

HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE KULLANILAN FİLTRE VE GECİKTİRME DEVRELERİNİN TASARIMI

Enis TÜYENİ ve Tülay ALUÇ

GİRİŞ

Haberleşme sistemlerinin en önemli elemanlarından biri, belirli bir frekans bölgesinde istenilen bir zayıflama ya da geciktirme karakteristiğini sağlayan devrelerdir.

İstenilen zayıflama karakteristiğini gerçekleştiren devrelere filtre adı verilmektedir. Filtrelerin tasarımı için mühendislikte birçok kataloglar, monograflar ve tablolar hazırlanmıştır. Ancak bunların kullanılması, ya özel türde zayıflama karakteristiklerinin gerçekleştirilmesi ya da bu karakteristiklere geniş toleransların tanınması hallerinde elverişli olmaktadır. Bu çözüm yöntemleri, birçok mühendislik problemlerinde yeterli olmaktadır. Ancak zayıflama karakteristiği üzerinde çok sıkı bazı koşulların konması ve bu koşulları sağlayacak filtre devresinin de en az eleman kullanılarak tasarlanması istendiğinde, filtre tasarımı için geliştirilmiş bazı genel amaçlı kompüter programlarının kullanılması kaçınılmaz olmaktadır.

Öte yandan, özellikle sayısal haberleşme sistemlerini iletim ortamında kullanılan düzenler ve/ya da iletim ortamının kendisi, doğrusal olmayan bir faz karakteristiğine sahip olabilir. Bu yüzden ortaya çıkan simgelerarası karışımın ileri gelecek olan işaret bozulmalarını düzelt-

mek amacıyla faz düzeltici devrelerin kullanılması gerekir. Bu tür devreler literatürde daha çok geciktirme-dengleyici (delay equalizer) devreler adıyla anılmaktadır.

Elektronik Araştırma Bölümünde birkaç yıl süren bir araştırma sonucu, filtre ve geciktirme devrelerinin tasarımıyla ilgili genel amaçlı bazı kompüter programları geliştirilmiştir. Aşağıda, teorik ayrıntılara girmeden, bu programlar hakkında kısa ve pratik bilgiler verildikten sonra bunların bazı örneklerle uygulanışı gösterilecektir.

1. FİLTRE TASARIM VE DEVRE ANALİZ PROGRAMLARI

1.1. MAEEOO -> 11 Hrogram Paketine İlişkin Genel Bilgi

Bu program paketi, MAEEOO programından, MAEE11 programına kadar numaralanmış ve FORTRAN IV dilinde yazılmış oniki programdan oluşmaktadır. Bu programlar, yalnız MAEEOO pilot programına okutturulan bilgiler yardımıyla, kullanıcının araya girmesini gerektirmeden, birbirlerini doğrudan doğruya çağırarak istenilen karakteristiklere sahip filtrenin tasarımı ve tasarımı yapılan filtrenin analizini sonuna kadar götürerek gerçekleştirirler.

Tasarımı yapılan filtreler, pasif, genel parametrelili geleneksel ve merdiven biçiminde bir yapıya sahip filtrelerdir (1). Kullanılan PDP - 11/45 Kompüterinin getirdiği sınırlamalardan ötürü, halen en çok 24. dereceden band geçiren filtreler tasarımılanabilmektedir. Hesaplamalarda sayısal kararlılığı sağlayabilmek için tasarım "z" dönüşüm değişkeniyle yapılmaktadır. (1), (2).

Öte yandan program, filtrenin endüktans sayısını, istenen sayıya indirgeme işlemini, pilot programa bu amaca uygun komutlar verme yoluyla, kolayca ve operatörün işe karışmasını gerektirmeden, doğrudan doğruya çözümlenebilmektedir. Bu amaçla, kullanıcının isteğine göre, ya geçen bandta en büyük dalgalanma miktarını artırır, ya da söndürme bandlarındaki zayıflamayı azaltır ya da her ikisinde de değişiklik yapılabilir.

Kristal, mikrodalga, çok dar bantlı (notch), aktif ve sayısal filtrelerin tasarımı şimdi bu program paketinin kapsamı dışında bırakılmıştır. Ancak, devre elemanlarının başka biçimlerde yorumlanması yapılmak koşuluyla ve programa yapılacak bazı eklerle, program paketi bu tür filtrelerin tasarımında da kullanılabilir.

Devre Analiz Programına gelince, bu program, pasif elemanlardan oluşan, merdiven biçiminde verilmiş ya da bu biçime sokulabilen ve toplam kol sayısı (seri + şönt) en çok 50 olabilen herhangi bir devrenin analizini basit "kontinüantlar" yöntemini kullanarak (3), (4) yapmaktadır. Önce Hewlett-Packard Kalkülâtör Sistemi için yazılmış olan bu program (5), daha sonra FORTRAN IV diline uyarlanmıştır (6). Programın inceleyebildiği büyüklükler ise, belirli bir frekans bandında, devrenin dB cinsinden araya-girme zayıflaması (insertion loss) ya da giriş-çıkış gerilimleri oranı (operating-loss), giriş ve çıkış empedanslarının değişimi, grup-gecikmesi ve giriş ve çıkış kapılarındaki yansıma kayıplarıdır [return (echo)-loss]. Ayrıca, merdiven biçimindeki devrenin çeşitli düğümlerindeki gerilimlerin frekansa göre değişimi de bu program yardımıyla incelenebilmektedir (7). Analiz sonucunda hesaplanan çeşitli karakteristikler, ayrı bir çizim programıyla çizdirilebilmektedir.

1.2. Filtre Tasarım Yöntemine İlişkin Açıklamalar

Tasarımlanan filtreler, giriş kapısındaki besleme direncini (R1), çıkış kapısındaki sonlandırma direncine (R2) eşit kılmak amacıyla, genellikle bir ideal transformatörle sonlandırılırlar. Bu ideal transformatörün sınırlar oranını belirlemek için, ilgili filtre, çıkış kapısında giriş kapısına doğru yeniden tasarımılanır. Her iki yönde tasarımılanan filtrenin zayıflama karakteristiği aynıdır ancak devre biçimleri ve eleman değerleri aynı değildir. Kullanıcı, bu iki devre biçiminden herhangi birini seçip kullanabilir.

Yukarıda sözü edilen devreler, ideal transformatörler yok edilmeden kullanılamazlar. Bu işlem ise iki türlü gerçekleştirilebilir:

1- Çıkış kapısındaki ideal transformatörü çıkarıp, filtreyi $R_2 = n^2 \cdot R_1$ değerinde bir dirençle sonlandırarak (burada "n", ideal transformatörün ilgili yöndeki sınırlar oranıdır).

Bu durumda kullanılan filtrenin R1 ve R2 dirençleri genellikle eşit olmazlar. Ayrıca, geçen bandta, ideal transformatörle elde edilen zayıflamaya -ki istenilen zayıflama budur— sabit bir zayıflama eklenmiş olur. Bu istenmeyen bir durumdur.

Bu sakıncalardan ötürü bu yöntem, ancak aşağıdaki 2 halinde açıklanan yöntemin bir çözüm getiremediği durumlarda benimsenir.

2- İdeal transformatörü NORTON dönüşümüyle yok ederek.

Kapasite elemanları yardımıyla yapılan bu dönüşüm (8), devrenin topolojisine, eleman değerlerine ve ideal transformatörün sınırlar oranına bağlı olarak her zaman gerçekleştirilemeyebilir.

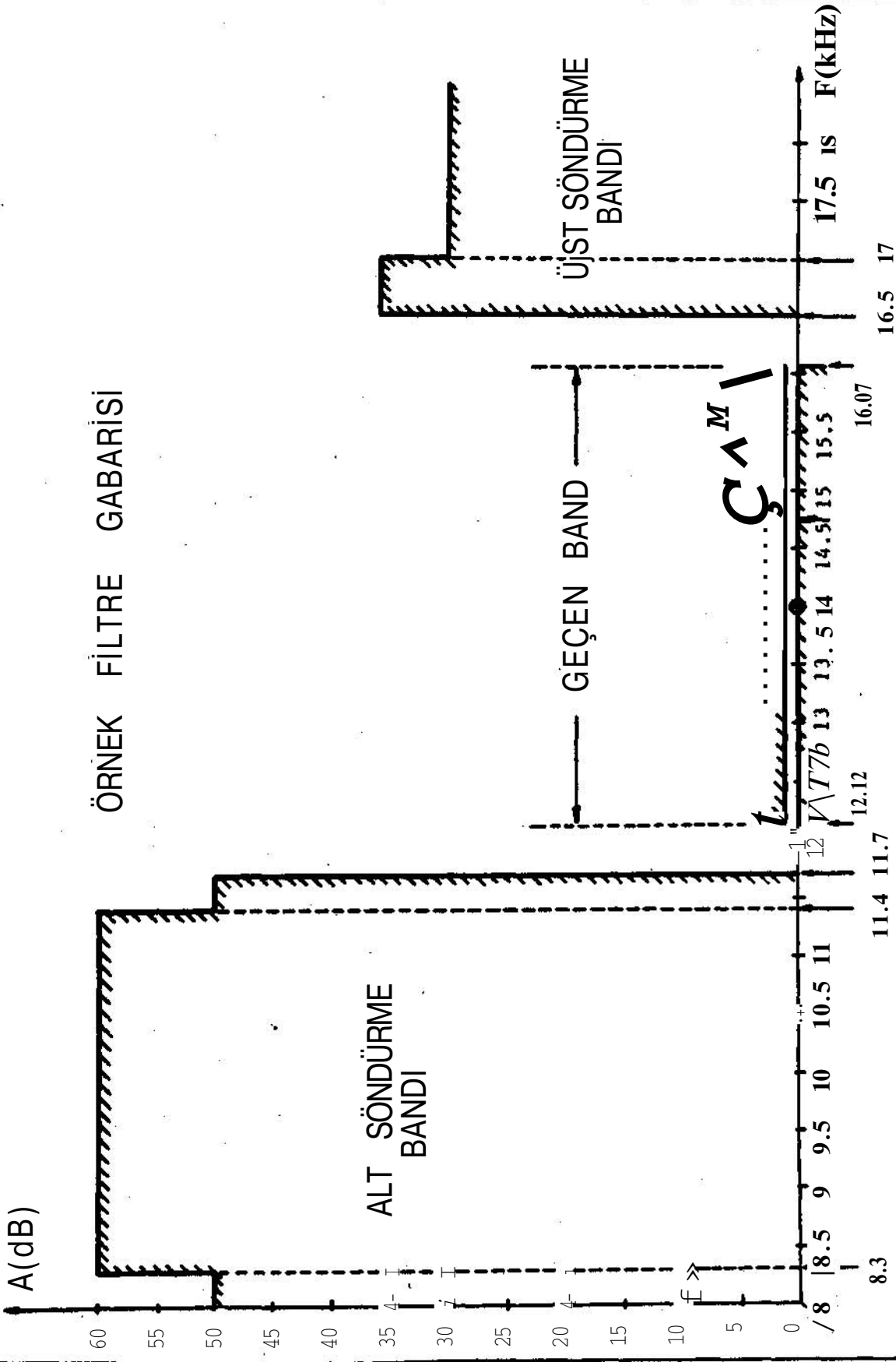
Verilen zayıflama karakteristiğini (gabari) karşılayan doğru ve ters yönde olmak üzere iki devre biçiminin bulunduğu önceden açıklanmıştır. Norton dönüşümü, bu her iki yöndeki devre üzerinde denir. Bu uygulama sonucunda dönüşüm, bir yöndeki devre için gerçekleştirileceği gibi her iki yönde de başarısız olabilir.

Herhangi bir yönde çözüm bulunduğu takdirde, elde edilen devrenin sonlandırma dirençleri eşit olur ($R_2 = R_1$). Ancak, devrenin toplam kapasite elemanı sayısı bir artmıştır.

Devre biçimi böylece belirlendikten sonra, filtrenin kayıplı durumda analizi yapılır. Bu amaçla, filtrenin çalışacağı frekans bandı gözönünde bulundurularak endüktans ve kapasite elemanları için birer ortak Q değeri atanır (genellikle, kapasite elemanlarının ideal oldukları varsayılabilir). Ortak Q değeri, genellikle geçen bandın ortası için seçilir ve frekansa göre doğrusal biçimde değiştirilirse ayılır.

Analiz sonucunda, geçen band'ta elde edilen dalgalanma miktarı, kayıplardan ötürü genellikle istenilenden daha büyüktür. Optimizasyon programı bu aşamada devreye girerek geçen band'taki en büyük dalgalanma miktarını minimize eder. Kullanılan Optimizasyon yöntemi, kutupların sayısını ve buldukları frekansları aynı değerde tutarken filtrenin yalnız eleman değerlerini değiştirir (9). Optimizasyon sürecinde ayrıca, zayıflama fonksiyonunun bağımsız elemanlara göre duyarlılık (sensitivity) analizi de yapılmaktadır.

ÖRNEK FİLTRE GABARISI



Şekil .1

Kompüter yönünden bu aşamada filtre tasarımı yapılmıştır. Şimdi bu filtrenin laboratuvar prototipinin gerçekleştirilmesine geçilir. Burada, kapasite elemanlarının teorik değerlerine en yakın olan standart değerlerin seçilmesi sözkonusudur. Bu amaçla, çok hassas kapasite değerlerinin seçilmesi gerekebilir (örneğin, E-48 serisinden). Kapasite elemanlarının değerleri böylece belirlendikten sonra, önceden bilinen kutup frekanslarından giderek, endüktans elemanlarının değerleri yeniden hesaplanır. Bu değerlerle son bir analiz daha yapılır ve filtrenin nihai karakteristiği böylece ortaya çıkar.

1.3. Filtre Tasarımına İlişkin Program Girdi ve Çıktıları

1.3.1. Program Girdileri

En genel durumda, band-geçiren bir filtrenin tasarımı problemi ele alınacak olursa, bu amaçla MAEEOO pilot programına okutulacak başlıca bilgiler şunlar olmaktadır:

- a) Tasarım yapılacak filtrenin gabarisi
Filtre tasarımında kullanılan "gabarisi" sözcüğüyle,
- filtrenin geçen-band sınırları
- alt ve üst söndürme bandlarının sınırları ve bu sınırlara karşı düşen zayıflama değerleri (söndürme bandları basamak biçiminde ise, bu basamakları sınırlandıran frekanslar ve bunlara ilişkin zayıflama değerleri)
- Geçen-band'ta zayıflama için tanınan en büyük dalgalanma miktarının sınırı anlatılmaktadır.

Şekil - 1'de örnek olarak ele alınacak filtrenin gabarisi verilmiştir.

- b) Filtrenin girişine bağlanacak seri direncin (besleme direnci) değeri
c) Filtrenin optimizasyonu için gerekli parametrelere verilecek değerler
d) Analiz isteniyorsa, filtrenin tasarımı yapıldıktan sonra hangi büyüklüğün ya da büyüklüklerin frekansa göre değişiminin istendiği, frekans bölgesi ve tarama adımı.
e) Frekansa bağlı olarak hesaplanan büyüklüğe ilişkin grafiğin çizimi isteniyorsa, bu iş için gerekli komutlar.

1.3.2. Program Çıktıları

Tasarımlanan filtrenin program çıktıları ise şöyle olacaktır :

- 1- Norton dönüşümünden önceki ve her iki yönde tasarımı yapılan filtrenin eleman değerlerini veren tablo.
- 2- Yine Norton dönüşümünden önceki filtrenin her iki yöndeki devre şemaları
- 3- Norton dönüşümü uygulanabiliyorsa, filtrenin her iki yöndeki (ya da yalnız bir yönündeki) eleman değerleri ve ilgili devre şemaları (ya da şeması).

4- Seçilen bir yönde, elemanların optimize edilmiş değerleri

5- Analiz istenmişse, incelenmesi istenen büyüklüğün (ya da büyüklüklerin) frekansa göre aldığı değerler tablosu

6- Çizim istenmişse, incelenen büyüklüğün frekansa göre değişimini gösteren eğri.

1.4. Bir Örnek

Şekil - 1'de verilen garabiye uygun, band-geçiren bir Kanal Transfer Filtresinin (PTT) tasarımı istenmektedir.

1.4.1. örnek Filtreye ilişkin Veriler

a) Söndürme bandları sınırları ve bunlara karşı düşen zayıflamalar

+ Alt söndürme bandı

$$f < 8300 \text{ Hz} : a_{\min} \geq 50 \text{ dB}$$

$$8300 \leq f < 11400 \text{ Hz} : a_{\min} \geq 60 \text{ dB}$$

$$11400 \leq f < 11700 \text{ Hz} : a_{\min} \geq 50 \text{ dB}$$

+ Üst söndürme bandı

$$16600 \leq f < 17000 \text{ Hz} : a_{\min} \geq 36 \text{ dB}$$

$$f > 17000 \text{ Hz} : a_{\min} \geq 30 \text{ dB}$$

b) Geçen band koşulları

+ Geçen band alt ve üst kesim frekansları

$$f_1 = 12120 \text{ Hz}, \quad f_2 = 16070 \text{ Hz}$$

+ Geçen band'taki dalgalanma miktarı

$$a_{\max} - a_{\min} < 1 \text{ dB}$$

c) Filtrenin sonlandırma dirençleri

+ Besleme direnci : $R_1 = 600 \Omega$

+ Yük direnci : $R_2 = 600 \Omega$

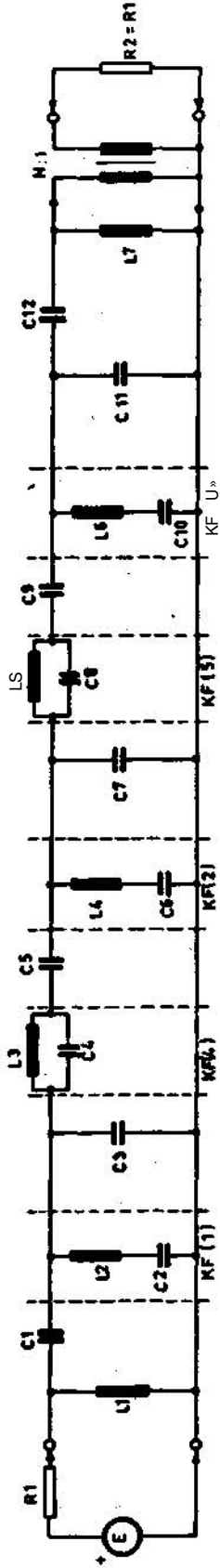
d) Kayıplar

Kapasite elemanları kayıpsız varsayılacak, bütün endüktans elemanlarına ise filtrenin yaklaşık orta frekansı olan $F_0 = 14000 \text{ Hz}$ 'de $Q = 300$ değeri verilecektir.

1.4.2. Program Çıktıları

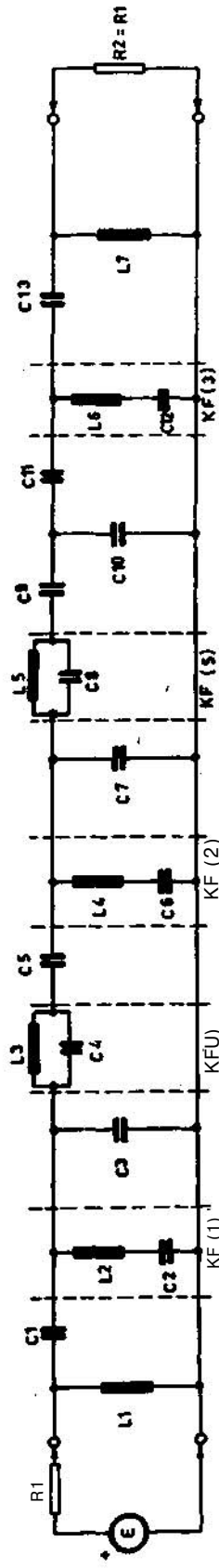
Yukarıda belirtilen bilgiler MAEEOO programına okutulmadan önce ideal (kayıpsız) durumda geçen band'taki en büyük dalgalanma miktarına verilecek değerlerin belir-

NORTON DÖNÜŞÜMÜNDEN ÖNCEKİ DEVRE BİÇİMİ



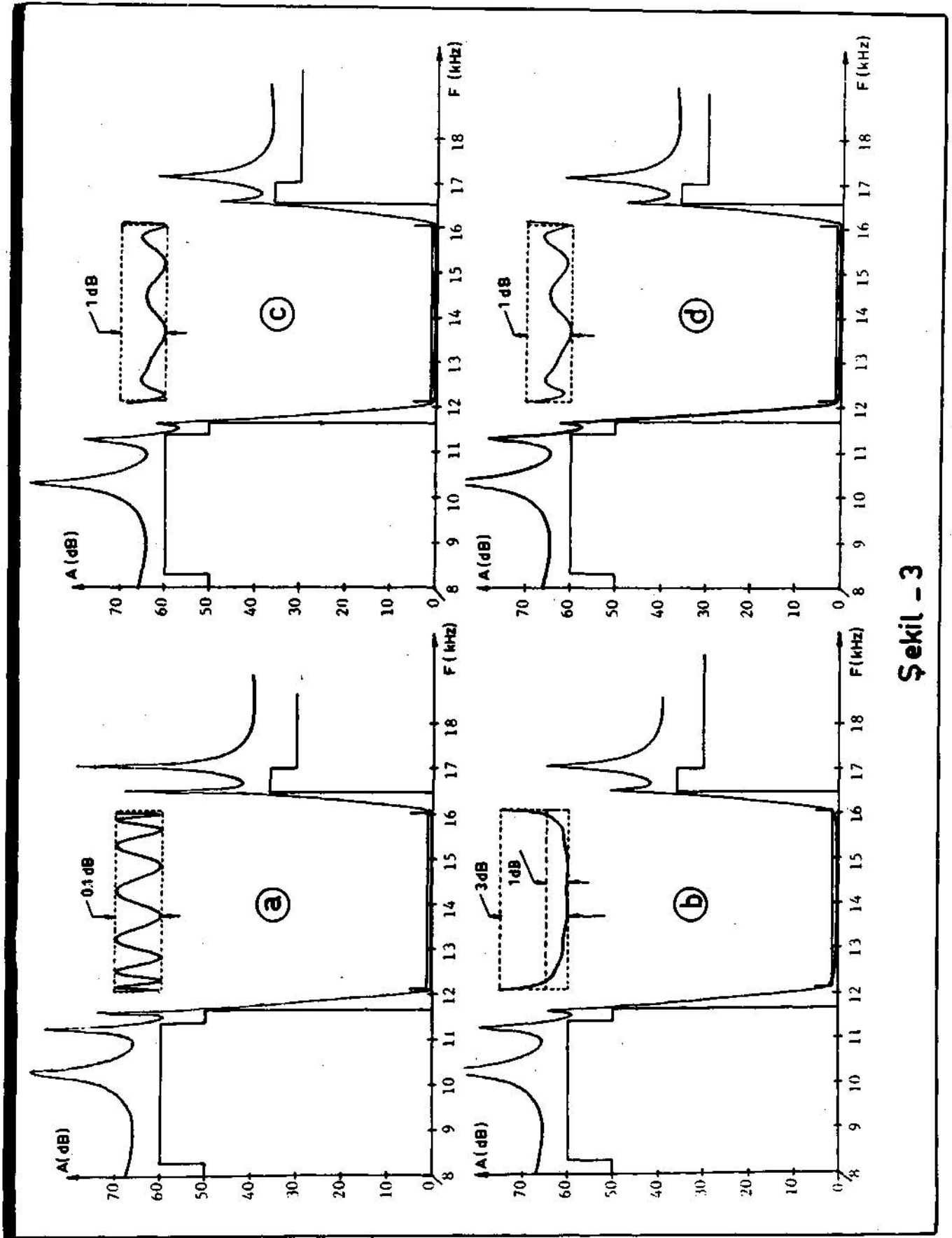
Sekil-2 (a)

NORTON DÖNÜŞÜMÜNDEN SONRAKİ DEVRE BİÇİMİ



NOT: : ENDUKTANS ELEMANI
 : DIRENÇ

Şekil-2 (b)



Şekil - 3

lenmesi gerekir. Deneyler göstermiştir ki, kayıpsız durumda a_{max} 'a verilen değer, kayıplı durumda yaklaşık 10 katına yükselmektedir. Dolayısıyla örneğimizde, kayıplı durumda a_{max} için en çok 1 dB istenildiğine göre, kayıpsız durumda filtreyi $a_{max} = 0.1$ dB olarak tasarlamamız gerekecektir.

Bu verilere dayanılarak çalıştırılan MAEE00 → 11 program paketiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

a) Tasarımlanan filtre 14. dereceden simetrik bir filtre olup, 7 endüktans elemanı, 12 kapasite elemanı ve 1 ideal transformatörü içermektedir [Şekil - 2 (a)]. İstenilen karakteristiği karşılamak için, 5 sonlu kutup, sıfır frekansta 3 yarım-kutup, sonsuz frekansta ise 1 yarım-kutup gerekmiştir. Program tarafından bulunan sonlu kutupların frekansları aşağıdaki gibidir :

KF (1) = 10332.51 Hz, KF (2) = 11286.22 Hz,
KF (3) = 11658.25 Hz, KF (4) = 16546.86 Hz,
KF (5) = 17095.20 Hz.

b) Norton Dönüşümüyle ideal transformatör yok edilmiş, buna karşılık kapasite elemanı sayısı 13 olmuştur [Şekil-2 (b)].

c) Filtrenin kayıpsız durumda analizi yapılmış ve bu duruma ilişkin karakteristik eğri çizdirilmiştir [Şekil-3 (a)].

d) Kayıplı durumda analizi yapılan filtrenin karakteristik eğrisi çizdirilmiş ve geçen band koşullarının sağlanmadığı görülmüştür: kesim frekanslarında dalgalanma miktarı yaklaşık 3 dB'yi bulmaktadır [Şekil-3 (b)]. Kayıplardan ötürü, zayıflama karakteristiğine 0.42 dB değerinde sabit bir zayıflama (flat-loss) eklenmiştir (A_0).

e) Yukarıda elde edilen filtrenin geçen band koşullarını sağlayabilmek için optimizasyon programı devreye sokulmuş ve en çok 0.65 dB değerinde bir dalgalanma miktarı elde edilebilmiştir [Şekil-3 (c)]. Ancak, sabit zayıflama miktarı 2.02 dB'ye yükselmiştir.

f) Filtrenin laboratuvar prototipini gerçekleştirebilmek için kapasite eleman değerleri, E-48 serisinden hassas kondansatörler kullanılarak standart değerlerine uyduurulmuş ve rezonatörlerdeki endüktans eleman değerleri aynı kutup frekanslarını verecek biçimde yeniden hesaplanmıştır. Böylece elde edilen filtrenin analizi tekrar yapılmış [Şekil-3 (d)] ve geçen band'taki en büyük dalgalanma miktarının yaklaşık 0.7 dB, sabit zayıflama miktarının ise 1.93 dB'ye düştüğü görülmüştür.

Norton dönüşümünden sonraki çeşitli aşamalarda, filtrenin eleman değerlerini, geçen band'taki en büyük dalgalanma miktarını ve sabit zayıflama değerini veren özet tablo Şekil-4'te verilmiştir. Laboratuvar prototipi için kullanılacak endüktans elemanlarını tabloda belirtilen hassas değerlerde sardırarak genellikle mümkün olamayacağından, verilen değere en yakın bir değerde ayarlı bo-

binler sarılır ve daha sonra bunlar belirtilen standart kapasite değerleriyle kutup frekanslarında rezonansa gelecek biçimde ayarlanırlar.

Sonuç olarak, ortaya çıkan bu filtre, kullanıcının belirttiği koşullara (Şekil-1) uygun olarak tasarlanmış bulunmaktadır.

NOT : Verilen bütün devre biçimleri ve eğriler, ilgili Şekillerde belirtilen biçimde kompüter tarafından çizdirilmiştir. Ancak, kontrast yönünden baskıya elverişli olmadıklarından, aydinger üzerinde, devre biçimlerinin kopyaları çıkarılmış, eğriler ise, Hewlett-Packard çizici ünitesinde yeniden çizdirilmiştir.

2. GECİKTİRME -DENGELEYİCİ DEVRE TASARIMI

2.1. Genel Açıklama

Sisteme fazladan bir gecikme getirerek, sistemin toplam gecikmesini sabit bir değere yaklaştıran devrelere, Geciktirme-Dengeleyici devreler denilmektedir.

Faz ya da gecikme bozulmasını düzeltmek için genellikle tüm-geçiren (all-pass) devreler kullanılmaktadır. Amaç, kaskat bağlı M tane birinci, N tane ikinci dereceden tüm-geçiren hücrelerden en az sayılarda kullanarak, istenilen bir gecikme karakteristiğini, verilen hata sınırları içinde, gerçekleştirmektir (10).

Tüm-geçiren devrenin gecikme ifadesi, her bir hücreye ilişkin gecikme ifadelerinin toplamı alınarak bulunan bir rasyonel fonksiyondur. Problem, rasyonel fonksiyonlarla herhangi bir fonksiyona yaklaşımı temel alan iteratif bir algoritmanın (rasyonel Chebyshev yaklaşımı) programlanmasıyla çözümlenmiştir (11).

Algoritmanın adımları şunlardır :

1 - Verilen eğriyi $M + 2N + 1$ noktada kesen herhangi bir gecikme eğrisi bulmak (Bu eğrinin dalgalanma genlikleri birbirlerine eşit değildir.)

2- İki eğrinin kesişme frekanslarını iteratif biçimde kaydırarak, (1)'i tekrarlamak.

3- Eşit-dalgacık bir eğri elde edinceye dek (1) ve (2)'yi iç içe tekrarlamak. Elde edilen çözüm eğrisi-özel bazı durumlar dışında, verilen eğriyi en az $(M + 2N + 1)$ noktada esen eşit-dalgacık (equal-ripple) bir eğridir.

Belirli M ve N sayıları için elde edilebilecek eşit dalgalanma genliği belirli bir sınır değerinden küçük yapılamaz. Bu genlik daha da küçültülmek istenilirse kullanılan hücre sayısını artırmak gerekir.

M ve N nin okutulan değerleri için bulunan eğrinin maksimum dalgalanma genliği, kullanıcının belirlediği sınırın altında değilse, program otomatik olarak M ya da N yi artırarak yeni bir çözüm bulur. Dalgalanma genliği iste-

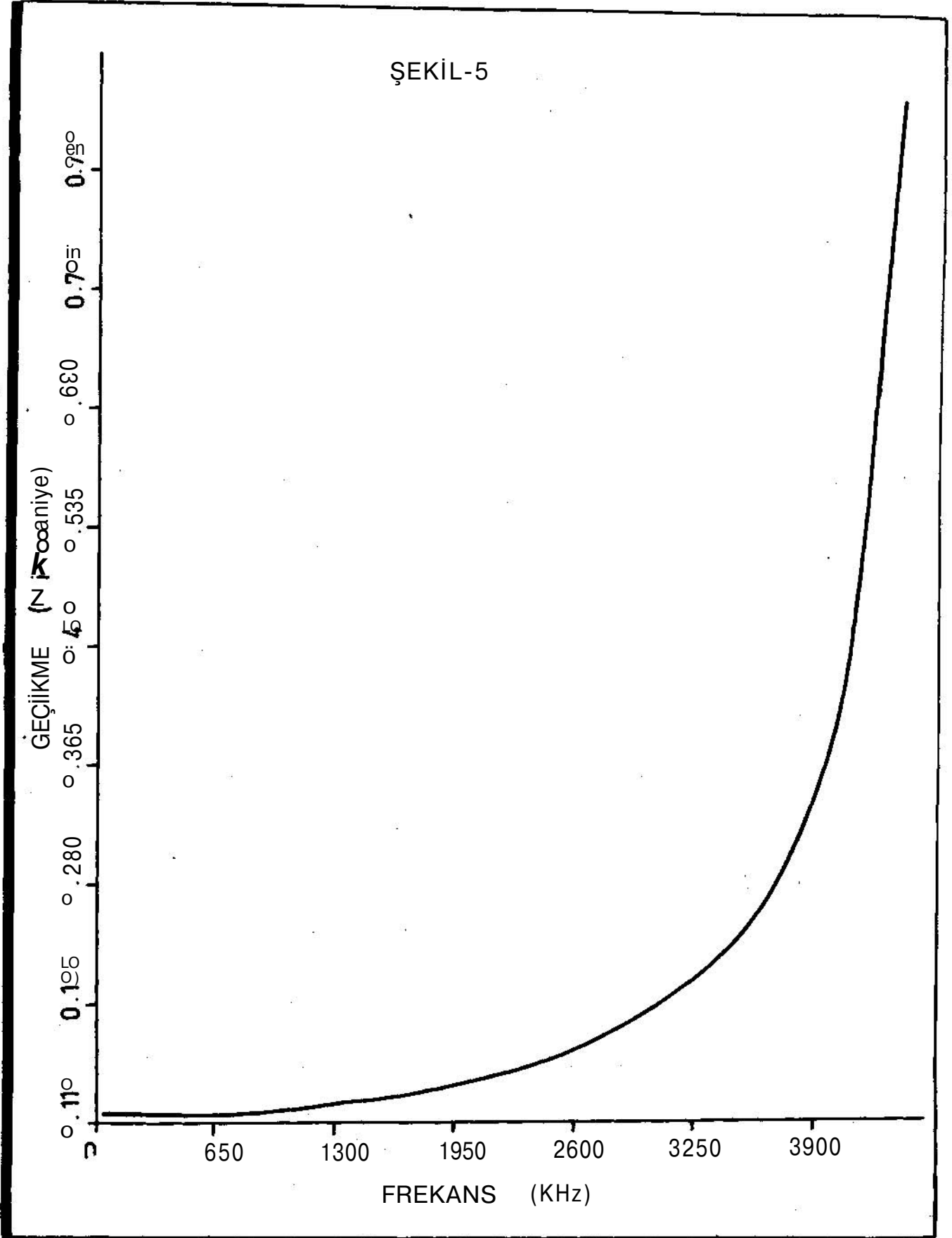
ÖRNEK FİLTRENİN ELEMAN DEĞERLERİ
VE BAZI ÖZELLİKLERİ

ELEMAN [Şekil-2(b)]	OPTİMİZASYON ÖNCESİ [Şekil-3(a) ve (b)]	OPTİMİZASYONDAN SONRA [Şekil-3(c)]	LABORATUAR PROTOTİPİ [Şekil-3(d)]
R1	600 fi	600 fi	600 fi
R2	600 fi	600 fi	600 fi
L1	1.616 381 742 E-3	1.634 717 100 E-3	1.634 717 E-3
L2	3.986 426 225 E-4	4.183 226 964 E-4	4.169 810 E-4
L3	9.398 513 183 E-5	1.129 220 264 E-4	1.128 224 E-4
L4	6.623 348 529 E-4	5.284 446 633 E-4	5.317 061 E-4
L5	1.778 1*74 936 E-4	2.293 513 262 E-4	2.286 929 E-4
L6	1.630 433 969 E-3	1.435 830 487 E-3	1.433 607 E-3
L7	1.616 381 742 E-3	1.511 409 882 E-3	1.511 410 E-3
C1	8.932 233 754 E-8	8.660 328 519 E-8	8.66 E-8
C2	5.951 747 296 E-7	5.671 751 133 E-7	5.69 E-7
C3	6.532 554 798 E-7	6.813 757 288 E-7	6.81 E-7
C4	9.843 513 502 E-7	8.192 763 445 E-7	8.20 E-7
C5	2.591 604 765 E-7	2.506 813 210 E-7	2.49 E-7
C6	3.002 377 485 E-7	3.763 082 361 E-7	3.74 E-7
C7	5.112 779 312 E-7	5.013 811 255 E-7	4.99 E-7
C8	4.874 359 125 E-7	3.779 119 590 E-7	3.79 E-7
C9	2.525 727 671 E-7	2.623 141 024 E-7	2.61 E-7
C10	4.114 235 666 E-7	3.526 083 290 E-7	3.52 E-7
C11	3.570 450 067 E-6	4.064 003 126 E-6	4.07 E-6
C12	1.143 063 999 E-7	1.297 987 065 E-7	1.30 E-7
C13	9.692 991 347 E-8	1.026 073 048 E-7	1.02 E-7
a_{max}	~ 3.0	0.65	- 0.7
A_o	0.42	2.02	1.93

Şekil-4.

Not : Dirençler "OHM", Endüktans elemanları "HENRY", Kapasite elemanları "FARAD", Zayıflamalar ise "dB" cinsindedir.

ŞEKİL-5



nilen değerden küçük olduğunda, bulunan M, N değerleri ile herbir hücreye ilişkin eleman değerleri yazılır.

2.2. Program Girdileri :

Kullanıcının belirleyeceği büyüklükler aşağıda verilmiştir.

a- Geciktirme-dengeleyici karakteristiğinin frekans bandı: FMIN : alt sınır, FMAX : üst sınır (Hertz olarak)

b- İzin verilen en büyük dalgalanma genliği (saniye olarak)

c- İstenen gecikme-frekans karakteristiğini belirlemek üzere seçilen yeterli sıklıktaki noktaların sayısı ve bu noktalara karşı düşen frekans (Hertz) ve gecikme (saniye) değerleri.

NOT : Şekil-5'te çıkışı düzeltilecek filtrenin gecikme eğrisi, Şekil-6'da ise bozuk olan bu çıkışı düzeltmek için, filtreye kaskat bağlanacak olan geciktirme-dengeleyici devrenin sağlanması gereken gecikme eğrisi gösterilmiştir. Programa veri olarak ikinci eğri verilecektir!

d- Sonlandırma direnci (Ohm olarak)

e- Birinci ve ikinci dereceden hücre sayıları için yaklaşık değerler.

2.3. Program Çıktıları

Pratikte geciktirme-dengeleyici karakteristiğinin eşit-dalgacıklı olması gerekmez, önemli olan, en büyük genliğin verilen sınırın üstüne çıkmamasıdır. Bu nedenle, programa 3 ayrı çıkış konulmuştur:

1- 2.1 de açıklanan (1) ve (2) iterasyon adımlarının eşit-dalgacıklı bir eğri elde edilinceye dek iç içe tekrarlanması ve bulunan çözümün yazdırılması,

2- Eşit-dalgacıklı olmayan fakat en büyük genliği kullanıcının verdiği üst sınır içinde kalan çözümün yazdırılması.

3- Hata çıkışı : Maksimum iterasyon sayısı için yakınsama olmaması halinde hata mesajının yazdırılması.

(1) ve (2) normal çıkış durumlarında birinci ve ikinci dereceden tüm geçiren hücrelerin sayıları, eleman değerleri (L ve C) ile maksimum hata yağıdırılmaktadır.

2.4. Kompüterle Geciktirme-Dengeleyici Devre Tasarımı İçin Bir örnek

2.4.1. Genel Açıklama

8448 Mbit/sn hızında duobinary kodlanmış sayısal bir dizinin, Nyquist frekans bandı içinde iletimini gerçekleştirmek üzere, 4.224 MHz kesim frekanslı bir "ideal" alçak geçiren filtreye yaklaşılmaya çalışılmıştır.

Bu "ideal" filtrenin

a- Keskin düşüyle genlik eğimi

b- Band içinde doğrusal faz karakteristiği (sabit gecikme karakteristiği) özelliklerini sağlaması istenmektedir.

1. Bölümde açıklanan sentez programıyla yalnızca (a) koşulunu sağlayan alçak geçiren filtre (A.G.F) tasarımılanmakta ve analiz programı yardımıyla gecikme-frekans karakteristiği çizdirilmektedir [Şekil-5]. Görüldüğü gibi, 0-4.224 MHz bandı içinde gecikme değerleri sabit değildir.

Band içinde sabit bir gecikme karakteristiği elde etmek için, tasarımılanan alçak geçiren filtreye, tüm geçiren bir geciktirme-dengeleyici devre (G.D.D) kaskad bağlanacaktır.

2.4.2. Geciktirme-Dengeleyici Devrenin Program Girdileri

a- Frekans bandı :

$$F_{MIN} = 0 \text{ (Hz)}, F_{MAX} = 4.224 \times 10^6 \text{ HZ}$$

b- Maksimum dalgalanma genliğinin ≈ 15 nanosaniye olması istenmektedir. Gerçekleştirilecek olan karakteristiğin eşit dalgacıklı olması gerekliliği yoktur.

c- Dengeleyici devre ile alçak geçiren filtrenin gecikme karakteristiklerinin toplamının sabit olması istenmektedir.

Filtrenin gecikme karakteristiğinin [Şekil-5], band içinde aldığı maksimum değerden daha büyük bir değer, örneğin 0.9 jnsn seçilir. Sonra yeterli sıklıkta seçilen noktalardaki gecikme değerleri bu sabit değerden çıkartılır. Elde edilen yeni değerler geciktirme-dengeleyici devrenin sağlanması gereken karakteristiği belirlerler [Şekil-6] ve programa veri olarak okutulurlar.

d- Sonlandırma direnci 100 Ohm alınacaktır.

e- Geciktirme-dengeleyici devrenin minimum sayıda elemanla gerçekleştirilmesi istenmektedir.

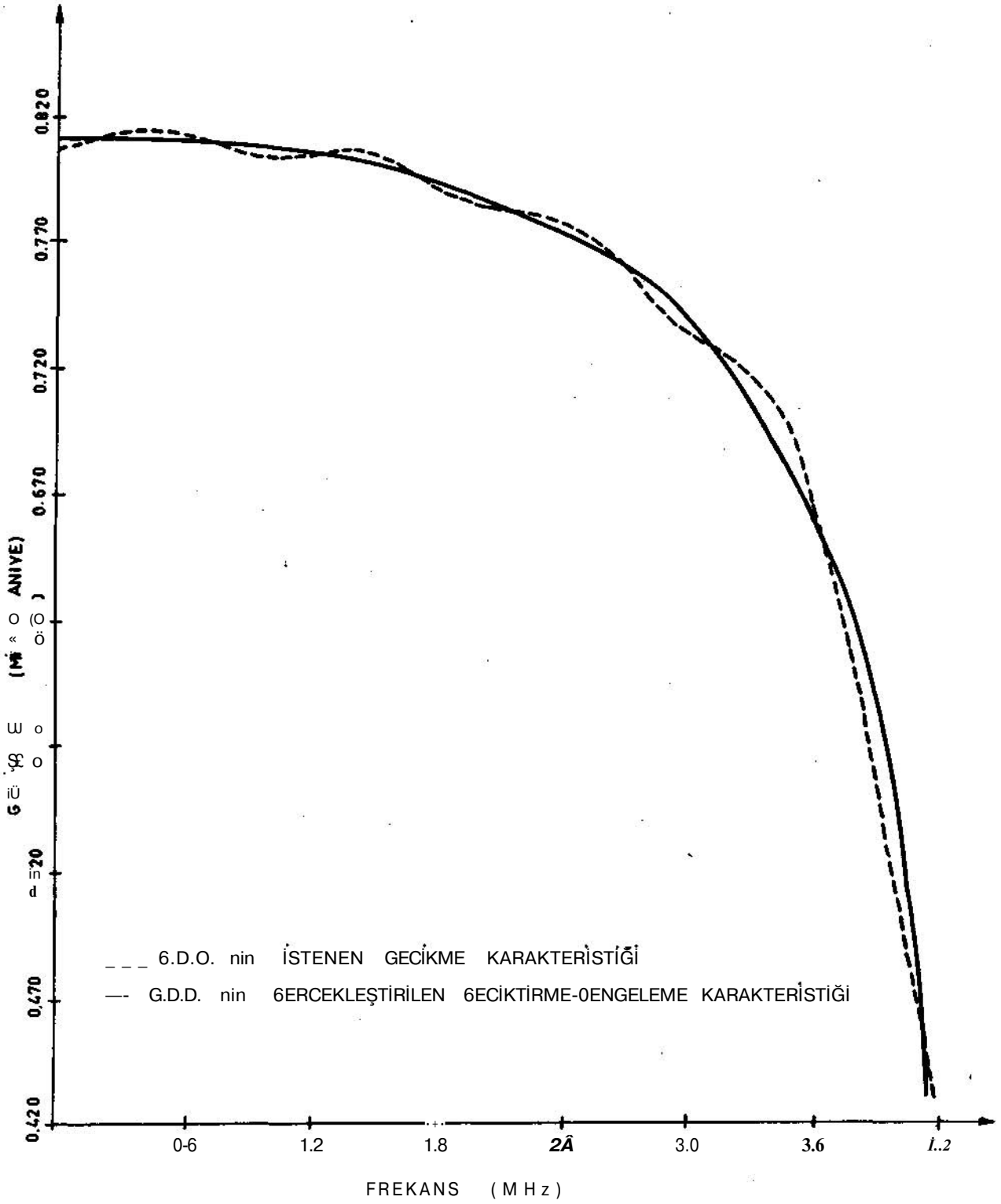
2.4.3. Geciktirme-Dengeleyici Devrenin Program Çıktıları

i) İstenilen karakteristiğin 3 tane ikinci dereceden hücre ile gerçekleştirilmesine çalışılmıştır. M = 0, N = 3 verilerek program kullanıldığında, elde edilen karakteristiğin istenilen koşulları sağlamadığı gözlenmiştir.

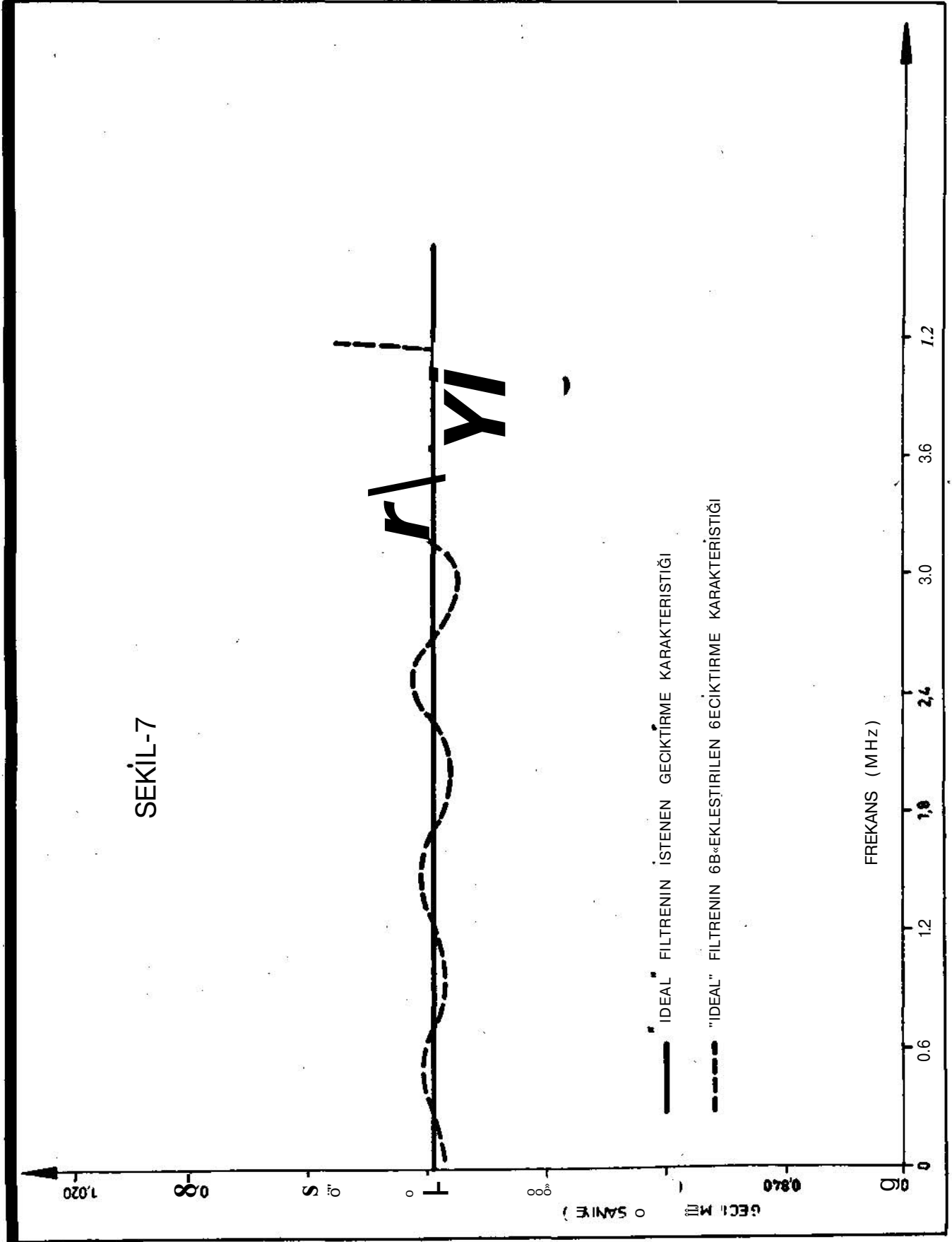
ii) Hücre sayısı 1 arttırılarak M = 0, N = 4 için program kullanılmış ve Şekil-6'daki karakteristik elde edilmiştir. Burada dalgalanma genlikleri 0-3.4 MHz bandında ≈ 2.3 ile ≈ 12 nanosaniye, bandın üst sınırında ise ≈ 39 nanosaniye mertebesindedir.

0-4.224 MHz frekans bandında iletilecek işaret, "Modified-duobinary" kodlanmış [Şekil 8a] ise, bandın üst sınırındaki ≈ 39 nanosaniyelik hatanın bozucu etkisinin çok küçük olduğu görülmüştür.

ŞEKİL.6



SEKİL-7

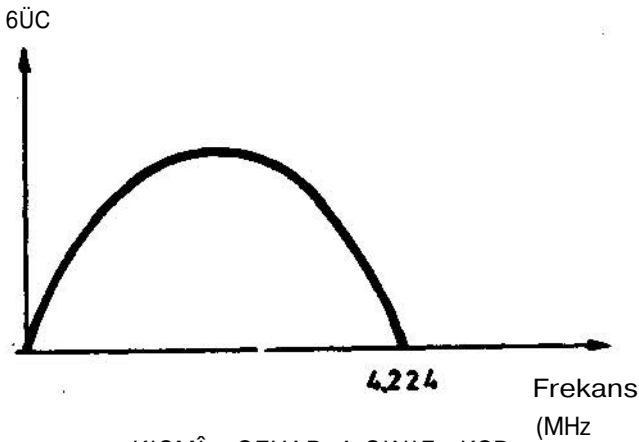


Aynı bandta iletilecek işaret "iki kutuplu kod" la kodlanmış [Şekil-8b] ise, 4.224 MHz civarındaki hatanın bozucu etkisinin büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda hücre sayısını daha da arttırarak 4.224 MHz civarındaki hatayı oldukça küçük yapmak gerekmektedir.

Sonuç olarak, tasarımı yapılan alçak geçiren filtreye, 4 hücreli tüm-geçiren devrenin kaskat bağlanmasıyla elde edilen devre, 1. tür işaretin [Şekil-8a] iletiminde kullanılacak "ideal" filtre özelliklerini taşımaktadır. Yaklaşılacak "ideal" filtrenin gecikme-frekans karakteristiği Şekil -7'de gösterilmiştir.

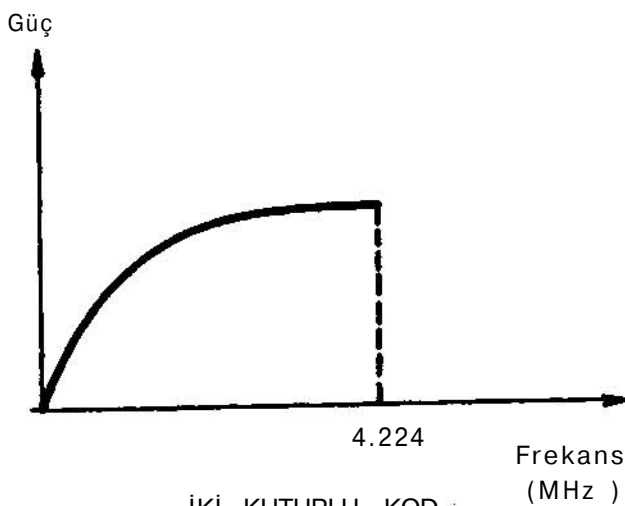
Programın çalışmasında, herbir hücreye ilişkin eleman değerleri yazdırılmaktadır.

ŞEKİL-8a



KISMÎ CEVAP_4.SINIF KOD
{ MODIFIED DUOBINARY CODE }

ŞEKİL - 8 b



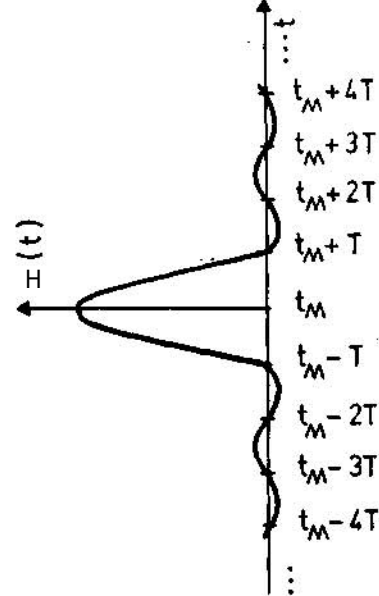
İKİ KUTUPLU KOD
(BIPOLAR CODE)

3. KOMPÜTER YARDIMIYLA İDEAL KANAL İÇİN DARBE BİÇİMLENDİRME DEVRESİ TASARIMI

Bilgi iletim sistemlerinin tasarımında temel problemlerden biri de, simgeler-arası girişimi "intersymbol-interference" azaltmak için kullanılan Darbe Biçimlendirme Devrelerinin sentezidir. Bu bölümde, ideal bilgi iletim kanallarında kullanılacak olan analog darbe biçimlendirme devrelerinin tasarımı ve geliştirilen bilgisayar programı kısaca tanıtılmıştır (12).

3.1. Darbe Biçimlendirme Devrelerinin özellikleri

Girişlerine uygulanan herhangi bir darbeyi "Nyquist-Darbese"ne dönüştürerek (Şekil-9), simgeler arası girişimi azaltmaya yarayan devrelere Darbe Biçimlendirme Devreleri "Pulse-Shaping Networks" ya da Bilgi İletim Filtreleri "Data Transmission Filters" denilmektedir.



Çıkış işaretinin Nyquist darbese özelliklerini sağlamam için; T örnekleme hızı, t^* maksimum genliğin olduğu örnekleme anı, k pozitif tam sayı, C, J_c devrenin band genişliği olmak üzere, aşağıdaki özelliklerin sağlanması gerekmektedir (Şekil-10):

(a) Zaman-Domeni Koşulu

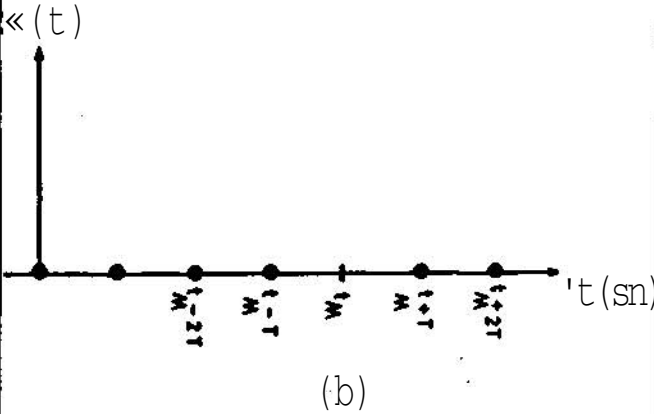
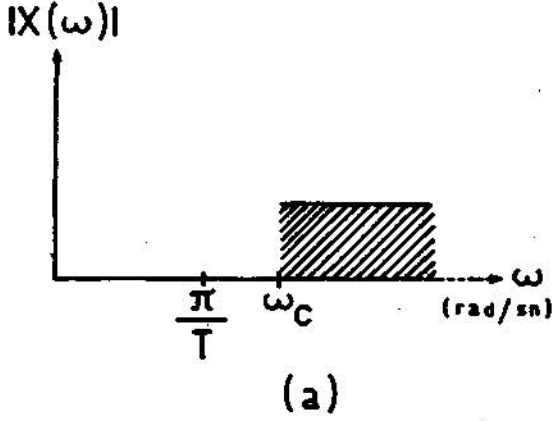
$$\begin{aligned} x(t_M) &= 1 & t > 0 \\ x(t_M + kT) &= 0 \\ x(t) &= 0 & t \leq 0 \end{aligned}$$

(b) Frekans-Domeni Koşulu

- $\omega_c = \frac{JL}{T}$ Ue tek bir çözüm vardır.
- $CJ_c < \frac{\pi}{T}$ ise hiç çözüm yoktur.

iii. $\omega_c > \frac{\pi}{T}$ ise birden fazla çözüm bulunabilir.

Burada ω_c için seçilebilecek minimum bir değer bulunduğu açıktır. Ayrıca kanal girişimi, gürültü gibi bazı nedenlerle, ω_c belli bir kesim frekansı ile üstten sınırlandırılmaktadır.



SEKİL-10: (a) Frekans Domeni Koşulu
(b) Zaman Domeni Koşulu.

İdeal bilgi iletim kanallarında kullanılan darbe biçimlendirme devreleri, girişlerine uygulanan dikdörtgen darbeyi Nyquist darbesine dönüştürürler. Amaç, yukardaki devreye ilişkin gerçekleştirilebilir rasyonel bir transfer fonksiyonu bulmak, başka bir deyişle yaklaşıklık problemini çözmektir (13).

3.2. Tasarım Yöntemi

(1) Transfer fonksiyonunun seçilmesi: Frekans domeni kriterlerinden bir tanesi, darbenin frekans spektrumunun

sınırlı bandlı olmasıdır. Minimum faz transfer fonksiyonunun sıfırları "Temes ve Gyi"nin kısıtlamalarını sağlayacak biçimde seçilirse (14), bu özellik kendiliğinden sağlanmaktadır. Diğer bir frekans domeni kriteri de, çıkışın Nyquist darbesi özelliklerini göstermesi için bunun fazının belli bir bölgede lineer olması zorunluluğudur. Yalnızca minimum faz transfer fonksiyonu ile bu son özelliği gerçekleştirmek olanaksızdır. Bu nedenle minimum faz transfer fonksiyonu, bir "tüm-geçiren" transfer fonksiyonu ile çarpılarak amaç devrenin transfer fonksiyonu oluşturulmaktadır.

(2) Zaman-domeni koşulunu sağlayan cevabı elde etmek için, frekans domeni kriterlerini sağlayacak biçimde seçilmiş olan yukardaki transfer fonksiyonunun kutupları, bilgisayar yardımıyla optimize edilmektedir. Yaklaşım probleminin çözümü için zaman domeninde oluşturulan hata fonksiyonu, Fletcher-Powell minimizasyon yöntemi ile (15) minimum yapılmakta ve istenilen çıkış darbesini, belirli hata sınırları içinde veren optimum kutup değerleri ve transfer fonksiyonu belirlenmektedir.

;3) Transfer fonksiyonundan devrenin sentezi yapılarak eleman değerleri hesaplanmaktadır.

3.3. Bir örnek

İdeal kanallarda, sigmeler arası girişimi minimuma indirmek için kullanılacak bir darbe biçimlendirme devresi tasarlanacaktır. Bu devre için aşağıdaki özelliklerin sağlanması istenmektedir:

Örnekleme hızı : $T = 5$ sn

$a: 0.5$ (%50 roll-off)

Nyquist frekansı : $\omega_N = \frac{\pi}{T} = 0.628$ rad/sn

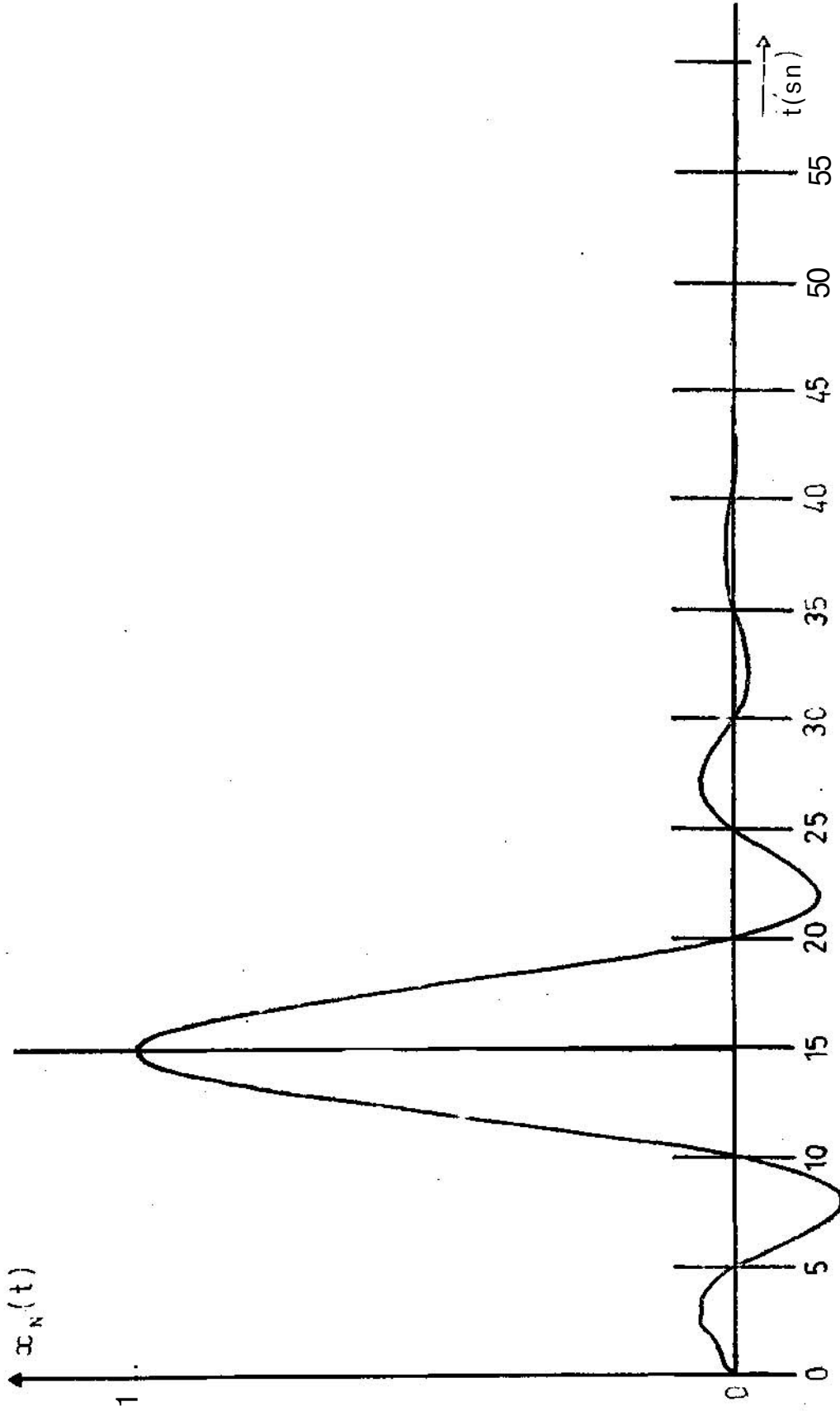
Band genişliği : $\omega_c = (1 + a) \omega_N = 0.942$ rad/sn

İletilen darbelerin süresi : $T_0 = 2.5$ sn

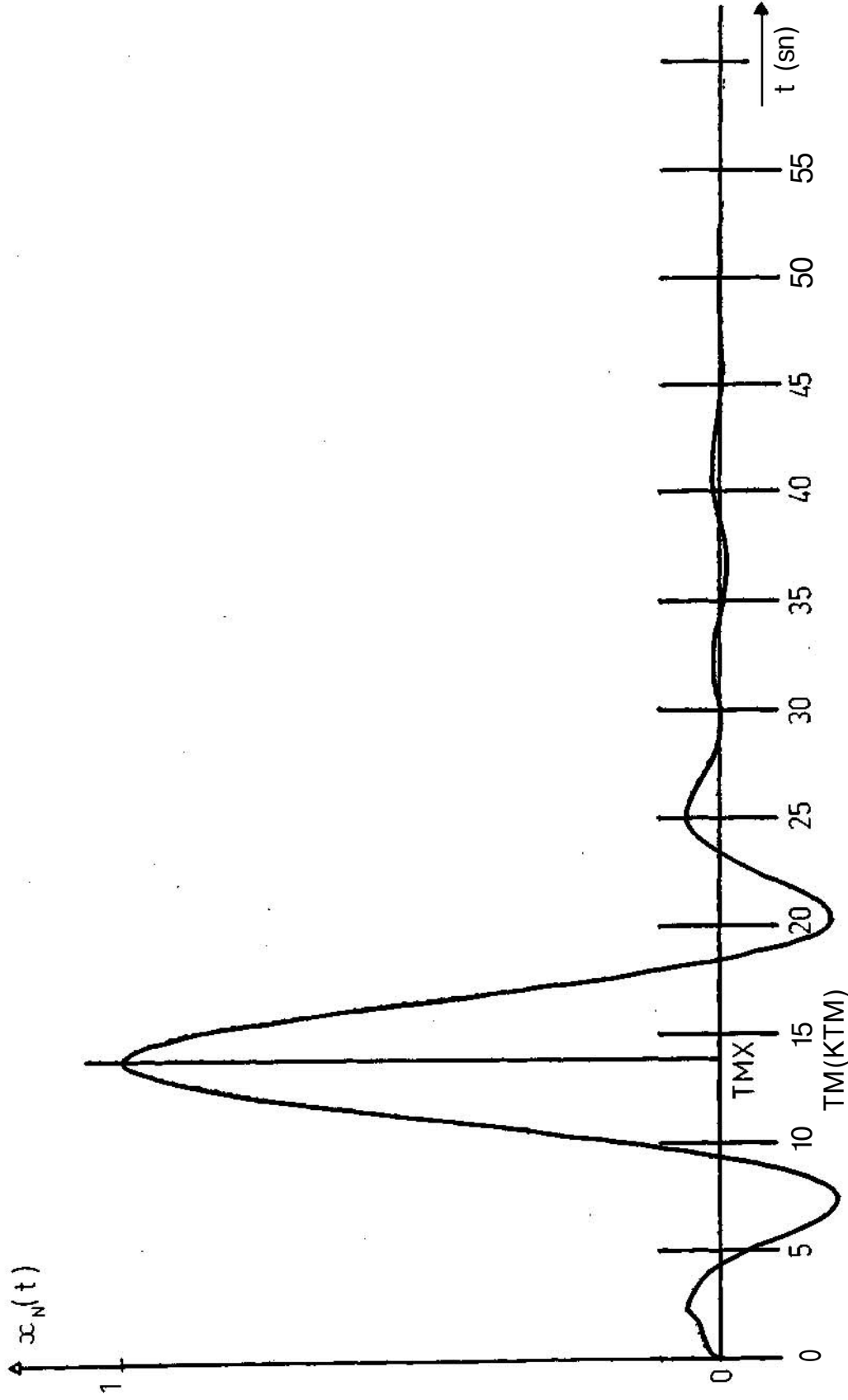
Söndürme bandındaki en büyük kazanç değeri : $K = 40$ dB

Simgeler arası girişim distorsiyonu : $WCDIST \leq 0.02$

Parametreler için seçilen gelişigüzel başlangıç değerlerinin belirlediği, 7. derece (5. derece min. faz filtresi + 2. derece tüm-geçiren filtre) darbe biçimlendirme devresine ilişkin çıkış darbesi Şekil-11'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, $x_N(t)$ işareti $t = 0, 5, 10, \dots$ ideal örnekleme anlarında sıfırdan farklı değerler almaktadır. Program, bu başlangıç değerlerinden hareket ederek, ideal örnekleme noktalarındaki mutlak hataların toplamından oluşan sigmeler arası girişim distorsiyonunu giderek azaltmakta ve $WCDIST < 0.02$ olduğunda durmaktadır. Parametreler için elde edilen, optimum değerlere ilişkin çıkış darbesi Şekil-12'de gösterilmiştir. Burada, bütün örnekleme an-

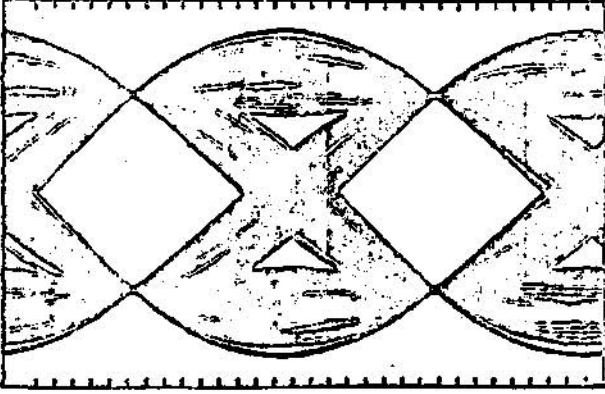


Şekil- 11. Parametreler için seçilen başlangıç değerlerinin belirlediği 7. derece darbe biçimlendirme devresinin, birim genlikli 2.5 sn süreli dikdörtgen darbe girişine verdiği cevap. (Örnekleme aralığı $T = 5$ sn.)



Şekil - 12. Optimum parametre değerleri ile belirlenen 7. derece darbe biçimlendirme devresinin, birim genlikli ve 2.5 sn süreli dikdörtgen darbe girişine verdiği cevap. (Örnekleme aralığı $T = 5$ sn).

tanrıdaki sıfır geçişler istenilen özelliktedir. Şekil -13'de, son şekle ilişkin göz diyagramı verilmiştir.



Şekil -13. Şekil -12'deki işarete ilişkin göz diyagramı.

SONUÇ :

Bölümümüzün Elektronik Bilgi İşlem Merkezi'nde kataloglanmış olan fritre ve geciktirme-dengeleyici devrelerin tasarım ve analizine ilişkin MAEEOO,-*• 11 ve MAEE25-26 program paketleri bugüne kadar burada yürütülen projelerin gereksinimini büyük ölçüde ve başarıyla karşılamıştır.

Hem program paketlerinin içerikleri yönünden, hem de kullanıcının bilgi girişini kolaylaştırmak açısından bu programlara yenilikler getirmek için devamlı olarak çaba sarf edilmektedir.

Bu konularda gereksinimi bulunan herhangi bir dış kuruluş (özel ya da kamu sektöründen) Enstitü'ye başvurarak, adı geçen devre türlerine ilişkin tasarım ya da analiz yaptırtmak üzere bu programlardan yararlanabilir.

REFERANSLAR

(1) ORCHARD.H.J. and TEMES.G.C, "Filter Design Using Transformed Variables"; IEEE Trans. on Circuit Theory, Vol. CT-15, Aralık 1968, sayfa 385-408.

- (2) BINGHAM, J.A.C., "A New Method of Solving the Accuracy Problem in Filter Design"; IEEE Trans. on Circuit Theory, Vol. CT-11, Eylül 1964, Sayfa 327-341.
- (3) HERRERO, J.L. - WILLONER, G., "Synthesis of Filters"; Sayfa 5-8, 44-45, 49; Prentice-Hall, Inc., 1966.
- (4) TOKAD, Y., "Foundations of Passive Electrical Network Synthesis"; Vol. 1, Sayfa 57, Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No. 41, ODTÜ, Ankara, 1972.
- (5) TÜYENİ, E., "Basamaklı Pasif RLC Devrelerin Hewlett-Packard Kalkülâtörüyle Analiz Programı"; TÜBİTAK-MAE., Elektronik Araş. Bölümü, Rapor No. UI-73/02, Nisan 1973.
- (6) ÇELEBİ, Y., "Basamaklı Pasif RLC Devrelerinin Fortran IV lisanı ile Analiz Programı"; TÜBİTAK-MAE., Elektronik Araş. Bölümü, Rapor No. UI-75/05, Şubat 1975.
- (7) TÜYENİ, E. - TOKAD, Y., "Merdiven Türü Pasif Devrelerde İç Düğüm Gerilimlerinin Davranışlarının İncelenmesi"; VII. Bilim Kongresi, Elektrik Sektörünü, 29 Eylül-3 Ekim 1980, Kuşadası, Aydın.
- (8) ZVEREV, A.I., "Handbook of Filter Synthesis"; Sayfa 530-535, John Wiley & Sons, Inc., 1967.
- (9) LASDON, L.S. - WAREN, A.D., "Optimal Design of Filters with Bounded, Lossy Elements"; IEEE Trans. on Circuit Theory, Vol. Ct-13, Haziran 1966, Sayfa 175-187.
- (10) CRANE, R.L., "All-pass Network Synthesis", IEEE Trans. on Circuit Theory, December 1968, Sayfa 474-478.
- (11) ALUÇ, T., "Geciktirme-Dengeleme Devrelerinin Kompüter Yardımıyla Tasarımı", ÜNİTE İÇİ RAPOR NO: 81/03, Eylül 1981.
- (12) ALUÇ, T., "İdeal Kanal için Darbe Biçimlendirme Devrelerinin Tasarımı", ÜNİTE İÇİ RAPOR NO: UI-81/02, Ağustos 1981.
- (13) SPAULDING, D.A., "Synthesis of Pulse-Shaping Networks in the Time Domain", Bell Syst. Tch. J., Vol. 48, (Sept. 1969), Sayfa 2425 -2444.
- (14) TEMES, G.C., GYI, M., "Design of Filters with Arbitrary Passband and Chebyshev Stopband Attenuation", 1967 IEEE Int. Conv. Digest, March 20-23, 1967, paper 23.1, Sayfa 184-185.
- (15) KUESTER, J.L.,-MIZE, J.H.;"Optimization Techniques with Fortran", 1973. Sayfa 355 -366.