çalışır. Her devre elemanı bir isim ,2 ya da 4 tamsayı ve eleman değerini belirten bir reel sayı ile belirlenir. Bu veriler en az bir aralıkla birbirinden ayrılmalıdır. Elemanların isimleri 8 karakteri geçemez. Düğümler, sıfır toprak düğümü olmak üzere sırayla numaralandırılmalı, giriş 1 no'lu düğümden yapılmalıdır. Sadece elemanların değerini belirtirken Tablo A.1. deki kısaltmalar kullanılabilir.

Tablo A.1.

<u>Kısaltma</u>	<u>Değeri</u>	<u>Kısaltma</u>	<u>Değeri</u>
F	10^{-15}		1
P	10^{-12}	K	10^3
N	10^{-9}	MEG	10^6
U	10^{-6}	G	10^9
M	10^{-3}	T	10^{12}

Şimdi elemanların giriş dosyasında nasıl belirtileceklerini açıklayalım.

C..... (d1) (d2) (değer)

(d1) ve (d2) düğümleri arasına bağlı (değer) değerli bir kondansatörü tanımlar. Kondansatör'ün ismi CLEAR, COMP ve CSW ile başlayamaz.

G..... (d1) (d2) (a1) (a2) (değer)

(d1) ve (d2) düğümleri arasına bağlanan (değer)

değerli bir iletkenlik belirler. (a1) ve (a2) değerlerine bağlı olarak iletkenliğin hangi fazda devreye bağlı olduğu şöyle belirlenir.

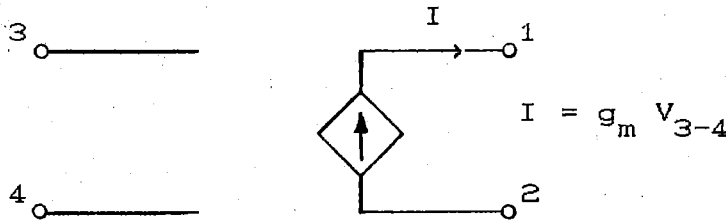
(a1) (a2)

1	0	çift saat periyotlarında bağlı iletkenlik.
0	1	tek saat periyotlarında bağlı iletkenlik.
1	1	her iki saat periyodunda bağlı iletkenlik.

iletkenliğin isminin ikinci harfi M olamaz.
Örneğin, G 1 4 1 0.5M satır'ı 1 ve 4 düğümleri arasına çift saat periyotlarında bağlanan SMS iletkenlikli bir iletkenliği belirtir.

GM..... (d1) (d2) (d3) (d4) (değer)

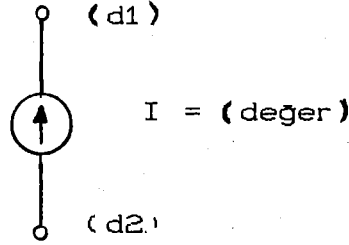
(d3) ve (d4) arasındaki gerilim ile kontrol edilen, (d1) ve (d2) düğümleri arasına bağlı bir gerilim kontrollü akım kaynağını belirler. Geçiş iletkenliği g_m 'in değeri (değer) sütuna yazılır.



I..... (d1) (d2) (değer)

(d1) ve (d2) düğümleri arasına bağlı (değer) değerli bir A.C. bağımsız akım kaynağını

belirler.



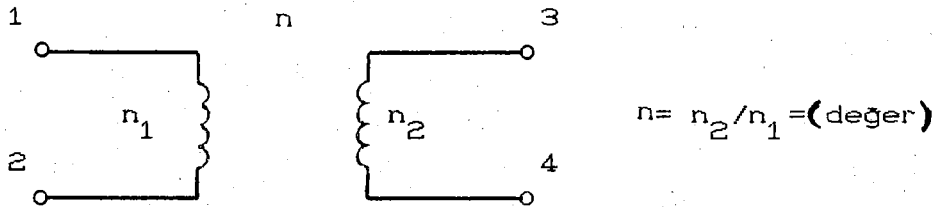
R..... (d1) (d2) (a1) (a2) (değer)

(d1) ve (d2) düğümleri arasına bağlanan (değer)

değerli bir direnci belirler. Direnç'in hangi fazda devreye bağlı olduğu iletkenliğin tanımında açıklandığı gibi (a1) ve (a2) tarafından belirlenir. Direnç değeri olarak sıfır verilemez. Direnç'in ismi RED ile başlayamaz.

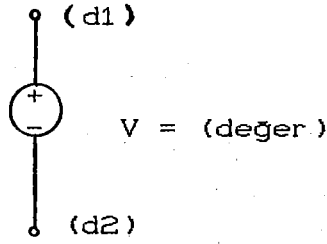
T..... (d1) (d2) (d3) (d4) (değer)

Primer'i (d1) ve (d2) düğümleri, sekonder'i (d3) ve (d4) düğümleri, çevirme oranı (değer) olan bir ideal transformotör'ü belirler. Transformotör'ün ismi TITLE ile başlayamaz.



V..... (d1) (d2) (değer)

(d1) ve (d2) düğümleri arasına bağlı olan (değer) değerli ideal bir A.C. gerilim kaynağını belirler.



Eğer giriş dosyası yukarıda açıklanan komutlardan olmuyorsa program hata mesajı ile hullanıcıyı uyarır.

Giriş ve çıkış dosyasında görülmesi istenen açıklamalar bulunuyorsa açıklamanın yapılacağı satır'ın başına "*" konmalıdır.

HATA MESAJLARI

1) "HATA ! GİRİŞ DİZİSİ "

Giriş dosyasında öngörülen komutlardan başka bir yazıya rastlanırsa bu hata mesajı verilir ve hatalı olan satır "f6.dat" çıkış dosyasında belirtilir.

2) "F/FCLOCK = ... TEKİL HESSENBERG MATRİS."

Z2 altprogramında belli bir frekans için filtrenin cevabı hesaplanırken (2.20) denklem takımının tekil bir sistem oluşturması halinde bu hata mesajı verilir. Bu durum genellikle z-domaininde birim daire üzerinde devrenin bir kutbunun olması durumunda ortaya çıkar. Filtrenin kararlılığı açısından bu mesaj'ın verilip verilmemesi oldukça önemlidir. Zira belli bir frekans için filtre osilasyona geçebilir.

3) "GEÇERSİZ SAAT FAZİ TANIMLI"

COMP altprogramı incelemenin hangi saat fazında yapılacağını belirleyen değişken için çift fazlarda "E", tek fazlarda "O" karakterini tanıyabilir. Aksi takdirde bu hata mesajı verilir.

4) "SIFIR ELEMAN DEĞERİ GEÇERSİZDİR.GİRİŞ DİZİSİ"

Giriş dosyasında sıfır değerli bir eleman ile karşılaşıldığında bu hata mesajı verilir.

5) "UYGUN OLMAYAN ELEMAN İSMİ DÜĞÜM VE"

COMP altprogramının tanıyamadığı bir komuta rastlanması durumunda ortaya çıkar. Ancak ana program tarafından giriş dosyasındaki verilerin geçerliliği kontrol edildiğinden bu hata mesajı ancak programda bir hata olduğu zaman ortaya çıkabilir.

6) "ELEMAN İSMİ UYGUN DEĞİLDİR"

PRINT altprogramının tanıyamadığı bir etiket ile karşılaşması halinde ortaya çıkar. Ancak giriş dosyasındaki verilerin geçerliliği ana program tarafından kontrol edildiğinden bu mesaj'ın verilmesi programda bir hata olduğunu belirtir.

7) "ELEMAN SAYISI ELEMAN SAYI SINIRI AŞILDI"

İncelenecek olan devredeki maksimum eleman sayısı NXE sembolik sabitine 200 değeri verilerek bu değer ile sınırlandırılmıştır. Eğer incelenen devre daha fazla eleman içeriyorsa bu mesaj ile kullanıcı uyarılır. Eğer daha fazla elemanlı bir devre analiz edilecek ise NXE'ye uygun değer verilerek analiz yapılabilir.

8) "DÜĞÜM SAYISI DÜĞÜM SAYISI SINIRI AŞILDI"

Devredeki maksimum düğüm sayısı ND sembolik sabitine 50 değeri verilerek bu değer ile sınırlandırılmıştır. Devredeki düğüm sayısı ND'yi aştığında bu mesaj verilir. Daha fazla sayıda düğüm içeren devrelerin analiz edilebilmesi için ND'ye uygun bir değer verilmesi yeterli olur.

- 9) "1000 'DEN FAZLA FREKANS DEĞERİNDE TRANSFER FONKSİYONU HESAPLANDI"

PLOT altprogramı frekans cevabı hesaplanacak frekansların sayısının 1000 'den fazla olmasını kısıtlar. Zira bu durumda hesaplar için çok uzun süre gerekecektir. Böyle bir durumda bu hata mesajı verilerek kullanıcı uyandırılır. Bu mesaj tipik olarak "TOL" 'a küçük değerler verilmesi halinde ortaya çıkar. Bu durumda frekans karakteristiğinde keskin kenarlar oluşabilir.

- 10) "NEGATİF SAAT FREKANSI"

Saat frekansı olarak negatif bir değer verilmesi halinde ortaya çıkar.

- 11) YARDIMCI DÜĞÜMLER İÇİN YETERLİ YER OLMADIĞINDAN İNDİRGEME YAPILAMADI"

Program,bağımsız gerilim kaynağı ve transformatör'ün eşdeğer devresindeki fazladan düğümleri kendisi otomatik olarak oluşturmaktadır. Ayrıca COMP alt programı bağımsız akım kaynaklarına ilişkin vektör'ü iletkenlik matrisi içerisinde göstermek için kullanılan yardımcı kondansatörü de kendisi oluşturur. Düğüm sayısı programda ND=50 ile sınırlandırıldığından eğer eşdeğer devrelerdeki fazladan düğümler de devredeki düğüm sayısına katılınca bu sayı 50 yi aşıyorsa bu hata mesajı ile kullanıcı uyarılır.

- 12) "TRANSFER FONKSİYONU GEÇERSİZDİR."

Transfer fonksiyonu'nun hangi fazdan hangi faz'a olduğu belirtilirken "EE", "EO", "OE", "OO" 'dan birisi kullanılmalıdır. Aksi halde bu hata mesajı verilir.

- 13) "TOLERANS= TOLERANS EN AZ 0.00001 OLABİLİR"

Tolerans'a 0.00001 den küçük değer verilmesi halinde ortaya çıkar. Çok küçük tolerans değeri verilip bilgisayar'ın uzun süre meşgul edilmemesi için konmuştur.

- 14) "REDUCE ALTPROGRAMI 'NIN NO'LU SATIRINDA SIFIR PIVOT'A RASTLANDI. MUHTEMEL SEBEP "

Bu hata mesajı 3 sebepten dolayı ortaya çıkabilir.
a) Düğümler'in sıfır toprak düğümü olmak üzere ve sırayla numaralandırılmaması ya da bir düğüm'ün devreden tamamen ayrı kalması durumunda ortaya çıkar.

b) REUCE altprogramında bir hata (bug) bulunması durumunda ortaya çıkabilir.

c) Herhangi bir düğüm'ün ya da eleman'ın toprak ile hiç bir bağlantısının olmayıp havada kalması durumunda ortaya çıkar. Böyle bir durum ile karşılaşıldığında ancak düğüm ya da eleman ile toprak arasına bir eleman bağlanarak indirgemenin tamamlanması sağlanabilir.

15) "TÜM ANAHTAR DİRENÇLERİNE NEGATİF DEĞER VERİLDİ"

CSW komutun'dan sonra negatif bir direnç değeri verilmesi durumunda ortaya çıkar.

16) "..... VE FREKANSLARI ALT VE ÜST FREKANS

DEĞERLERİ İÇİN UYGUN DEĞİLDİR."

Sistem'in cevabının hesaplanacağı frekans'ın 10^{-15} den küçük olması ya da incelemenin yapılacağı frekans aralığının üst sınırının alt sınırdan küçük olması durumunda ortaya çıkar.

Bu hata mesajlarından birisi ile karşılaşıldığında program'ın yürütümü durur ve ilgili hata mesajı "f6.dat" çıkış dosyasına yazılır.

EK-B : PROGRAM LISTESI

```

PROGRAM SCFIL4
C *****
C *****
C ***      ANAHTARLAMALI KAPASITE FILTRELERI      ***
C ***      ANALIZ PROGRAMI                        ***
C *****
C *****
INTEGER ND,NXE
PARAMETER(NXE=200,ND=50)
CHARACTER*80 AS,BS,LS(NXE)*8,TEMPS,TITLES,TS,VALS
CHARACTER NAMES*8,CHARS*1,EOS*10,MODS*2,MODSTS*2
CHARACTER PRS(-5:4)*3
COMPLEX A(ND,ND),B(ND),CWORK(ND),UL(ND,ND)
INTEGER EO,HESDUN,I,IH(ND),IP(ND),ISL(0:ND),IRANK,J
INTEGER LENGTH,MODCHK,N,NA,NELE(4),NL(4,NXE),NSTATE,POS
INTEGER SELOUT,SELSTO,TOTELE
REAL AE(ND,ND),AO(ND,ND),BE(ND),BO(ND),C(ND,ND),F,FC,FREL
REAL G(ND,ND),MAG,PHA,Q(ND,ND),QINV(ND,ND),T,TELAPS,TEMP
REAL TIMER,TREF,VALUE(NXE),VELE,W,WORK(ND),WORK2(ND),XSW
COMMON /ADMAT/      C,G,Q,QINV
COMMON /BSYWRK/     N,HESDUN,TOTELE,NA,NSTATE
COMMON /CTEMP/      CWORK
COMMON /GSTO/       GSTO
COMMON /ITEMP/      ISL
COMMON /PIVOT/      IH,IP
COMMON /PRS/        PRS
COMMON /RTEMP/      WORK,WORK2
COMMON /STMAT/      UL,A,AE,AO,B,BE,BO
TREF=TIMER()
C *****
C GIRIS VE CIKIS DOSYALARI'NIN BELIRLENMESI
C *****
C GIRIS DOSYASI
OPEN (5,FILE='F5.DAT')
C CIKIS DOSYASI
OPEN (6,FILE='F6.DAT')
C PLOT DOSYASI
OPEN (8,FILE='F8.DAT')
10 WRITE(6,2060)
MODS=' '
N=0
TOTELE=0
TITLES=' '
SELOUT=999
C *****
C GIRIS DOSYASININ OKUNMASI
C *****
20 TELAPS=TIMER() - TREF
WRITE(6,2080) TELAPS
30 READ(5,1020,END=290) BS
IF (INDEX(BS,'*').NE.0) GO TO 40
LENGTH=LEN(BS)
CALL TRIMS (AS,LENGTH,BS)
IF (AS(1:5) .EQ. 'CLEAR') GO TO 10
IF (AS(1:3) .EQ. 'LIS') GO TO 160
IF (AS(1:4) .EQ. 'COMP') GO TO 170

```

```

      IF (AS(1:3) .EQ. 'END') GO TO 290
      IF (AS(1:5) .EQ. 'TITLE') GO TO 220
      IF (AS(1:1) .EQ. 'Z') GO TO 190
      IF (AS(1:3) .EQ. 'SET') GO TO 180
      IF (AS(1:2) .EQ. 'PL') GO TO 200
      IF (AS(1:3) .EQ. 'CSW') GO TO 140
      IF (AS(1:3) .EQ. 'RED') GO TO 210
      IF ((AS(1:1) .EQ. 'G') .OR. (AS(1:1) .EQ. 'R')
+ .OR. (AS(1:1) .EQ. 'I') .OR. (AS(1:1) .EQ. 'C')
+ .OR. (AS(1:1) .EQ. 'T') .OR. (AS(1:1) .EQ. 'V')) GO TO 50
      GO TO 250
40 WRITE(6,2020) BS
      GO TO 30
C
C
50 IF (TOTELE .GE. NXE) GO TO 270
C
C
      POS=INDEX(AS(1:LENGTH),' ')
      IF (POS .EQ. 0) GO TO 250
      NAMES=AS(1:MIN(POS-1,8))
C
C *****
C ELEMENLARIN KODLANMASI
C *****
      LENGTH=LENGTH+1 -POS
      CALL TRIMS(TEMPS,LENGTH,AS(POS:))
      AS=TEMPS
      NELE(3)=1
      NELE(4)=1
      CHARS=NAMES(1:1)
      IF((CHARS.EQ.'G').OR.(CHARS.EQ.'R').OR.(CHARS.EQ.'T')) THEN
          J=4
      ELSE
          J=2
      ENDIF
      DO 60 I=1,J
      POS=INDEX(AS(1:LENGTH),' ')
      IF (POS.EQ.0) GO TO 250
      WRITE (UNIT=TS,FMT=2020) AS(1:POS-1)
C
C
      READ (UNIT=TS,FMT=1000) NELE(1)
      LENGTH=LENGTH+1-POS
      CALL TRIMS(AS,LENGTH,AS(POS:))
60 CONTINUE
C
C
      IF ((CHARS.EQ.'I').OR.(CHARS.EQ.'T').OR.(CHARS.EQ.'V').OR.
+ (NELE(1).GE.NELE(2)).OR.(NAMES(1:2).EQ.'GM')) GO TO 70
      TEMP=NELE(1)
      NELE(1)=NELE(2)
      NELE(2)=TEMP
70 VALS=AS
C
C
      TEMPS=AS(MAX(LENGTH-2,1):)

```

```

        IF (TEMPS.NE.PRS(2)) TEMPS=AS(LENGTH:)
        AS=TEMPS
        DO 80 I=4,-5,-1
            IF (AS(1:3).EQ.PRS(I)) GO TO 90
80    CONTINUE
        I=0
90    VELE=10.** (3*I)
        TEMPS=VALS
        IF (I.NE.0) TEMPS=VALS(1:LENGTH-1)
        IF (I.EQ.2) TEMPS=VALS(1:LENGTH-3)
        VALS=TEMPS
        CALL TRIMS(TEMPS,LENGTH,VALS)
        IF (INDEX(TEMPS, '.').EQ.0) TEMPS(LENGTH+1:LENGTH+1) = '.'
C
C
        READ (UNIT=TEMPS,FMT=1010) TEMP
        VELE=VELE*TEMP
        IF (NAMES(1:1) .EQ. 'C') VELE=1.E9*VELE
        IF (NAMES(1:1) .EQ. 'I') VELE=1000.*VELE
        IF (NAMES(1:1) .EQ. 'G') VELE=1000.*VELE
C
C
        *****
        DIRENCLERIN ILETKENLIGE CEVRILMESI
        *****
        IF (NAMES(1:1).EQ. 'R') THEN
            IF (VELE.EQ.0.) GO TO 260
            VELE=1000./VELE
            NAMES(1:1)='G'
            ENDIF
        CALL PRINT(NAMES,NELE(1),VELE)
        DO 110 J=1,TOTELE
        IF (NAMES.NE.LS(J)) GO TO 110
        DO 100 I=1,4
            IF (NELE(I).NE.NL(I,J)) GO TO 110
100    CONTINUE
        GO TO 130
110    CONTINUE
        IF (VELE .EQ.0.) GO TO 260
        N=MAX(N,NELE(1),NELE(2),NELE(3),NELE(4))
        IF (N.GT.ND) GO TO 280
        TOTELE=TOTELE+1
        J=TOTELE
        LS(J)=NAMES
        DO 120 I=1,4
            NL(I,J)=NELE(I)
120    CONTINUE
130    VALUE(J)=VELE
        GO TO 30
C
C
        *****
        ANAHTAR DIRENCLERINE TEK BIR DEGER VERILMESI
        *****
C
140    READ(5,*) XSW
        IF (XSW.EQ.0.) GO TO 300
        WRITE(6,2140) XSW
        XSW=1000./XSW
        DO 150 I=1,TOTELE
            IF (LS(I)(1:2) .EQ. 'GM') GO TO 150

```

```
      IF ((LS(I)(1:1) .EQ. 'G') .AND. (NL(3,I)*NL(4,I).EQ.0))
+ VALUE(I)=XSW
150 CONTINUE
      GO TO 20
C      *****
C      ELMANLARIN LISTELENMESI
C      *****
160 CALL LIST (LS,NL,TITLES,VALUE)
      GO TO 20
C      *****
C      KAPASITANS VE ILETKENLIK MATRISLERININ OLUSTURULMASI
C      *****
170 READ(5,1020) TEMPS
      LENGTH=LEN(TEMPS)
      CALL TRIMS(EOS,LENGTH,TEMPS)
      ED=0
      IF (EOS(1:1).EQ.'E') THEN
          ED=3
          WRITE(6,2180) 'CIFT'
      ENDIF
      IF (EOS(1:1).EQ.'O') THEN
          ED=4
          WRITE(6,2180) 'TEK'
      ENDIF
      IF ((ED.NE.3).AND.(ED.NE.4)) GO TO 240
      CALL COMP (EO,LS,NL,VALUE,IRANK)
      CALL MATPR (C,N,N,ND,'KAPASITANS MATRISI')
      CALL MATPR (G,NA,NA,ND,'ILETKENLIK MATRISI')
      CALL MATPR (G(1,NA),1,NA,1,'BAGIMSIZ AKIM KAYNAGI VEKTORU')
      WRITE(6,2040) IRANK
      GO TO 20
C      *****
C      DURUM UZAYININ KURULMASI
C      *****
180 WRITE(6,2150)
      READ(5,*) FC
      IF (FC.LE.0.)GO TO 310
      T=1.E6/FC
      ED=3
      CALL COMP(EO,LS,NL,VALUE,IRANK)
      WRITE(6,2040) IRANK
      WRITE(6,2050) FC
      CALL REDUCE (IRANK)
C      CALL MATPR (G(1,NA),1,N,1,'IC(EVEN)')
      CALL STAVAR(AE,BE,T/2.)
C      CALL MATPR (AE,N,N,ND,'AE(*)')
C      CALL MATPR (BE,1,N,1,'BE(*)')
      ED=4
      CALL COMP(EO,LS,NL,VALUE,IRANK)
      CALL REDUCE (IRANK)
C      CALL MATPR (G(1,NA),1,N,1,'IC(ODD)')
      CALL STAVAR (AO,BO,T/2.)
C      CALL MATPR (AO,N,N,ND,'AO(*)')
C      CALL MATPR (BO,1,N,1,'BO(*)')
      SELOUT=999
      GO TO 20
```

```
C *****
C Z-DOMENİNDE DENKLEMLERİN ELDE EDİLMESİ
C *****

190 READ (5,*) FREL
   W=6.2831 85307 1796*FREL
   SELSTO=SELOUT
   MODSTS=MODS
   READ(5,*) SELOUT
   READ(5,1020) TEMPS
   LENGTH=LEN(TEMPS)
   CALL TRIMS(MODS,LENGTH,TEMPS)
   IF (MODCHK(MODS).EQ.0) GO TO 230
   HESDUN=0
   IF ((SELOUT.EQ.SELSTO).AND.(MODSTS.EQ.MODS)) HESDUN=1
   CALL Z2(MAG,MODS,PHA,SELOUT,W)
   GO TO 20
C *****
C PLOT ROUTINE
C *****
200 SELSTO=SELOUT
   MODSTS=MODS
   READ(5,*) SELOUT
   READ(5,1020) TEMPS
   LENGTH=LEN(TEMPS)
   CALL TRIMS(MODS,LENGTH,TEMPS)
   IF (MODCHK(MODS).EQ.0) GO TO 230
   WRITE(6,2120) MODS
   HESDUN=0
   IF ((SELOUT.EQ.SELSTO).AND.(MODSTS.EQ.MODS)) HESDUN=1
   CALL PLOT (FC,MODS,SELOUT,TITLES)
   GO TO 20
C *****
C İNİRĞEME KİSMİ
C *****
210 CALL REDUCE (IRANK)
   GO TO 20
C *****
C BASLİĞİN YAZILMASI
C *****
220 READ (5,1020) TEMPS
   LENGTH=LEN(TEMPS)
   CALL TRIMS (TITLES,LENGTH,TEMPS)
   WRITE (6,2170) TITLES
   GO TO 20
C *****
C HATA MESAJLARI
C *****
230 WRITE (6,2110) MODS(1:2)
   STOP 'TRANSFER FONSIYONU GECERSİZ'
240 WRITE (6,2070)
   STOP 'GECERSİZ SAAT FAZİ'
250 WRITE (6,2000) BS
   STOP 'GİRİS DOSYASINDA HATA'
260 WRITE (6,2010) BS
   STOP 'SİFİR DEĞERLİ ELEMAN'
```

```

270 WRITE (6,2090) NXE
    STOP 'ELEMEN SAYI SINIRI ASILDI'
280 WRITE (6,2100) ND-1
    STOP 'DUGUM SAYI SINIRI ASILDI'
290 WRITE(6,2130)
C
C
    CLOSE (5)
    CLOSE (6)
    CLOSE (8)
    STOP 'ANALIZ TAMAMLANDI'
300 WRITE (6,2160)
    STOP 'TUM ANAHTAR DIRENCLERINE SIFIR VERILDI'
310 WRITE (6,2030) FC
    STOP 'NEGATIF SAAT FREKANSI'
C
C
1000 FORMAT (I80)
1010 FORMAT (F80.0)
1020 FORMAT (A80)
2000 FORMAT (/ 'HATA ! GIRIS DIZISI'
    +/ ' ',AB0, ' ')
2010 FORMAT (/ 'SIFIR ELEMEN DEGERI GECERSIZDIR. GIRIS DIZISI'
    +/ ' ',AB0, ' ')
2020 FORMAT (A80)
2030 FORMAT (/ 'NEGATIF SAAT FREKANSI ',1PE11.3,
    + 'MEVCUT.')
2040 FORMAT (// 'KAPASITANS MATRISININ RANKI =',I3)
2050 FORMAT (/ 'SAAT FREKANSI= ',1PE11.3,'HZ.')
2060 FORMAT ('SCFIL4-- VERSION 1985-10-18'/)
2070 FORMAT (/ 'GECERSIZ SAAT FAZI TANIMLI')
2080 FORMAT (//, 'HESAPLAMA ZAMANI=',F11.6,' SANIYE.')
2090 FORMAT ('ELEMEN SAYISI=',I4,'SINIR ASILDI.')
2100 FORMAT ('DUGUM SAYISI =',I3,'SINIR ASILDI.')
2110 FORMAT ('TRANSFER MODU ',A2, ' ' GECERSIZ.')
2120 FORMAT (/ 'TRANSFER MODU ',A2,' A AIT PLOT NOKTALARI')
2130 FORMAT (5(/),'ANALIZ TAMAMLANDI.')
2140 FORMAT (/ 'ANAHTAR DIRENCLERI ',1PE10.3,' OHM')
2150 FORMAT (/ 'SETUP ROUTINE.')
2160 FORMAT (/ 'CSW DEN SONRA SIFIR ANAHTAR DIRENCI TANIMLANDI.')
2170 FORMAT (/ 'BASLIK = ',AB0, ' ')
2180 FORMAT (/ 'COMP ROUTINE. ',A4,' SAAT FAZI.')
C
    END

```

C*****

C

SUBROUTINE BAKTRN (A,Y,IP,N,ND)

C

C

COZUM VEKTORUNUN ELDE EDILMESI (V=QX)

C*****

INTEGER I,J,JM1,IP(N),N,ND

COMPLEX A(ND,N),TEMP,Y(N)

IF (N.LT.3) RETURN

DO 20 J=N-1,2,-1

```

        JM1=J-1
        TEMP=Y(J)
        DO 10 I=J+1,N
            Y(I)=Y(I)+A(I,JM1)*TEMP
10     CONTINUE
        I=IP(J)
        IF(I.EQ.J) GO TO 20
        TEMP=Y(I)
        Y(I)=Y(J)
        Y(J)=TEMP
20    CONTINUE
        RETURN
        END
C*****
C
        SUBROUTINE COMP(EO,LS,NL,VALUE,IRANK)
C     *****
C     ILETKENLIK MATRISININ OLSURULMASI
C     *****
        INTEGER ND,NXE
        PARAMETER (ND=50,NXE=200)
        CHARACTER LS(NXE)*(*),TS*1
        INTEGER HESDUN,EO,I,I1,I2,IRANK,J,K,L,N
        INTEGER ISL(0:ND)
        INTEGER NA,NL(4,NXE),NSTATE,NVOL,N1,N2,N3,N4,TISL
        INTEGER TOTELE
        REAL C(ND,ND),G(ND,ND),Q(ND,ND),QINV(ND,ND),VALUE(NXE),V
        COMMON /ADMAT/ C,G,Q,QINV
        COMMON /BSYWRK/ N,HESDUN,TOTELE,NA,NSTATE
        COMMON /ITEMP/ ISL
C     *****
C     GERILIM KAYNAGI VE TRANSFORMATORLARIN SAYISININ
C     BELIRLENMESI
C     *****
        NVOL=0
        DO 10 I=1,TOTELE
            TS=LS(I)(1:1)
            IF ((TS.EQ.'T').OR.(TS.EQ.'V')) NVOL=NVOL+1
10    CONTINUE
        NA=N+NVOL+1
        IF (NA.GE.ND) GO TO 140
C     *****
C     DEGİSKENLERIN SIFIRLANMASI
C     *****
        IRANK=0
        TISL=1
        ISL(0)=0
        DO 30 J=1,N
            ISL(J)=0
            DO 20 I=1,N
                C(I,J)=0.
20    CONTINUE
30    CONTINUE
        DO 50 J=1,NA
            DO 40 I=1,NA
                G(I,J)=0.

```

```
40    CONTINUE
50    CONTINUE
      L=N
C      *****
C      ELEMANLARIN ISLENMESI
C      *****
      DO 130 J=1,TOTELE
          V=VALUE(J)
          IF(V.EQ.0.) GO TO 130
          N1=NL(1,J)
          N2=NL(2,J)
          N3=NL(3,J)
          N4=NL(4,J)
          TS=LS(J)(1:1)
          IF(TS.EQ.'C') GO TO 60
          IF (LS(J)(1:2).EQ.'GM') GO TO 90
          IF (TS.EQ.'G') GO TO 80
          IF (TS.EQ.'I') GO TO 100
          IF (TS.EQ.'T') GO TO 110
          IF (TS.EQ.'V') GO TO 120
          WRITE(6,2000) LS(J),N1,N2
          CALL PRINT (LS(J),NL(1,J),VALUE(J))
      STOP 'UYGUN OLMAYAN ELEMAN ISMI'
C      *****
C      KAPASITELERIN ISLENMESI
C      *****
60    IF (N1.EQ.N2) GO TO 130
C      *****
C      DUGUM RENKLENDIRME YONTEMI ILE C MATRISININ
C      RANKININ BELIRLENMESI
C      *****
          I1=ISL(N1)
          I2=ISL(N2)
          IF ((I1.NE.I2).OR.(I1.EQ.0).OR.(I2.EQ.0))
      +  IRANK=IRANK+1
C      *****
C      YENI BIR ADACIGIN OLUSTURULMASI
C      *****
          IF ((I1.EQ.0).AND.(I2.EQ.0)) THEN
              ISL(N1)=TISL
              ISL(N2)=TISL
              TISL=TISL+1
          ENDIF
C      *****
C      KONDANSATOR'UN MEVCUT ADACIGA DAHIL EDILMESI
C      *****
          IF ((I1.NE.0) .AND. (I2.EQ.0)) ISL(N2)=I1
          IF ((I1.EQ.0) .AND. (I2.NE.0)) ISL(N1)=I2
C      *****
C      IKI ADACIGIN BIRLESTIRILMESI
C      *****
          IF ((I1.NE.0) .AND. (I2.NE.0) .AND. (I1.NE.I2)) THEN
              DO 70 K=0,N
                  IF (ISL(K).EQ.I1) ISL(K)=I2
70    CONTINUE
      ENDIF
```

```
C      *****
C      KONDANSATORLERIN ISLENMESI
C      *****
      IF (N2.GT.0) C(N2,N2)=C(N2,N2)+V
      IF (N1.GT.0) C(N1,N1)=C(N1,N1)+V
      IF ((N1.NE.0).AND.(N2.NE.0)) THEN
        C(N1,N2)=C(N1,N2)-V
        C(N2,N1)=C(N2,N1)-V
      ENDIF
      GO TO 130
C      *****
C      ILETKENLIKLERIN ISLENMESI
C      *****
      80  IF (NL(E0,J).EQ.0) GO TO 130
          IF (N2.GT.0) G(N2,N2)=G(N2,N2)-V
          IF (N1.GT.0) G(N1,N1)=G(N1,N1)-V
          IF ((N1.NE.0).AND.(N2.NE.0)) THEN
            G(N1,N2)=G(N1,N2)+V
            G(N2,N1)=G(N2,N1)+V
          ENDIF
          GO TO 130
C      *****
C      GERILIM KONTROLLU AKIM KAYNAKLARININ ISLENMESI
C      *****
      90  IF (N1*N3.GT.0) G(N1,N3)=G(N1,N3)+V
          IF (N2*N4.GT.0) G(N2,N4)=G(N2,N4)+V
          IF (N1*N4.GT.0) G(N1,N4)=G(N1,N4)-V
          IF (N2*N3.GT.0) G(N2,N3)=G(N2,N3)-V
          GO TO 130
C      *****
C      BAGIMSIZ AKIM KAYNAKLARININ ISLENMESI
C      *****
      100 IF (N1.GT.0) G(N1,NA)=G(N1,NA)+V
          IF (N2.GT.0) G(N2,NA)=G(N2,NA)-V
          GO TO 130
C      *****
C      TRANSFORMOTORLERIN ISLENMESI
C      *****
      110 L=L+1
          IF (N1.NE.0) THEN
            G(N1,L)=-1.
            G(L,N1)=-1.
          ENDIF
          IF (N2.NE.0) THEN
            G(N2,L)=1.
            G(L,N2)=1.
          ENDIF
          IF (N3.NE.0) THEN
            G(N3,L)=V
            G(L,N3)=V
          ENDIF
          IF (N4.NE.0) THEN
            G(N4,L)=-V
            G(L,N4)=-V
          ENDIF
          GO TO 130
```

```

C      *****
C      GERILIM KAYNAKLARININ ISLENMESI
C      *****
120    L=L+1
        G(L,NA)=V
        IF (N1.NE.0) THEN
            G(L,N1)=-1.
            G(N1,L)=-1.
        ENDIF
        IF (N2.NE.0) THEN
            G(L,N2)=1.
            G(N2,L)=1.
        ENDIF
130    CONTINUE
        RETURN
140    WRITE(6,2010)
        STOP 'YARDIMCI DUGUMLERDEN DOLAYI DUGUM SINIRI ASILDI'
2000    FORMAT (/ 'UYGUN OLMAYAN ELEMAN ISMI ',A20,''' DUGUM',
+           ' ',I3,'VE',I3,'.')
2010    FORMAT (/ 'YARDIMCI DUGUMLER ICIN YER KALMADIGINDAN',
+           ' INDIRGEME YAPILAMADI.')
        END
C*****
C
        SUBROUTINE HESRED (A,B,IP,N,ND)
C      *****
C      HESSENBERG YAPISININ ELDE EDILMESI
C*****
        INTEGER I,IP(N),J,M,MM1,N,ND
        REAL A(ND,N),B(N),P,TEMP
        IF(N.LT.3) RETURN
        DO 70 M=2,N-1
            MM1=M-1
            P=0.
            I=M
C      *****
C      PIVOT'UN SECILMESI
C      *****
            DO 10 J=M,N
                IF (P.GE.ABS(A(J,MM1))) GO TO 10
                I=J
                P=ABS(A(J,MM1))
10        CONTINUE
            P=A(I,MM1)
            IP(M)=I
C      *****
C      DEGISIM
C      *****
            IF (I.NE.M) THEN
                TEMP=B(I)
                B(I)=B(M)
                B(M)=TEMP
                DO 20 J=MM1,N
                    TEMP=A(I,J)
                    A(I,J)=A(M,J)
                    A(M,J)=TEMP

```

```

20          CONTINUE
          DO 30 J=1,N
              TEMP=A(J,I)
              A(J,I)=A(J,M)
              A(J,M)=TEMP
30          CONTINUE
          ENDIF
          IF (P.EQ.0.) GO TO 70
          DO 60 I=M+1,N
              TEMP=A(I,MM1)/P
              IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 60
              A(I,MM1)=TEMP
              B(I)=B(I)-TEMP*B(M)
C          *****
C          SATIR ISLEMLERI
C          *****
              DO 40 J=M,N
                  A(I,J)=A(I,J)-TEMP*A(M,J)
40          CONTINUE
C          *****
C          SUTUN ISLEMLERI
C          *****
              DO 50 J=1,N
                  A(J,M)=A(J,M)+TEMP*A(J,I)
50          CONTINUE
60          CONTINUE
70          CONTINUE
          RETURN
          END
C*****
C
          SUBROUTINE HESS (H,B,UL,SHIFT,IP,N,ND)
C          *****
C          KOMPLEKS LINEER HESSENBERG YAPISININ COZUMU
C*****
          INTEGER I,IM1,IP(N),IPI,I2,J,N,ND
          COMPLEX B(N),H(ND,N),LAMBDA,SHIFT,TEMP,UL(ND,N)
          REAL CABS1
          CABS1(TEMP)=ABS(REAL(TEMP))+ABS(AIMAG(TEMP))
          LAMBDA=SHIFT
          IP(1)=1
C          *****
C          SON SUTUNUN KOPYALANMASI
C          *****
          DO 10 I=1,N
              UL(I,N)=H(I,N)
10         CONTINUE
              UL(N,N)=UL(N,N)+LAMBDA
              IF (N.EQ.1) GO TO 50
              DO 40 I=N,2,-1
                  IM1=I-1
                  IF (CABS1(UL(I,I)).GT.CABS1(H(I,IM1))) THEN
C          *****
C          ELEMINASYON ICIN SUTUN ISLEMLERI
C          *****
                      IP(I)=I

```

```

        TEMP=H(I,IM1)/UL(I,I)
        UL(I,IM1)=TEMP
        DO 20 I2=1,IM1
            UL(I2,IM1)=H(I2,IM1)-TEMP*UL(I2,I)
20      CONTINUE
        UL(IM1,IM1)=UL(IM1,IM1)+LAMBDA
        ELSE IF (H(I,IM1).NE.(0.,0.)) THEN
C          *****
C          SUTUN DEGISIMI VASITASIYLA PIVOTING.
C          SUTUNLAR'IN "H" UZERINDEN "UL" E NAKLI
C          *****
            IP(I)=IM1
            IP(1)=-IP(1)
            TEMP=UL(I,I)/H(I,IM1)
            UL(I,IM1)=TEMP
            UL(I,I)=H(I,IM1)
            DO 30 I2=1,IM1
                UL(I2,IM1)=UL(I2,I)-TEMP*H(I2,IM1)
                UL(I2,I)=H(I2,IM1)
30      CONTINUE
            UL(IM1,IM1)=UL(IM1,IM1)-TEMP*LAMBDA
            UL(IM1,I)=UL(IM1,I)+LAMBDA
        ELSE
C          *****
C          SIFIR PIVOT'A RASTLANMADI
C          SIFIR PIVOT BAYRAGINA 0 YUKLE [IP(1)=0]
C          *****
            IP(1)=0
        RETURN
    ENDIF
40      CONTINUE
50      IF (UL(1,1).EQ.0) IP(1)=0
        IF (IP(1) .EQ.0) RETURN
C          *****
C          UST UCGEN SISTEMIN COZUMUNUN BULUNMASI
C          *****
        IF (N.GT.1) THEN
            DO 70 J=N,2,-1
                TEMP=B(J)/UL(J,J)
                B(J)=TEMP
                DO 60 I=1,J-1
                    B(I)=B(I)-UL(I,J)*TEMP
60      CONTINUE
70      CONTINUE
        ENDIF
        B(1)=B(1)/UL(1,1)
        IF (N.EQ.1) RETURN
C          *****
C          GERI KALAN KISMIN COZUMU
C          *****
        DO 80 I=2,N
            J=I-1
            TEMP=B(I)-UL(I,J)*B(J)
            IPI=IP(I)
            B(I)=B(IPI)
            B(IPI)=TEMP

```

```
      80      CONTINUE
            RETURN
            END
C*****
C
      SUBROUTINE LIST (LS,NL,TITLES,VALUE)
C      *****
C      ELEMANLARIN LISTELENMESI
C*****
      INTEGER NXE
      PARAMETER (NXE=200)
      CHARACTER*(*) LS(NXE),TITLES
      INTEGER HESDUN,I,N,NA,NL(4,NXE),NSTATE,TOTELE
      REAL VALUE(NXE)
      COMMON /BSYWRK/  N,HESDUN,TOTELE,NA,NSTATE
      WRITE(6,2000) TITLES
      DO 10 I=1,TOTELE
          CALL PRINT (LS(I),NL(1,I),VALUE(I))
      10  CONTINUE
      RETURN
      2000  FORMAT(////' ',AB0//)
      END
C*****
C
      SUBROUTINE MATPR(A,NROW,NCOL,ND,TITLES)
C      *****
C      GENEL AMACLI MATRIS YAZDIRMA ALT PROGRAMI
C*****
      INTEGER I,J,NCOL,ND,NROW
      REAL A(ND,NCOL)
      CHARACTER*(*) TITLES
      WRITE (6,2000) TITLES
      DO 10 I=1,NROW
          WRITE (6,2010) (A(I,J),J=1,NCOL)
          WRITE (6,2020)
      10  CONTINUE
      RETURN
      2000  FORMAT (////' ',AB0//)
      2010  FORMAT ((' ',6(1PE21.13)))
      2020  FORMAT (/ ' ')
      END
C*****
C
      SUBROUTINE MEXP(A,T,EXP,STASH,WORK,N,ND)
C      *****
C      AT
C      e  NIN HESAPLANMASI
C*****
      INTEGER I,INORM,J,K,KOUNT,N,ND
      REAL A(ND,N),EXP(ND,N),FACT,MUL,NORMI,POWER,RNORM
      REAL STASH(ND,N),T,WORK(N)
C      *****
C      NORM'UN BIRDEN KUCUK OLMASI ICIN GEREKEN
C      OLCEKLEME KATSAYILARININ BULUNMASI
C      *****
      RNORM=NORMI(A,WORK,N,ND)*ABS(T)
```

```

      INORM=0
      POWER=1.
10     IF (POWER.GE.RNORM) GO TO 20
        INORM=INORM+1
        POWER=POWER*2.
      GO TO 10
C      *****
C      BIRIM MATRIS'IN OLUSTURULMASI
C      *****
20     DO 40 J=1,N
        DO 30 I=1,N
          EXP(I,J)=0.
30     CONTINUE
        EXP(J,J)=1.
40     CONTINUE
C      *****
C      MAKINE EPSILONU'NUN BELIRLENMESI
C      *****
      FACT=1.
      KOUNT=1
50     KOUNT=KOUNT+1
        FACT=FACT*FLOAT(KOUNT)
      IF (FACT.NE.(FACT+1.)) GO TO 50
C      *****
C      MATRISIN KUVVETLERININ HESAPLANMASI
C      *****
      DO 90 K=KOUNT,1,-1
        MUL=T/(FLOAT(K)*POWER)
        DO 70 J=1,N
          DO 60 I=1,N
            STASH(I,J)=EXP(I,J)*MUL
60     CONTINUE
70     CONTINUE
        CALL MULCAB (EXP,STASH,A,N,ND)
        DO 80 I=1,N
          EXP(I,I)=EXP(I,I)+1.
80     CONTINUE
90     CONTINUE
C      *****
C      NIIHAI SONUC'UN ELDE EDILMESI
C      *****
      DO 120 K=1,INORM
        DO 110 J=1,N
          DO 100 I=1,N
            STASH(I,J)=EXP(I,J)
100    CONTINUE
110    CONTINUE
        CALL MULBAA (EXP,STASH,N,ND)
120    CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C
      INTEGER FUNCTION MODCHK(MODS)
C      *****
C      TRANSFER MODUNUN KONTROL EDILMESI
```

```
C      EE,EO,OO,OE ICIN MODCHK=1 AKSI HALDE MODCHK=0
C*****
      CHARACTER MODS*(*),TS*2
      MODCHK=0
      TS=MODS(1:2)
      IF ((TS.EQ.'EE') .OR. (TS.EQ.'EO') .OR.
+        (TS.EQ.'OE') .OR. (TS.EQ.'OO')) MODCHK=1
      RETURN
      END
C*****
C
      SUBROUTINE MULAAB (A,B,W,N,ND)
C      *****
C      MATRIS CARPIMI  A <-- A*B
C*****
      INTEGER I,J,K,N,ND
      REAL A(ND,N),B(ND,N),TEMP,W(N)
      DO 50 I=1,N
        DO 10 K=1,N
          W(K)=0.
10        CONTINUE
        DO 30 K=1,N
          TEMP=A(I,K)
          DO 20 J=1,N
            W(J)=W(J)+B(K,J)*TEMP
20          CONTINUE
30        CONTINUE
        DO 40 J=1,N
          A(I,J)=W(J)
40        CONTINUE
50        CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C
      SUBROUTINE MULBAA ( B,A,N,ND)
C      *****
C      MATRIS'IN KARESI'NIN ALINMASI B <-- A*A
C*****
      INTEGER I,J,K,N,ND
      REAL A(ND,N),B(ND,N),TEMP
      DO 40 J=1,N
        DO 10 I=1,N
          B(I,J)=0.
10        CONTINUE
        DO 30 K=1,N
          TEMP=A(K,J)
          DO 20 I=1,N
            B(I,J)=B(I,J)+A(I,K)*TEMP
20          CONTINUE
30        CONTINUE
40        CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C
```

```

      SUBROUTINE MULBAB (B,A,W,N,ND)
C      *****
C      MATRIS CARPIMI B <-- A*B
C      *****
      INTEGER I,J,K,N,ND
      REAL A(ND,N),B(ND,N),TEMP,W(N)
      DO 50 J=1,N
        DO 10 I=1,N
          W(I)=0.
10       CONTINUE
        DO 30 K=1,N
          TEMP=B(K,J)
          DO 20 I=1,N
            W(I)=W(I)+A(I,K)*TEMP
20       CONTINUE
30       CONTINUE
        DO 40 I=1,N
          B(I,J)=W(I)
40       CONTINUE
50       CONTINUE
      RETURN
      END
C      *****
C
      SUBROUTINE MULCAB (C,A,B,N,ND)
C      *****
C      MATRIS CARPIMI C <-- A*B
C      *****
      INTEGER I,J,K,N,ND
      REAL A(ND,N),B(ND,N),C(ND,N),TEMP
      DO 40 J=1,N
        DO 10 I=1,N
          C(I,J)=0.
10       CONTINUE
        DO 30 K=1,N
          TEMP=B(K,J)
          DO 20 I=1,N
            C(I,J)=C(I,J)+A(I,K)*TEMP
20       CONTINUE
30       CONTINUE
40       CONTINUE
      RETURN
      END
C      *****
C
      REAL FUNCTION NORMI(A,W,N,ND)
C      *****
C      MATRIS'IN SONSUZ NORMU'NUN HESAPLANMASI
C      *****
      INTEGER I,J,N,ND
      REAL A(ND,N),W(N)
      DO 10 I=1,N
        W(I)=0.
10     CONTINUE
C      *****
C      SATIR TOPLAMLARI'NIN HESAPLANMASI
```

```
C *****
DO 30 J=1,N
    DO 20 I=1,N
        W(I)=W(I)+ABS(A(I,J))
20    CONTINUE
30    CONTINUE
C *****
C     MAKSIMUM SATIR TOPLAMININ BULUNMASI
C     *****
        NORMI=0.
        DO 40 I=1,N
            NORMI=MAX(NORMI,W(I))
40    CONTINUE
        RETURN
        END
C*****
C
C     REAL FUNCTION NORM2 (A,IL,IH)
C     *****
C     BIR VEKTOR'UN 2-NORMU'NUN HESAPLANMASI
C*****
        INTEGER I,IH,IL
        REAL A(IH),S,TEMP
C     *****
C     OLCEKLEME
C     *****
        S=0.
        DO 10 I=IL,IH
            S=S+ABS(A(I))
10    CONTINUE
C     *****
C     NORM'UN HESAPLANMASI
C     *****
        NORM2=0.
        DO 20 I=IL,IH
            TEMP=A(I)/S
            NORM2=NORM2+TEMP*TEMP
20    CONTINUE
        NORM2=S*SQRT(NORM2)
        RETURN
        END
C*****
C
C     SUBROUTINE PERM (A,IRC,K,L,N,ND)
C     *****
C     SATIR SUTUN PERMUTASYONLARININ OLUSTURULMASI
C     IRC=0 --> SATIR K VE L DEGISTIRILDI
C     IRC=1 --> SUTUN K VE L DEGISTIRILDI
C     IRC=2 --> SATIR K VE L
C             SUTUN K VE L DEGISTIRILDI
C*****
        INTEGER I,IRC,J,K,L,N,ND
        REAL A(ND,N),TEMP
        IF (IRC.EQ.1) GO TO 20
C     *****
```

```
C      SATIR DEGISIMI
C      *****
      DO 10 J=1,N
          TEMP=A(K,J)
          A(K,J)=A(L,J)
          A(L,J)=TEMP
10  CONTINUE
20  IF (IRC.EQ.0) RETURN
C      *****
C      SUTUN DEGISIMI
C      *****
      DO 30 I=1,N
          TEMP=A(I,K)
          A(I,K)=A(I,L)
          A(I,L)=TEMP
30  CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C
      SUBROUTINE PLOT(FC,MODS,SELOUT,TITLES)
C      *****
C      ADAPTIF PLOT ALT POGAMI
C*****
      REAL TWOPI
      PARAMETER (TWOPI=6.2831 85307 1796)
      CHARACTER MAGPHS*10,MODS*(*),TEMPS*10,TITLES*(*)
      INTEGER IFLAG,LENGTH,MAGPHA,NCALC,NPLOT,SELOUT
      REAL CURVE,DIV,FC,FH,FL,FLIM,FNW,LOG
      REAL FNY(0:1)
      REAL TOL,TOL8,W,X1,X2,Y0,Y1,Y2
      FNW(W)=TWOPI*10.**W
      NCALC=3
      NPLOT=2
      READ (5,1000) TEMPS
      LENGTH=LEN(TEMPS)
      CALL TRIMS(MAGPHS,LENGTH,TEMPS)
      MAGPHA=0
      IF (MAGPHS(1:1).EQ.'P') MAGPHA=1
      READ (5,*) TOL
C      *****
C      TOLERANS 0.00001 DEN KUCUKMU ?
C      *****
      IF (TOL.LT.0.0001) GO TO 70
      TOL8=TOL*8.
      READ (5,*) FL,FH
C      *****
C      ALT VE UST FREKANS SINIRLARININ TESTI
C      *****
      IF ((FL.LT.1.E-15).OR.(FH.LE.FL).OR.(FH.GT.0.5)) GO TO 80
C      WRITE (8,2070)
C      WRITE (8,2090) FC
C      WRITE (8,2000) MAGPHS(1:1)
C      WRITE (8,2040) TOL
C      WRITE (8,2040) FL,FH
C      WRITE (8,2050) TITLES
```

```
FLIM=LOG10(FH)
DIV=0.1
LOG=LOG10(FL)
W=FNW(LOG)
X2=0.
CALL Z2(FNY(0),MODS,FNY(1),SELOUT,W)
Y1=FNY(MAGPHA)
WRITE(8,2000) 10**LOG,Y1
IFLAG=0
W=FNW(LOG+DIV)
CALL Z2(FNY(0),MODS,FNY(1),SELOUT,W)
Y2=FNY(MAGPHA)
C *****
C ADAPTIF PLOTTING
C *****
10 Y0=Y1
Y1=Y2
X1=X2
20 X2= LOG+2.*DIV
W=FNW(X2)
CALL Z2 (FNY(0),MODS,FNY(1),SELOUT,W)
NCALC=NCALC+1
Y2=FNY(MAGPHA)
30 CURVE=ABS (Y2-2.*Y1+Y0)
IF ((CURVE.LT.TOL).AND.(DIV.LT.0.1).AND.(IFLAG.EQ.0))
+ GO TO 40
IF ((CURVE.GT.TOL8).AND.(DIV.GT.1.E-6)) GO TO 50
IFLAG=0
LOG=LOG+DIV
IF (LOG.GE.FLIM) GO TO 60
WRITE (8,2000) 10**LOG,Y1
NPLOT=NPLOT+1
IF (NPLOT.GT.1000) GO TO 90
GO TO 10
40 DIV=DIV*2.
Y1=Y2
X1=X2
GO TO 20
50 DIV=DIV/2.
Y2=Y1
X2=X1
W=FNW(LOG+DIV)
X1=LOG+DIV
CALL Z2(FNY(0),MODS,FNY(1),SELOUT,W)
NCALC=NCALC+1
Y1=FNY(MAGPHA)
IFLAG=1
GO TO 30
C *****
C ADAPTIF PLOTTING SONU
C *****
60 W=TWOPI*FH
CALL Z2(FNY(0),MODS,FNY(1),SELOUT,W)
WRITE (8,2000) 10**FLIM,FNY(MAGPHA)
C WRITE (8,2080)
WRITE (6,2060) NCALC,NPLOT
```

```

      RETURN
C      *****
C      HATA MESAJLARI
C      *****
      70 WRITE (6,2010) TOL
        STOP 'TOLERANS COK KUCUK'
      80 WRITE (6,2020) FL,FH
        STOP 'FREKANS SINIRLARI UYGUN DEGIL'
      90 WRITE (6,2030)
        STOP '1000 DEN FAZLA NOKTA HESAPLANDI'
      1000 FORMAT (A10)
      2000 FORMAT (2F10.5)
      2010 FORMAT (' ', 'TOLERANSINIZ=', 1PE10.3, ' ',
        + ' TOLERANS EN AZ 0.0001 OLASILIR.')
      2020 FORMAT (' ', E10.3, ' VE ', E10.3,
        + ' FREKANSLARI UYGUN DEGIL.')
      2030 FORMAT (/ ' 1000 DEN FAZLA NOKTA PLOT EDILDI.',
        + ' ')
      2040 FORMAT (' ', 2E10.3)
      2050 FORMAT (' ', A79)
      2060 FORMAT (/ ' ', I4, ' NOKTA HESAPLANDI, ', I5,
        + ' NOKTA PLOT EDILDI.')
      2070 FORMAT (' :BASLA:')
      2080 FORMAT (' :SON:')
      2090 FORMAT (' FCLOCK=', 1PE11.3)
      END
C*****
C
      BLOCK DATA PREFIX
      CHARACTER PRS(-5:4)*3
      COMMON /PRS/ PRS
      DATA PRS /'F','P','N','U','M',' ','K','MEG','G','T'/
      END
C*****
C
      SUBROUTINE PRINT (LS,NL,VALUE)
C      *****
C      ELEMANLARIN CIKIS DOSYASINA BASTIRILMASI
C*****
      CHARACTER LS*(*), PRFS*3, PRS(-5:4)*3, CHARS*1
      COMMON /PRS/ PRS
      INTEGER I, NL(4)
      REAL MUL, VALUE, VELE
      IF (VALUE.EQ.0.) RETURN
      MUL=0.001
      CHARS=LS(1:1)
      IF ((CHARS.EQ.'T').OR.(CHARS.EQ.'V')) MUL=1.
      IF (CHARS.EQ.'C') MUL=1.E-9
      I=INT(20.+LOG10(ABS(VALUE)*MUL)/3.)-20
      VELE=VALUE*MUL*10.**(-I*3)
      PRFS=PRS(I)
      IF (CHARS.EQ.'C') GO TO 10
      IF (LS(1:2).EQ.'GM') GO TO 20
      IF (CHARS.EQ.'G') GO TO 30
      IF (CHARS.EQ.'I') GO TO 40
      IF (CHARS.EQ.'T') GO TO 50

```

```

        IF (CHARS.EQ.'V') GO TO 60
        WRITE (6,2000) LS
        WRITE (6,2010) LS,NL(1),NL(2),NL(3),NL(4),VALUE
        STOP 'IMPROPER LABEL IN SUB PRINT'
10      WRITE (6,2010) LS,NL(1),NL(2),VELE,PRFS,'F'
        RETURN
20      WRITE (6,2020) LS,NL(1),NL(2),VELE,PRFS,'S',NL(3),NL(4)
        RETURN
30      WRITE (6,2030) LS,NL(1),NL(2),VELE,PRFS,'S',NL(3),NL(4)
        RETURN
40      WRITE (6,2010) LS,NL(1),NL(2),VELE,PRFS,'A'
        RETURN
50      WRITE (6,2040) LS,NL(1),NL(2),NL(3),NL(4),VELE,PRFS
        RETURN
60      WRITE (6,2010) LS,NL(1),NL(2),VELE,PRFS,'V'
        RETURN
2000    FORMAT (/ ' ', 'ELEMEN ISMI' ', ', A8, ' ', 'UYGUN DEGILDIR.' )
2010    FORMAT (/ ' ', A8, 2X, 2(I5), F15.5, 1X, A4, A1)
2020    FORMAT (/ ' ', A8, 2X, 2(I5), F15.5, 1X, A4, A1,
+ 3X, 'KONTROL DUGUMLERI', 2X, 2(I5))
2030    FORMAT (/ ' ', A8, 2X, 2(I5), F15.5, 1X, A4, A1,
+ 3X, 'ANAHTARLAMA VEKTORU', 2X, 2(I5))
2040    FORMAT (/ ' ', A8, 2X, 4(I5), 3X, 'CEVIRME DRANI', 2X,
+ F15.5, 1X, A4)
        END
C*****
C
        SUBROUTINE PVSrch (A,VALUE,IL,IU,JL,JU,IPIVOT,JPIVOT,ND)
C      *****
C      FULL PIVOTING YONTEMI ILE PIVOTLAR'IN BULUNMASI
C*****
        INTEGER I,IL,IPIVOT,IU,J,JL,JPIVOT,JU,ND
        REAL A(ND,JU),VALUE
        VALUE=-1.
        DO 20 J=JL,JU
            DO 10 I=IL,IU
                IF (VALUE.GE.ABS(A(I,J))) GO TO 10
                IPIVOT=I
                JPIVOT=J
                VALUE=ABS(A(I,J))
10          CONTINUE
20        CONTINUE
        RETURN
        END
C*****
C
        SUBROUTINE REDUCE(IRANK)
C      *****
C      SISTEM'IN DURUM UZAYINA INDIRGENMESI
C*****
        INTEGER ND
        PARAMETER (ND=50)
        INTEGER HESDUN,I,IPIVOT,IRANK,J,JPIVOT,K,L,LP1,MESS
        INTEGER N,NA,NPT,NP1,NSTATE,NV,RPT,RP1,TQTELE
        REAL C(ND,ND),G(ND,ND),NORM2,Q(ND,ND),R,RHO
        REAL QINV(ND,ND),S,SCALE,SCALE1,SCALE2,SCALE3

```

```
REAL T1,T2,T3,TEMP,TEMP2,WORK(ND),WORK2(ND)
COMMON /ADMAT/ C,G,Q,QINV
COMMON /BSYWRK/ N,HESDUN,TOTELE,NA,NSTATE
COMMON /RTEMP/ WORK,WORK2
C *****
C TRANSFORMASYON MATRISLERININ GUNCELLESTIRILMESI
C *****
DO 20 J=1,NA
  DO 10 I=1,NA
    Q(I,J)=0.
    QINV(I,J)=0.
10  CONTINUE
    Q(J,J)=1.
    QINV(J,J)=1.
20 CONTINUE
C *****
C KAPASITANS MATRISI'NIN CHOLESKY FAKTORIZASYONU
C   VE PIVOTING ILE INDIRGENMESI
C *****
NV=NA-1
MESS=30
DO 100 L=1,IRANK
  LP1=L+1
C *****
C PIVOT'UN SECILMESI
C *****
  TEMP=0.
  DO 30 I=L,N
    IF (TEMP.GE.ABS(C(I,I))) GO TO 30
    TEMP=ABS(C(I,I))
    IPIVOT=I
30  CONTINUE
  IF (C(IPIVOT,IPIVOT).LE.0.) GO TO 570
C *****
C GEREKEN SATIR SUTUN DEGISIMLERININ YAPILMASI
C *****
  IF (IPIVOT.NE.L) THEN
    CALL PERM (C,2,L,IPIVOT,NA,ND)
    CALL PERM (G,2,L,IPIVOT,NA,ND)
    CALL PERM (Q,1,L,IPIVOT,NA,ND)
    CALL PERM (QINV,0,L,IPIVOT,NA,ND)
  ENDIF
C
C
DO 60 I=LP1,N
  TEMP=C(I,L)/C(L,L)
  IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 60
  DO 40 J=L,N
    C(I,J)=C(I,J)-TEMP*C(L,J)
40  CONTINUE
  DO 50 J=1,NA
    G(I,J)=G(I,J)-TEMP*G(L,J)
50  CONTINUE
60 CONTINUE
DO 90 J=LP1,N
  TEMP=C(L,J)/C(L,L)
```

```

        IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 90
        DO 70 I=L,N
            C(I,J)=C(I,J)-TEMP*C(I,L)
70      CONTINUE
        DO 80 I=1,NV
            G(I,J)=G(I,J)-TEMP*G(I,L)
            Q(I,J)=Q(I,J)-TEMP*Q(I,L)
            QINV(L,I)=QINV(L,I)+TEMP*QINV(J,I)
80      CONTINUE
90      CONTINUE
100     CONTINUE
C      *****
C      C MATRISININ BLOK BIRIM MATRIS HALINE GETIRILMESI
C      *****
        DO 130 K=1,IRANK
            SCALE1=SQRT(C(K,K))
            SCALE=1./SCALE1
            DO 110 J=1,NA
                G(K,J)=G(K,J)*SCALE
110     CONTINUE
            DO 120 I=1,NV
                G(I,K)=G(I,K)*SCALE
                Q(I,K)=Q(I,K)*SCALE
                QINV(K,I)=QINV(K,I)*SCALE1
120     CONTINUE
130     CONTINUE
C      *****
C      GERILIM ELEMENLARINA ILISKIN ALT MATRIS'IN FULL
C      PIVOTING ILE TRAPEZOIDAL YAPIYA INDIRGRNMESI
C      *****
        NP1=N+1
        RP1=IRANK+1
        L=RP1
        DO 170 K=NP1,NV
            IF(L.GT.N) GO TO 180
C      *****
C      PIVOT SECIMINI TAMAMLA
C      *****
            CALL PVSRCB (G,TEMP,K,NV,L,N,IPIVOT,JPIVOT,ND)
C      *****
C      INDIRGEMEYE BASLA
C      *****
            IF (K.EQ.NP1) TEMP2=TEMP*TEMP
            IF ((TEMP2+TEMP**2).EQ.TEMP2) GO TO 180
            CALL PERM (G,2,K,IPIVOT,NA,ND)
            CALL PERM (G,2,L,JPIVOT,NA,ND)
            CALL PERM (Q,1,L,JPIVOT,NA,ND)
            CALL PERM (Q,1,K,IPIVOT,NA,ND)
            CALL PERM (QINV,0,L,JPIVOT,NA,ND)
            CALL PERM (QINV,0,K,IPIVOT,NA,ND)
            DO 160 I=K+1,NV
                TEMP=G(I,L)/G(K,L)
                IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 160
                DO 140 J=1,NA
                    G(I,J)=G(I,J)-G(K,J)*TEMP
140     CONTINUE

```

```

                DO 150 J=1,NA
                G(J,I)=G(J,I)-G(J,K)*TEMP
                Q(J,I)=Q(J,I)-Q(J,K)*TEMP
                QINV(K,J)=QINV(K,J)+QINV(I,J)*TEMP
150             CONTINUE
160             CONTINUE
                L=L+1
170             CONTINUE
                K=NA
180             NPT=K-1
                RPT=L-1
C             *****
C             BAGIMSIZ DURUM DEGISKENLERI'NIN SAYISININ HESAPLANMASI
C             *****
                NSTATE=N+RPT-NV
C             *****
C             ALT MATRIS'IN TRAPEZOIDAL YAPIDAN UCGEN YAPIYA INDIRGENMESI
C             *****
                L=RP1
                MESS=180
                DO 220 K=NP1,NPT
                    DO 210 J=RPT+1,N
                        IF (G(K,L).EQ.0.) GO TO 570
                        TEMP=G(K,J)/G(K,L)
                        IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 210
                        DO 190 I=1,NA
                            G(I,J)=G(I,J)-G(I,L)*TEMP
                            Q(I,J)=Q(I,J)-Q(I,L)*TEMP
                            QINV(L,I)=QINV(L,I)+QINV(J,I)*TEMP
190                     CONTINUE
                        DO 200 I=1,NA
                            G(J,I)=G(J,I)-G(L,I)*TEMP
200                     CONTINUE
210                     CONTINUE
                        L=L+1
220                     CONTINUE
                        L=RPT
C             *****
C             SATIR VE SUTUN ISLEMLERI
C             *****
                DO 230 K=IRANK+1,(IRANK+RPT)/2
                    CALL PERM (G,2,K,L,NA,ND)
                    CALL PERM (Q,1,K,L,NA,ND)
                    CALL PERM (QINV,0,K,L,NA,ND)
                    L=L-1
230                     CONTINUE
C             *****
C             DAHA BUYUK ALT MATRISLERI GOZONUNE ALARAK
C             UCGEN YAPI'NIN ELDE EDILMESI
C             *****
                L=N
                MESS=230
                DO 260 K=RPT+1,N
                    CALL PVSRCH (G,TEMP,K,N,RPT+1,L,IPIVOT,JPIVOT,ND)
                    IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 570
                    CALL PERM (G,1,L,JPIVOT,NA,ND)
```

```

      CALL PERM (G,0,K,IPIVOT,NA,ND)
      CALL PERM (Q,1,L,JPIVOT,NA,ND)
      CALL PERM (QINV,0,L,JPIVOT,NA,ND)
      DO 250 I=K+1,N
        IF (G(K,L).EQ.0.) GO TO 570
        TEMP=G(I,L)/G(K,L)
        IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 250
        DO 240 J=1,NA
          G(I,J)=G(I,J)-G(K,J)*TEMP
240      CONTINUE
250      CONTINUE
        L=L-1
260 CONTINUE
C      *****
C      SUTUN ISLEMLERI ILE UCGEN ALTMATRIS'IN
C      TERS KOSEGEN BIRIM MATRIS HALINE DONUSTURULMESI
C      *****
      L=NPT
      DO 300 K=RP1,NPT
        DO 290 J=1,L-1
          TEMP=G(K,J)/G(K,L)
          IF (TEMP.EQ.0.) GO TO 290
          G(K,J)=0.
          DO 270 I=1,K-1
            G(I,J)=G(I,J)-G(I,L)*TEMP
270      CONTINUE
          DO 280 I=1,NA
            Q(I,J)=Q(I,J)-Q(I,L)*TEMP
            QINV(L,I)=QINV(L,I)+QINV(J,I)*TEMP
280      CONTINUE
290      CONTINUE
          L=L-1
300 CONTINUE
C      *****
C      SATIR ISLEMLERI
C      *****
      K=NPT
      MESS=300
      DO 320 L=RP1,NPT
        IF (G(K,L).EQ.0.) GO TO 570
        TEMP=G(K,NA)/G(K,L)
        DO 310 I=1,K-1
          G(I,NA)=G(I,NA)-G(I,L)*TEMP
          G(I,L)=0.
310      CONTINUE
          K=K-1
320 CONTINUE
C      *****
C      TERS KOSEGENDEKI ELEMENLARIN 1 YAPILMASI
C      *****
      L=NPT
      DO 340 K=RP1,NPT
        SCALE3=SQRT(ABS(G(K,L)))
        SCALE2=1./SCALE3
        SCALE1=SIGN(SCALE2,G(K,L))
        G(K,L)=1.

```

```
      G(K,NA)=G(K,NA)*SCALE1
      DO 330 I=1,NA
        Q(I,L)=Q(I,L)*SCALE2
        QINV(L,I)=QINV(L,I)*SCALE3
330    CONTINUE
      L=L-1
340 CONTINUE
C      *****
C      HOUSEHOLDER'S METODU ILE BENZERLIK DONUSUMU
C      UYGULAYARAK DURUM DENKLEMLERININ X=AX+B
C      YAPISINDA ELDE EDILMESI
C      *****
      K=IRANK
      MESS=350
      DO 430 L=NPT+1,NV
        LP1=L+1
        S=0.
        DO 350 J=L,NV
          TEMP=NORM2(G(1,J),1,K)
          IF (TEMP.LE.S) GO TO 350
          S=TEMP
          JPIVOT=J
350    CONTINUE
        IF (S.EQ.0.) GO TO 570
        IF (JPIVOT.NE.L) THEN
          CALL PERM (G,2,L,JPIVOT,NA,ND)
          CALL PERM (Q,1,L,JPIVOT,NA,ND)
          CALL PERM (QINV,0,L,JPIVOT,NA,ND)
        ENDIF
        DO 360 I=1,K
          WORK(I)=G(I,L)/S
360    CONTINUE
        R=SIGN(1.,WORK(K))
        WORK(K)=WORK(K)+R
        RHO=R*WORK(K)
        DO 390 J=1,NA
          T1=0.
          T2=0.
          DO 370 I=1,K
            T1=T1+WORK(I)*G(I,J)
            T2=T2+WORK(I)*QINV(I,J)
370    CONTINUE
          T1=-T1/RHO
          T2=-T2/RHO
          DO 380 I=1,K
            G(I,J)=G(I,J)+T1*WORK(I)
            QINV(I,J)=QINV(I,J)+T2*WORK(I)
380    CONTINUE
390    CONTINUE
        DO 420 I=1,NA
          T1=0.
          T2=0.
          DO 400 J=1,K
            T1=T1+WORK(J)*G(I,J)
            T2=T2+WORK(J)*Q(I,J)
400    CONTINUE
```

```

      T1=-T1/RHO
      T2=-T2/RHO
      DO 410 J=1,K
        G(I,J)=G(I,J)+T1*WORK(J)
        Q(I,J)=Q(I,J)+T2*WORK(J)
410    CONTINUE
420  CONTINUE
      K=K-1
430  CONTINUE
C      *****
C      BIR EVVELKI ADIMDAKI UCGEN MATRIS'IN KOSEGEN
C      HALE GETIRIIMESI VE G MATRISINDE BUNA KARSI
C      DUSEN SATIR VE SUTUNLAR'IN ISLENMESI
C      *****
      L=IRANK
      DO 450 K=NPT+1,NV
        TEMP=G(K,NA)/G(K,L)
        DO 440 I=K+1,NV
          G(I,NA)=G(I,NA)-G(I,L)*TEMP
          G(I,L)=0.
440    CONTINUE
        L=L-1
450  CONTINUE
      K=IRANK
      DO 480 L=NPT+1,NV
        DO 470 J=L+1,NV
          TEMP=G(K,J)/G(K,L)
          G(K,J)=0.
          DO 460 I=1,NA
            Q(I,J)=Q(I,J)-Q(I,L)*TEMP
            QINV(L,I)=QINV(L,I)+QINV(J,I)*TEMP
460    CONTINUE
470    CONTINUE
        K=K-1
480  CONTINUE
      L=IRANK
      DO 500 K=NPT+1,NV
        TEMP=G(K,NA)/G(K,L)
        DO 490 I=1,IRANK
          G(I,NA)=G(I,NA)-G(I,L)*TEMP
          G(I,L)=0.
490    CONTINUE
        L=L-1
500  CONTINUE
      K=IRANK
      DO 530 L=NPT+1,NV
        DO 520 J=1,IRANK
          TEMP=G(K,J)/G(K,L)
          G(K,J)=0.
          DO 510 I=1,NA
            Q(I,J)=Q(I,J)-Q(I,L)*TEMP
            QINV(L,I)=QINV(L,I)+QINV(J,I)*TEMP
510    CONTINUE
520    CONTINUE
        K=K-1
530  CONTINUE
```

```
C      *****
C      OLCEKLEME
C      *****
      L=IRANK
      DO 540 K=NPT+1,NV
        G(K,NA)=G(K,NA)/G(K,L)
        G(K,L)=1.
        L=L-1
540    CONTINUE
      K=IRANK
      DO 560 L=NPT+1,NV
        TEMP=G(K,L)
        TEMP2=1./TEMP
        G(K,L)=1.
        DO 550 I=1,NA
          Q(I,L)=Q(I,L)*TEMP2
          QINV(L,I)=QINV(L,I)*TEMP
550    CONTINUE
        K=K-1
560    CONTINUE
      RETURN

C
C
570    WRITE (6,2000) MESS
      IF (MESS.EQ.30) THEN

C
C
        WRITE(6,2010) 'PROGRAM HATASI'
        ELSE
        WRITE (6,2010) 'KAYIP DUGUM VEYA DEJENERASYON'
        ENDIF
      STOP
2000 FORMAT (/ 'REDUCE ALT PROGRAMI NIN ',
+  I4, ' NO LU SATIRINDA SIFIR PIVOT ILE KARSILASILDI' )
2010 FORMAT ( ' /MUHTEML SEBEP: ',A27)
      END
C*****
C
      SUBROUTINE STAVAR (A,B,T)
C      *****
C      Z-DOMENINDE DENKLEMLER' IN ELDE EDILMESI
C*****
      INTEGER ND
      PARAMETER (ND=50)
      INTEGER HESDUN,I,J,N,NA,NSTATE,NS1,NV,TOTELE
      REAL A(ND,NA),B(ND),C(ND,ND),G(ND,ND),Q(ND,ND)
      REAL QINV(ND,ND),T,WORK(ND),WORK2(ND)
      COMMON /BSYWRK/ N,HESDUN,TOTELE,NA,NSTATE
      COMMON /ADMAT/ C,G,Q,QINV
      COMMON /RTEMP/ WORK,WORK2
C      *****
C      DEGISKENLER' IN GUNCELLESTIRILMESI
C      *****
      NS1=NSTATE+1
      NV=NA-1
      DO 10 I=1,NSTATE
```

```

        G(I,NS1)=G(I,NA)
10  CONTINUE
    DO 20 I=1,NSTATE
        G(NS1,I)=0.
20  CONTINUE
    G(NS1,NS1)=0.
    J=NV
    DO 30 I=NS1,NV
        WORK(I)=-G(J,NA)
        J=J-1
30  CONTINUE
    WORK(NA)=0.
C *****
C   At
C   e NIN HESABI YARDIMIYLA GECIS MATRISLERININ HESABI
C *****
    CALL MEXP(G,T,A,C,B,NS1,ND)
C *****
C   DUGUM GERILIMLERININ HESABI
C *****
    DO 40 I=1,NSTATE
        WORK(I)=A(I,NS1)
40  CONTINUE
    CALL VECMUL (B,Q,WORK,NA,ND)
C
C
    DO 60 J=1,NA
        DO 50 I=NS1,NA
            A(I,J)=0.
50  CONTINUE
60  CONTINUE
    DO 80 J=NS1,NA
        DO 70 I=1,NA
            A(I,J)=0.
70  CONTINUE
80  CONTINUE
    CALL MULBAB (A,Q,WORK,NA,ND)
    CALL MULAAB (A,QINV,WORK,NA,ND)
    RETURN
    END
C
C*****
    REAL FUNCTION TIMER()
C *****
C   PROGRAM'IN HESAPLAMA SURESI'NIN OLCULMESI
C *****
    INTEGER YEAR,MONTH,DAY,HOUR,MINUTE,SECOND,FRACT
    CALL GETTIM (YEAR,MONTH,DAY,HOUR,MINUTE,SECOND,FRACT)
    TIMER=(FLOAT(HOUR)*60+FLOAT(MINUTE))*60+FLOAT(SECOND)
    + +FLOAT(FRACT)/32768.
C
C
    RETURN
    END
C
C*****

```

```

      SUBROUTINE TRIMS (CS,LENGTH,AS)
C *****
C   GIRIS DOYASININ DEGERLENDIRILMESI
C*****
      CHARACTER*(*) AS,CS
      INTEGER IHIGH,ILOW,LENGTH
      DO 10 IHIGH=LENGTH,1,-1
         IF (AS(IHIGH:IHIGH).NE.' ') GO TO 20
10  CONTINUE
      CS= ' '
      LENGTH=0
      RETURN
20  DO 30 ILOW=1,IHIGH
      IF (AS(ILOW:ILOW).NE.' ') GO TO 40
30  CONTINUE
      CS='ERROR'
      LENGTH=-1
      RETURN
40  CS=AS(ILOW:IHIGH)
      LENGTH=IHIGH-ILOW+1
      RETURN
      END
C
C*****
      SUBROUTINE VECMUL (B,A,X,N,ND)
C *****
C   VEKTOR CARPIMI B <-- A*X
C*****
      INTEGER I,J,N,ND
      REAL A(ND,N),B(N),TEMP,X(N)
      DO 10 I=1,N
         B(I)=0.
10  CONTINUE
      DO 30 J=1,N
         TEMP=X(J)
         DO 20 I=1,N
            B(I)=B(I)+A(I,J)*TEMP
20  CONTINUE
30  CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C
      SUBROUTINE Z2 (MAG,MODS,PHA,SELOUT,W)
C *****
C   FREKANS DOMENINDE TRANSFER FONKSIYONU'NUN ELDE EDILMESI
C*****
      INTEGER ND
      PARAMETER (ND=50)
      CHARACTER*(*) MODS
      COMPLEX A(ND,ND),B(ND),CPHASE,H,UL(ND,ND),X(ND),Z
      INTEGER HESDUN,I,IH(ND),IP(ND),J,N,NA,NSTATE,SELOUT
      INTEGER TOTELE
      REAL AE(ND,ND),AO(ND,ND),BE(ND),BO(ND),BPROD(ND),F
      REAL MAG,PHA,RPHASE,W,WORK(ND)
      COMMON /BSYWRK/ N,HESDUN,TOTELE,NA,NSTATE

```

```

COMMON /CTEMP/ X
COMMON /PIVOT/ IH,IP
COMMON /RTEMP/ WORK,BPROD
COMMON /STMAT/ UL,A,AE,AO,B,BE,BO
Z=CMPLX(COS(W),SIN(W))

C
C
      IF (HESDUN.EQ.0) THEN
C      *****
C      SAG TARAFIN OLUSTURULMASI
C      *****
            IF (MODS.EQ.'EE') THEN
                  DO 10 I=1,N
                        BPROD(I)=BE(I)
10             CONTINUE
            ENDIF
            IF (MODS.EQ.'ED') CALL VECMUL (BPROD,AO,BE,N,ND)
            IF (MODS.EQ.'OE') CALL VECMUL (BPROD,AE,BO,N,ND)
            IF (MODS.EQ.'OO') THEN
                  DO 20 I=1,N
                        BPROD(I)=BO(I)
20             CONTINUE
            ENDIF
C      *****
C      SISTEM MATRISININ OLUSTURULMASI
C      *****
            IF (MODS(2:2).EQ.'E') CALL MULAAB (AE,AO,WORK,N,ND)
            IF (MODS(2:2).EQ.'O') CALL MULBAB (AE,AO,WORK,N,ND)
            DO 40 J=1,N
                  DO 30 I=1,N
                        AE(I,J)=-AE(I,J)
30             CONTINUE
40             CONTINUE
C      *****
C      SISTEMIN INDIRGENMESI
C      *****
            CALL HESRED (AE,BPROD,IP,N,ND)
            DO 60 J=1,N
                  DO 50 I=1,N
                        A(I,J)=CMPLX(AE(I,J),0.)
50             CONTINUE
                        B(J)=CMPLX(BPROD(J),0.)
60             CONTINUE
            HESDUN=1
            ENDIF
C      *****
C      COZUM'UN BULUNUP,DUGUM GERILIMLERININ ELDE EDILMESI
C      *****
            DO 70 I=1,N
                  X(I)=B(I)
70             CONTINUE
            CALL HESS (A,X,UL,Z,IH,N,ND)
            F=W*0.15915 49430 9190
            IF (IH(1).NE.0) THEN
                  CALL BAKTRN (A,X,IP,N,ND)
                  RPHASE=W

```

```

      IF ((MODS.EQ.'EO').OR.(MODS.EQ.'OE'))
+    RPHASE=RPHASE/2.
      CPHASE=CMPLX(COS(RPHASE),SIN(RPHASE))
      H=X(SELOUT)*CPHASE
      MAG=CABS(H)
      IF (MAG.GE.1.E-6) THEN
        MAG=8.6858 89638 0650*LOG(MAG)
        PHA=57.295 77951 3082*ATAN2(AIMAG(H),REAL(H))
      ELSE
        MAG=-120.
        PHA=0.
      ENDIF
      WRITE (6,2000) F,MODS,MAG,PHA
    ELSE
C    *****
C    PROGRAM BU KISMA FILTRENIN BIRIM DAIRE UZERINDE
C    KUTBU'NUN OLMASI HALINDE GELIR. ANCAK DIGER
C    FREKANS' LAR ICIN HESAB'A DEVAM EDILIR UYARI
C    MESAJI ILE KULLANICI UYARILIR.
C    *****
      WRITE (6,2010) F
    ENDIF
    RETURN
2000 FORMAT (' F/FCLOCK=',1PE11.3,', ',A2,',GENLIK=',0PF9.3,
+ 'DB AND FAZ=',F7.2,'DERECE')
2010 FORMAT (' F/FCLOCK=',1PE12.3,
+ ' TEKIL HESSENBERG MATRIS.')
```

END

ÖZGEÇMİŞ

1965 yılında Bursada doğan yazar; 1982 yılında Bursa Erkek Lisesini, 1986 Yaz Yarıyılında da İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesinin Elektronik ve haberleşme mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Yazar halen İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme mühendisliği bölümü Devreler ve Sistemler Kursüsünde Araştırma görevliliği yapmaktadır.