

**DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ ELEKTRİKSEL
PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI VE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ FİLTRE TASARIMI**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

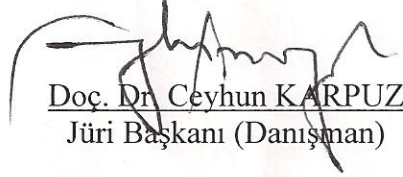
Mehmet URHAN


Danışman : Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ


**Temmuz, 2009
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Mehmet URHAN tarafından Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ yönetiminde hazırlanan **“Düzlemsel İletim Hatlarının Elektriksel Parametrelerinin Hesaplanması ve Bilgisayar Destekli Filtre Tasarımı”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ
Jüri Başkanı (Danışman)


Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT
Jüri Üyesi


Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZEK
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
12/08/2009 tarih ve 18/11... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Halil KARAHAN
Müdür

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince sađlamıő olduđu zgűr çalıőma ortamı ile deđerli bilgilerini ve desteđini hiçbir zaman benden esirgemeyen, tez danıőmanım ve deđerli hocam sayın Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ'a sonsuz teőekkűrlerimi sunuyorum.

Ayrıca yűksek lisans ve lisans öđrenimimde derslerini almıő olduđum çok deđerli hocalarıma teőekkűrlerimi bir borç biliyorum.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Mehmet URHAN

ÖZET

DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ FİLTRE TASARIMI

Urhan, Mehmet

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği A. B. D.

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ

Temmuz 2009, 135 Sayfa

Bu çalışmada düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanması ve mikrodalga filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla “*Quasi-Statik Analiz Metodu*” ve “*Araya Girme Kaybı Metodu*” kullanılarak *Visual C#.Net* ve *Borland Delphi* tabanlı yeni bir görsel paket program hazırlanmıştır.

Bölüm 1’de ilk olarak konu ile ilgili kısa bir tarihçe verilmiştir ve düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanması ve filtre tasarımı için mikrodalga literatüründeki mevcut metotlar ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Daha sonra bu metotlar içerisinden; yeni paket programın esaslarını oluşturmak için bir metot belirlenmiştir.

Bölüm 2’de düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin analizinde bir *Quasi-statik analiz* metodu olan “*Konform Dönüşüm Metodu*” kullanılarak yeni paket program için formülasyonlar toparlanmıştır.

Bölüm 3’de ilk olarak *Araya girme kaybı* metoduyla *Butterworth*, *Chebyshev* ve *Eliptik* karakteristikli frekans cevapları için prototip alçak geçiren filtre eleman değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra prototip alçak geçiren filtre eleman değerleri gerçek filtre eleman değerlerine dönüştürülmüştür.

Bölüm 4’de yeni paket program ayrıntılı bir biçimde tanıtılmıştır. Bölüm 5’de ise bu paket programın yazılım aşamasında kullanılan programlardan bahsedilmiştir. Son olarak Bölüm 6’da bu çalışmanın sonuçlarına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzlemsel İletim Hatları, Elektriksel Parametreler, Mikrodalga Filtre Tasarımı, Quasi-Statik Analiz Metodu, Araya Girme Kaybı Metodu.

Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ
Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZEK

ABSTRACT**COMPUTING ELECTRICAL PARAMETERS OF PLANAR TRANSMISSION LINES AND COMPUTER-AIDED FILTER DESIGN**

Urhan, Mehmet

M. Sc. Thesis in Electrical & Electronics Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ceyhun KARPUZ

July 2009, 135 Pages

In this study, microwave filter design and computing electrical parameters of planar transmission lines have been implemented. For this purpose, a new visual packet programme based on *Visual C#.Net* and *Borland Delphi* has been developed by using “*Quasi-Static Analysis Method*” and “*Insertion Loss Method*”.

In Section 1, a short history of the subject has been presented, and, current methods in microwave literature for computing electrical parameters of planar transmission lines and filter design have been examined in detail, first. Then, a method is determined out of these methods in order to produce the principles of the new packet programme.

In Section 2, formulas have been formed for the new packet programme by using “*Conformal Mapping Method*”, a *Quasi-static analysis* method to analyze the electrical parameters of planar transmission lines.

In Section 3, element values of lowpass prototype filter for frequency responses having *Butterworth*, *Chebyshev* and *Eliptic* characteristics have been computed by using *Insertion loss* method, first. Then element values of lowpass prototype filter have been transformed into element values of real filter.

In Section 4, the new packet programme is introduced in detail. In Section 5 programmes used in the process of software of this packet programme have been mentioned. Finally in Section 6, the results of this study have been discussed.

Keywords: Planar Transmission Lines, Electrical Parameters, Microwave Filter Design, Quasi-Static Analysis Method, Insertion Loss Method.

Assoc. Prof. Dr. Ceyhun KARPUZ

Asst. Prof. Dr. Sezai TOKAT

Asst. Prof. Dr. Ahmet ÖZEK

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Yüksek Lisans Tezi Onay Formu..... | ii |
| Teşekkür..... | iii |
| Bilimsel Etik Sayfası..... | iv |
| Özet..... | v |
| Abstract..... | vi |
| İçindekiler..... | vii |
| Şekiller Dizini..... | ix |
| Tablolar Dizini..... | xii |
| Simge ve Kısaltmalar Dizini..... | xiii |
| | |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Mikrodalga Entegre Devreleri..... | 1 |
| 1.1.1 Tarihçe..... | 1 |
| 1.2 Düzlemsel İletim Hatları ve Mikrodalga Entegre Devreleri..... | 4 |
| 1.3 Mikrodalga Filtreler..... | 6 |
| 1.4 Düzlemsel İletim Hatlarının Quasi-Statik Analizine ve Filtre Tasarımına Yönelik Mevcut Bazı Programların İncelenmesi..... | 7 |
| 1.4.1 Txline..... | 7 |
| 1.4.2 Filter Design..... | 8 |
| 1.4.3 Filter Free..... | 9 |
| 1.5 Tezin Amacı ve Önemi..... | 9 |
| 1.6 Materyal ve Metot..... | 10 |
| 2. DÜZLEMSEL İLETİM HATLARI..... | 11 |
| 2.1 Giriş..... | 11 |
| 2.2 İletim Hattı Parametreleri..... | 12 |
| 2.2.1 Statik Analiz..... | 13 |
| 2.2.2 Dinamik Analiz..... | 14 |
| 2.3 Mikroşerit Hat..... | 17 |
| 2.4 Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CPW)..... | 21 |
| 2.5 Eş Düzlemsel Şeritler (CPS)..... | 25 |
| 2.6 Şerit Hat..... | 28 |
| 2.7 Yarık (Slot) Hat..... | 31 |
| 3. FİLTRE TASARIMI..... | 33 |
| 3.1 Giriş..... | 33 |
| 3.2 Transfer Fonksiyonları..... | 33 |
| 3.2.1 Genel Tanımlar..... | 33 |
| 3.2.2 Kompleks Düzlemde Kutup ve Sıfırlar..... | 35 |
| 3.2.2.1 Butterworth Cevabı..... | 35 |
| 3.2.2.2 Chebyshev Cevabı..... | 37 |
| 3.2.2.3 Eliptik Fonksiyon Cevabı..... | 39 |
| 3.3 Araya Girme Kaybı Metodu ile Filtre Tasarımı..... | 41 |

| | |
|-------------------------------------------|-----|
| 3.3.1 Butterworth Filtre..... | 41 |
| 3.3.2 Chebyshev Filtre..... | 47 |
| 3.3.3 Eliptik Filtre..... | 53 |
| 3.4 Frekans ve Eleman Dönüşümleri..... | 55 |
| 3.4.1 Alçak Geçiren Filtre Dönüşümü..... | 55 |
| 3.4.2 Yüksek Geçiren Filtre Dönüşümü..... | 57 |
| 3.4.3 Band Geçiren Filtre Dönüşümü..... | 60 |
| 3.4.4 Band Tutan Filtre Dönüşümü..... | 63 |
| 3.5 Filtre Sentezi..... | 66 |
| 4. YAPILAN PAKET PROGRAMIN TANITIMI..... | 69 |
| 4.1 Giriş..... | 69 |
| 4.2 Filtre Analizi..... | 71 |
| 4.3 Filtre Sentezi..... | 97 |
| 4.4 Quasi-Statik Analiz..... | 102 |
| 4.5 Grafik Analiz..... | 109 |
| 4.6 Yardım..... | 109 |
| 5. KULLANILAN YAZILIMLAR..... | 110 |
| 5.1 Giriş..... | 110 |
| 5.2 Visual C#.Net..... | 110 |
| 5.3 Borland Delphi..... | 111 |
| 6. SONUÇ VE TARTIŞMA..... | 112 |
| 6.1 Sonuç..... | 112 |
| KAYNAKLAR..... | 113 |
| Ekler..... | 117 |
| Özgeçmiş..... | 135 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 1.1 Düzlemsel iletim hatlarına ait kesitler..... | 3 |
| Şekil 1.2 Çok katmanlı bir iletim hattı..... | 5 |
| Şekil 1.3 “Txline” program görüntüsü..... | 7 |
| Şekil 1.4 “Filter Design” program görüntüsü..... | 8 |
| Şekil 1.5 “Filter Free” program görüntüsü..... | 9 |
| Şekil 2.1 Dielektrikli mikroşerit hat kesiti..... | 13 |
| Şekil 2.2 Mikroşerit hat kesiti..... | 18 |
| Şekil 2.3 Eş düzlemsel dalga kılavuzu kesitleri, (a) Klasik eş düzlemsel dalga kılavuzu (b) İletken destekli eş düzlemsel dalga kılavuzu..... | 22 |
| Şekil 2.4 Eş düzlemsel şerit kesiti..... | 26 |
| Şekil 2.5 Şerit hat kesiti..... | 28 |
| Şekil 2.6 Yarık hat kesiti..... | 31 |
| Şekil 3.1 İki portlu devre..... | 33 |
| Şekil 3.2 Butterworth alçak geçiren cevabı..... | 36 |
| Şekil 3.3 Butterworth cevabı için kutup dağılımı..... | 37 |
| Şekil 3.4 Chebyshev alçak geçiren cevabı..... | 37 |
| Şekil 3.5 Chebyshev cevabı için kutup dağılımı..... | 39 |
| Şekil 3.6 Eliptik fonksiyon alçak geçiren cevabı..... | 40 |
| Şekil 3.7 Eliptik rasyonel fonksiyon grafiği..... | 41 |
| Şekil 3.8 Butterworth filtre cevabı..... | 42 |
| Şekil 3.9 Butterworth filtre alçak geçiren cevabı..... | 42 |
| Şekil 3.10 Butterworth filtrenin zayıflama karakteristiği..... | 44 |
| Şekil 3.11 Örnek 3.1’deki Butterworth filtrenin iletim ve yansıma karakteristiğinin Mathcad program görüntüsü..... | 45 |
| Şekil 3.12 İlk elemanı kapasitans olan prototip devre..... | 46 |
| Şekil 3.13 İlk elemanı indüktans olan prototip devre..... | 46 |
| Şekil 3.14 İlk elemanı kapasitans olan 6. dereceden Butterworth alçak geçiren filtre prototip devresi..... | 46 |
| Şekil 3.15 3. dereceden filtre için Chebyshev ve Butterworth cevaplarının karşılaştırılması..... | 48 |
| Şekil 3.16 İlk elemanı kapasitans olan 7. dereceden Chebyshev alçak geçiren filtre prototip devresi..... | 51 |
| Şekil 3.17 Eliptik filtre alçak geçiren prototipleri (a) seri paralel rezonans devreleri ile (b) paralel seri rezonans devreleri ile..... | 53 |
| Şekil 3.18 Alçak geçiren filtrenin iletim karakteristiği..... | 56 |
| Şekil 3.19 Alçak geçiren filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 56 |
| Şekil 3.20 Alçak geçiren filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 57 |
| Şekil 3.21 Yüksek geçiren filtrenin iletim karakteristiği..... | 58 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.22 Yüksek geçiren filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 58 |
| Şekil 3.23 Yüksek geçiren filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 59 |
| Şekil 3.24 Alçak geçiren filtreden band geçiren filtreye dönüşüm..... | 60 |
| Şekil 3.25 Band geçiren filtre karakteristiği..... | 61 |
| Şekil 3.26 Band geçiren filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 62 |
| Şekil 3.27 Band geçiren filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 63 |
| Şekil 3.28 Band tutan filtre karakteristiği..... | 63 |
| Şekil 3.29 Band tutan filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 64 |
| Şekil 3.30 Band tutan filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü..... | 65 |
| Şekil 3.31 İlk elemanı seri indüktans olan devre..... | 68 |
| Şekil 3.32 İlk elemanı seri kapasitans olan devre..... | 68 |
| Şekil 4.1 Program bölümlerinin çember döngüsü..... | 70 |
| Şekil 4.2 “Başlangıç” form görüntüsü..... | 71 |
| Şekil 4.3 “Filtre Türleri” form görüntüsü..... | 72 |
| Şekil 4.4 “Analiz Türleri” form görüntüsü..... | 72 |
| Şekil 4.5 “Filtre Derecesine Göre” analiz sayfası görüntüsü..... | 73 |
| Şekil 4.6 “Araya Girme Kaybına Göre” analiz sayfası görüntüsü..... | 73 |
| Şekil 4.7 Uygulama 4.1 için analiz görüntüsü..... | 74 |
| Şekil 4.8 Uygulama 4.1 için analiz sonuçları görüntüsü..... | 75 |
| Şekil 4.9 6. dereceden Butterworth alçak geçiren filtrenin iletim ve yansıma karakteristiği görüntüsü..... | 75 |
| Şekil 4.10 Grafik üzerinde yapılabilen işlemler menüsü..... | 76 |
| Şekil 4.11 S21(w) grafiği üzerinde $w=-2$ değerine karşılık -36 dB seviyesinin okunması..... | 77 |
| Şekil 4.12 “Grafik” menü görüntüsü..... | 78 |
| Şekil 4.13 “Prototip Grafik Ayarları” form görüntüsü..... | 78 |
| Şekil 4.14 Yeni ayarlarda elde edilen grafik görüntüsü..... | 79 |
| Şekil 4.15 Çoklu grafik çalışma görüntüsü..... | 80 |
| Şekil 4.16 Grafiklerin “Görünüm” menüsünden düzene koyulması..... | 80 |
| Şekil 4.17 “Kayıt İşlemleri” form görüntüsü..... | 81 |
| Şekil 4.18 “Dosya Kaydet” pencere görüntüsü..... | 82 |
| Şekil 4.19 “Filter.plnr” dosyasının ekran görüntüsü..... | 83 |
| Şekil 4.20 “FilterSpesifik.plnr” dosyasının ekran görüntüsü..... | 83 |
| Şekil 4.21 “Grafik->Dosyadan Aç” menü görüntüsü..... | 84 |
| Şekil 4.22 “Aç” pencere görüntüsü..... | 84 |
| Şekil 4.23 “Filter.plnr” dosyasından okuma sonucu oluşan grafik görüntüsü..... | 85 |
| Şekil 4.24 “Butterworth Filtre Türleri” form görüntüsü..... | 86 |
| Şekil 4.25 Butterworth “Alçak Geçiren Filtre” sayfa görüntüsü..... | 86 |
| Şekil 4.26 İlk elemanı kapasite olan 6. dereceden alçak geçiren filtre prototip eşdeğerdevre görüntüsü..... | 87 |
| Şekil 4.27 Butterworth “Band Geçiren Filtre” sayfa görüntüsü..... | 87 |
| Şekil 4.28 İlk elemanı indüktans olan band geçiren prototip eşdeğer devre görüntüsü..... | 88 |
| Şekil 4.29 “Sonuçları Kaydet” pencere görüntüsü..... | 89 |
| Şekil 4.30 “Sonuçlar başarıyla kaydedildi...” mesaj görüntüsü..... | 89 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.31 “Sonuçlar.txt” dosyasının ekran görüntüsü..... | 90 |
| Şekil 4.32 Alçak geçiren filtrenin S21(w) grafiği üzerinde $f(w)=4$ GHz değerinekarşılık gelen -36 dB seviyesinin okunması..... | 91 |
| Şekil 4.33 Butterworth band geçiren filtrenin iletim ve yansıma karakteristiği..... | 91 |
| Şekil 4.34 Uygulama 4.2 için analiz sonuçları görüntüsü..... | 92 |
| Şekil 4.35 7. dereceden Chebyshev alçak geçiren filtrenin iletim ve yansıma karakteristiği görüntüsü..... | 93 |
| Şekil 4.36 Chebyshev “Alçak Geçiren Filtre” sayfa görüntüsü..... | 93 |
| Şekil 4.37 İlk elemanı kapasite olan 7. dereceden alçak geçiren filtre prototip eşdeğer devre görüntüsü..... | 94 |
| Şekil 4.38 “Eliptik Filtre Analiz Türleri” form görüntüsü..... | 95 |
| Şekil 4.39 Uygulama 4.3 için analiz görüntüsü..... | 95 |
| Şekil 4.40 Uygulama 4.3 için analiz sonuçları görüntüsü..... | 96 |
| Şekil 4.41 Eliptik filtrenin kutup ve sıfırlarının bulunması..... | 96 |
| Şekil 4.42 5. dereceden Eliptik filtrenin iletim ve yansıma karakteristiği görüntüsü..... | 97 |
| Şekil 4.43 “Chebyshev Sentez Prototip” formu analiz görüntüsü..... | 98 |
| Şekil 4.44 “Chebyshev Sentez Prototip” formu analiz sonuçları görüntüsü..... | 98 |
| Şekil 4.45 “Chebyshev Filtre Sentez Türleri” form görüntüsü..... | 99 |
| Şekil 4.46 “Chebyshev Sentez Bölüm” form görüntüsü..... | 99 |
| Şekil 4.47 Chebyshev filtre için kutup ve sıfırların bulunması..... | 100 |
| Şekil 4.48 Chebyshev filtre için empedans fonksiyonunun bulunması..... | 101 |
| Şekil 4.49 Chebyshev filtre için prototip eleman değerlerinin sentez yoluyla bulunması..... | 101 |
| Şekil 4.50 “Chebyshev Filtre Türleri” form görüntüsü..... | 102 |
| Şekil 4.51 “Planar Analiz” form görüntüsü..... | 103 |
| Şekil 4.52 “Şerit Hat” analiz görüntüsü..... | 104 |
| Şekil 4.53 “Şerit Hat” sentez görüntüsü..... | 104 |
| Şekil 4.54 Dielektrik seçimi..... | 105 |
| Şekil 4.55 İletken seçimi..... | 105 |
| Şekil 4.56 “Şerit Hat” analiz sonuçları görüntüsü..... | 106 |
| Şekil 4.57 “Şerit Hat” sentez sonuçları görüntüsü..... | 106 |
| Şekil 4.58 “Mikroşerit Hat” form görüntüsü..... | 107 |
| Şekil 4.59 “Klasik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu” form görüntüsü..... | 107 |
| Şekil 4.60 “İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu” form görüntüsü..... | 108 |
| Şekil 4.61 “Eş Düzlemsel Şerit” form görüntüsü..... | 108 |
| Şekil 4.62 “Slot Hat” form görüntüsü..... | 109 |

TABLOLAR DİZİNİ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1 Şekil 1.1’de gösterilen düzlemsel iletim hatlarının özellikleri..... | 4 |
| Tablo 3.1 1-9 arası derecelerdeki Butterworth alçak-geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $L_{Af}=3.01$ dB)..... | 47 |
| Tablo 3.2 Farklı dereceler için Chebyshev polinomları..... | 49 |
| Tablo 3.3 1-9 arası derecelerdeki Chebyshev alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.01$ dB)..... | 52 |
| Tablo 3.4 1-9 arası derecelerdeki Chebyshev alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.04321$ dB)..... | 52 |
| Tablo 3.5 1-9 arası derecelerdeki Chebyshev alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.1$ dB)..... | 52 |
| Tablo 3.6 1-7 arası derecelerdeki Eliptik alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=g_{N+1}=1$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.1$ dB)..... | 54 |
| Tablo 3.7 Eleman elde edilmesi ve kontrolü için sistematik..... | 66 |

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------------|--------------------------------------------|
| RF | Radyo frekansı |
| IC | Entegre devre |
| MIC | Mikrodalga entegre devre |
| MMIC | Monolitik mikrodalga entegre devre |
| CPS | Eş düzlemsel şerit |
| CPW | Eş düzlemsel dalga kılavuzu |
| Z_0 | Karakteristik empedans |
| c | Işık hızı |
| λ | Dalga boyu |
| λ_0 | Serbest boşluk dalga boyu |
| ϵ_r | Dielektrik sabiti |
| ϵ_{eff} | Efektif dielektrik sabiti |
| α | Zayıflama sabiti |
| β | Faz sabiti |
| f_c | Kesim frekansı |
| f_s | Araya girme kaybının gerçekleştiği frekans |
| ω_c | Normalize kesim frekansı |
| ω_n | Seçicilik faktörü |
| N | Filtre derecesi |
| L_{Ar} | Geçme bandı dönme kaybı |
| L_{As} | Araya girme kaybı |
| ϵ | Ripple faktörü |
| FBW | Band genişliği |

1. GİRİŞ

1.1 Mikrodalga Entegre Devreleri

1.1.1 Tarihçe

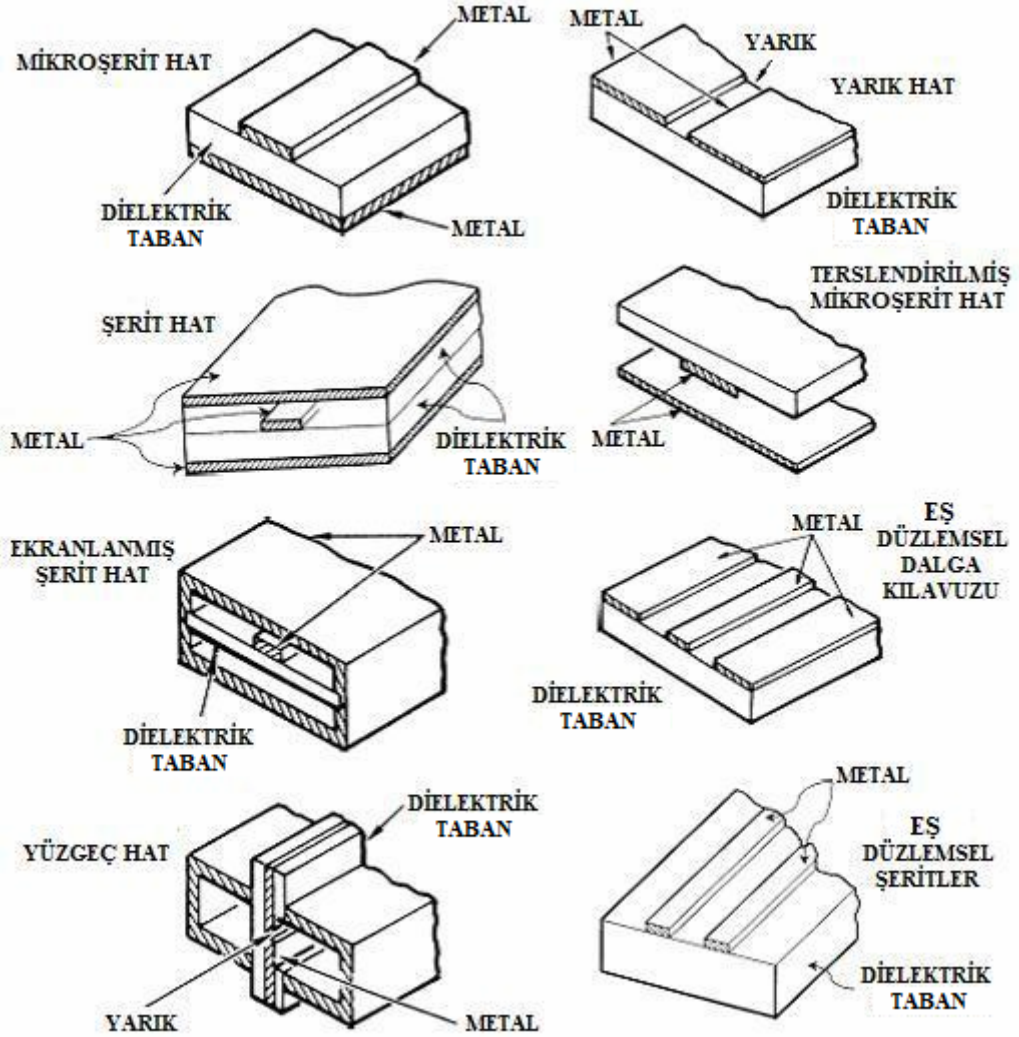
Mikrodalga entegre devreleri (MICs) 1950'lerde ortaya çıkmıştır. O zamandan beri mikrodalga entegre devreler radyo frekansının (RF) ve mikrodalga teknolojilerinin ilerlemesinde önemli rol oynamıştır. Mikrodalga teknolojisinde en önemli kilometre taşı monolitik (tek parça) mikrodalga entegre devrelerin (MMICs) ortaya çıkması olmuştur. Mikrodalga entegre devrelerindeki bu ilerlemeler katı hal teknolojisi ve düzlemsel (planar) iletim hatlarının gelişmesiyle mümkün olmuştur. Düzlemsel iletim hatları iletken şeritlerin bir dielektrik taban malzemesinin yüzeylerine yerleştirilmesiyle oluşur. Bu yapılar mikrodalga entegre devrelerin temelini oluşturur ve birçok mikrodalga mühendisleri için önemli ve ilginç bir araştırma konusu olmuştur. Mikrodalga entegre devrelerinde ve düzlemsel iletim hatlarındaki ilerlemelerle birlikte mikrodalga ve milimetrik dalga pasif devreler için özellikle mikrodalga entegre devrelerin doğru analizleri ve tasarımı için duyulan ihtiyaca karşılık olarak bir çok analiz metodu geliştirildi. Bu analiz metotları yeni düzlemsel iletim hatlarının araştırılması ve geliştirilmesinde daha çok yardımcı olmuştur.

Mikrodalgaların varlığı çok uzun yıllardan beri bilinmesine rağmen, mikrodalga devrelerindeki hızlı gelişmeler ancak İkinci Dünya Savaşı sırasında, özellikle karşılaşılan radar problemlerinin giderilmesi ile başlamıştır. Bu yıllarda "*Mikrodalga Devreler*" terimi ile "*Dalgakılavuzu Devreleri*" terimi çoğu zaman eşanlamlı olarak kullanılmıştır. Mikrodalga frekansları için kullanışlı bir transmisyon yapısı olarak değerlendirilmiş olan dalgakılavuzları ile ilgili olarak yapılan ilk çalışmalar Bell Telefon Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Bu konuda özellikle radar problemlerine çözüm bulmak için yapılan çalışmalar sayesinde mikrodalga devreleri konusunda hızlı gelişmeler sağlandı. Bu yıllarda, TEM modu koaksiyel hatlar ve dalga kılavuzları olmak üzere, iki temel yapı incelendi. 1950'li yılların başında, Barret ve Barnes tarafından şerit hatlar tasarlandı (Howe 1974). Yine aynı yıllarda farklı bir transmisyon yapısı olarak sunulan mikroşerit hatlar, radyasyonun neden olduğu birim uzunluktaki yüksek kayıplarından dolayı ilk zamanlar pek kabul görmedi. Bununla birlikte, sivil ve askeri mikrodalga uygulamaları için sürekli artan minyatür mikrodalga devre ihtiyacı 1960'lı yıllarda, mikroşerit devrelere olan ilgiyi artırdı. Wheeler, mikroşerit yapıların, *Konform dönüşüm* metoduna dayalı çok basit bir analizini geliştirdi (Wheeler 1964). Yüksek dielektrik sabitine sahip düşük kayıplı dielektrik malzemelerin imal edilmesi ve metalik filmlerin yoğunlaştırılmasıyla ilgili teknolojik gelişmeler, mikroşerit devrelerin kullanımında hızlı ilerlemeler sağladı ve bu yapıların mükemmel hale gelmesinde etkin bir rol aldı. Bu gelişmelerle birlikte, fotolitografi ve ince film yoğunlaştırma tekniklerinin ve ayrıca, mikrodalga süper iletken elemanlar teknolojisinin hızlı bir şekilde ilerlemesi ile, "*Mikrodalga Entegre Devre*" teknolojisi doğdu (Gupta vd 1978).

Günümüzün mikrodalga teknolojisi olarak ifade edebileceğimiz MMIC teknolojisi, yüksek dirençli silikon (Si) ve galyum-arsenik (GaAs) ve silisyum dioksit (SiO₂) tabakalı düşük dirençli yarı-iletken tabanlarının MIC'lerde kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır (Goyal 1989). MMIC teknolojisindeki önemli gelişmeler, 1970'li yılların sonunda başlamış ve pratik devreler 1980'lerin ortasında ortaya çıkmıştır. MMIC'lerin araştırılması ve geliştirilmesi birkaç yıl içerisinde oldukça mesafe kaydetti (Esfandiari vd 1983, Hobdell 1979, Wheeler 1997, Liu vd 1986, Ohira 1987). MMIC'lerin çoğu mikroşerit hat konfigürasyonuna sahiptir. Bu konfigürasyonlar, toprak iletkenlerle bağlantı sağlamak için geçiş delikleri ve sınırlı kalınlıklara sahip ince taban ihtiyaçlarının yanında ilave işlemler gerektirdiğinden MMIC çip boyutunu azaltmak amacıyla bir çok araştırmacı tarafından tek yüzlü MMIC (Uniplanar MMIC's) konfigürasyonları önerildi (Hirota vd 1987, Ogawa vd 1987, Muraguchi vd 1998). Geliştirilen tek yüzlü MMIC'ler özellikle devre boyutlarının ve imalat masraflarının az olmasından dolayı, radyo sistemlerinde, mobil ve uydu haberleşme sistemlerinde önemli rol üstlenmiştir.

Günümüzde mikrodalga entegre devreleri, çoğunlukla seramik veya dielektrik taban üzerinde yoğunlaştırılmış iletkenlerin modellenmesiyle elde edilen devreleri, pasif elemanları ve ayrıca çip formunda özel olarak tasarlanmış olan devrelere monte edilmiş aktif elemanları ihtiva etmektedir. Mikrodalga entegre devrelerinde mikroşerit hatlara ilave olarak, yarık hat (Slot hat) ve koplanar hat (CPW ve CPS) olarak adlandırılan diğer düzlemsel hatlar da kullanılmaktadır (Cohn ve Wen 1969). Yarık hatlar, sadece bir yüzeyi iletken kaplı olan ve bu yüzeyi dar bir yarık içeren bir dielektrik tabandan meydana gelir. Koplanar hatlar ise, bütün iletkenleri aynı düzlem üzerinde olan yani dielektrik tabanın sadece üst yüzeyinde olan iletim hatlarıdır. Şekil 1.1'de uygulamalarda kullanılan düzlemsel iletim hatlarına ait kesitler görülmektedir.



Şekil 1.1 Düzlemsel iletim hatlarına ait kesitler

1.2 Düzlemsel İletim Hatları ve Mikrodalga Entegre Devreleri

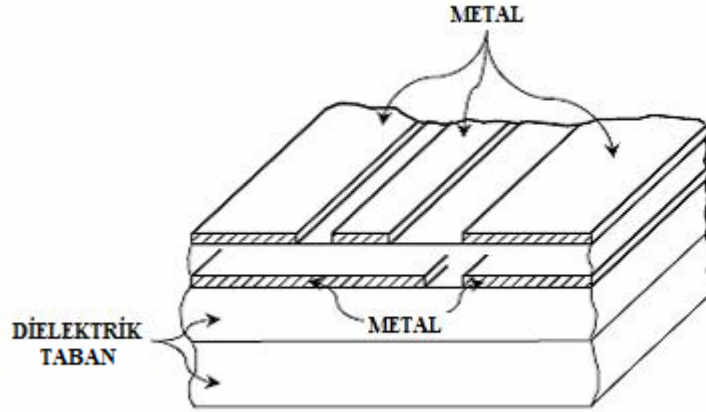
Düzlemsel iletim hatları; mikrodalga entegre devrelerin temel elemanlarıdır. Bunlar hem baluns, filtreler, hibridler ve kuplörler gibi pek çok devre fonksiyonlarının gerçekleştirilmesinde hem de sinyallerin mümkün olduğunca kayıpsız bir şekilde taşınmasında kullanılır. Düzlemsel iletim hatlarının özellikleri tablo halinde Tablo 1.1’de özetlenmiştir. Herbir düzlemsel iletim hattı kendisine ait benzersiz avantajlara ve dezavantajlara sahiptir ve bağlı olduğu devre tipleri, tek iletim hattı veya bunların birleşiminin her ikisine de hem istenilen devre fonksiyonlarını hem de en uygun performansları elde etmede ihtiyaç duyulur. En uygulanabilir düzlemsel iletim hatları belki de basit mikroşerit hattı ve diğer düzlemsel iletim hatlarından yavaş gelişen koplana dalga kılavuzudur (CPW). Bu iletim hatları ihtiyaca göre tekli ya da ardışık bağlı olarak kullanılabilir.

Tablo 1.1 Şekil 1.1’de gösterilen düzlemsel iletim hatlarının özellikleri

| İletim Hattı | Sistem Frekansı (GHz) | Karakteristik Empedans (Ohm) | Boyut | Kayıp | Güç Eldesi | Katı Hal Alet Montajı | Düşük Maliyetli Üretim |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------|--------|------------|-----------------------|------------------------|
| Mikroşerit Hat | ≤ 110 | 10-100 | Küçük | Yüksek | Alçak | Fena değil | İyi |
| Şerit Hat | ≤ 60 | 20-150 | Orta | Alçak | Alçak | Orta | İyi |
| Ekranlanmış Şerit Hat | ≤ 220 | 20-150 | Orta | Alçak | Alçak | Orta | Fena değil |
| Yüzgeç Hat | ≤ 220 | 20-400 | Orta | Orta | Alçak | Kolay | Fena değil |
| Yarı Hat | ≤ 110 | 60-200 | Küçük | Yüksek | Alçak | Kolay | İyi |
| Terslendirilmiş Mikroşerit Hat | ≤ 220 | 25-130 | Küçük | Orta | Alçak | Orta | Fena değil |
| Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu | ≤ 110 | 40-150 | Küçük | Yüksek | Alçak | Çok kolay | İyi |
| Eş Düzlemsel Şeritler | ≤ 110 | 30-250 | Küçük | Yüksek | Alçak | Kolay | İyi |

Şekil 1.2’de görülmekte olan çok katlı düzlemsel iletim hatları; esnek olmaları ve karmaşık devreleri gerçekleştirmedeki kabiliyetiyle birlikte, yüksek oranda devre

bütünleşmesine izin vermesinden dolayı özellikle mikrodalga entegre devreleri için çekici olmaktadır.



Şekil 1.2 Çok katmanlı bir iletim hattı

Mikrodalga pasif devre elemanları, iletim hatları ve dalgakılavuzları boyunca dağılmış olarak bulunmaktadır. 1960'lı yılların sonunda yapılan çalışmalar, mikrodalga devrelerinin analizi için, toplu eleman devre analizi yöntemlerinin kullanılması üzerinde yoğunlaşmıştır (Daly vd 1967, Katoh 1967, Caulton vd 1968, 1971, Alley 1970, Aitchison vd 1967). Toplu elemanların, dielektrik tabanlar üzerine monte edilmiş çip formundaki yarı iletken elemanlarla birlikte kullanımı mikrodalga entegre devreleri için cazip bir seçenek olmuş ve maliyet % 50 oranında düşürülmüştür. Boyut indirgeme özelliklerinin yanında, toplu elemanların diğer bir avantajı ise alçak frekanslarda geliştirilmiş olan devre tasarımı ve optimizasyon tekniklerinin doğrudan doğruya mikrodalga frekans bölgesinde de kullanılabilme imkanı sağlamasıdır. Bu avantajların yanı sıra, yüksek güvenilirlikte karşılaşılan problemi ortadan kaldırmak için çok hassas düzenlere olan ihtiyaç ve doğruluk derecesinin yüksek tutulması problemi gibi dezavantajlar ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin giderilmesi için simülasyon ve optimizasyon tekniklerinin ve CAD paketlerinin kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Gupta 1981).

MMIC teknolojisinde bir GaAs alt tabakası üzerinde üretim, sıvı fazlı ve buhar fazlı epitaksi, iyon aşılama, saçılma, buharlaşma, yayılma veya tüm bu metodların bileşimini içeren farklı depolama, paketleme metotlarından herhangi birisi ile yapılabilir. GaAs'in 4 GHz'in daha üstündeki mikrodalga frekanslarında kuvvetlendirme ve osilasyon yapma yeteneğine sahip olan monolitik entegre devrelerin ve ayırık transistörlerin

üretimi için uygun olan şu anda mevcut tek taban malzemesi olduğu gerçeği ile GaAs MMIC'ler gelişimini sürdürmektedir. Hibrid ve Monolitik MIC'ler, alçak frekans entegre devreleriyle hemen hemen aynı avantajları sunar. Bu avantajları sırasıyla şu şekilde ifade edebiliriz:

- Geliştirilmiş sistem güvenilirliği,
- İndirgenmiş hacim ve ağırlık,
- Büyük oranda standartlaştırma ihtiyacında düşük maliyet,
- Yüksek performans.

Bu avantajlarının yanı sıra, MIC'lerin kullanımına ilişkin bazı problemler vardır (Gupta 1978). MIC'ler, yaygın olarak kullanılmadan önce, mikrodalga devre tasarımcıları ve kullanıcıları, devre performansını üretimden sonraki aşamalarda düzenli bir şekilde optimize etmek için kullanılan ayar vidaları ve adaptörlerin birleştirilmesi esnekliğine sahiptiler. MIC'ler özellikle, yüksek güvenilirlik ihtiyaçlarını karşılama durumunda bu harici düzenleme ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu nedenle MIC'lerde hassas olarak karakterize edilmiş düzenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak, kullanılan düzenler daha hassas karakterize işlemi gerektirir ve devreler daha düzenli bir şekilde tasarlanmak zorundadır. Bu sebeple, problemleri gidermek için simülasyon ve optimizasyon teknikleri ve CAD paketlerinin kullanımı zorunlu bir hale gelmiştir.

1.3 Mikrodalga Filtreler

Mikrodalga filtreler, hücresel haberleşme, mikrodalga devreleri, radarlar, test ve ölçüm sistemleri gibi çeşitli birçok uygulama alanlarında yer bulmaktadır. Avantajları olan; küçük boyutlu, düşük maliyetli ve üretimlerinin kolay olmaları, mikrodalga yapıların günümüzde filtre uygulamalarında yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

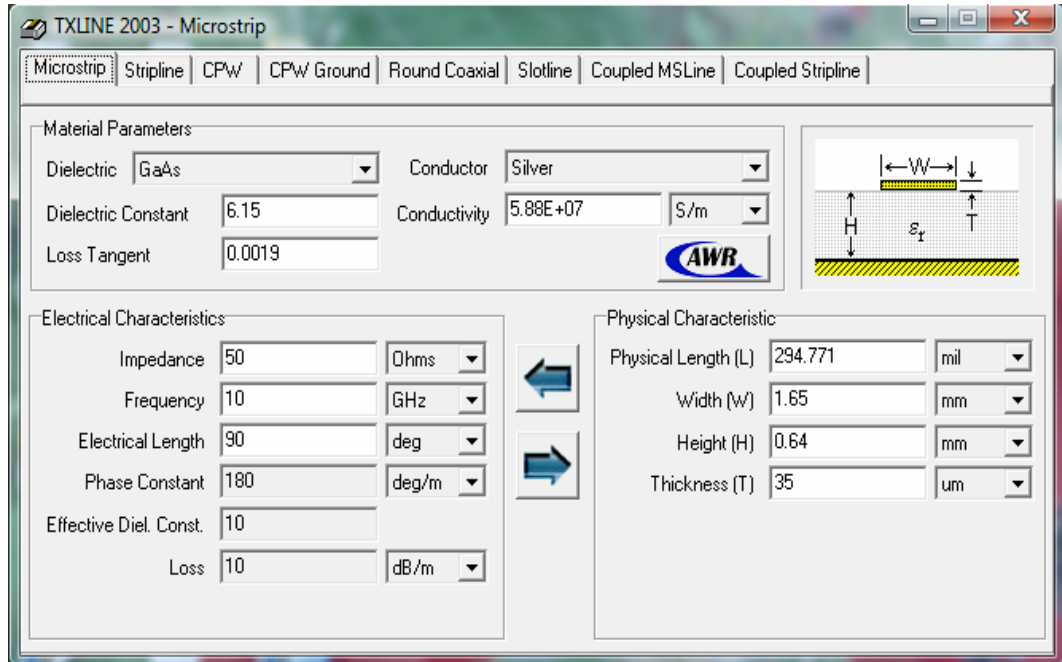
Mason, Sykes, Darlington, Fano, Lawson ve Richards'ın öncülüğünü yaptığı mikrodalga filtre teorisinin temelleri II. Dünya savaşı yıllarında atılmıştır. Mikrodalga filtre tasarlamak üzere çeşitli metotlar geliştirilmiştir. İletim parametreleri metodu ile filtre tasarımı 1930'ların sonlarında önerildi. Günümüzde ise, birçok filtre araya girme kaybı metodu ile tasarlanmaktadır. Bu metot devre analizi tekniğine dayanmaktadır.

1948 yılında P.I. Richards mikrodalga filtre tasarımına yeni bir teori kazandırdı. Richards'ın teoremi; toplu elemanlar ile tasarlanan filtrenin ayrık iletim hatlarına dönüşümüne dayanmaktadır (Richards 1948). Richards'ın dönüşümleri K. Kuroda'nın dört tanımlaması ile birleşmektedir (Ozaki ve Ishii 1958). Bu tanımlamalar ile toplu elemanlar filtre prototipi, açık ve kısa devre iletim hattı dalları ile fiziksel olarak gerçekleştirilir.

1.4 Düzlemsel İletim Hatlarının Quasi-Statik Analizine ve Filtre Tasarımına Yönelik Mevcut Bazı Programların İncelenmesi

Düzlemsel iletim hatlarının quasi-statik analizi, filtre analizi ve tasarımı konusu ile alakalı birçok programlar yapılmış olup bu tez çalışmasında birkaç tanesi üzerinde inceleme yapılmıştır. Programların ulaşılabilirdiği ilgili linkler **KAYNAKLAR** başlığı altında verilmiştir (Bkz. KAYNAKLAR).

1.4.1 Txline

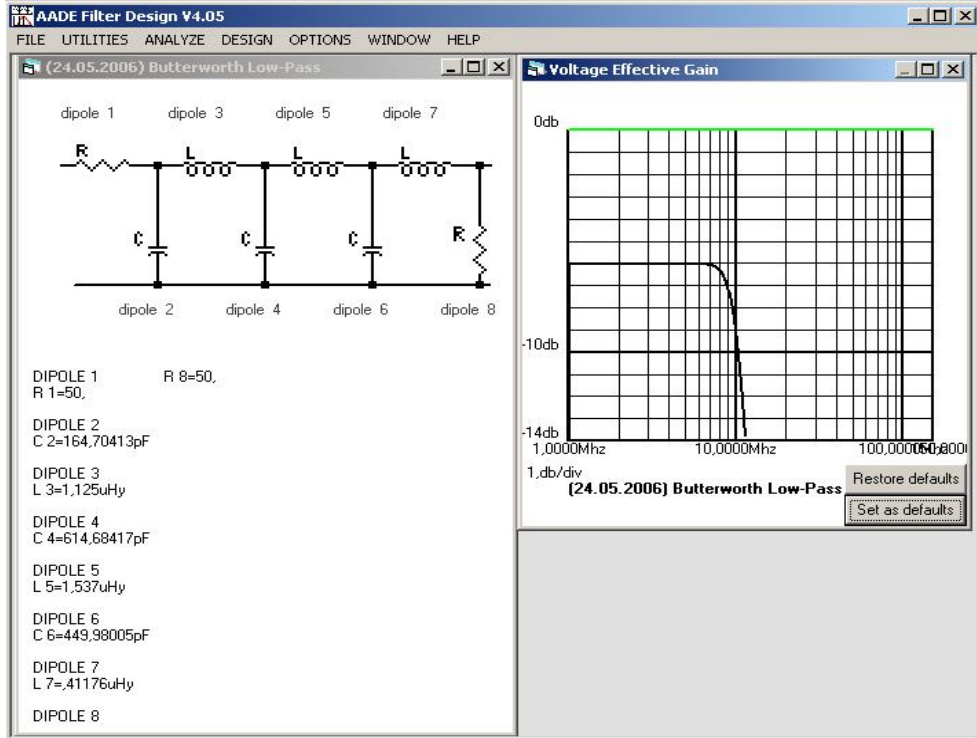


Şekil 1.3 “Txline” program görüntüsü

“Txline” düzlemsel iletim hatlarının quasi-statik analizine yönelik tek bir arayüzden oluşmuş bir paket programdır (Bkz Şekil 1.3). Programın çalışması şu şekildedir: Kullanıcı, bir taraftan girdiği hat parametrelerine karşılık ileri-geri “Ok” butonları ile diğer taraftaki istenilen parametre değerlerine ulaşabilmektedir.

1.4.2 Filter Design

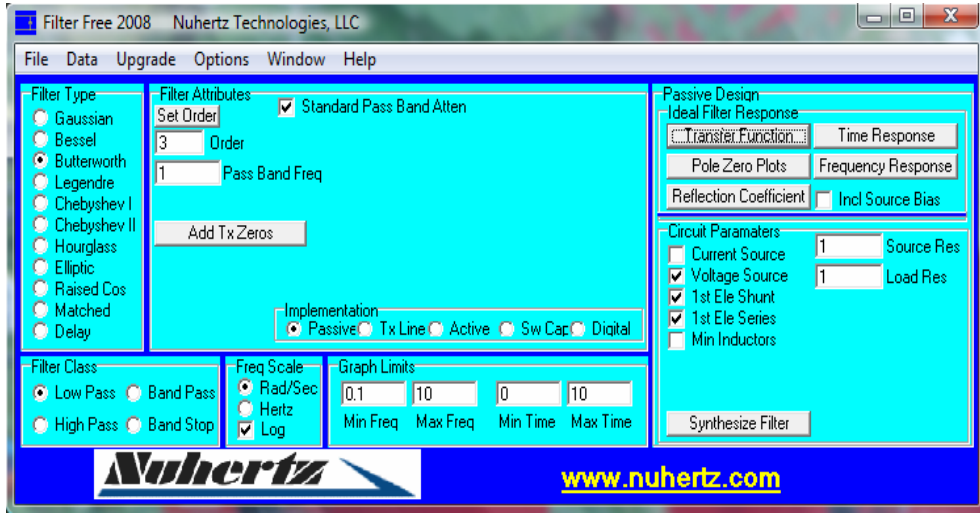
Filtre tasarımına yönelik olarak yapılmış “Filter Design” paket program görüntüsü Şekil 1.4’de görülmektedir. Programın çalışması şu şekildedir : Kullanıcı tasarıma; “DESIGN” menüsünden filtre tipini seçerek başlar. Açılan “Filtre Fonksiyonu” formundan filtre fonksiyonunu seçerek parametrelerin girildiği forma ulaşır. Bu formda parametreleri girdikten sonra “Enter” butonu ile kullanılacak bobinin kayıplarının girileceği bir metin kutusu karşısına gelir. Kullanıcı, buraya bobinin kaybını girerek tekrar “Enter” butonu ile oluşturulacak filtre devresinin başlığının ne olacağını soran bir mesaj kutusuna ulaşır. Buraya devrenin adını yazdıktan sonra girilen parametre değerlerine göre oluşturulan devreyi elde etmiş olur.



Şekil 1.4 “Filter Design” program görüntüsü

1.4.3 Filter Free

Filtre tasarımına yönelik olarak yapılmış başka bir paket program olan ‘‘Filter Free’’ görüntüsü de Şekil 1.5’de görülmektedir. Programın çalışması şu şekildedir : Bu programda filtre tipinin seçimi, filtre fonksiyonunun seçimi ve parametre değerlerinin girilmesi tek bir arayüz formu üzerinden sağlanıyor olması, programın pratik kullanımını sağlamaktadır. Kullanıcı, programı ilk çalıştırdığında ekrana gelen form üzerinde parametre değerlerini girip istenen seçimleri yaptıktan sonra ‘‘Circuit’’ butonu ile devreyi görebilmektedir. Bu programda analizlere ek olarak, oluşturulan grafiğin transfer fonksiyonunu ve sıfır kutup grafiğini de görebilmek mümkündür.



Şekil 1.5 ‘‘Filter Free’’ program görüntüsü

1.5 Tezin Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasında, *Txline*, *Filter Design*, ve *Filter Free* gibi programların tüm işlevlerini tek başına yerine getirebilecek ve bunun yanında daha esnek bir grafik gösterim, daha hızlı ve basit hesaplama gibi farklı işlevleri sunabilme yeteneğine sahip geniş kapsamlı bir paket program tasarlanması amaçlanmıştır. Tek bir paket altında veya kendi başına kullanılma özelliğine sahip bir çok formlar kullanılarak hazırlanan yeni paket program ile düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin analizi yapılabilmekte ve aynı zamanda filtre tasarımı gerçekleştirilmektedir.

1.6 Materyal ve Metot

Mikrodalga literatüründe filtre tasarımına yönelik çeşitli metodlar bulunmaktadır. Bu metotlar incelendiğinde “*Araya Girme Kaybı Metodu (Insertion Loss Method)*”’nun diğer metotlara kıyasla daha yaygın bir kullanıma sahip olduğu sonucuna varılarak bu metot üzerinde yoğunlaşmıştır. Düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanmasında ise bir *Quasi-statik analiz* metodu olan “*Konform Dönüşüm Metodu (Conformal Mapping Method)*” kullanılmıştır.

Bir filtre tasarımının ilk adımı arzu edilen filtre karakteristiğini elde edebilmek için gerekli eleman değerlerinin belirlenmesidir. Bu çerçevede hazırlanan programda öncelikli olarak *Araya girme kaybı* metoduyla *Butterworth*, *Chebyshev* ve *Eliptik* karakteristikli frekans cevapları için prototip alçak geçiren filtre eleman değerleri hesaplanmakta ve daha sonra prototip eleman değerlerinden gerçek filtrelerin eleman değerlerine geçiş yapılmaktadır. Ayrıca, hazırlanan yeni paket program kendine özgü grafik paketi ve kayıt formatları gibi birçok fonksiyonel özelliğiyle kullanıcıya değişik platformlarda çalışma imkanı sunmaktadır.

Yazılım aşamasında *Visual C#.Net* ve *Borland Delphi* yazılım dillerinden yararlanılmıştır. Bu dillerin seçilme nedeni; görsel programlamaya elverişli olmalarının yanı sıra tezde ortaya konan temel hedeflere ulaşabilmede yeterli imkanlara sahip olmalarıdır.

2. DÜZLEMSEL İLETİM HATLARI

2.1 Giriş

Düşük frekanslı dijitalden yüksek frekanslı RF ve mikrodalga devrelerine kadar neredeyse tüm elektronik devrelerde iletim hatları kullanılır. İletim hatları arasında, düzlemsel iletim hatları olarak da bilinen baskı devre yapıları modern elektronikte en yararlı hatlardır. Düzlemsel iletim hatları, elektronik entegre devrelerindeki ilerlemeler ile gelişirken, entegre devrelerinin daha sağlam ve dayanıklı olmasına ve daha iyi ara bağlantılar ve performans sağlayarak IC (entegre devre) teknolojilerinin ilerlemesine yardımcı olmuştur. Düzlemsel iletim hatları sadece sinyal verme şeklindeki en temel amaçlarını sağlamla kalmamış aynı zamanda uygun şekilde kombinasyonlarının sağlanması ile geniş bant hibrit jonksiyonları gibi muhtelif RF ve mikrodalga elemanlarının yaratılması için de kullanılabilir. En çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan düzlemsel iletim hattı, 1952’de ileri sürülen mikroşerit hatdır. Bu, şerit hattı ile birlikte, koaksiyel iletim hattının ilk düzlemsel versiyonunu oluşturmaktadır. O tarihten bu yana, RF ve mikrodalga IC’lerde kullanılmak üzere muhtelif düzlemsel iletim hatları geliştirilmiştir. **Bölüm 1**’de yaygın olarak kullanılan düzlemsel iletim hatları açıklanmaktadır (Bkz Şekil 1.1 ve Tablo 1.1). Şu anda, RF ve mikrodalga IC’ler için en yaygın kullanılan yapılar, mikroşerit hat, eş düzlemsel dalga kılavuzu, eş düzlemsel şerit, şerit hat ve yarık hatdır. Bu bölümde, *Konform dönüşüm metodu* kullanılarak yeni paket programın “Quasi-Statik Analiz” bölümüne ait yazılım kısmında kullanılan formülasyonların toparlanması gerçekleştirilecektir.

İlk olarak iletim hattının statik ve dinamik parametreleri incelenecektir. Daha sonra, mikroşerit hat, ortak düzlemsel dalga kılavuzu, eş düzlemsel şerit, şerit hat ve yarık hat dahil en yaygın kullanılan düzlemsel iletim hatlarının kısa bir incelemesi yapılarak, karakteristik empedanslarını, efektif dielektrik sabitlerini ve kayıplarını hesaplamada

kullanılan kapalı form ifadeleri incelenecektir. Bu parametreler başka yöntemler kullanılarak doğru şekilde bulunabilir, ancak kapalı form ifadeleri, RF ve mikrodalga devrelerine yönelik hızlı bilgisayar destekli tasarım ve analizine olanak tanımaktadır.

2.2 İletim Hattı Parametreleri

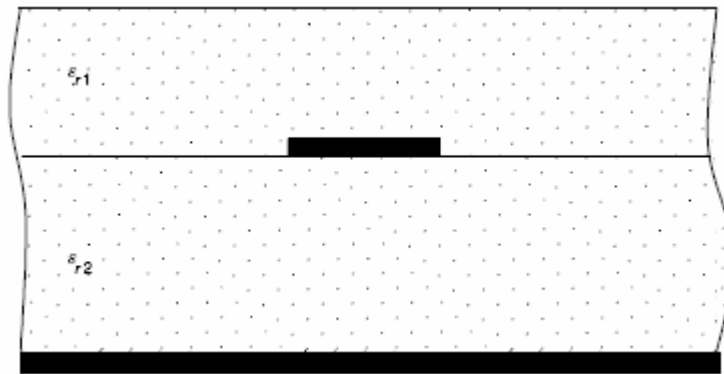
Şerit hat gibi, homojen ortama takılan mükemmel iletkenli iletim hatları, saf bir enlemesine elektromagnetik (**TEM**) modu veya dalgasını destekler. Bununla birlikte, mikroşerit hatları gibi ikiden fazla dielektrikli iletim hatlarının sadece TEM modunu andıran quasi bir TEM modunu destekleyebileceği de bilinmektedir. TEM veya quasi TEM modu*, kesim frekansı olmayan iletim hattında dominant bir moddur. Devre tasarım amaçlı iletim hatlarının en önemli parametreleri belki de TEM modu için karakteristik empedansı ve efektif dielektrik sabitidir. İşletme frekansı arttıkça, iletim hattında TEM ve hibrit modları dahil sonsuz mod sayısı görülebilir. Hibrit modları, dc (**0Hz**)’den farklı kesim frekanslı daha yüksek sıralı modlardır ve istenmez. Bu modlar, enlemesine elektrik (**TE**) ve enlemesine magnetik (**TM**) modlarının bir kombinasyonudur ve dolayısıyla hem elektrik hem de magnetik alanın boylamasına unsurlarına sahiptirler.

Bir iletim hattının analizinde iki yaklaşım vardır: Statik veya quasi-statik ve dinamik veya tam-dalga yaklaşımı. Statik veya quasi-statik yaklaşımı sadece, dc’de geçerli olan TEM modu için iletim hattı parametrelerini oluşturur. Öte yandan, dinamik yaklaşım, sadece TEM modu için değil aynı zamanda parametreleri frekansın fonksiyonları olan hibrit modlarının da iletim hattı parametrelerini verebilir. Statik yaklaşım ile elde edilen TEM modu iletim hattı parametreleri sadece dc’de teorik olarak geçerlidir. Pratikte, bu sonuçlar daha yüksek frekanslarda da kullanılabilir. Çoğu mühendis, statik sonuçları hangi frekansa kadar kullanabileceğini bilmek ister. Buna tam, açık bir cevap yoktur. Bazıları frekans sıfırdan farklı olduğu sürece, statik sonuçların kullanılamayacağına inanır. Öte yandan, çoğu mühendis, **18 GHz** frekansa kadar statik sonuçları kullanmaktadır. Aslında, W-bandı (**75-110 GHz**)’e kadar çalışan milimetre-dalga devrelerinin bir kısmı, sadece statik sonuçlar kullanılarak başarı ile tasarlanmıştır. Yine de yüksek frekanslarda özellikle milimetre dalga bölgesindeki frekanslarda iletim hattı parametrelerinin daha doğru tespiti için dinamik yaklaşım kullanılmalıdır. Statik ile dinamik sonuçlar arasındaki ana özellik, statik sonuçların, hesaplaması daha kolay ancak doğruluk derecesinin daha düşük olmasıdır.

2.2.1 Statik Analiz

Statik analizle, frekanstan bağımsız olan iletim hattı parametreleri bulunur. Şimdi, iletim hattı statik karakteristik empedansı ve efektif dielektrik sabiti için basit eşitlikler çıkarılacaktır. Genel olarak, hem TEM hem de quazi TEM'i göstermek için TEM ve hem statik hem de quazi statik için statik ifadesi kullanılacaktır.

Genelliği kaybetmeksizin, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, iletim hattı temsilcisi olarak, dielektrikli kayıpsız mikroşerit hat kullanacağız.



Şekil 2.1 Dielektrikli mikroşerit hat kesiti

Bu iletim hattının karakteristik empedansı eşitlik (2.1) ile bulunur:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.1)$$

Buradaki L ve C , sırası ile iletim hattının birim uzunluğu başına indüktans ve kapasitansdır. L_a ve C_a , dielektrik hava ile değiştirildiğinde iletim hattı birim uzunluğu başına indüktans ve kapasitans olsun. Birim uzunluk başına indüktansın çevredeki dielektrik tabana bağlı olmadığı olgusundan hareketle eşitlik (2.1) yeniden yazılabilir.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_a C_a}{C_a C}} = \frac{1}{c \sqrt{C C_a}} \quad (2.2)$$

Buradaki $c = 3 \times 10^8$ m/s serbest boşluktaki ışık hızıdır.

İletim hattı boyunca yayılan quasi TEM dalgasının faz velositesi,

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.3)$$

olarak verilir.

Buradaki ϵ_{eff} ; efektif dielektrik sabitidir. Eşitliğin her iki tarafının karesi alındığında ve $L = L_a$ kullanıldığında,

$$\epsilon_{eff} = \frac{C}{C_a} \quad (2.4)$$

eşitliğini elde ederiz. Dalga boyu,

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.5)$$

olarak verilir. Buradaki $\lambda_0 = c/f$, serbest boşluk dalga boyudur.

Tüm bu eşitlikler, herhangi bir iletim hattında quasi TEM'e uygulanır. Bir iletim hattının statik karakteristik empedansı ve efektif dielektrik sabitini bulmak için, dielektrik tabanlı ve dielektrik tabansız iletim hattının birim uzunluk başına kapasitansını bulmaya ihtiyacımız olduğu açıktır. Bunu yapmak için, Laplace denklemini çözmemiz gerekmektedir.

2.2.2 Dinamik Analiz

Dinamik analiz, frekansa bağımlı karakteristik empedans ve yayılım sabitini verir ve dolayısıyla TEM iletim hattı ile hibrit modları zayıflama ve efektif dielektrik sabitlerini verir. Bu yaklaşım, skaler elektrik ve uygun sınır şartlarına tabi magnetik potansiyelleri için dalga eşitliklerinin çözümü ile başlatılır ve bunlar kullanılarak elektrik ve magnetik alan sonuçları elde edilir. Bu işlem ayrıca Eigen değer denklemini de verir.

Eigen değeri yayılım sabiti $\gamma = \alpha + j\beta$ dır. Buradaki α ve β sırası ile zayıflama ve faz sabitleridir. β faz sabiti, efektif dielektrik sabitinin hesaplanması için kullanılabilir.

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\beta}{k_0} \right)^2 \quad (2.6)$$

Buradaki $k_0 = \omega\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$, serbest boşluk dalga sayısıdır. Faz sabitinin şarta uyması gerektiği kaydedilmelidir.

$$\omega\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \leq \beta \leq \omega\sqrt{\epsilon_0\mu_0\epsilon_r} \quad (2.7)$$

Burada ϵ_r , iletim hattı için kullanılan nispi dielektrik sabitlerinin en yüksek değerine sahiptir. Elektrik ve manyetik alanları kullanarak, **(dinamik)** karakteristik empedansı frekans fonksiyonu olarak hesaplayabiliriz. TEM modu karakteristik empedansının tek olduğu bilinmektedir zira mod voltaj ve akımı kendine özgü olarak tanımlanır. Bununla birlikte hibrit mod karakteristik empedansı tek değildir. Karakteristik empedansın değişik tanımları mevcuttur ve genel tanımlar, sırasıyla aşağıda gösterildiği gibi voltaj ve akım, güç ve akım, ve güç ve voltaja dayanmaktadır.

$$Z_0^{VI} = \frac{V_0}{I_0} \quad (2.8)$$

$$Z_0^{PI} = \frac{2P_{avg}}{|I_0|^2} \quad (2.9)$$

$$Z_0^{PV} = \frac{|V_0|^2}{2P_{avg}} \quad (2.10)$$

Buradaki V_0 ; iletkenler üzerindeki voltaj, I_0 ; boylamasına akım ve P_{avg} ; iletim hattı kesitinde iletilen zaman-ortalama güç değeridir. Bu üç karakteristik empedans,

$$Z_0^{VI} = \sqrt{Z_0^{PI} Z_0^{PV}} \quad (2.11)$$

ile bağlantılıdır.

Karakteristik empedansa ait farklı tanımların, dc'de olanlar hariç farklı sayısal sonuçlar verir. TEM modu için, üç tanım da aynı sonuçları verir. Bu tanımlar, $P_{avg} = 1/2(VI^*)$ olduğunda da aynıdır. Genel olarak, bu durum iletim hattında hibrit modları için geçerli değildir. Güç ve akıma ve güç ve voltaja dayalı tanımlar iki iletken iletim hattından çıkarılır. Belli bir tanım tercihi tam açık değildir. Olası bir tercih, bir devredeki iletim hattının spesifik kullanımına göre bir tanımın kullanılmasıdır. Yarık hat ve eş düzlemsel dalga kılavuzu gibi yarıklar içeren iletim hattı genel tanımı, güç ve voltaja dayanmaktadır. Örneğin, Şekil 2.3 (a)'da gösterilen eş düzlemsel dalga kılavuzunun karakteristik empedansı, voltaj ve güç ile eşitlik (2.10)'dan elde edilebilir.

$$V_0 = \int_a^b E_x(x, h) dx \quad (2.12)$$

$$P_{avg} = \frac{1}{2} \text{Re} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (E_x H_y^* - E_y H_x^*) dx dy \quad (2.13)$$

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi yarık hat karakteristik empedansı, eşitlik (2.10) ile tanımlanabilir. Burada güç yine eşitlik (2.13) ile verilir ve voltaj;

$$V_0 = \int_{-W/2}^{W/2} E_x(x, h) dx \quad (2.14)$$

olarak elde edilir. Yarıksız diğer iletim hatları için akım ve güce ve voltaj ve akıma dayalı tanımlar kullanılmaktadır. Şekil 2.2'de gösterilen mikroşerit hat durumu için, akım, voltaj ve güç;

$$I_0 = \int_{-W/2}^{W/2} J_z(x, h) dx \quad (2.15)$$

$$V_0 = -\int_0^h E_y dy \quad (2.16)$$

$$P_{avg} = \frac{1}{2} \text{Re} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (E_x H_y^* - E_y H_x^*) dx dy \quad (2.17)$$

olarak verilir. Buradaki J_z , z yönü boyunca şerit üzerindeki akım yoğunluğudur.

2.3 Mikroşerit Hat

Mikroşerit hat ilk olarak 1952’de önerildi ve o tarihten bu yana, belki de en iyi bilinen ve RF ve mikrodalga IC’ler için en yaygın kullanılan düzlemsel iletim hattıdır. Bu popülerlik ve yaygın kullanımı, düzlemsel niteliği, fotolitografik işlemler kullanılan yapım kolaylığı, katı-durumlu cihazlarla kolay entegrasyonu, iyi ısı azalması, iyi mekanik destek ve geniş tasarım bilgilerinden dolayıdır. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi sıfır şerit kalınlığı ($t=0$) verildiği varsayımı ile, bir mikroşerit hattın efektif dielektrik sabiti, ϵ_{eff} ve karakteristik empedansı, Z_0 için kapalı form ifadeleri;

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{W}\right)^{-B} \quad (2.18)$$

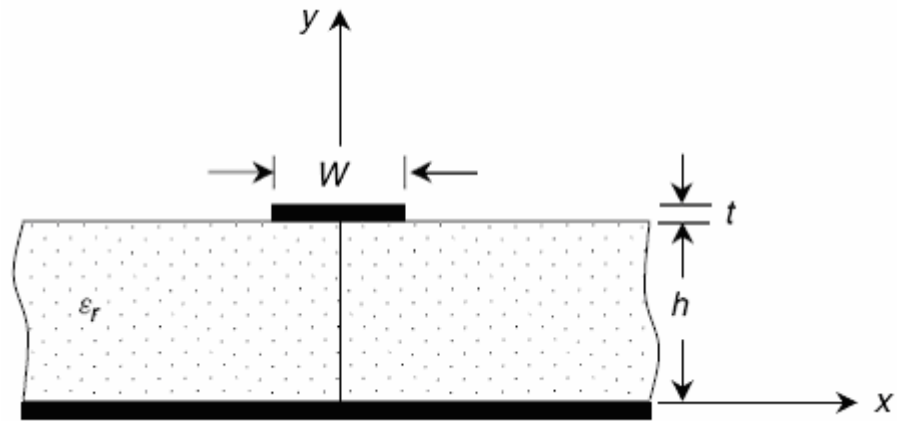
$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{h}{W} A + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{W}\right)^2} \right] \quad (2.19)$$

olarak verilir. Buradaki A ve B sabitleri eşitlik (2.20) ve (2.21)’den hesaplanır.

$$A = 6 + (2\pi - 6) \exp \left[- \left(\frac{30.666h}{W} \right)^{0.7528} \right] \quad (2.20)$$

$$B = 0.564x \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{1}{49} \ln \left(\frac{\left(\frac{W}{h} \right)^4 + \left(\frac{W}{52h} \right)^2}{\left(\frac{W}{h} \right)^4 + 0.432} \right) \\ + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{W}{18.1h} \right)^3 \right] \end{array} \right\} x \left(\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0.053} \quad (2.21)$$

Eşitlik (2.18)’den elde edilen efektif dielektrik sabitlerinin doğruluğu $\epsilon_r \leq 128$ ve $0.01 \leq W/h \leq 100$ için %0.2’den daha iyidir. Karakteristik empedans için maksimum hatalar, sırasıyla $W/h \leq 1$ ve 1000 için %0.01 ve %0.03’tür.



Şekil 2.2 Mikroşerit hat kesiti

Normalize şerit eni W/h , karakteristik empedans ve rölatif dielektrik sabitinden de bulunabilir.

$$\frac{W}{h} = \begin{cases} \frac{8 \exp(C)}{\exp(2C) - 2}, \Leftrightarrow \frac{W}{h} \leq 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[D - 1 - \ln(2D - 1) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \right) x \left(\ln(D - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right], \Leftrightarrow \frac{W}{h} \geq 2 \end{cases} \quad (2.22)$$

Buradaki C ve D sabitleri eşitlik (2.23) ve (2.24)'den hesaplanır.

$$C = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.23)$$

$$D = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.24)$$

Pratik mikroşerit hattı, sonlu şerit kalınlığı t 'ye sahiptir ve etkisi, şerit enini arttırmaktır. Eşitlik (2.18) ve (2.19), daha doğru sonuçlar için t 'yi dikkate almak için değiştirilebilir.

$$\epsilon_{eff}(t) = \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W_e} \right)^{-B_i} \right] \frac{Z_0(t', \epsilon_r = 1)}{Z_0(t, \epsilon_r = 1)} \quad (2.25)$$

$$Z_0(t) = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{eff}(t)}} \ln \left[\frac{h}{W_e} A_t + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{W_e} \right)^2} \right] \quad (2.26)$$

Buradaki,

$$A_t = 6 + (2\pi - 6) \exp \left[- \left(\frac{30.666h}{W_e} \right)^{0.7528} \right] \quad (2.27)$$

$$B_t = 0.564x \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{1}{49} \ln \left(\frac{(W_e/h)^4 + (W_e/52h)^2}{(W_e/h)^4 + 0.432} \right) \\ + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{W_e}{18.1h} \right)^3 \right] \end{array} \right\} x \left(\frac{\varepsilon_r - 0.9}{\varepsilon_r + 3} \right)^{0.053} \quad (2.28)$$

$$W_e = W + \Delta W \quad (2.29)$$

$$\Delta W = \frac{\Delta W'}{2} \left(1 + \frac{1}{\cosh(\sqrt{\varepsilon_r - 1})} \right) \quad (2.30)$$

$$\Delta W' = \frac{t}{\pi} \ln \left(1 + \frac{4 \exp(1)}{(t/h) \coth^2 \left(\sqrt{6.517 \frac{W}{h}} \right)} \right) \quad (2.31)$$

$$W' = W + \Delta W' \quad (2.32)$$

olarak verilir.

$Z_0(t, \varepsilon_r = 1)$ ve $Z_0(t', \varepsilon_r = 1)$, eşitlik (2.26)'dan $\varepsilon_{eff}(t) = 1$ ve W_e' 'den elde edilen karakteristik empedanslar olup sırasıyla eşitlik (2.29) ve (2.32) ile elde edilir.

Tipik mikrodalga dielektrik tabanları, **0.5**, **1** ve **2 oz (28.3 gram)**'da olarak bakıra sahiptir. Bu da, **0.0007**, **0.00014** ve **0.0028** inç kalınlıklara karşılık gelmektedir.

Frekansa bağı efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedanslar aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\varepsilon_{eff}(f) = \varepsilon_r - \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}(0)}{1 + G(f/f_p)^2} \quad (2.33)$$

$$Z_0(f) = Z_0(0) \frac{\varepsilon_{eff}(f) - 1}{\varepsilon_{eff}(0) - 1} \sqrt{\frac{\varepsilon_{eff}(0)}{\varepsilon_{eff}(f)}} \quad (2.34)$$

Burada,

$$f_p = \frac{Z_0(0)}{2\mu_0 h} \quad (2.35)$$

$$G = \frac{\pi^2}{12} \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_{eff}(0)} \sqrt{\frac{Z_0(0)}{60}} \quad (2.36)$$

olarak verilir.

$\varepsilon_{eff}(0)$ ve $Z_0(0)$, sırasıyla quasi-statik efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedansdır ve $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, serbest boşluk manyetik geçirgenliğidir.

İletim hattı için, mikroşerit hattaki kayıp, mükemmel olmayan iletkenler ve dielektrikten dolayıdır ve zayıflama sabiti $\alpha = \alpha_c + \alpha_d$ ile karakterizedir. Burada α_c ve α_d sırasıyla iletken ve dielektrik zayıflama sabitleridir ve α_c (**dB/cm cinsinden**) aşağıdaki gibi bulunabilir.

$0 < W/h \leq 1/2\pi$ için,

$$\alpha_c = \frac{8.68Rs}{2\pi Z_0 h} x \left[1 - \left(\frac{W_e}{4h} \right)^2 \right] x \left\{ 1 + \frac{h}{W_e} + \frac{h}{\pi W_e} \left[\ln \left(\frac{4\pi W}{t} \right) + \frac{t}{W} \right] \right\} \quad (2.37)$$

$1/2\pi < W/h \leq 2$ için,

$$\alpha_c = \frac{8.68R_s}{2\pi Z_0 h} x \left[1 - \left(\frac{W_e}{4h} \right)^2 \right] x \left\{ 1 + \frac{h}{W_e} + \frac{h}{\pi W_e} \left[\ln \left(\frac{2h}{t} \right) + \frac{t}{h} \right] \right\} \quad (2.38)$$

$2 \leq W/h$ için,

$$\alpha_c = \frac{8.68R_s}{Z_0 h} x \left\{ 1 + \frac{h}{W_e} + \frac{h}{\pi W_e} \left[\ln \left(\frac{2h}{t} \right) - \frac{t}{h} \right] \right\} x \left(\frac{W_e}{h} + \frac{W_e/\pi h}{W_e/2h + 0.94} \right) x \left[\frac{W_e}{h} + \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{W_e}{2h} + 0.94 \right) \right]^{-2} \quad (2.39)$$

Burada $R_s = \sqrt{\omega\mu_0/2\alpha}$, σ iletkenlikli iletkenin yüzey direncidir. W_e , şerit sonlu metalizasyon kalınlığı dikkate alınarak eşitlik (2.29), efektif şerit genişliğidir ve α_d aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

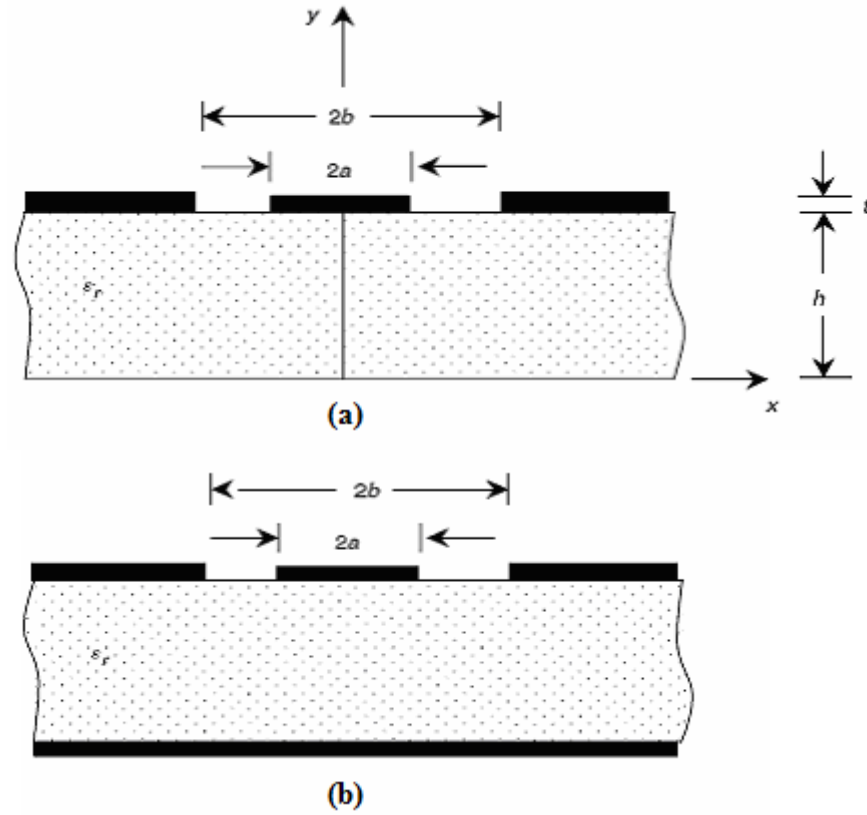
$$\alpha_d = \frac{27.3\epsilon_r(\epsilon_{eff} - 1)\tan\delta}{\sqrt{\epsilon_{eff}}(\epsilon_r - 1)\lambda_0} \quad (\text{dB/m}) \quad (2.40)$$

Burada $\tan\delta$, dielektrik kayıp tanjantı ve λ_0 serbest boşluk dalga boyudur. Düzlemsel iletim hatları için dielektrik kayıp, dielektriklerin silikon gibi düşük dirençli yarı iletken olması durumu hariç, normal olarak iletken kaybindan düşüktür.

2.4 Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CPW)

Eş düzlemsel dalga kılavuzu ilk olarak 1969 yılında ileri sürüldü. O tarihten bu yana, RF ve mikrodalga IC'ler, bir çok çekici özelliği nedeniyle (devre elemanlarının toprağa bağlantısında deliklerin eliminasyonu, katı durumlu aygıtlarla kolay entegrasyon, kompakt balanslı devrelerin kolay sağlanması ve hatlar arasında çapraz konulmanın azalması gibi) hızla yaygın kullanım özelliği kazanmıştır. Şekil 2.3, klasik ve iletken destekli eş düzlemsel dalga kılavuzu kesitlerini göstermektedir. Sıfır kalınlıklı iletim

hatları efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans için kapalı form ifadeleri, *Konform dönüşüm metodu* esasları kullanılarak çıkarılmıştır.



Şekil 2.3 Eş düzlemsel dalga kılavuzu kesitleri, **(a)** Klasik eş düzlemsel dalga kılavuzu **(b)** İletken destekli eş düzlemsel dalga kılavuzu

Klasik eş düzlemsel dalga kılavuzu için efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans için kapalı form ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_{eff} = 1 + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(k_1)}{K(k_1')} \quad (2.41)$$

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \frac{K(k')}{K(k)} \quad (2.42)$$

Burada,

$$k = \frac{a}{b} \quad (2.43)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad (2.44)$$

$$k_1 = \frac{\sinh(\pi a/2h)}{\sinh(\pi b/2h)} \quad (2.45)$$

$$k_1' = \sqrt{1 - k_1^2} \quad (2.46)$$

olarak verilir.

K değerleri integral veya cetvele geçirilmiş tablolardan bulunabilen birinci tür komple integraldir. $K(k)/K(k')$ oranı eşitlik (2.47) ile yaklaşık olarak bulunabilir.

$$\frac{K(k)}{K(k')} = \begin{cases} \frac{\pi}{\ln\left(2 \frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}}\right)}, \Leftrightarrow 0 \leq k \leq 0.707 \\ \frac{1}{\pi} \ln\left(2 \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}}\right), \Leftrightarrow 0.707 \leq k \leq 1 \end{cases} \quad (2.47)$$

İletken destekli eş düzlemsel dalga kılavuzu için efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans, aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir.

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1 + \varepsilon_r \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(k_1)}{K(k_1')}}{1 + \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(k_1)}{K(k_1')}} \quad (2.48)$$

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \frac{1}{\frac{K(k)}{K(k')} + \frac{K(k_1)}{K(k_1')}} \quad (2.49)$$

Burada,

$$k = \frac{a}{b} \quad (2.50)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad (2.51)$$

$$k_1 = \frac{\tanh(\pi a/2h)}{\tanh(\pi b/2h)} \quad (2.52)$$

$$k_1' = \sqrt{1 - k_1^2} \quad (2.53)$$

olarak verilir.

Merkez şerit ve toprak düzlemleri t kalınlığı değerlendirildiğinde, şerit genişlikleri ve açıklıklar etkin olarak sırası ile artar ve azalır. Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans, bu etki dikkate alınarak, eşitlik (2.54) ve (2.55)'den bulunabilir.

$$\varepsilon_{eff}(t) = \varepsilon_{eff} - \frac{0.7(\varepsilon_{eff} - 1) \frac{t}{b-a}}{\frac{K(k)}{K(k')} + 0.7 \frac{t}{b-a}} \quad (2.54)$$

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}(t)}} \frac{K(k_e')}{K(k_e)} \quad (2.55)$$

Yukarıdaki sabit değerler aşağıdaki eşitliklerden bulunmaktadır.

$$k_e = \frac{S_e}{S_e + 2W_e} \quad (2.56)$$

$$k_e' = \sqrt{1 - k_e^2} \quad (2.57)$$

$$S_e = 2a + \Delta \quad (2.58)$$

$$W_e = b - a - \Delta \quad (2.59)$$

$$\Delta = \frac{1.25t}{\pi} \left[1 + \ln\left(\frac{8\pi a}{t}\right) \right] \quad (2.60)$$

Klasik eş düzlemsel dalga kılavuzu için iletken zayıflama sabiti aşağıdaki gibidir.

$$\alpha_c = \frac{4.88 \times 10^4}{\pi} R_s \varepsilon_{eff} Z_0 P \frac{b+a}{(b-a)^2} \times \left\{ \frac{\frac{1.25t}{\pi} \ln\left(\frac{8\pi a}{t}\right) + 1 + \frac{1.25t}{2\pi a}}{\left[2 + \frac{2a}{b-a} - \frac{1.25t}{\pi(b-a)} \left(1 + \ln\frac{8\pi a}{t}\right)\right]^2} \right\} \quad (\text{dB/m}) \quad (2.61)$$

Burada,

$$P = \begin{cases} \frac{k}{(1-k')(k')^{3/2}} \left[\frac{K(k)}{K(k')} \right]^2, & \Leftrightarrow 0 \leq k \leq 0.707 \\ \frac{1}{(1-k)\sqrt{k}}, & \Leftrightarrow 0.707 \leq k \leq 1 \end{cases} \quad (2.62)$$

olarak verilir.

Dielektrik zayıflama sabiti ifadesi, eşitlik 2.40'da verilen mikroşerit hat sabiti ile aynıdır.

2.5 Eş Düzlemsel Şeritler (CPS)

Şekil 2.4'de gösterildiği gibi eş düzlemsel şeritlerde, dielektrik tabanın aynı tarafındaki iki paralel şerit kullanılır. Bu yapı, balanslı niteliği nedeniyle, RF ve mikrodalga IC'ler, özellikle balanslı devreler için de yararlıdır. Eş düzlemsel şerit yapısı, seri ve şönt katı durumlu aygıtlar için kolay bağlantıya olanak tanımaktadır.

Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans (sıfır şerit kalınlığı için) eşitlik (2.63) ve (2.64)'deki kapalı form eşitliklerinden bulunabilir:

$$\varepsilon_{eff} = 1 + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(k_1)}{K(k_1')} \quad (2.63)$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K(k)}{K(k')} \quad (2.64)$$

Burada,

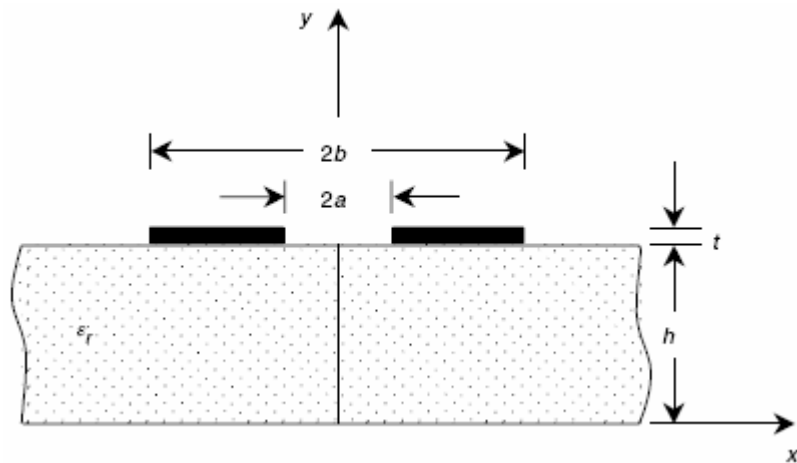
$$k = \frac{a}{b} \quad (2.65)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad (2.66)$$

$$k_1 = \frac{\sinh(\pi a/2h)}{\sinh(\pi b/2h)} \quad (2.67)$$

$$k_1' = \sqrt{1 - k_1^2} \quad (2.68)$$

olarak verilir.



Şekil 2.4 Eş düzlemsel şerit kesiti

Şerit kalınlığı düşünüldüğünde efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunabilir.

$$\epsilon_{eff}(t) = \epsilon_{eff} - \frac{0.7(\epsilon_{eff} - 1) \frac{t}{a}}{\frac{K(k')}{K(k)} + 0.7 \frac{t}{a}} \quad (2.69)$$

$$Z_0(t) = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}(t)}} \frac{K(k_e)}{K(k_e')} \quad (2.70)$$

Burada,

$$S = b - a$$

$$k_e = \frac{S_e}{S_e + 2W_e} \quad (2.71)$$

$$k_e' = \sqrt{1 - k_e^2} \quad (2.72)$$

$$S_e = S - \Delta \quad (2.73)$$

$$W_e = W + \Delta \quad (2.74)$$

$$\Delta = \frac{1.25t}{\pi} \left[1 + \ln \left(4\pi \frac{b-a}{t} \right) \right] \quad (2.75)$$

olarak verilir.

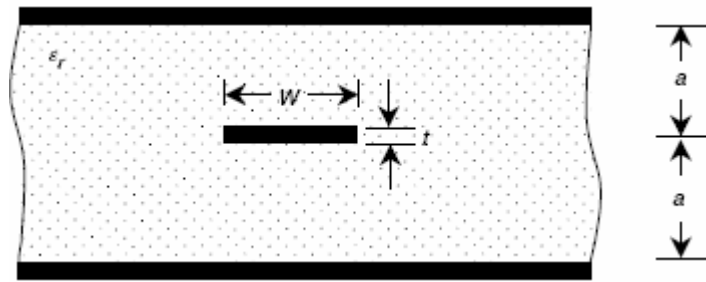
İletken kaybından kaynaklanan zayıflama aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\alpha_c = \frac{4.34}{\pi} \frac{R_s}{Z_0} P \frac{a+b}{a^2} \left(\frac{\frac{1.25}{\pi} \ln \left(4\pi \frac{b-a}{t} \right) + 1 + \frac{1.25}{\pi} \frac{t}{b-a}}{\left\{ 1 + \frac{b-a}{a} + \frac{1.25}{2\pi} \frac{t}{a} \left[1 + \ln \left(4\pi \frac{b-a}{t} \right) \right] \right\}^2} \right) \quad (2.76)$$

Burada P , eşitlik (2.62)'de verilmiştir. Dielektrik zayıflama sabiti. eşitlik (2.40)'dan bulunabilir.

2.6 Şerit Hat

Şekil 2.5’de gösterildiği gibi şerit hat, bir koaksiyel iletim hattı baskılı devre versiyonudur. Yayılma dominant modu, mükemmel iletkenler varsayılarak saf TEM’dir. İki paralel toprak düzlemi nedeniyle yüksek frekanslarda istenmeyen paralel-plaka modlarını uyarma olasılığı nedeniyle, şerit hattı, düşük mikrodalga frekanslarda kullanıma daha fazla uygundur. Sıfır kalınlıkta şerit karakteristik empedansı aşağıdaki conformal-mapping formülleri kullanılarak bulunabilir.



Şekil 2.5 Şerit hat kesiti

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{K(k')}{K(k)} \quad (2.77)$$

Burada,

$$k = \tanh\left(\frac{\pi W}{4a}\right) \quad (2.78)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad (2.79)$$

olarak verilir.

Sonlu şerit kalınlığı için, karakteristik empedans eşitlik (2.80) ile bulunabilir.

$$Z_0 = \frac{30}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left\{ 1 + \frac{4}{\pi} \frac{2a-t}{W_e} \left[\frac{8}{\pi} \frac{2a-t}{W_e} + \sqrt{\left(\frac{8}{\pi} \frac{2a-t}{W_e} \right)^2 + 6.27} \right] \right\} \quad (2.80)$$

Burada,

$$\frac{W_e}{2a-t} = \frac{W}{2a-t} + \frac{\Delta W}{2a-t} \quad (2.81)$$

$$\frac{\Delta W}{2a-t} = \frac{x}{\pi(1-x)} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \ln \left[\left(\frac{x}{2-x} \right)^2 + \left(\frac{0.0796x}{W/2a+1.1x} \right)^m \right] \right\} \quad (2.82)$$

$$m = \frac{2}{1 + 2x/3(1-x)} \quad (2.83)$$

$$x = \frac{t}{2a} \quad (2.84)$$

olarak verilir.

Şerit eni, karakteristik empedans ve rölatif dielektrik sabitinden de bulunabilir. Sıfır kalınlıklı şerit için şerit eni ifadesi eşitlik (2.77) - (2.79)'dan çıkarılabilir.

$$\frac{W}{a} = \frac{4}{\pi} \tanh^{-1}(\sqrt{p}) \quad (2.85)$$

Burada,

$$p = \begin{cases} \sqrt{1 - (e^{\pi q - 2} / e^{\pi q + 2})^4}, \Leftrightarrow q \geq 1 \\ [(e^{\pi/q} - 2) / (e^{\pi/q} + 2)]^2, \Leftrightarrow 0 \leq q \leq 1 \end{cases} \quad (2.86)$$

$$q = \frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}{30\pi} \quad (2.87)$$

olarak verilir.

Eşitlik (2.80) - (2.84) kullanılarak ve şerit kalınlığı dikkate alınarak şerit eni için aşağıdaki eşitlikler bulunabilir.

$$\frac{W}{2a-t} = \frac{W_e}{2a-t} - \frac{\Delta W}{2a-t} \quad (2.88)$$

$$\frac{W_e}{2a-t} = \frac{8}{\pi A} \quad (2.89)$$

$$\frac{\Delta W}{2a-t} = \frac{x}{\pi(1-x)} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \ln \left[\left(\frac{x}{2-x} \right)^2 + \left(\frac{0.0796x}{W_e/2a+1.1x} \right)^m \right] \right\} \quad (2.90)$$

$$A = \frac{2B}{C} \quad (2.91)$$

$$B = \exp\left(\frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}{30}\right) - 1 \quad (2.92)$$

$$C = \sqrt{4B + 6.27} \quad (2.93)$$

$$m = \frac{2}{1 + 2x/3(1-x)} \quad (2.94)$$

$$x = \frac{t}{2a} \quad (2.95)$$

İletken zayıflama sabiti eşitlik (2.96) ile bulunabilir.

$$\alpha_c = \begin{cases} \frac{23.4 \times 10^{-3} R_s \epsilon_r Z_0 A}{30\pi(2a-t)}, \Leftrightarrow Z_0 < \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \\ \frac{1.4 R_s B}{2Z_0 a}, \Leftrightarrow Z_0 > \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \end{cases} \quad (\text{dB/m}) \quad (2.96)$$

Burada,

$$A = 1 + \frac{2W}{2a-t} + \frac{1}{\pi} \frac{2a+t}{2a-t} \ln\left(\frac{4a-t}{t}\right) \quad (2.97)$$

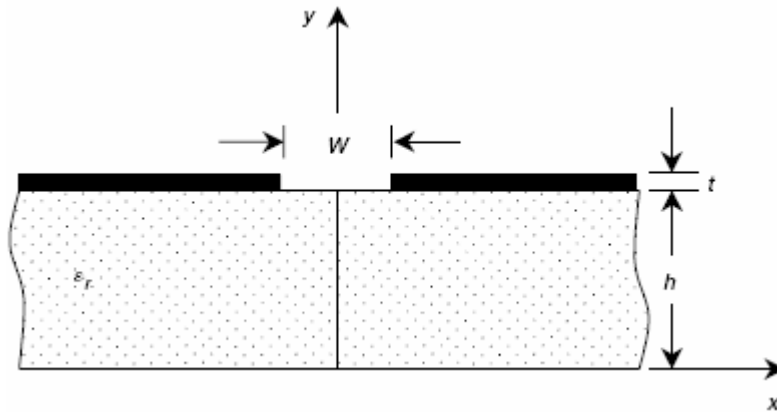
$$B = 1 + \frac{2a}{0.5W + 0.7t} \left(0.5 + \frac{0.414t}{W} + \frac{1}{2\pi} \ln \frac{4\pi W}{t} \right) \quad (2.98)$$

olarak verilir. Dielektrik zayıflama sabiti eşitlik (2.99) ile verilir.

$$\alpha_d = \frac{27.3 \sqrt{\epsilon_r} \tan \delta}{\lambda_0} \quad (\text{dB/m}) \quad (2.99)$$

2.7 Yarık (Slot) Hat

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi yarık hat, RF ve mikrodalga IC'ler için de faydalıdır. Dengeli niteliği, özellikle, dengeli topoloji gerektiren devreler için çekici bir özelliktir. konvansiyonel iletim hatlarının tersine, yarık hat TEM yayılım modunu desteklemez. Yarık hat yayan modlar quasi TE₁₀ modları olup TE₁₀ tipini andırır. Dominant mod, quasi TE₁₀'dur, dikdörtgen dalga kılavuzu TE₁₀'a benzer. Yarık hat quasi TE₁₀ modun'da kesim frekansı yoktur. İyi bir iletim hattı olarak kullanılabilmesi için, yarık hat, radyasyonu minimize etmek için yüksek dielektrik sabitli bir madde kullanılarak imal edilmelidir. Öte yandan, yarık hat kullanılan bir anten, düşük dielektrik sabitli madde kullanılarak takılmalıdır.



Şekil 2.6 Yarık hat kesiti

Voltaj ve güce dayalı, karakteristik empedans kapalı form ifadeleri, Z_0 , ve yüksek dielektrik sabit tabanlarındaki yarık hat için dalga uzunluğu, λ_g , ($9.7 \leq \epsilon_{eff} \leq 20$) Cohn'un sayısal sonuçlarına uygun eğri ile elde edilmiştir. Aşağıdaki gibidir.

0.02 ≤ W/h ≤ 0.2 için,

$$\frac{\lambda_g}{\lambda_0} = 0.923 - 0.195 \ln \varepsilon_r + 0.2W/h - (0.126W/h + 0.02) \ln(h/\lambda_0 \times 10^2) \quad (2.100)$$

$$\begin{aligned} Z_0 = & 72.62 - 15.283 \ln \varepsilon_r + 50 \frac{(W/h - 0.02)(W/h - 0.1)}{W/h} \\ & + \ln(W/h \times 10^2)(19.23 - 3.693 \ln \varepsilon_r) \\ & - [0.139 \ln \varepsilon_r - 0.11 + W/h(0.465 \ln \varepsilon_r + 1.44)] \\ & \times (11.4 - 2.636 \ln \varepsilon_r - h/\lambda_0 \times 10^2)^2 \end{aligned} \quad (2.101)$$

0.2 ≤ W/h ≤ 1.0 için,

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_g}{\lambda_0} = & 0.987 - 0.21 \ln \varepsilon_r + W/h(0.111 - 0.0022\varepsilon_r) \\ & - (0.053 + 0.041W/h - 0.0014\varepsilon_r) \ln(h/\lambda_0 \times 10^2) \end{aligned} \quad (2.102)$$

$$\begin{aligned} Z_0 = & 113.19 - 23.257 \ln \varepsilon_r + 1.25W/h(114.59 - 22.531 \ln \varepsilon_r) \\ & + 20(W/h - 0.2)(1 - W/h) \\ & - [0.15 + 0.1 \ln \varepsilon_r + W/h(-0.79 + 0.899 \ln \varepsilon_r)] \\ & \times [10.25 - 2.171 \ln \varepsilon_r + W/h(2.1 - 0.617 \ln \varepsilon_r) - h/\lambda_0 \times 10^2]^2 \end{aligned} \quad (2.103)$$

Bu eşitlikler, sonsuz ince iletkenler varsayılarak bulunmuş ve aşağıdaki aralıklar için %2 içinde doğrudur.

$$9.7 \leq \varepsilon_r \leq 20 \quad (2.104)$$

$$0.01 \leq \frac{h}{\lambda_0} \leq \left(\frac{h}{\lambda_0} \right)_c \quad (2.105)$$

Burada (h/λ_0) , TE₁₀ yüzey-dalga modu için kesim değeridir ve aşağıdaki gibidir.

$$\left(\frac{h}{\lambda_0} \right)_c = 0.25 \sqrt{\varepsilon_r - 1} \quad (2.106)$$

Düşük dielektrikli sabit tabanlar için karakteristik empedans ve dalga uzunluğu kapalı form ifadeleri, spektral etki alanı yöntemi sonuçları eğrisi ile çıkarılmıştır.

3. FİLTRE TASARIMI

3.1 Giriş

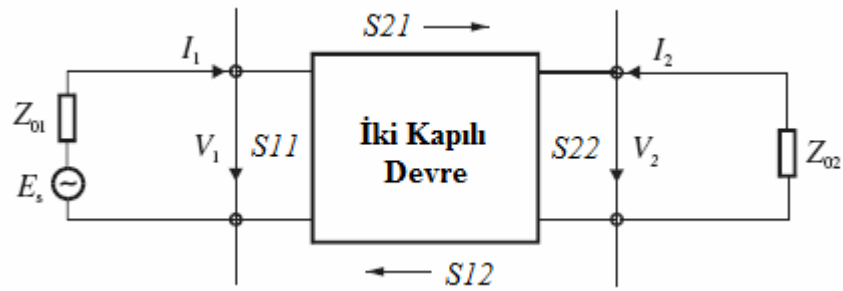
Filtre devreleri RF/mikrodalga mühendisliğinin birçok alanında gerekli yapım elemanlarıdır. Bu tür devreler bir sürü RF/mikrodalga sistemleri ve donanımları içerisindeki farklı frekanslardaki sinyalleri seçme/reddetme veya ayırma/birleştirmede kullanılır. RF/mikrodalga frekanslarında filtrelerin fiziksel gerçekleştirilmesi çeşitlilik gösterse de devre topolojisi hepsi için ortaktır.

Bu bölümde ilk olarak mikroşerit filtreleri içeren genel RF/mikrodalga filtrelerin tasarımı için kurma biçiminin temel kavramları ve teorileri tanımlanacaktır. Daha sonra mikrodalga filtre tasarımı metotlarından olan *Araya girme kaybı metodu* üzerinde durularak, değişik karakteristikteki filtre cevapları incelenecektir.

3.2 Transfer Fonksiyonları

3.2.1 Genel Tanımlar

Kayıpsız iki kapılı bir pasif filtre devresi Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 İki portlu devre

Bu kayıpsız pasif filtre devresinin transfer fonksiyonu; iletim katsayısı S_{21} 'in genliğinin karesi ile eşitlik (3.1)'deki gibi karakterize edilir.

$$|S_{21}(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 F_n^2(j\omega)} \quad (3.1)$$

S_{21} : İletim katsayısı

ε : Ripple faktörü

$F_n(\omega)$: Filtrenin karakteristiğini tanımlayan fonksiyon

Doğrusal, zamanla değişmez devreler için transfer fonksiyonu; rasyonel fonksiyon olarak eşitlik (3.2)'deki gibi tanımlanabilir.

$$S_{21}(p) = \frac{N(p)}{D(p)} \quad (3.2)$$

Burada $N(p)$ ve $D(p)$; $p = \sigma + j\omega$ kompleks frekans değişkenine bağlı polinomlardır.

$$|S_{21}(j\omega)|^2 + |S_{11}(j\omega)|^2 = 1 \quad (3.3)$$

Yansıma katsayısının genliğinin karesi eşitlik (3.3) yardımıyla eşitlik (3.4)'deki gibi bulunur.

$$|S_{11}(j\omega)|^2 = \frac{\varepsilon^2 F_n^2(j\omega)}{1 + \varepsilon^2 F_n^2(j\omega)} \quad (3.4)$$

S_{11} : Yansıma katsayısı

Araya girme kaybı eşitlik (3.5) ile tanımlanır.

$$L_A = 10 \log(|S_{21}(j\omega)|^2) \quad (\text{dB}) \quad (3.5)$$

Dönme kaybı eşitlik (3.6) ile tanımlanır.

$$L_R = 10 \log(|S_{11}(j\omega)|^2) \quad (\text{dB}) \quad (3.6)$$

Eğer rasyonel bir transfer fonksiyonu elde edilebilirse filtrenin faz cevabı eşitlik (3.7) ile bulunabilir.

$$\phi_{21} = \text{Arg}S_{21}(j\omega) \quad (3.7)$$

O zaman bu devrenin grup gecikmesi eşitlik (3.8)'den hesaplanabilir.

$$\tau_d(\omega) = -\frac{d\phi_{21}(\omega)}{d\omega} \quad (\text{sn}) \quad (3.8)$$

3.2.2 Kompleks Düzlemde Kutup ve Sıfırlar

Eşitlik (3.2) ile bir rasyonel transfer fonksiyonunun tanımlandığı (σ, ω) düzlemi kompleks düzlem veya p-düzlemi olarak adlandırılır. Bu düzlemin yatay eksenini reel veya σ - eksenini ve dikey eksenini sanal veya $j\omega$ eksenini olarak adlandırılır. $S_{21}(p)$ 'nin sıfırları paydadaki $N(p)$ 'nin kökleri ve $S_{21}(p)$ 'nin kutupları paydadaki $D(p)$ 'nin kökleri olur.

3.2.2.1 Butterworth Cevabı

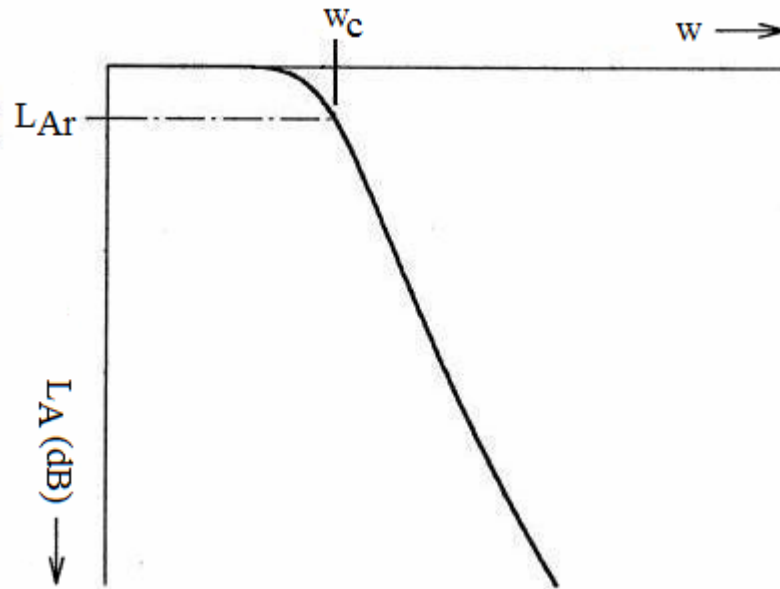
Kesim frekansı $\omega_c = 1$ de araya girme kaybı $L_{Ar} = 3.01$ dB olan Butterworth filtreleri için transfer fonksiyonunun genliğinin karesi eşitlik (3.9)'da verilmektedir.

$$|S_{21}(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \omega^{2N}} \quad (3.9)$$

N : Filtre derecesi

Butterworth filtre cevabında geçirme bandı dalgalanması düzdür yani dalgalanma olmaz. Aynı zamanda eşitlik (3.9)'daki transfer fonksiyonunun genliğinin karesi $\omega = 0$ 'da maksimum $(2N-1)$ sayıda sıfır içermesinden dolayı bu filtreden yüksek düz olarak da bahsedilir. Bu durum ω ; kesim frekansı ω_c 'ye yaklaştıkça kötüleşir.

Şekil 3.2'de Butterworth alçak geçiren cevabı görülmektedir.



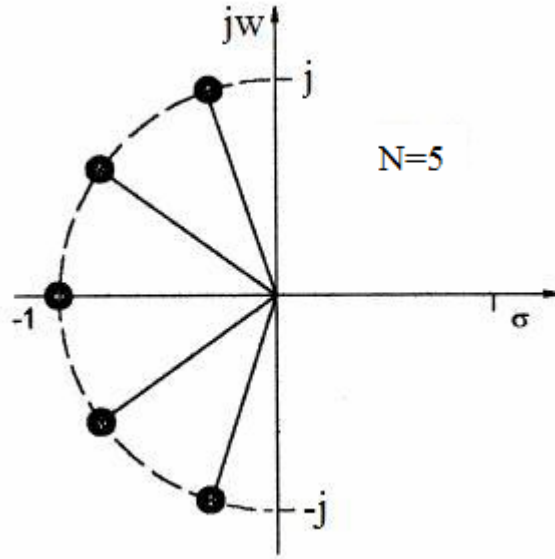
Şekil 3.2 Butterworth alçak geçiren cevabı

Rasyonel transfer fonksiyonu eşitlik (3.9)'dan elde edilebilir.

$$S_{21}(p) = \frac{1}{\prod_{i=1}^N (p - p_i)} \quad (3.10)$$

$$p_i = j \exp\left[\frac{(2i-1)\pi}{2N}\right] \quad (3.11)$$

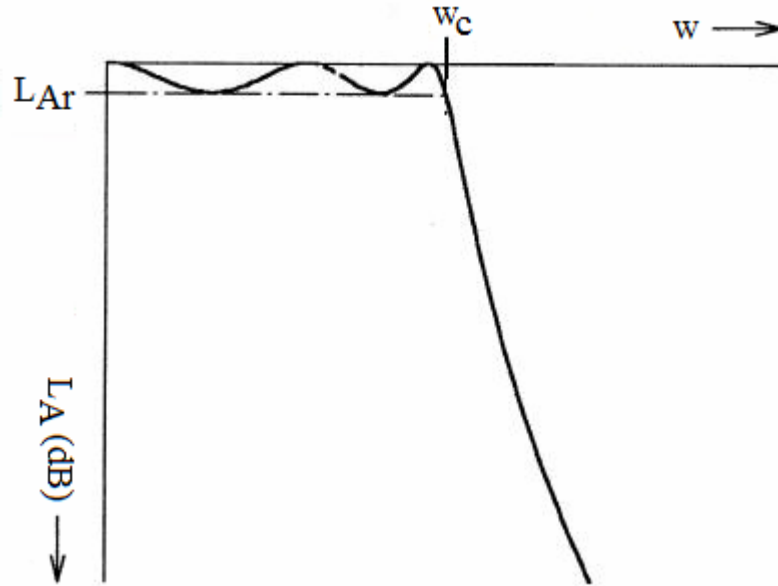
$S_{21}(p)$ 'nin sonlu frekanslı iletim sıfırları bulunmaz. Tüm sıfırlar sonsuzdadır. Kutuplar ise $|p_i|=1$ ve $Arg(p_i) = (2i-1)\pi/2N$ olmasından dolayı Şekil 3.3'de görüldüğü gibi yarım çember üzerinde sol yarı düzlemde eşit açılarla yerlerini alırlar.



Şekil 3.3 Butterworth cevabı için kutup dağılımı

3.2.2.2 Chebyshev Cevabı

Chebyshev filtre cevabında geçme bandı dalgalanmasına izin verilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Chebyshev alçak geçiren cevabı

Chebyshev cevabı için transfer fonksiyonunun genliğinin karesi eşitlik (3.12)'de verilmektedir.

$$|S_{21}(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_N^2(\omega)} \quad (3.12)$$

Ripple faktörü eşitlik (3.13) ile bulunur.

$$\varepsilon = \sqrt{10^{-0.1L_{Ar}} - 1} \quad (3.13)$$

L_{Ar} : Geçme bandı dalgalanması

$T_N(\omega)$ filtrenin N derecesine göre bir Chebyshev fonksiyonudur ve eşitlik (3.14) ile tanımlanır.

$$T_N(\omega) = \begin{cases} \cos(N \cos^{-1} \omega) \Leftrightarrow |\omega| \leq 1 \\ \cosh(N \cosh^{-1} \omega) \Leftrightarrow |\omega| \geq 1 \end{cases} \quad (3.14)$$

Bu nedenle eşitlik (3.12)'den gerçekleştirilen filtreler genellikle Chebyshev filtreler olarak bilinir.

Rhodes eşitlik (3.12)'den hareketle Chebyshev filtre için rasyonel transfer fonksiyonunun genel bir formülünü eşitlik (3.15) olarak elde etmiştir.

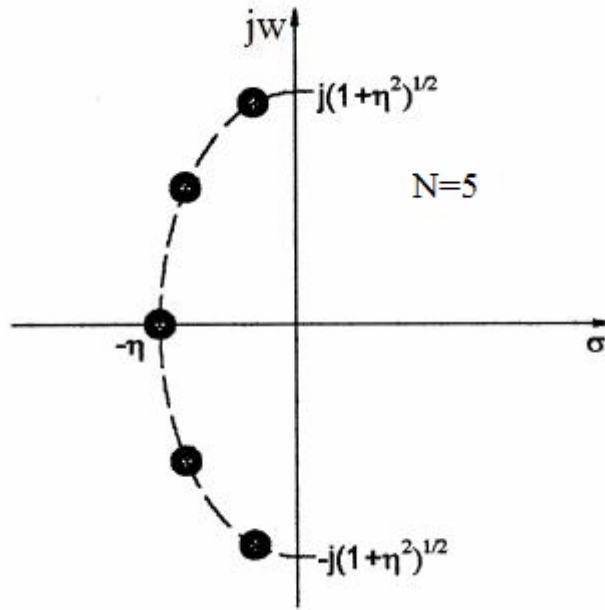
$$S_{21}(p) = \frac{\prod_{i=1}^N [\eta^2 + \sin^2(i\pi/N)]^{1/2}}{\prod_{i=1}^N (p + p_i)} \quad (3.15)$$

Buradaki p_i ve η sırası ile eşitlik (3.16) ve eşitlik (3.17) ile tanımlanır.

$$p_i = j \cos \left[\sin^{-1}(j\eta) + \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] \quad (3.16)$$

$$\eta = \sinh \left(\frac{1}{N} \sinh^{-1} \frac{1}{\varepsilon} \right) \quad (3.17)$$

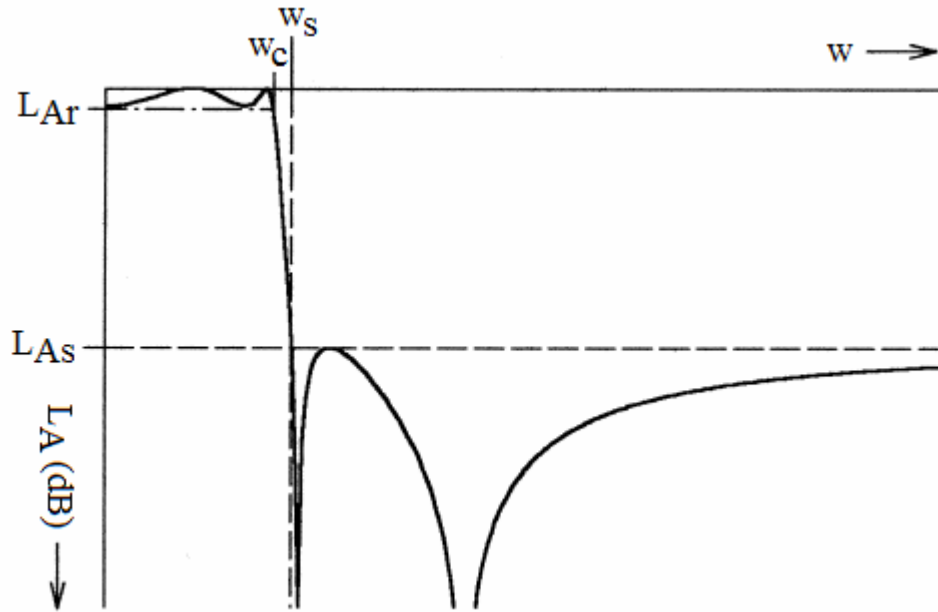
Butterworth filtre ile benzer olarak Chebyshev filtrede de $S_{21}(p)$ ' nin iletim sıfırlarının hepsi sonsuzda yer alır. Bunun yanında Butterworth filtreden farklı olarak Chebyshev cevabı için kutup yerleri bir elips üzerinde sol yarı düzlemedir. Elipsin ana eksen $j\omega$ - eksenindedir ve $\sqrt{1+\eta^2}$ ile genişletilmiştir. Diğer eksen σ - ekseninde ve η ile genişletilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Chebyshev cevabı için kutup dağılımı

3.2.2.3 Eliptik Fonksiyon Cevabı

Eliptik fonksiyon cevabında hem geçme bandında hem de tutma bandında eşit dalgalanma olur. Bu cevap Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Eliptik fonksiyon alçak geçiren cevabı

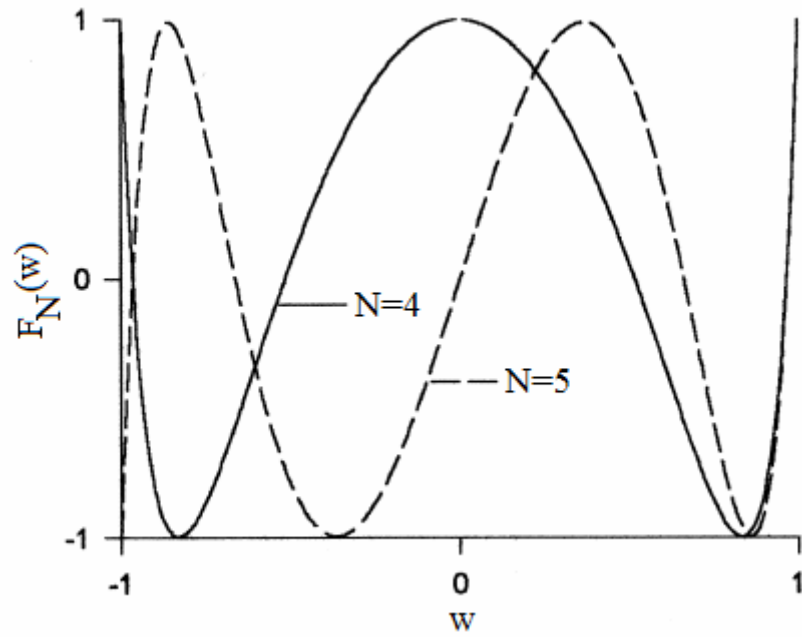
Bu tip cevap için transfer fonksiyonu eşitlik (3.18) ile tanımlanır.

$$|S_{21}(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 F_N^2(\omega)} \quad (3.18)$$

Buradaki $F_N(\omega)$ fonksiyonu eşitlik (3.19)'da verilmektedir.

$$F_N(\omega) = \begin{cases} M \frac{\prod_{i=1}^{N/2} (\omega_i^2 - \omega^2)}{\prod_{i=1}^{N/2} (\omega_s^2 / \omega_i^2 - \omega^2)} \Leftrightarrow N_{\text{çift}} \\ N \frac{\omega \prod_{i=1}^{(N-1)/2} (\omega_i^2 - \omega^2)}{\prod_{i=1}^{(N-1)/2} (\omega_s^2 / \omega_i^2 - \omega^2)} \Leftrightarrow N_{\text{tek}} \geq 3 \end{cases} \quad (3.19)$$

Burada $\omega_i (0 < \omega_i < 1)$ ve $\omega_s > 1$ bazı kritik frekansları gösterir; M ve N Lancaster Chapter 3 [4-5]'de tanımlanan sabitlerdir. $F_N(\omega)$ fonksiyonu $|\omega| \leq 1$ için ± 1 arasında salınım yapar ve $|F_N(\omega = \pm 1)| = 1$ dir (Şekil 3.7).



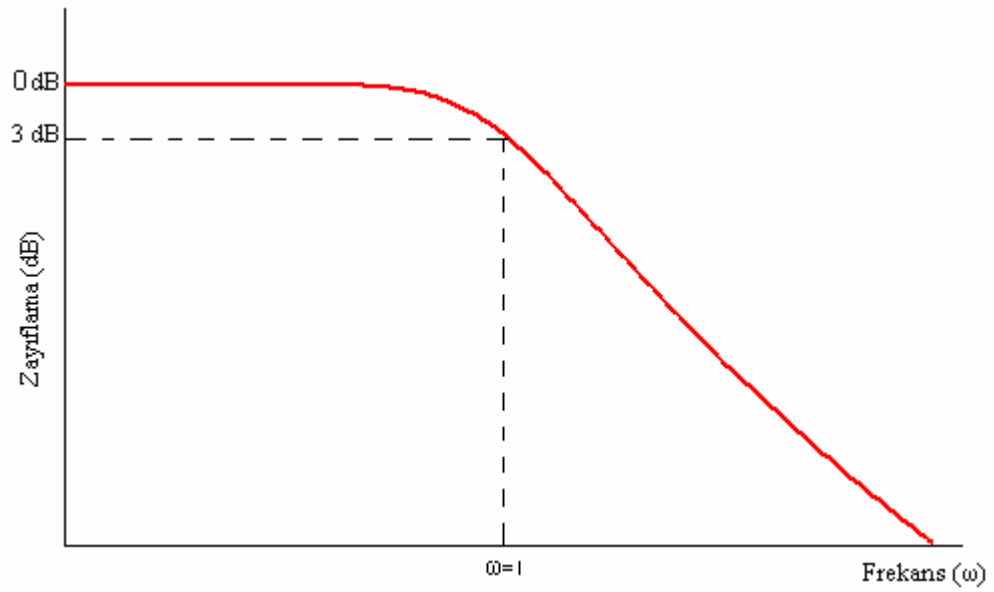
Şekil 3.7 Eliptik rasyonel fonksiyon grafiği

3.3 Araya Girme Kaybı Metodu ile Filtre Tasarımı

Günümüzde filtre tasarımcıları devre analizi tekniğine dayanan bu metot ile birçok filtre tasarlamaktadırlar.

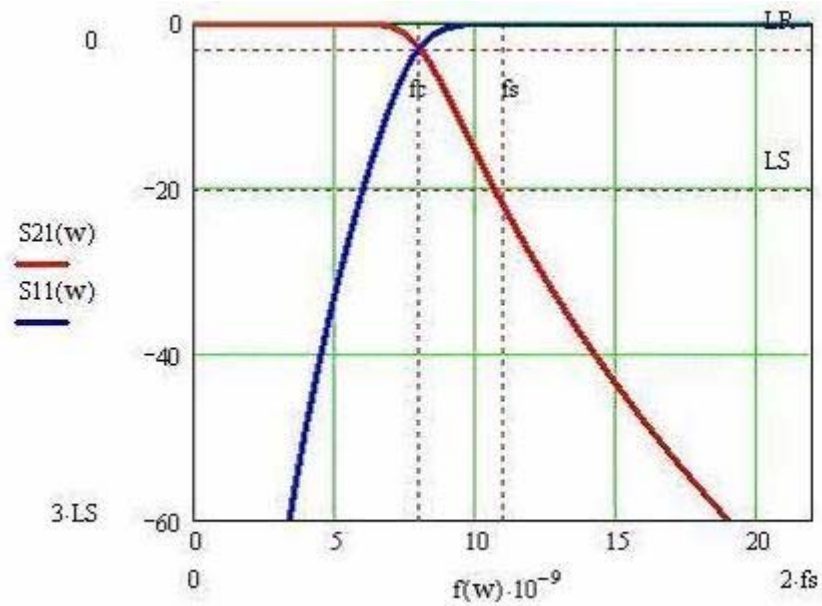
3.3.1. Butterworth Filtre

Genlik cevabının mümkün olabildiğince düz olmasını sağlayan orta-Q filtresi Butterworth Filtre olarak bilinir. Geçme bandının en düz olduğu ve dalgalanmanın hiç olmadığı frekans cevabı Butterworth Filtre ile elde edilebilir (C. Bowick, 1982). Butterworth filtrenin karakteristik özelliği Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8 Butterworth filtre cevabı

Filtre parametrelerinin kendi içinde birbirlerine dönüşümlerinin sağlanması neticesinde farklı analiz yolları yeni paket programa uyarlanmıştır.



Şekil 3.9 Butterworth filtre alçak geçiren cevabı

f_c ; kesim frekansı ve f_s ; istenilen araya girme kaybının meydana geldiği frekans olmak üzere normalize frekanslar;

$$\omega_c = 2\pi f_c \quad (3.20)$$

$$\omega_s = 2\pi f_s \quad (3.21)$$

olarak verilir.

Butterworth filtre için araya girme kaybı;

$$L_{As} = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N} \right] \quad (3.22)$$

olarak tanımlanır.

L_{Ar} ; geçme bandı dalgalanması olmak üzere Butterworth filtre için bu değer sabit -3 dB değerine karşılık gelir.

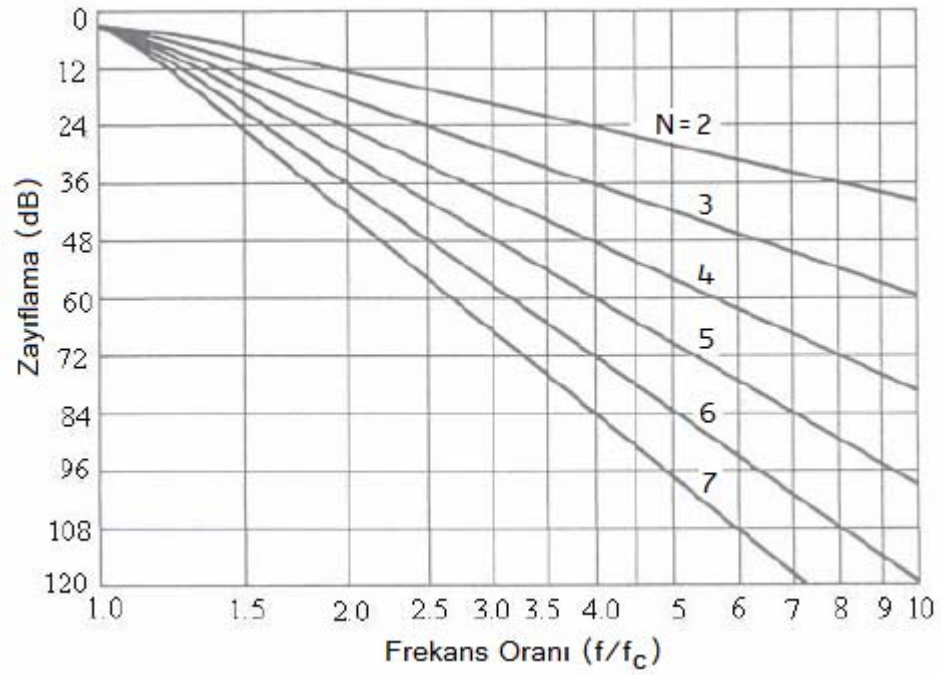
Ripple faktörü eşitlik (3.23)'deki gibi bulunur.

$$\varepsilon = \sqrt{10^{-0.1L_{Ar}} - 1} \quad (3.23)$$

Filtrenin yaklaşık derecesi eşitlik (3.24)'den bulunur.

$$N = \text{ceil} \left(\frac{\log(\sqrt{10^{-0.1L_{As}}} - 1) - \log(\varepsilon)}{\log\left(\frac{\omega_s}{\omega_c}\right)} \right) \quad (3.24)$$

Eşitlik (3.22)'ye göre farklı filtre derecelerine göre belli frekans oranlarındaki zayıflama karakteristikleri Şekil 3.10'da görülmektedir. Aynı zamanda filtrenin derecesi; oluşturulacak devrenin elaman sayısını verir.



Şekil 3.10 Butterworth filtrenin zayıflama karakteristiği

Seçicilik faktörü eşitlik (3.25)'deki gibi verilir.

$$\omega_n = \frac{f}{f_c} \quad (3.25)$$

$\frac{f}{f_c}$; gözlenmek istenen frekansın kesim frekansına oranı

Örnek 3.1 : Kesim frekansı 2 GHz'de olan ve 4 GHz'de 36 dB'lik zayıflama yapması düşünülen filtrenin derecesini yani eleman sayısını bulalım. Son olarak da alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerlerini bularak devresini gerçekleyelim.

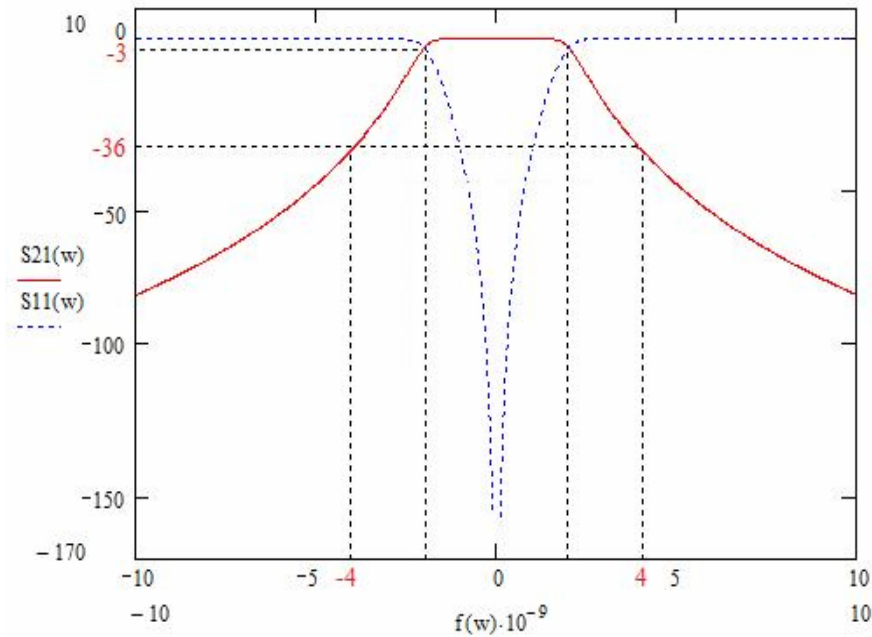
Cözüm :

İlk başta seçicilik faktörü ω_n oranının bulunması gerekir. Bunu da $\frac{\omega}{\omega_c}$ oranından veya

f/f_c oranı yardımıyla bulabiliriz.

$$\omega_n = \frac{f}{f_c} = \frac{4GHz}{2GHz} = 2$$

Yani 36 dB'lik zayıflamaya kesim frekansının 2 katında ulaşılır. Bir önceki grafiğe bakılarak 6. dereceden bir filtre devresinin istenilen zayıflamayı sağlayacağı görülür (Bkz. Şekil 3.10). Burada frekans eksenini ω/ω_c ile normalize edilerek grafiğin kesim frekansının -3dB den başlamış olduğu görülecektir. Mathcad analizi sonucundaki grafik Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11 Örnek 3.1'deki Butterworth filtrenin iletim ve yansıma karakteristiğinin Mathcad program görüntüsü

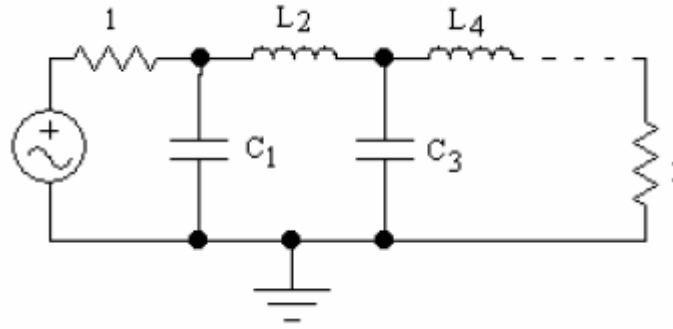
1 Ohm'luk giriş ve çıkış yükleri arasında olan Butterworth filtre devresinin prototip değerlerini bulalım.

g_k ; k 'nıncı prototip eleman ve

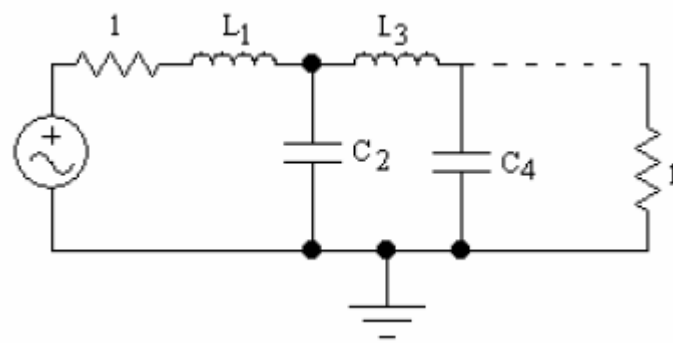
N ; filtrenin derecesi olmak üzere prototip değerler eşitlik (3.26)'dan bulunur.

$$g_k = 2 \sin\left(\frac{2k-1}{2N} \pi\right), \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.26)$$

Prototip devre Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de görüleceği üzere iki farklı şekilde olur.

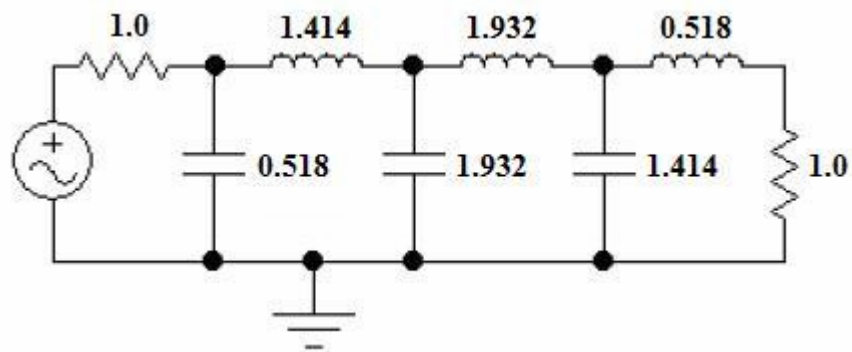


Şekil 3.12 İlk elemanı kapasitans olan prototip devre



Şekil 3.13 İlk elemanı indüktans olan prototip devre

Örnek 3.1’de bulunan prototip eleman değerleri ilk eleman kapasitans olacak şekilde Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 İlk elemanı kapasitans olan 6. dereceden Butterworth alçak geçiren filtre prototip devresi

Örnek 3.1’de gerçekleştirilen istenilen özelliklerdeki filtre tasarımı; yapılan paket programla da gerçekleştirilerek alçak geçiren prototip eleman değerleri bulunmuştur (Bkz. Bölüm 4).

1-9 arası derecedeki Butterworth alçak geçiren filtre için prototip eleman değerleri Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1 1-9 arası derecelerdeki Butterworth alçak-geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $LAr=3.01$ dB)

| N | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | g_7 | g_8 | g_9 | g_{10} |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 1 | 2.0000 | 1.0 | | | | | | | | |
| 2 | 1.4142 | 1.4142 | 1.0 | | | | | | | |
| 3 | 1.0000 | 2.0000 | 1.0000 | 1.0 | | | | | | |
| 4 | 0.7654 | 1.8478 | 1.8478 | 0.7654 | 1.0 | | | | | |
| 5 | 0.6180 | 1.6180 | 2.0000 | 1.6180 | 0.6180 | 1.0 | | | | |
| 6 | 0.5176 | 1.4142 | 1.9318 | 1.9318 | 1.4142 | 0.5176 | 1.0 | | | |
| 7 | 0.4450 | 1.2470 | 1.8019 | 2.0000 | 1.8019 | 1.2470 | 0.4450 | 1.0 | | |
| 8 | 0.3902 | 1.1111 | 1.6629 | 1.9616 | 1.9616 | 1.6629 | 1.1111 | 0.3902 | 1.0 | |
| 9 | 0.3473 | 1.0000 | 1.5321 | 1.8794 | 2.0000 | 1.8794 | 1.5321 | 1.0000 | 0.3473 | 1.0 |

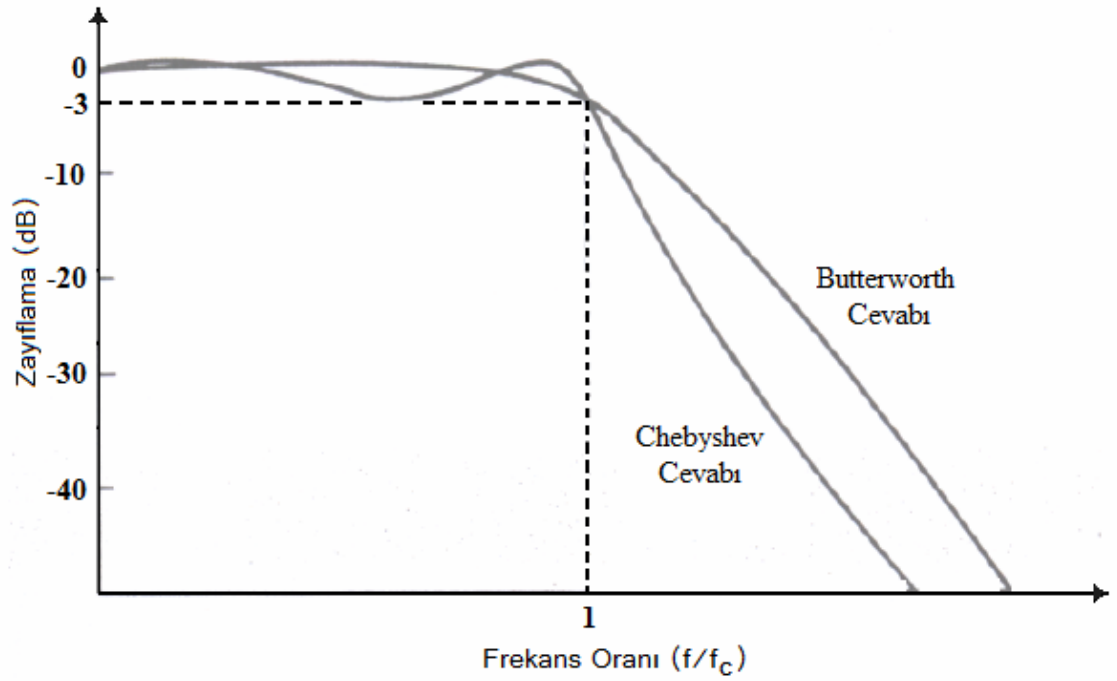
3.3.2 Chebyshev Filtre

Bir çeşit yüksek-Q filtreleri olan Chebyshev filtreleri;

-söndürme bandında dik iniş istenildiğinde,

-geçme bandının düz olmasının gerekli olmadığı durumlarda kullanılır.

Bu filtre cevabında geçme bandı dalgalanmasına izin verilir. Butterworth cevabına oranla söndürme bandındaki başlangıç inişleri daha keskindir. İki filtre cevabı arasındaki karşılaştırma Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Şekil 3.15’deki grafik görüntüsü 3. dereceden filtreler içindir. Chebyshev filtresi geçme bandında 3 dB’lik dalgalanma yapmaktadır. Chebyshev filtresi söndürme bandında Butterworth filtresinden 10 dB kadar daha fazla zayıflama yapar (C. Bowick, 1982).



Şekil 3.15 3.dereceden filtre için Chebyshev ve Butterworth cevaplarının karşılaştırılması

Chebyshev filtresi için araya girme kaybı;

$$L_{As} = 10 \log[1 + \varepsilon^2 T_N^2(x)] \quad (3.27)$$

olarak tanımlanır.

Ripple faktörü eşitlik (3.28)'de tanımlanmıştır.

$$\varepsilon = \sqrt{10^{-0.1L_{Ar}} - 1} \quad (3.28)$$

L_{Ar} : Geçme bandı dalgalanması

Eşitlik (3.27)'deki $T_N(x)$ Chebyshev polinomudur ve eşitlik (3.29) ile tanımlanır.

$$T_N(x) = \cos(N \cos^{-1} x) \quad (3.29)$$

Eşitlik (3.29)'dan hareket edilerek genel bir formüle ulaşılabilir.

$$T_0(x) = 1 \quad (3.30)$$

$$T_1(x) = x \quad (3.31)$$

$$T_N(x) = 2xT_{N-1}(x) - T_{N-2}(x) \quad (3.32)$$

Filtre derecesinin 1-14 arası değerlerde olması durumundaki Chebyshev polinomları; eşitlik (3.32) yardımıyla çıkarılarak Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Farklı dereceler için Chebyshev polinomları

| N | Chebyshev Polinomları |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | x |
| 2 | $2x^2 - 1$ |
| 3 | $4x^3 - 3x$ |
| 4 | $8x^4 - 8x^2 + 1$ |
| 5 | $16x^5 - 20x^3 + 5x$ |
| 6 | $32x^6 - 48x^4 + 18x^2 - 1$ |
| 7 | $64x^7 - 112x^5 + 56x^3 - 7x$ |
| 8 | $128x^8 - 256x^6 + 160x^4 - 32x^2 + 1$ |
| 9 | $256x^9 - 576x^7 + 432x^5 - 120x^3 + 9x$ |
| 10 | $512x^{10} - 1280x^8 + 1120x^6 - 400x^4 + 50x^2 - 1$ |
| 11 | $1024x^{11} - 2816x^9 + 2816x^7 - 1232x^5 + 220x^3 - 11x$ |
| 12 | $2048x^{12} - 6144x^{10} + 6912x^8 - 3584x^6 + 840x^4 - 72x^2 + 1$ |
| 13 | $4096x^{13} - 13312x^{11} + 16640x^9 - 9984x^7 + 2912x^5 - 364x^3 + 13x$ |
| 14 | $8192x^{14} - 28672x^{12} + 39424x^{10} - 26880x^8 + 9408x^6 - 1568x^4 + 98x^2 - 1$ |

Örnek 3.2 : Geçme bandında 0.1 dB'lik dalgalanma yapan; kesim frekansı 3.16 GHz olan ve 5 Ghz'de 40 dB'lik zayıflama yapması düşünülen 7. dereceden Chebyshev filtrenin prototip değerlerini bularak devresini gerçekleyelim.

Önce eşitlik (3.27) kullanılarak ε ripple faktörü hesaplanır. Eşitlik (3.26)'da T_N yalnız bırakılarak eşitlik (3.33) elde edilir.

$$T_N = \sqrt{\frac{10^{-0.1L_{As}} - 1}{\varepsilon}} \quad (3.33)$$

$$\omega n = \frac{f}{f_c} = \frac{5}{3.16} = 1.582$$

$C(N, \omega n)$: Filtre derecesine göre ωn 'e bağlı Chebyshev polinom değeri

Filtrenin derecesini bulabilmek için aşağıdaki döngü kurulur.

$$N := \text{for } i \in 1..n \quad \left| \begin{array}{l} \text{break if } C(i, \omega n) > T_N \\ i+1 \end{array} \right. \quad (3.34)$$

Buradan filtrenin derecesi bulunarak aşağıdaki eşitliklerle birlikte prototip değerlere geçiş yapılır.

$$\beta = \ln \left(\left| \coth \left(\frac{L_{Ar}}{17.37} \right) \right| \right) \quad (3.35)$$

$$\gamma = \sinh \left(\frac{\beta}{2N} \right) \quad (3.36)$$

$$a_k = \sin \left(\frac{2k-1}{2N} \pi \right) \quad (3.37)$$

$$b_k = \gamma^2 + \sin \left(\frac{k\pi}{N} \right)^2 \quad (3.38)$$

$$g_0 = 1 \quad (3.39)$$

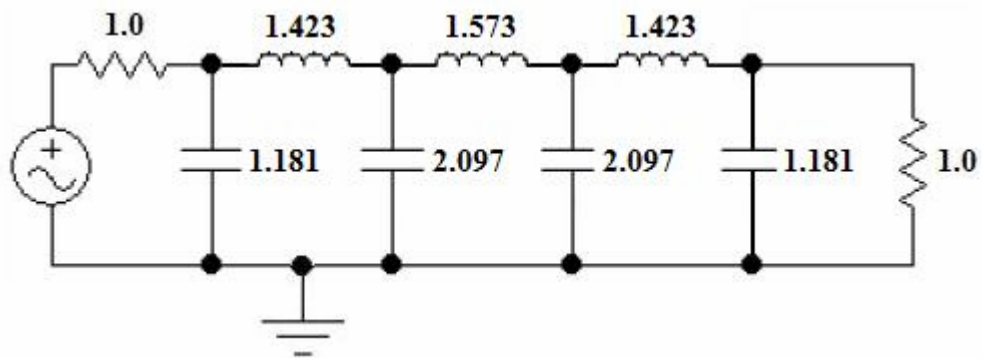
$$g_k = \frac{4a_{k-1}a_k}{b_{k-1}g_{k-1}} \quad (3.40)$$

g_k ; k'nıncı prototip eleman

$$g_{N+1} = \begin{cases} 1 \Leftrightarrow N_{tek} \\ \coth\left(\frac{\beta}{4}\right)^2 \Leftrightarrow N_{çift} \end{cases} \quad (3.41)$$

Örnek 3.2 için çözüme devam edilirse; eşitlik (3.34) kullanılarak filtrenin derecesi 7 olarak belirlenir. Daha sonra eşitlik (3.35) - (3.41) arasındaki denklemler kullanılarak prototip devre eleman değerleri bulunur. Bulunan eleman değerleri Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Örnek 3.2'de gerçekleştirilen istenilen özelliklerdeki filtre tasarımı; yapılan paket programla da gerçekleştirilerek alçak geçiren prototip eleman değerleri bulunmuştur (Bkz. Bölüm 4).



Şekil 3.16 İlk elemanı kapasitans olan 7. dereceden Chebyshev alçak geçiren filtre prototip devresi

Geçme bandındaki değişik dalgalanma seviyeleri için 1-9 arası filtre derecelerindeki Chebyshev alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri Tablo 3.3, Tablo 3.4, ve Tablo 3.5'de verilmektedir. Yapılan paket programda sonuçlar doğrulanmıştır.

Tablo 3.3 1-9 arası derecelerdeki Chebyshev alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.01$ dB)

| N | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | g_7 | g_8 | g_9 | g_{10} |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 1 | 0.0960 | 1.0 | | | | | | | | |
| 2 | 0.4489 | 0.4078 | 1.1008 | | | | | | | |
| 3 | 0.6292 | 0.9703 | 0.6292 | 1.0 | | | | | | |
| 4 | 0.7129 | 1.2004 | 1.3213 | 0.6476 | 1.1008 | | | | | |
| 5 | 0.7563 | 1.3049 | 1.5773 | 1.3049 | 0.7563 | 1.0 | | | | |
| 6 | 0.7814 | 1.3600 | 1.6897 | 1.5350 | 1.4970 | 0.7098 | 1.1008 | | | |
| 7 | 0.7970 | 1.3924 | 1.7481 | 1.6331 | 1.7481 | 1.3924 | 0.7970 | 1.0 | | |
| 8 | 0.8073 | 1.4131 | 1.7825 | 1.6833 | 1.8529 | 1.6193 | 1.5555 | 0.7334 | 1.1008 | |
| 9 | 0.8145 | 1.4271 | 1.8044 | 1.7125 | 1.9058 | 1.7125 | 1.8044 | 1.4271 | 0.8145 | 1.0 |

Tablo 3.4 1-9 arası derecelerdeki Chebyshev alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.04321$ dB)

| N | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | g_7 | g_8 | g_9 | g_{10} |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 1 | 0.2000 | 1.0 | | | | | | | | |
| 2 | 0.6648 | 0.5445 | 1.2210 | | | | | | | |
| 3 | 0.8516 | 1.1032 | 0.8516 | 1.0 | | | | | | |
| 4 | 0.9314 | 1.2920 | 1.5775 | 0.7628 | 1.2210 | | | | | |
| 5 | 0.9714 | 1.3721 | 1.8014 | 1.3721 | 0.9714 | 1.0 | | | | |
| 6 | 0.9940 | 1.4131 | 1.8933 | 1.5506 | 1.7253 | 0.8141 | 1.2210 | | | |
| 7 | 1.0080 | 1.4368 | 1.9398 | 1.6220 | 1.9398 | 1.4368 | 1.0080 | 1.0 | | |
| 8 | 1.0171 | 1.4518 | 1.9967 | 1.6574 | 2.0237 | 1.6107 | 1.7726 | 0.8330 | 1.2210 | |
| 9 | 1.0235 | 1.4619 | 1.9837 | 1.6778 | 2.0649 | 1.6778 | 1.9837 | 1.4619 | 1.0235 | 1.0 |

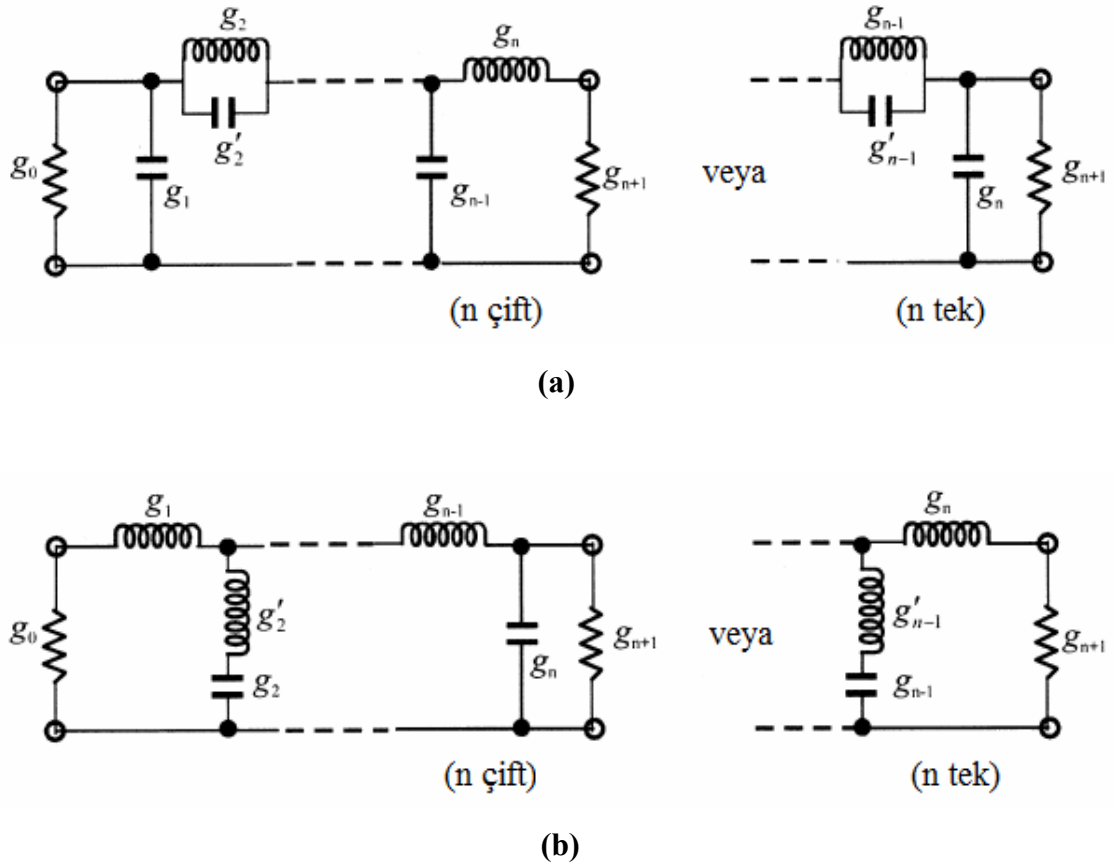
Tablo 3.5 1-9 arası derecelerdeki Chebyshev alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=1.0$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.1$ dB)

| N | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | g_7 | g_8 | g_9 | g_{10} |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|----------|
| 1 | 0.3052 | 1.0 | | | | | | | | |
| 2 | 0.8431 | 0.6220 | 1.3554 | | | | | | | |
| 3 | 1.0316 | 1.1474 | 1.0316 | 1.0 | | | | | | |
| 4 | 1.1088 | 1.3062 | 1.7704 | 0.8181 | 1.3554 | | | | | |
| 5 | 1.1468 | 1.3712 | 1.9750 | 1.3712 | 1.1468 | 1.0 | | | | |
| 6 | 1.1681 | 1.4040 | 2.0562 | 1.5171 | 1.9029 | 0.8618 | 1.3554 | | | |
| 7 | 1.1812 | 1.4228 | 2.0967 | 1.5734 | 2.0967 | 1.4228 | 1.1812 | 1.0 | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 8 | 1.1898 | 1.4346 | 2.1199 | 1.6010 | 2.1700 | 1.5641 | 1.9945 | 0.8778 | 1.3554 | |
| 9 | 1.1957 | 1.4426 | 2.1346 | 1.6167 | 2.2054 | 1.6167 | 2.1346 | 1.4426 | 1.1957 | 1.0 |

3.3.3 Eliptik Filtre

Eliptik fonksiyon alçak geçiren filtre prototipi için sıklıkla kullanılan iki devre yapısı Şekil 3.17’de görülmektedir.



Şekil 3.17 Eliptik filtre alçak geçiren prototipleri (a) seri paralel rezonans devreleri ile (b) paralel seri rezonans devreleri ile

Butterworth ve Chebyshev prototip alçak geçiren filtrelerin aksine Eliptik prototip alçak geçiren filtrelerin eleman değerlerini belirlemede basit elde edilebilir bir formül yoktur.

Tablo 3.6 1-7 arası derecelerdeki Eliptik alçak geçiren filtrenin prototip eleman değerleri ($g_0=g_{N+1}=1$, $w_c=1$, $L_{Af}=0.1$ dB)

| N | w_s | $L_{As}(dB)$ | g_1 | g_2 | g_2' | g_3 | g_4 | g_4' | g_5 | g_6 | g_6' | g_7 |
|--------|----------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3 | 1.4493 | 13.5698 | 0.7427 | 0.7096 | 0.5412 | 0.7427 | | | | | | |
| | 1.6949 | 18.8571 | 0.8333 | 0.8439 | 0.3252 | 0.8333 | | | | | | |
| | 2.0000 | 24.0012 | 0.8949 | 0.9375 | 0.2070 | 0.8949 | | | | | | |
| | 2.5000 | 30.5161 | 0.9471 | 1.0173 | 0.1205 | 0.9471 | | | | | | |
| 4 | 1.2000 | 12.0856 | 0.3714 | 0.5664 | 1.0929 | 1.1194 | 0.9244 | | | | | |
| | 1.2425 | 14.1259 | 0.4282 | 0.6437 | 0.8902 | 1.1445 | 0.9289 | | | | | |
| | 1.2977 | 16.5343 | 0.4877 | 0.7284 | 0.7155 | 1.1728 | 0.9322 | | | | | |
| | 1.3962 | 20.3012 | 0.5675 | 0.8467 | 0.5261 | 1.2138 | 0.9345 | | | | | |
| | 1.5000 | 23.7378 | 0.6282 | 0.9401 | 0.4073 | 1.2471 | 0.9352 | | | | | |
| | 1.7090 | 29.5343 | 0.7094 | 1.0688 | 0.2730 | 1.2943 | 0.9348 | | | | | |
| | 2.0000 | 36.0438 | 0.7755 | 1.1765 | 0.1796 | 1.3347 | 0.9352 | | | | | |
| | 2.5000 | 45.0000 | 0.8333 | 1.2600 | 0.1000 | 1.3750 | 0.9352 | | | | | |
| 5 | 1.0500 | 13.8785 | 0.7081 | 0.7663 | 0.7357 | 1.1276 | 0.2014 | 4.3812 | 0.0499 | | | |
| | 1.1000 | 20.0291 | 0.8130 | 0.9242 | 0.4934 | 1.2245 | 0.3719 | 2.1350 | 0.2913 | | | |
| | 1.1494 | 24.5451 | 0.8726 | 1.0084 | 0.3845 | 1.3097 | 0.4991 | 1.4450 | 0.4302 | | | |
| | 1.2000 | 28.3031 | 0.9144 | 1.0652 | 0.3163 | 1.3820 | 0.6013 | 1.0933 | 0.5297 | | | |
| | 1.2500 | 31.4911 | 0.9448 | 1.1060 | 0.2694 | 1.4415 | 0.6829 | 0.8827 | 0.6040 | | | |
| | 1.2987 | 34.2484 | 0.9681 | 1.1366 | 0.2352 | 1.4904 | 0.7489 | 0.7426 | 0.6615 | | | |
| | 1.4085 | 39.5947 | 1.0058 | 1.1862 | 0.1816 | 1.5771 | 0.8638 | 0.5436 | 0.7578 | | | |
| | 1.6129 | 47.5698 | 1.0481 | 1.2416 | 0.1244 | 1.6843 | 1.0031 | 0.3540 | 0.8692 | | | |
| | 1.812 | 54.0215 | 1.0730 | 1.2741 | 0.0919 | 1.7522 | 1.0903 | 0.2550 | 0.9367 | | | |
| | 2.000 | 58.9117 | 1.0876 | 1.2932 | 0.0732 | 1.7939 | 1.1433 | 0.2004 | 0.9772 | | | |
| 6 | 1.0500 | 18.6757 | 0.4418 | 0.7165 | 0.9091 | 0.8314 | 0.3627 | 2.4468 | 0.8046 | 0.9986 | | |
| | 1.1000 | 26.2370 | 0.5763 | 0.8880 | 0.6128 | 0.9730 | 0.5906 | 1.3567 | 0.9431 | 1.0138 | | |
| | 1.1580 | 32.4132 | 0.6549 | 1.0036 | 0.4597 | 1.0923 | 0.7731 | 0.9284 | 1.0406 | 1.0214 | | |
| | 1.2503 | 39.9773 | 0.7422 | 1.1189 | 0.3313 | 1.2276 | 0.9746 | 0.6260 | 1.1413 | 1.0273 | | |
| | 1.3024 | 43.4113 | 0.7751 | 1.1631 | 0.2870 | 1.2832 | 1.0565 | 0.5315 | 1.1809 | 1.0293 | | |
| | 1.3955 | 48.9251 | 0.8289 | 1.2243 | 0.2294 | 1.3634 | 1.1739 | 0.4148 | 1.2366 | 1.0316 | | |
| | 1.5962 | 58.4199 | 0.8821 | 1.3085 | 0.1565 | 1.4792 | 1.3421 | 0.2757 | 1.3148 | 1.0342 | | |
| | 1.7032 | 62.7525 | 0.9115 | 1.3383 | 0.1321 | 1.5216 | 1.4036 | 0.2310 | 1.3429 | 1.0350 | | |
| | 1.8915 | 69.3063 | 0.9316 | 1.3765 | 0.1019 | 1.5771 | 1.4837 | 0.1767 | 1.3794 | 1.0358 | | |
| | 2.0000 | 73.0000 | 0.9444 | 1.4000 | 0.0737 | 1.6154 | 1.5364 | 0.1400 | 1.4000 | 1.0364 | | |
| | 2.5000 | 86.0000 | 0.9667 | 1.4667 | 0.0333 | 1.7333 | 1.7333 | 0.0333 | 1.4667 | 1.0364 | | |
| | 3.0000 | 96.0000 | 0.9802 | 1.5152 | 0.0152 | 1.8152 | 1.8152 | 0.0152 | 1.5152 | 1.0364 | | |
| | 4.0000 | 104.0000 | 0.9882 | 1.5618 | 0.0062 | 1.8818 | 1.8818 | 0.0062 | 1.5618 | 1.0364 | | |
| | 5.0000 | 110.0000 | 0.9922 | 1.6000 | 0.0022 | 1.9333 | 1.9333 | 0.0022 | 1.6000 | 1.0364 | | |
| 7.0000 | 120.0000 | 0.9967 | 1.6500 | 0.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 0.0000 | 1.6500 | 1.0364 | | | |
| 7 | 1.0500 | 30.5062 | 0.9194 | 1.0766 | 0.3422 | 1.0962 | 0.4052 | 2.2085 | 0.8434 | 0.5034 | 2.2085 | 0.4110 |
| | 1.1000 | 39.3517 | 0.9882 | 1.1673 | 0.2437 | 1.2274 | 0.5972 | 1.3568 | 1.0403 | 0.6788 | 1.3568 | 0.5828 |
| | 1.1494 | 45.6916 | 1.0252 | 1.2157 | 0.1940 | 1.5811 | 0.9939 | 0.5816 | 1.2382 | 0.5243 | 0.5816 | 0.4369 |
| | 1.2500 | 55.4327 | 1.0683 | 1.2724 | 0.1382 | 1.7059 | 1.1340 | 0.4093 | 1.4104 | 0.7127 | 0.4093 | 0.6164 |
| | 1.2987 | 59.2932 | 1.0818 | 1.2902 | 0.1211 | 1.7478 | 1.1805 | 0.3578 | 1.4738 | 0.7804 | 0.3578 | 0.6759 |
| | 1.4085 | 66.7795 | 1.1034 | 1.3189 | 0.0940 | 1.8177 | 1.2583 | 0.2770 | 1.5856 | 0.8983 | 0.2770 | 0.7755 |
| | 1.5000 | 72.1183 | 1.1159 | 1.3355 | 0.0786 | 1.7569 | 1.1517 | 0.3716 | 1.6383 | 1.1250 | 0.3716 | 0.9559 |
| | 1.6129 | 77.9449 | 1.1272 | 1.3506 | 0.0647 | 1.8985 | 1.3485 | 0.1903 | 1.7235 | 1.0417 | 0.1903 | 0.8913 |
| | 1.6949 | 81.7567 | 1.1336 | 1.3590 | 0.0570 | 1.9206 | 1.3734 | 0.1675 | 1.7628 | 1.0823 | 0.1675 | 0.9231 |
| | 1.8182 | 86.9778 | 1.1411 | 1.3690 | 0.0479 | 1.9472 | 1.4033 | 0.1408 | 1.8107 | 1.1316 | 0.1408 | 0.9616 |

3.4 Frekans ve Eleman Dönüşümleri

Bölüm 3.3'de istenilen karakteristik özelliklerdeki filtrenin prototip devre eleman değerlerinin belirlenmesi üzerinde durularak buradaki formülasyonlarla prototip filtre eleman değerleri bulunmaktadır. Bulunan değerler prototip alçak-geçiren filtre eleman değerleri olup bu değerler istenilen karakteristik özelliklerdeki filtrenin gerçek eleman değerlerine henüz dönüştürülmemiştir. Bu bölümde ise bulunan prototip eleman değerleri gerçek eleman değerlerine dönüştürülecektir.

Genel olarak filtre tasarımında izlenecek adımlar özetlenirse;

- ❖ İstenilen karakteristik özelliklerdeki filtrenin parametreleri tanımlanır. Yani; hangi frekansta ne kadar zayıflama yapılacağı, geçme bandında ne kadar dalgalanmaya izin verileceği vb.
- ❖ **Bölüm 3.3**'de her bir filtre için verilen formülasyonlarla prototip alçak geçiren filtre eleman değerlerine ulaşılır. Prototip alçak geçiren filtre eleman değerleri; filtrenin gerçek eleman değerlerine dönüşümde tüm filtre modelleri için temel oluşturur.
- ❖ Bulunan prototip alçak geçiren filtre eleman değerleri dönüşüm formüllerinde kullanılarak istenilen karakteristeki filtrenin gerçek eleman değerlerine dönüştürülür.

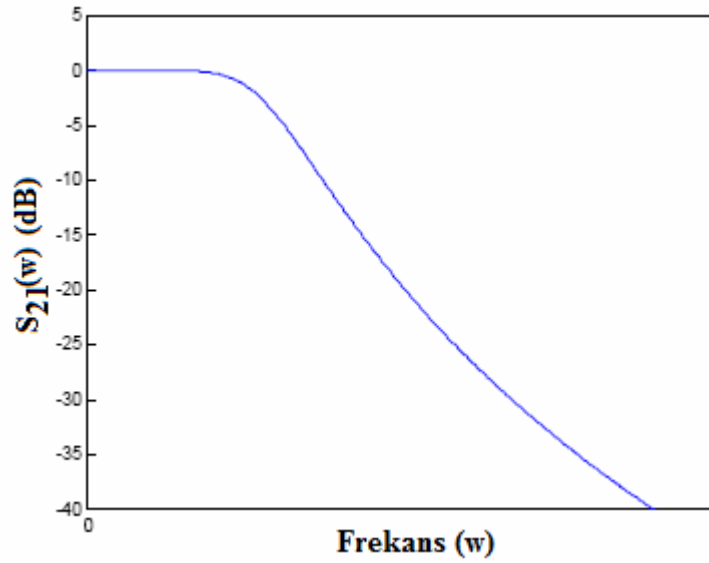
Yalnız burada belirtilmesi gereken nokta şudur: Yukarıdaki belirtilen adımların son ikisinde anlatılan direk formüllerle eleman değerlerini belirleme olayı Butterworth ve Chebyshev filtreler için mümkün olabilirken Eliptik filtreler için bu mümkün değildir. Bu durumda Eliptik filtrenin eleman değerleri giriş empedansının rasyonel fonksiyonu yardımıyla yaklaşık olarak bulunmaya çalışılır.

Gerçek devre elemanlarına geçişte ilk elemanın ne olması gerektiğine karar verilerek dönüşüm formüllerine başlanır.

Eleman alt indisleri için $i=1, 3, \dots, N$ ve $j=2, 4, \dots, N$ kullanılmıştır.

3.4.1 Alçak Geçiren Filtre Dönüşümü

Alçak geçiren filtrenin tipik iletim karakteristiği Şekil 3.18'de görülmektedir.

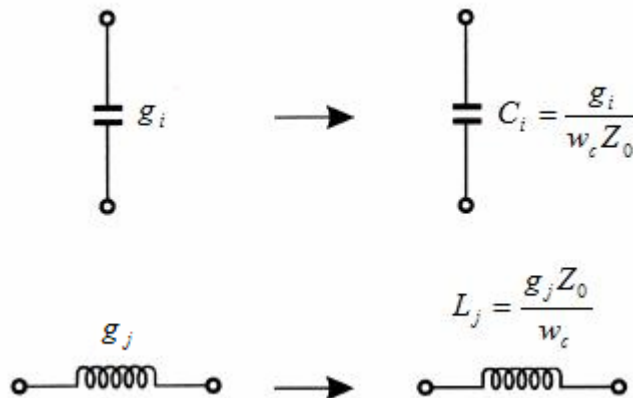


Şekil 3.18 Alçak geçiren filtrenin iletim karakteristiği

İlk elemanın kapasitans olması durumunda eşitlik (3.42) ve (3.43)'deki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek elemanlara geçilir. Şekil 3.19'da bu dönüşüm modeli görülmektedir.

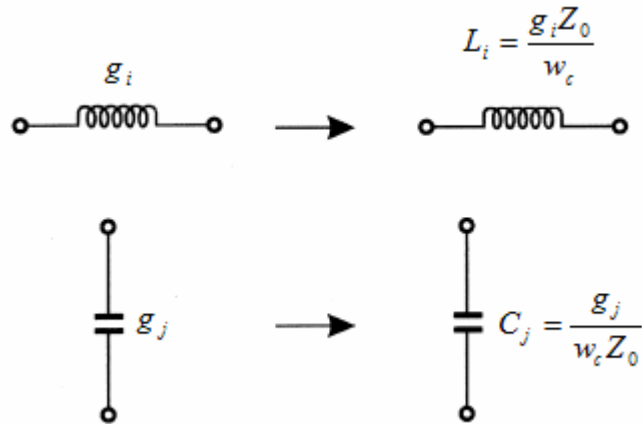
$$C_i = \frac{g_i}{w_c Z_0} \quad (3.42)$$

$$L_j = \frac{g_j Z_0}{w_c} \quad (3.43)$$



Şekil 3.19 Alçak geçiren filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü

İlk elemanın indüktans olması durumunda ise eşitlik (3.44) ve (3.45)'deki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek elemanlara geçilir. Şekil 3.20'de bu dönüşüm modeli görülmektedir.



Şekil 3.20 Alçak geçiren filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü

$$L_i = \frac{g_i Z_0}{w_c} \quad (3.44)$$

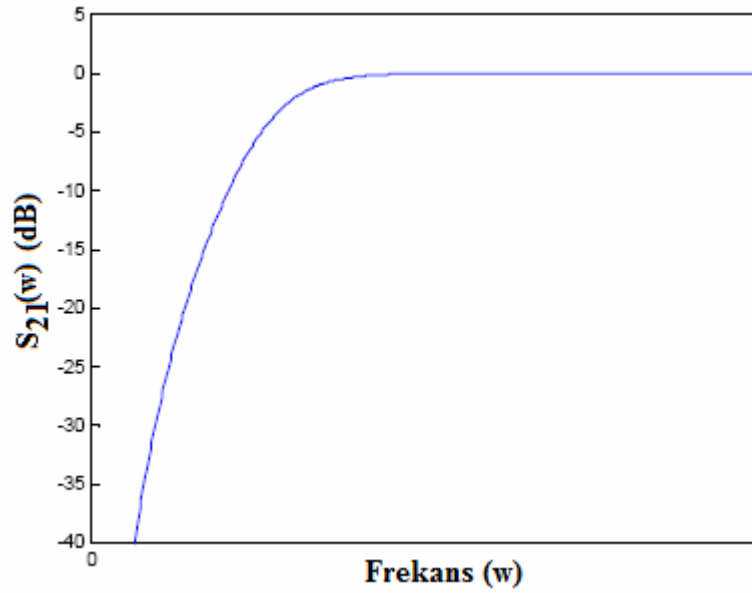
$$C_j = \frac{g_j}{w_c Z_0} \quad (3.45)$$

Alçak geçiren filtrede gerçek frekans dönüşümü eşitlik (3.25)'den elde edilen eşitlik (3.46) ile yapılır.

$$f = f_c \omega_n \quad (3.46)$$

3.4.2 Yüksek Geçiren Filtre Dönüşümü

Yüksek geçiren filtrenin tipik iletim karakteristiği Şekil 3.21'de görülmektedir.

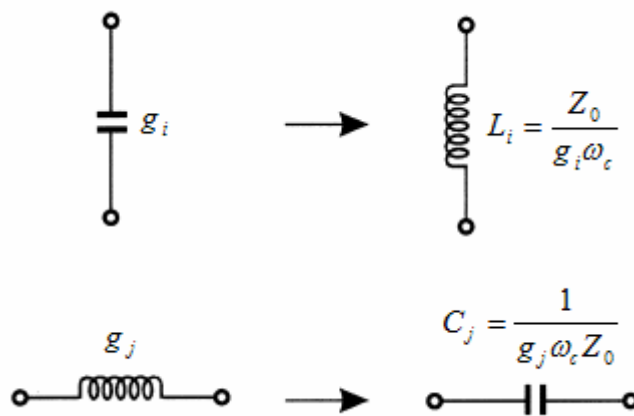


Şekil 3.21 Yüksek geçiren filtrenin iletim karakteristiği

İlk elemanın kapasitans olması durumunda eşitlik (3.47) ve (3.48)'deki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek elemanlara geçilir. Şekil 3.22'de bu dönüşüm modeli görülmektedir.

$$L_i = \frac{Z_0}{g_i \omega_c} \quad (3.47)$$

$$C_j = \frac{1}{g_j \omega_c Z_0} \quad (3.48)$$

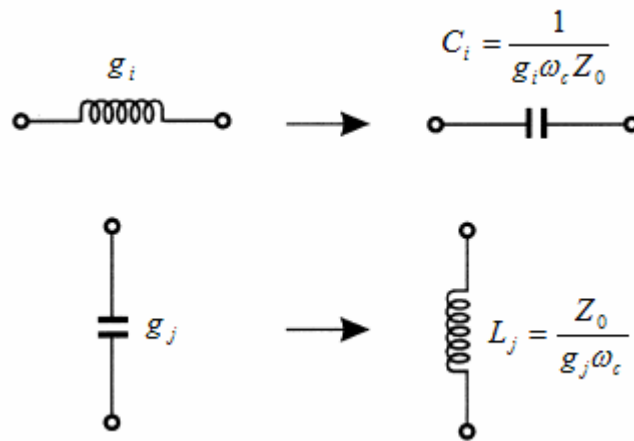


Şekil 3.22 Yüksek geçiren filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü

İlk elemanın indüktans olması durumunda ise eşitlik (3.49) ve (3.50)'deki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek elemanlara geçilir. Şekil 3.23'de bu dönüşüm modeli görülmektedir.

$$C_i = \frac{1}{g_i \omega_c Z_0} \quad (3.49)$$

$$L_j = \frac{Z_0}{g_j \omega_c} \quad (3.50)$$



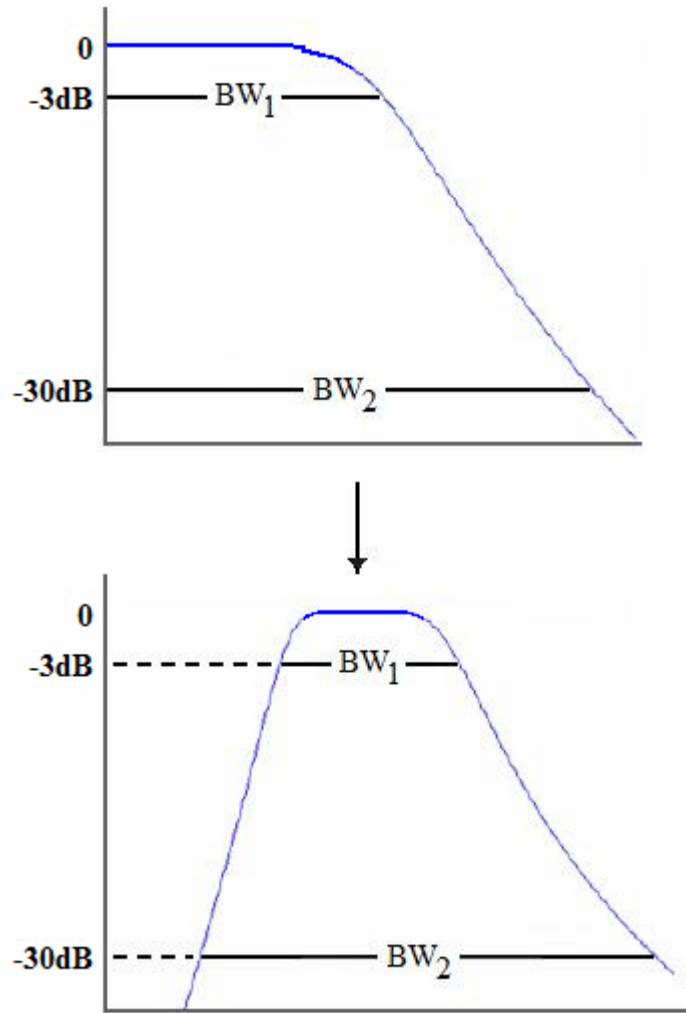
Şekil 3.23 Yüksek geçiren filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü

Yüksek geçiren filtrede gerçek frekans dönüşümü eşitlik (3.51) ile yapılır.

$$f = \frac{f_c}{\omega_n} \quad (3.51)$$

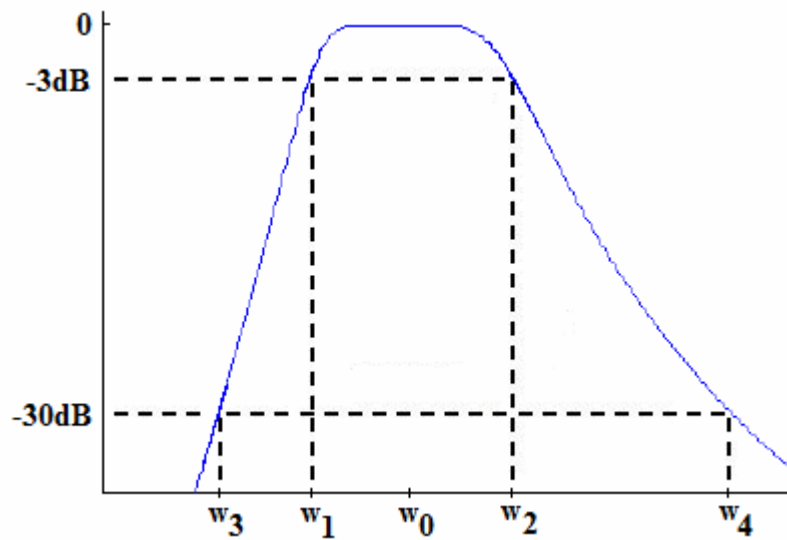
3.4.3 Band Geçiren Filtre Dönüşümü

Alçak geçiren filtreden band geçiren filtreye dönüşüm Şekil 3.24’de görülmektedir.



Şekil 3.24 Alçak geçiren filtreden band geçiren filtreye dönüşüm

Band geçiren ve band tutan filtre dönüşümü için *FBW* band genişliği parametresinin tanımlanması gerekir.



Şekil 3.25 Band geçiren filtre karakteristiği

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2} \quad (3.52)$$

Band genişliği FBW eşitlik (3.53) ile tanımlanır.

$$FBW = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad (3.53)$$

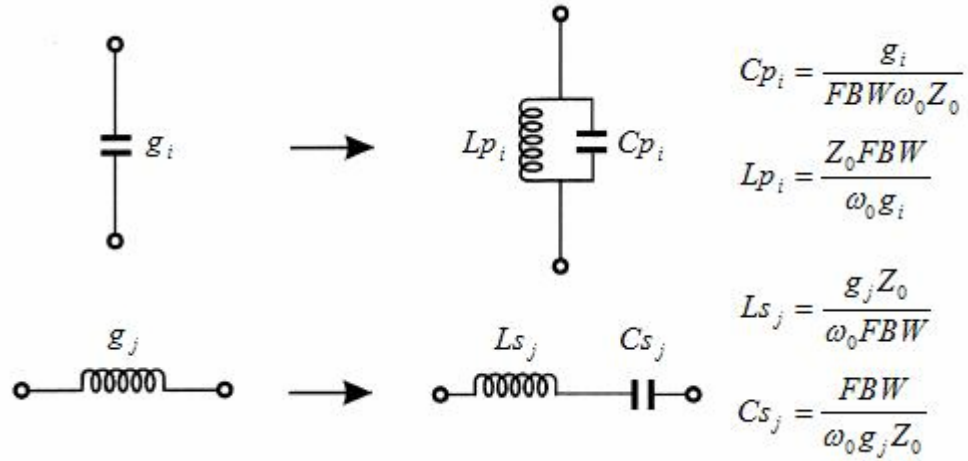
İlk elemanın kapasitans olması durumunda eşitlik (3.54), (3.55), (3.56) ve (3.57)'deki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek eleman değerlerine geçiş yapılır. Şekil 3.26' da bu dönüşüm modeli görülmektedir.

$$Cp_i = \frac{g_i}{FBW \omega_0 Z_0} \quad (3.54)$$

$$Lp_i = \frac{Z_0 FBW}{\omega_0 g_i} \quad (3.55)$$

$$Cs_j = \frac{FBW}{\omega_0 g_j Z_0} \quad (3.56)$$

$$Ls_j = \frac{g_j Z_0}{\omega_0 FBW} \quad (3.57)$$



Şekil 3.26 Band geçiren filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü

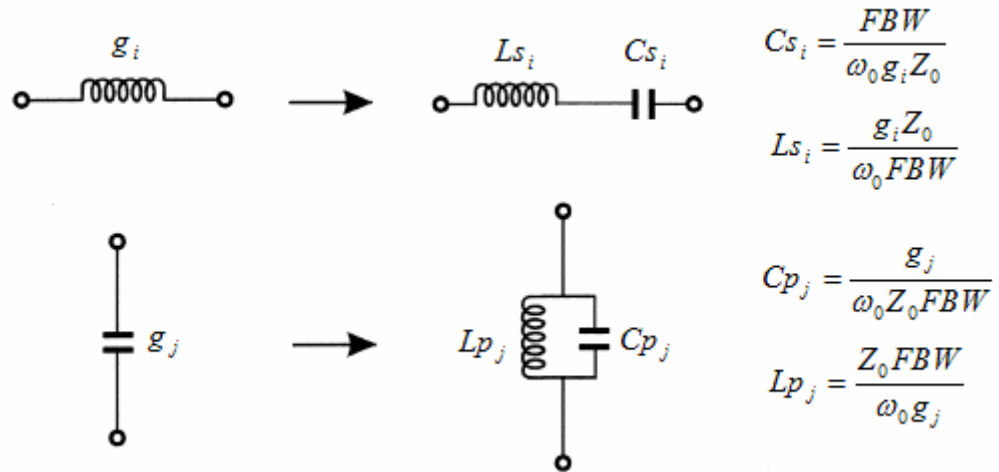
İlk elemanın indüktans olması durumunda ise eşitlik (3.58), (3.59), (3.60) ve (3.61)'deki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek elemanlara geçiş yapılır. Şekil 3.27'de bu dönüşüm modeli görülmektedir.

$$Cs_i = \frac{FBW}{\omega_0 g_i Z_0} \quad (3.58)$$

$$Ls_i = \frac{g_i Z_0}{\omega_0 FBW} \quad (3.59)$$

$$Cp_j = \frac{g_j}{\omega_0 Z_0 FBW} \quad (3.60)$$

$$Lp_j = \frac{Z_0 FBW}{\omega_0 g_j} \quad (3.61)$$



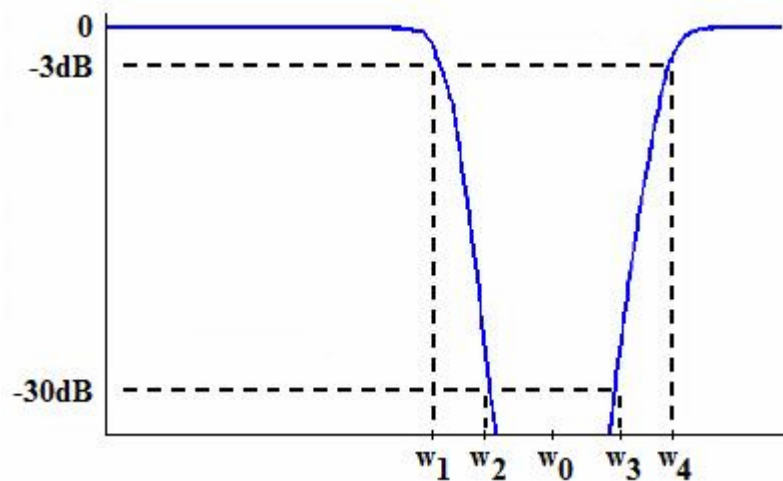
Şekil 3.27 Band geçiren filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü

Band geçiren filtrede gerçek frekans dönüşümü eşitlik (3.62) ile yapılır.

$$f = 0.5 f_0 \left(\omega_n FBW + \sqrt{(\omega_n FBW)^2 + 4} \right) \quad (3.62)$$

3.4.3 Band Tutan Filtre Dönüşümü

Band tutan filtre karakteristiği Şekil 3.28’de görülmektedir.



Şekil 3.28 Band tutan filtre karakteristiği

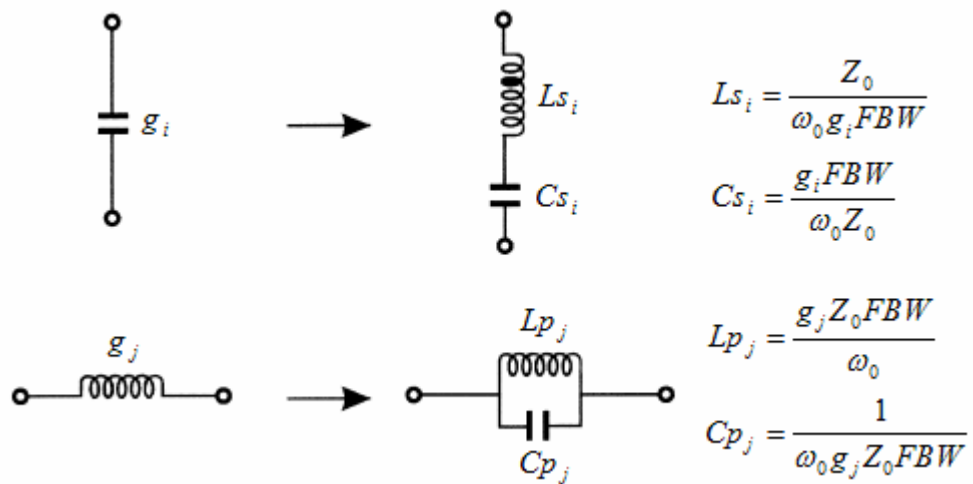
İlk elemanın kapasitans olması durumunda eşitlik (3.63), (3.64), (3.65) ve (3.66)'daki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek elemanlara geçiş yapılır. Şekil 3.29'da bu dönüşüm modeli görülmektedir.

$$Cs_i = \frac{g_i FBW}{\omega_0 Z_0} \quad (3.63)$$

$$Ls_i = \frac{Z_0}{\omega_0 g_i FBW} \quad (3.64)$$

$$Cp_j = \frac{1}{\omega_0 g_j Z_0 FBW} \quad (3.65)$$

$$Lp_j = \frac{g_j Z_0 FBW}{\omega_0} \quad (3.66)$$



Şekil 3.29 Band tutan filtre için ilk elemanın kapasitans olması durumundaki eleman dönüşümü

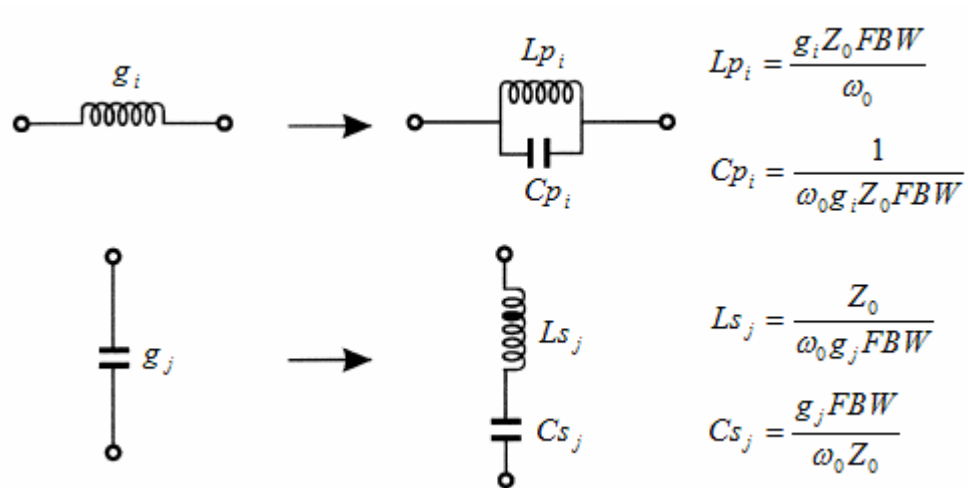
İlk elemanın indüktans olması durumunda ise eşitlik (3.67), (3.68), (3.69) ve (3.70)'deki dönüşüm formülleri uygulanarak gerçek elemanlara geçiş yapılır. Şekil 3.30'da bu dönüşüm modeli görülmektedir.

$$Cp_i = \frac{1}{\omega_0 g_i Z_0 FBW} \quad (3.67)$$

$$Lp_i = \frac{g_i Z_0 FBW}{\omega_0} \quad (3.68)$$

$$Cs_j = \frac{g_j FBW}{\omega_0 Z_0} \quad (3.69)$$

$$Ls_j = \frac{Z_0}{\omega_0 g_j FBW} \quad (3.70)$$



Şekil 3.30 Band tutan filtre için ilk elemanın indüktans olması durumundaki eleman dönüşümü

Band tutan filtrede gerçek frekans dönüşümü eşitlik (3.71) ile yapılır.





$$f = 0.5f_0 \left(\frac{1}{\omega_n} FBW + \sqrt{\left(\frac{1}{\omega_n} FBW \right)^2 + 4} \right) \quad (3.71)$$

3.5 Filtre Sentezi

Devre sentezi, elektriksel performansı önceden belirlenmiş bir devreyi tanımlama yöntemi olarak nitelendirilebilir. Belki de devre sentezinin en çok kullanıldığı uygulama filtre tasarımıdır. Mühendislerin birçoğu öyle yada böyle açık denklemleri kullanarak veya eleman değerleri tablosunu kullanarak bir elektriksel filtre tasarlamıştır.

Bir devrenin giriş empedansı veya admitansını s-düzleminde yazabiliriz. Eleman değerlerinin elde edilmesi ve kontrolü ile ilgili sistematik bilgiler Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7 Eleman elde edilmesi ve kontrolü için sistematik

| Eleman | Z(s) veya Y(s) | Kutup | Kontrol Z(s) | Değer |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|
|  | $Z(s) = sL$ | $Z(s) \Big _{s \rightarrow \infty}$ | $n > m$ | $L = \frac{p_n}{q_m}$ |
|  | $Y(s) = \frac{1}{sL}$ | $Y(s) \Big _{s \rightarrow 0}$ | $p_0 = 0$ $q_0 > 0$ | $L = \frac{p_1}{q_0}$ |
|  | $Z(s) = \frac{1}{sC}$ | $Z(s) \Big _{s \rightarrow 0}$ | $p_0 > 0$ $q_0 = 0$ | $C = \frac{q_1}{p_0}$ |
|  | $Y(s) = sC$ | $Y(s) \Big _{s \rightarrow \infty}$ | $m > n$ | $C = \frac{q_m}{p_n}$ |
| $Z(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = \frac{p_n s^n + \dots + p_2 s^2 + p_1 s + p_0}{q_m s^m + \dots + q_2 s^2 + q_1 s + q_0}$ | | | | |

Seri indüktans ve dirençten oluşan empedans eşitlik (3.72) ile gösterilir.

$$Z(s) = sL + R \quad (3.72)$$

Bu empedansa paralel bir kapasitör eklenmesi durumunda empedans admitansa çevrilerek eşitlik (3.73)'deki gibi admitans olarak toplama yapılır.

$$Y' = Y(s) + sC \quad (3.73)$$

Toparlanırsa eşitlik (3.74) elde edilir.

$$Y'(s) = \frac{s^2LC + sRC + 1}{sL + R} \quad (3.74)$$

Ya da eşitlik (3.75) ile gösterilebilir.

$$Y'(s) = sC + \frac{1}{sL + R} \quad (3.75)$$

$$Y(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = \frac{p_n s^n + \dots + p_2 s^2 + p_1 s + p_0}{q_m s^m + \dots + q_2 s^2 + q_1 s + q_0} \quad (3.76)$$

$$Y(s) = sC + \frac{R(s)}{Q(s)} \quad (3.77)$$

Eşitlik (3.77)'de her iki taraf s ile bölünürse eşitlik (3.78) elde edilir.

$$\frac{Y(s)}{s} = C + \frac{R(s)}{sQ(s)} \quad (3.78)$$

$s \rightarrow \infty$ olduğunda C elemanı eşitlik (3.79)'daki gibi yalnız kalır.

$$\frac{Y(s)}{s} \Big|_{s \rightarrow \infty} = C \quad (3.79)$$

$Y(s)$ polinom olarak eşitlik (3.79)'da yerine yazılırsa eşitlik (3.80) elde edilir.

$$C = \frac{P(s)}{sQ(s)} \Big|_{s \rightarrow \infty} \quad (3.80)$$

Örnek 3.3 : Empedans fonksiyonu $Z(s) = \frac{20s^4 + 6s^3 + 35s^2 + 2s + 5}{20s^3 + 6s^2 + 15s}$ olarak verilen

devreyi sentezleyelim.

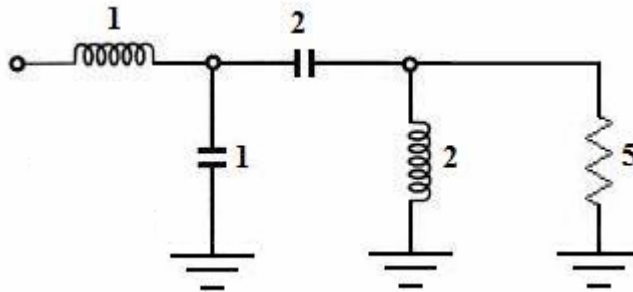
Devrenin eleman değerlerini bulabilmek için Tablo 3.7'den yararlanmak suretiyle işlem adımları gerçekleştirilir.

$$Z'(s) = \frac{20s^2 + 2s + 5}{20s^3 + 6s^2 + 15s}$$

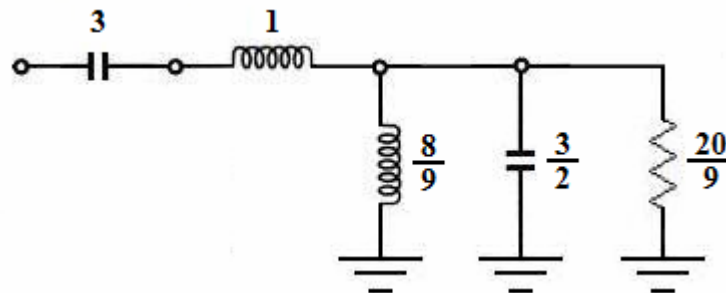
$$Z''(s) = \frac{20s^2 + 2s + 5}{4s^2 + 10s}$$

$$Z'''(s) = \frac{10s}{2s + 5}$$

Ara işlemlerin yapılması sonucunda $Z(s)$ 'e ait iki devre modeli eleman değerleriyle birlikte Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'deki gibi çıkarılmıştır.



Şekil 3.31 İlk elemanı seri indüktans olan devre



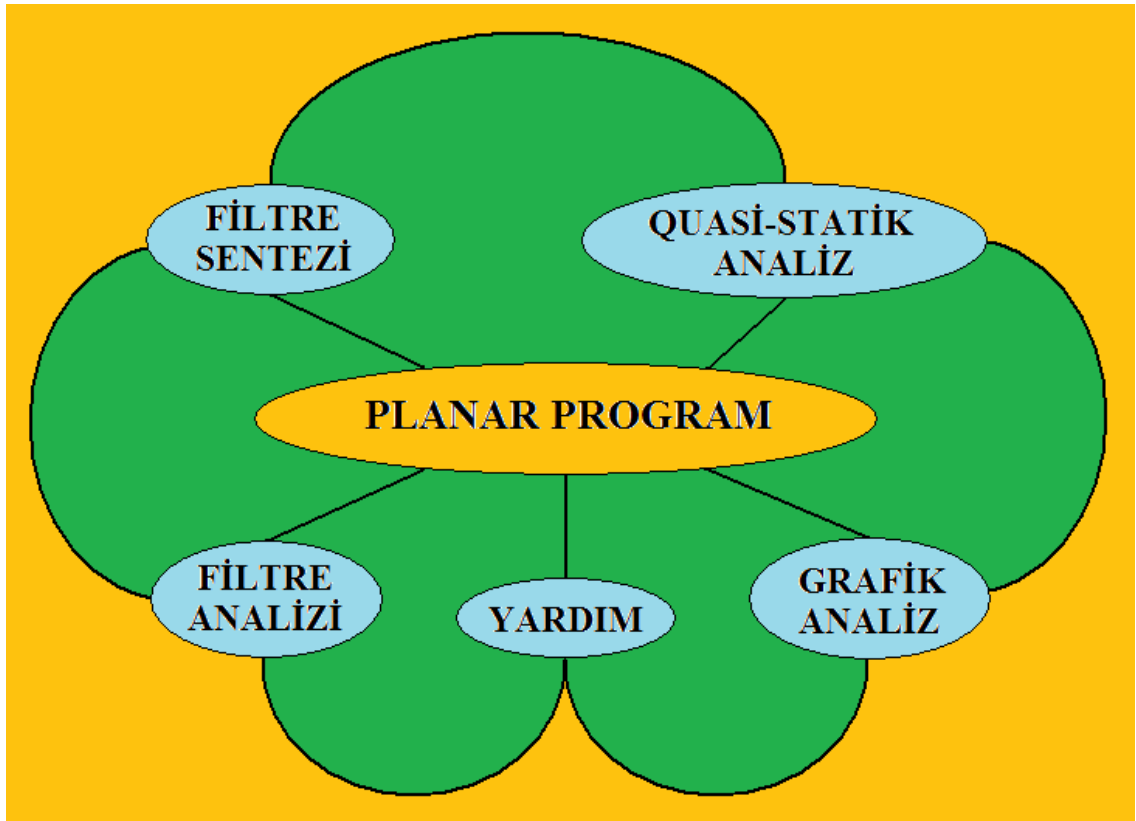
Şekil 3.32 İlk elemanı seri kapasitans olan devre

4. YAPILAN PAKET PROGRAMIN TANITIMI

4.1 Giriş

Bu tez çalışmasında mikrodalga filtre tasarımı konusunda çalışanlara katkı sağlayabilecek yeni bir paket program yazılımı hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda literatürdeki mevcut mikrodalga filtre tasarım yöntemleri ve ilgili paket programlar incelenmiştir. Sonuç olarak, özellikle filtre tasarımının teorik detaya fazla girmeden gerçekleştirilebilmesine imkan tanıyacak şekilde, *Araya girme kaybı* metodunun kullanıldığı yeni bir paket program hazırlanmıştır. Programın en önemli özelliği, görselliği ön plana çıkarmak amacıyla hızlı, pratik ve yüksek doğrulukta hesaplama yeteneğine sahip çok sayıda formlardan oluşturulmasıdır. Formlar ardışık işlemler döngüsünde birbiri ile ilişkili olmalarına rağmen gerektiğinde birbirinden bağımsız olarak kullanılacak şekilde hazırlanmıştır. Paket programın kullanıma sunulması neticesinde kullanıcılardan alınacak geri dönüşümlerle programın mikrodalga mühendislerinin eksikliğini hissettikleri kapsamlı bir paket program haline getirilmesi hedeflenmektedir.

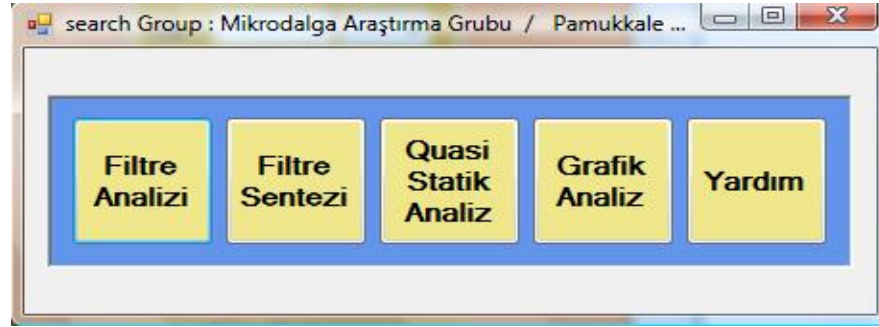
Paket programın yapım aşamasında birçok zorluklarla karşılaşmış olunmasına rağmen bu zorluklar aşılarak tez sonucunda mikrodalga mühendislerinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte program oluşturulmuştur. Program 5 ayrı ana bölüm olarak tasarlanmıştır. Her bir bölümün şablonu ayrı düzenlenmiştir. Bir çember döngüsü içinde her bir bölüm kendi işlevini gerçekleştirerek çözümleri zor ve uzun zaman alıcı olan karmaşık yapıdaki mikrodalga filtre formülasyonlarının analizini arka plandaki yazılım kodları sayesinde gerçekleştirebilmektedir. Bu çember döngüsü içindeki bölümler Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Program bölümlerinin çember döngüsü

Program; toplam 36 ayrı form ve sınıf yapısı içermektedir. Bu form ve sınıf yapıları görsel bir bütünlük içinde birleştirilerek paket program haline getirilmiştir. Programın yapılışında görsellik ön planda tutulmuştur. Uzun uğraşlar sonucunda gerçekleştirilen kendine özgü grafik desteği ve dosyalama özelliği ile bu program mikrodalga mühendislerinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek kapasiteye ulaştırılmıştır. Programın 36 ayrı form ve sınıf yapısı içermesinin getirmiş olduğu zorluklar aşılmıştır. Formların çalışma ahenginin düzenlenmesi, birbiriyle sürekli veri alışverişinde bulunarak haberleşmelerinin sağlanması, form üzerindeki değerlerin hafızada tutulması, değişen değerlerin güncellenmesi, hatalara anlık çözüm üretilmesi, kullanıcının yönlendirilmesi ve kullanıcı kolaylığının sağlanması gibi birçok zorluklar aşılarak program hedeflendiği şekliyle kullanıma sunulmuştur.

Program ilk açılışta ekrana Şekil 4.2’deki “Başlangıç” form görüntüsüyle gelir. Bu “Başlangıç” formunda programı oluşturan 5 ayrı ana bölümün seçenek butonları yer alır. Kullanıcı buradaki seçenek butonları vasıtasıyla geçmek istediği bölüme ait arayüz formuna yönlendirilir.



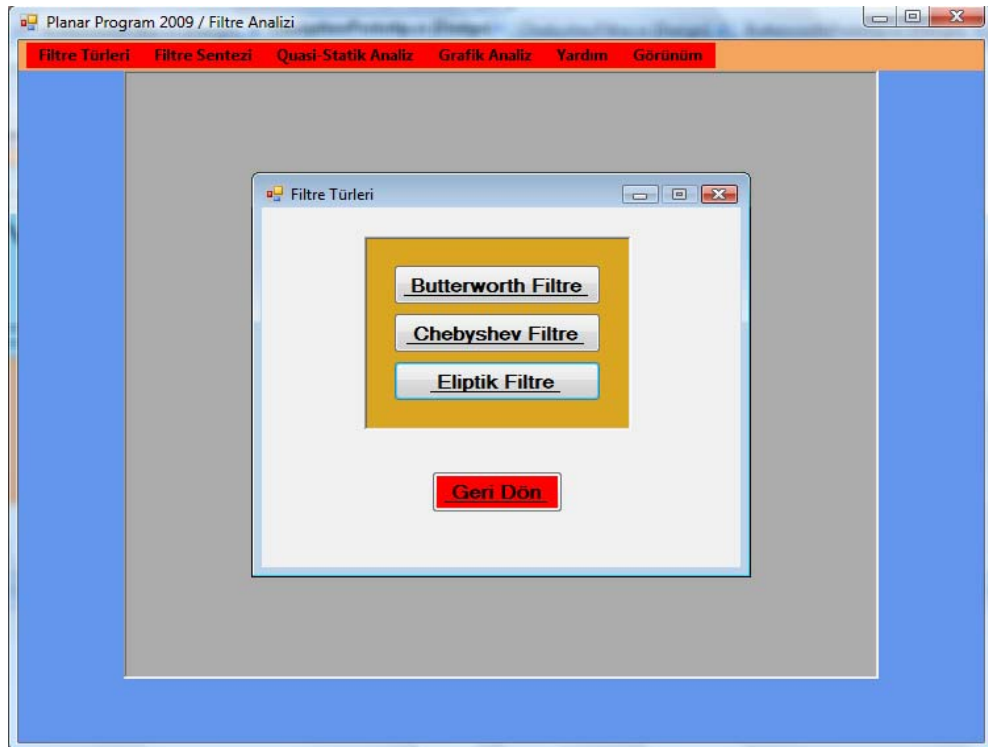
Şekil 4.2 “Başlangıç” form görüntüsü

Paket programın kullanımı ve özellikleri uygulamalı olarak 5 ayrı bölüm halinde verilecektir.

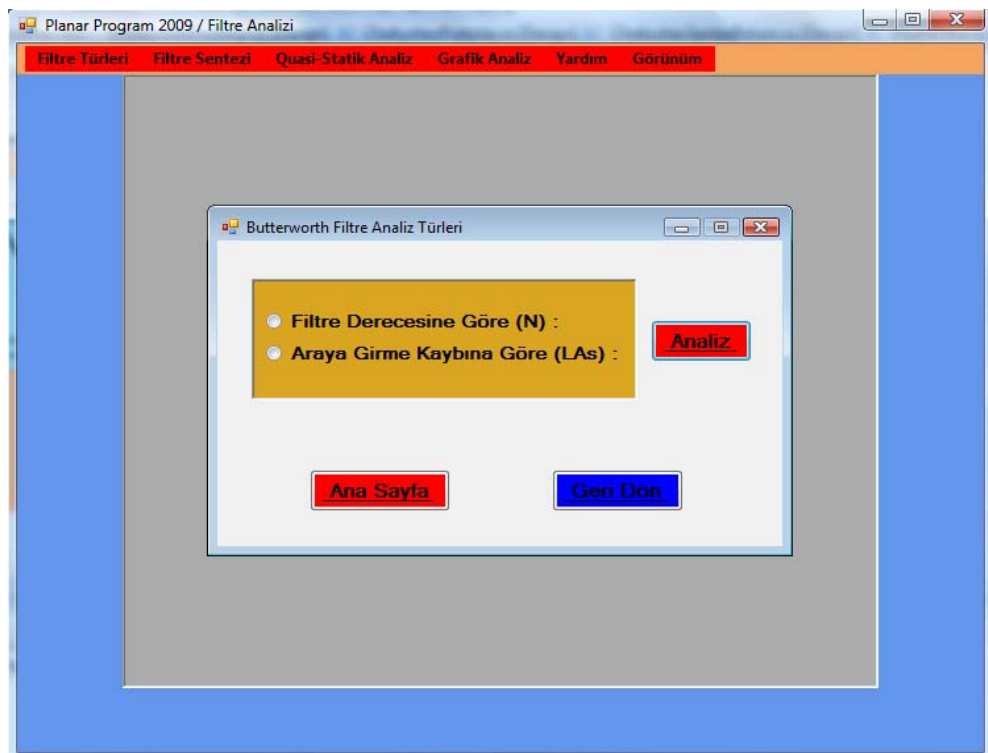
4.2 Filtre Analizi

“Filtre Analizi” bölümü; Uygulama 4.1, Uygulama 4.2 ve Uygulama 4.3’de yapılacak analizlerle anlatılmaya çalışılacaktır.

Uygulama 4.1 : Bu uygulama Örnek 3.1’in program uygulamasıdır (Bkz. Örnek3.1). Örnek 3.1’de verilen filtre özelliklerine göre Butterworth filtre tasarlanacağı anlaşılır. Bu nedenle “Filtre Türleri” formundan (Şekil 4.3) “Butterworth Filtre” buton seçeneği ile iki farklı analiz türü seçeneğinin yer aldığı “Analiz Türleri” formuna geçiş yapılır (Şekil 4.4).

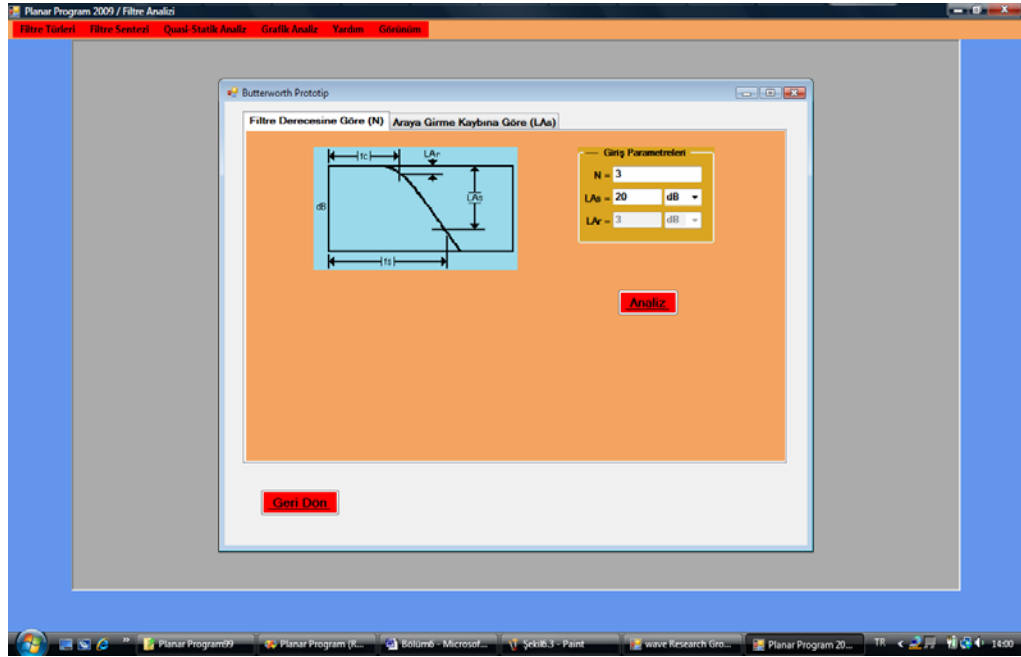


Şekil 4.3 “Filtre Türleri” form görüntüsü

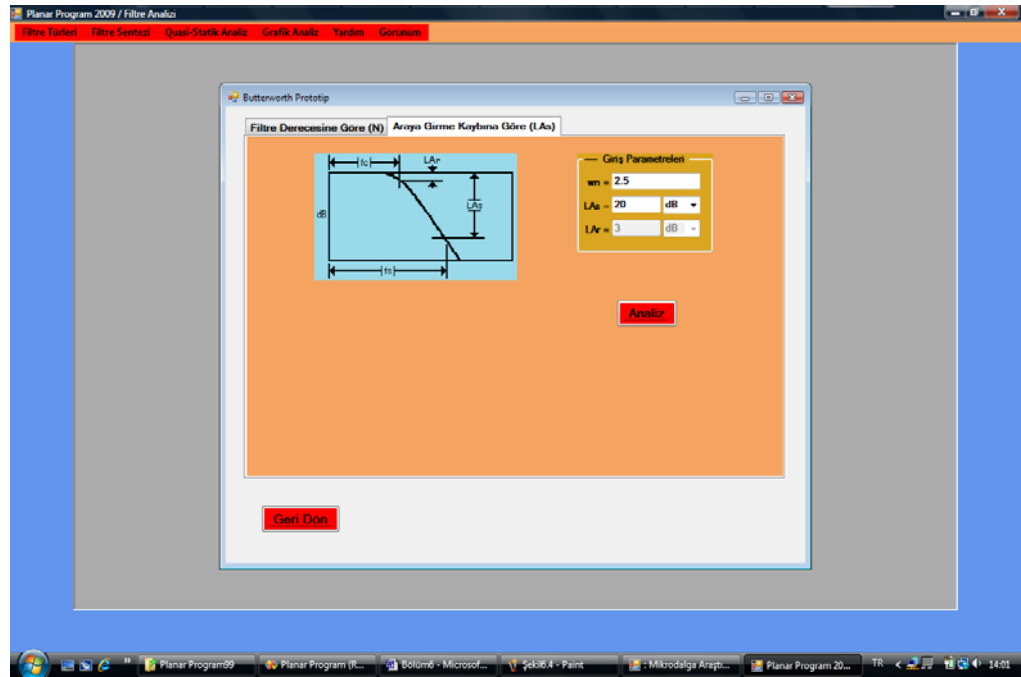


Şekil 4.4 “Analiz Türleri” form görüntüsü

İki farklı analiz türünün her birinin seçilmesi durumunda gelecek olan arayüz sayfalarının ekran görüntüleri sırasıyla (Şekil 4.5) ve (Şekil 4.6)'da görülmektedir.

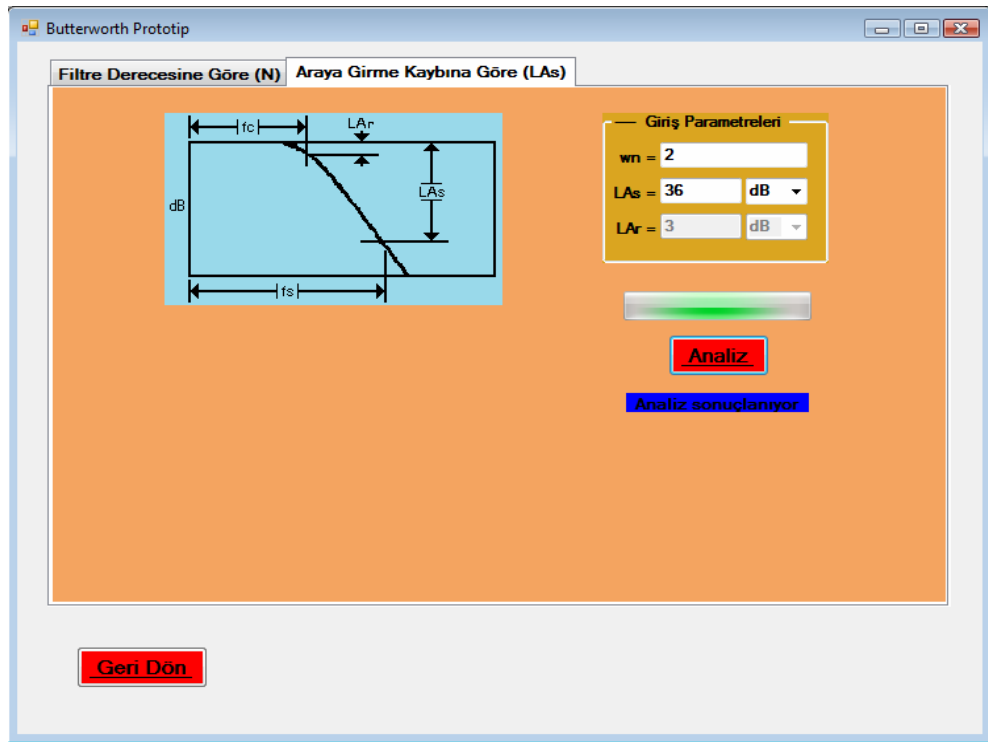


Şekil 4.5 “Filtre Derecesine Göre” analiz sayfası görüntüsü



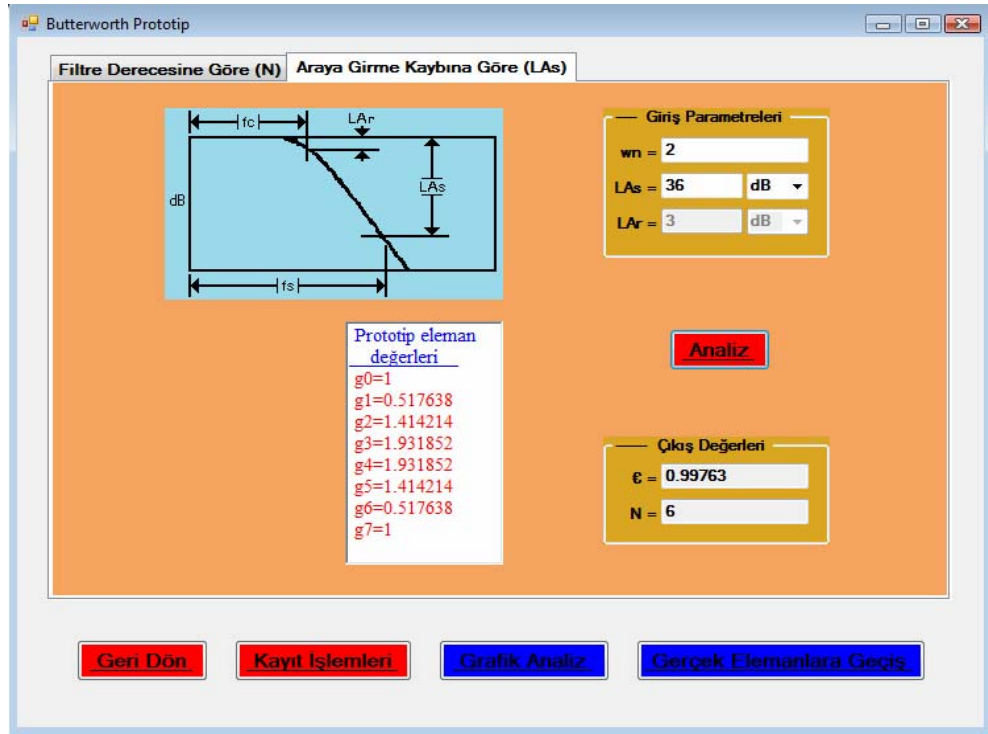
Şekil 4.6 “Araya Girme Kaybına” göre analiz sayfası görüntüsü

Analiz türü belirlenerek gelecek olan “Butterworth Prototip” arayüz formundan kullanıcı filtrenin parametre girdilerini girerek analize geçebilir. Filtrenin parametre girdilerinin istenilen şekilde girilmesi kullanıcıya mesaj pencereleriyle gösterilmektedir. Yani sadece sayısal değer girilebilecek yere başka karakterlerin girişi önlenmiştir. Ayrıca muhtemel hatalar düşünülerek gerekli kontroller yapılmıştır. Bunun yanında özellikle grafik bölümünde kullanıcı hatasından kaynaklanmayan matematiksel tanımsızlıklara uzun uğraşlar sonucunda uygun çözümler bulunmuştur. Bu şekilde programın sağlıklı çalışması sağlanmıştır. Eğer girişlerde problem yoksa analiz işlemine devam edilmektedir.

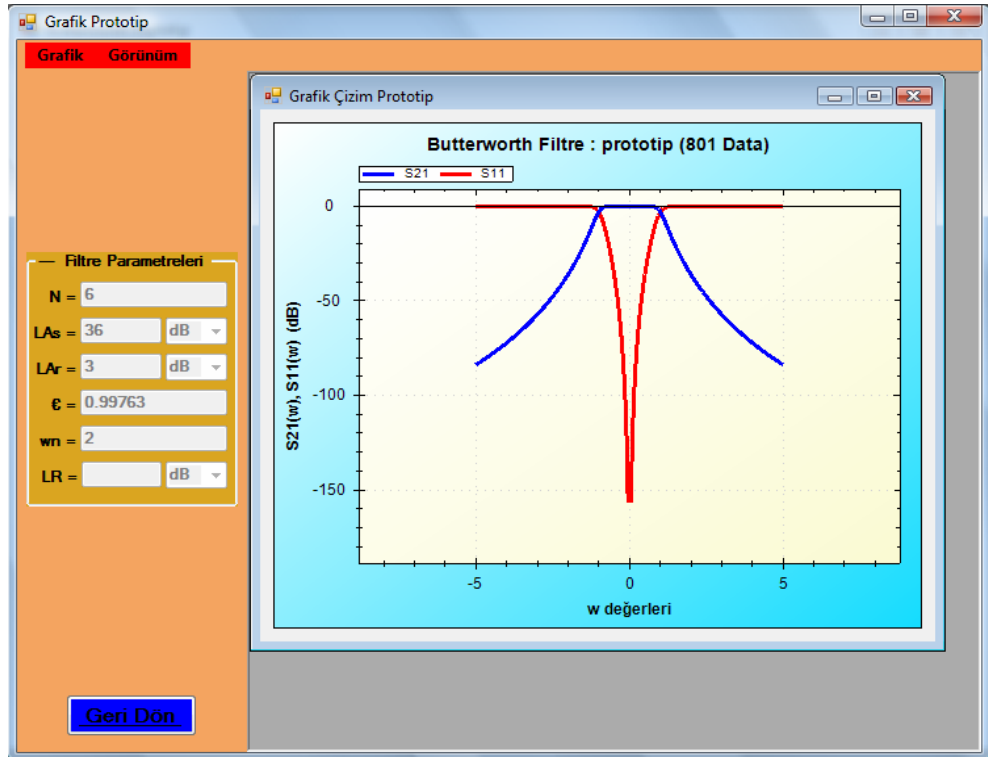


Şekil 4.7 Uygulama 4.1 için analiz görüntüsü

Programda, kullanıcı tarafından girilen giriş parametrelerine göre analiz sonucunda diğer bilinmeyen parametreler bulunarak alçak geçiren prototip eleman değerleri bulunur. Daha sonra “Grafik Analiz”, “Kayıt İşlemleri” ve “Gerçek Elemanlara Geçiş” butonlarından diğer uygulamalara geçilebilir (Şekil 4.8). Burada “Grafik Analiz” bölümüne geçilecek olunursa iletim ve yansıma karakteristiğinin grafiği varsayılan grafik ayarları ile (Şekil 4.9)’daki gibi elde edilir

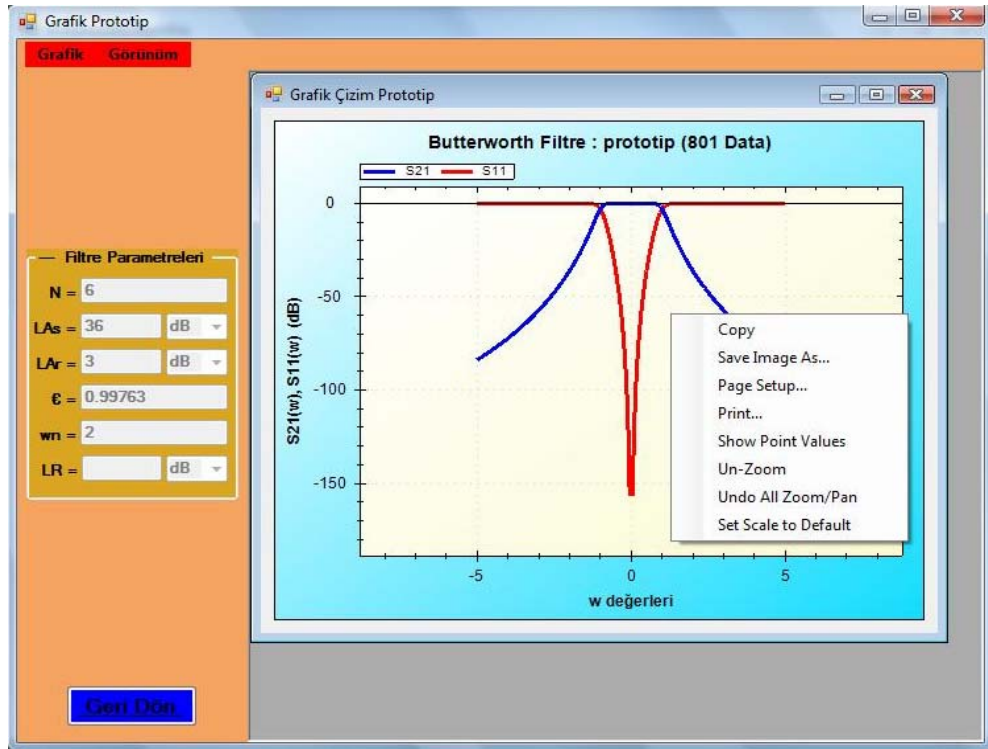


Şekil 4.8 Uygulama 4.1 için analiz sonuçları görüntüsü



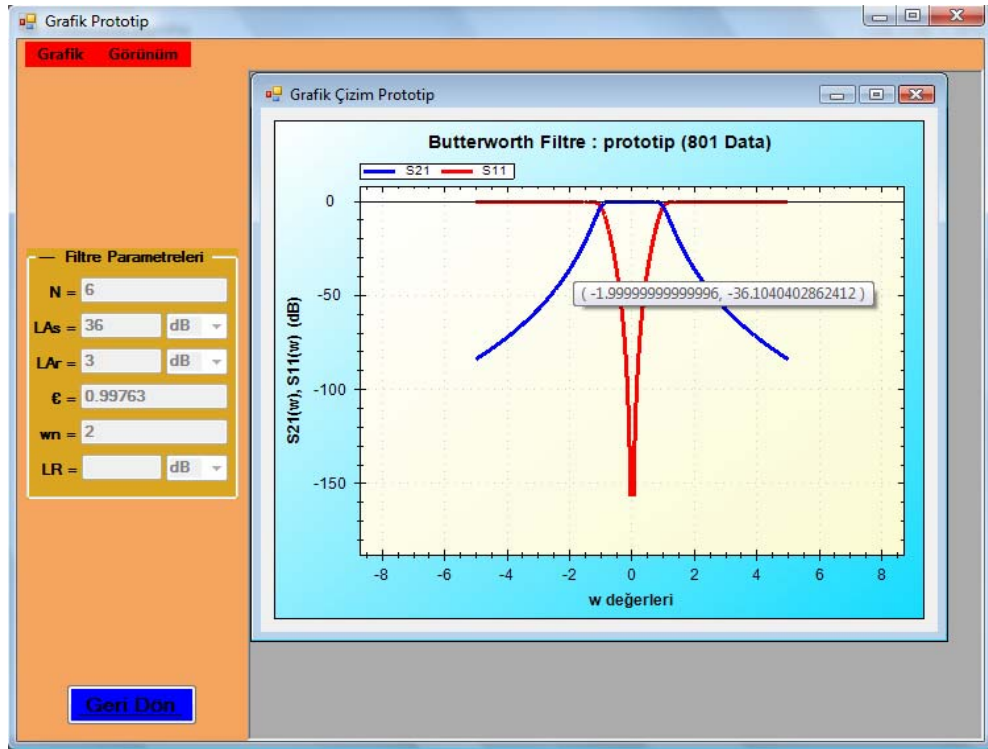
Şekil 4.9 6. dereceden Butterworth alçak geçiren filtrenin iletim ve yansım karakteristiği görüntüsü

Kullanıcı grafiği kaydetme, büyültme, değer okuma, yazdırma, değişiklikleri geri alma gibi işlemler yapabilir (Şekil 4.10).



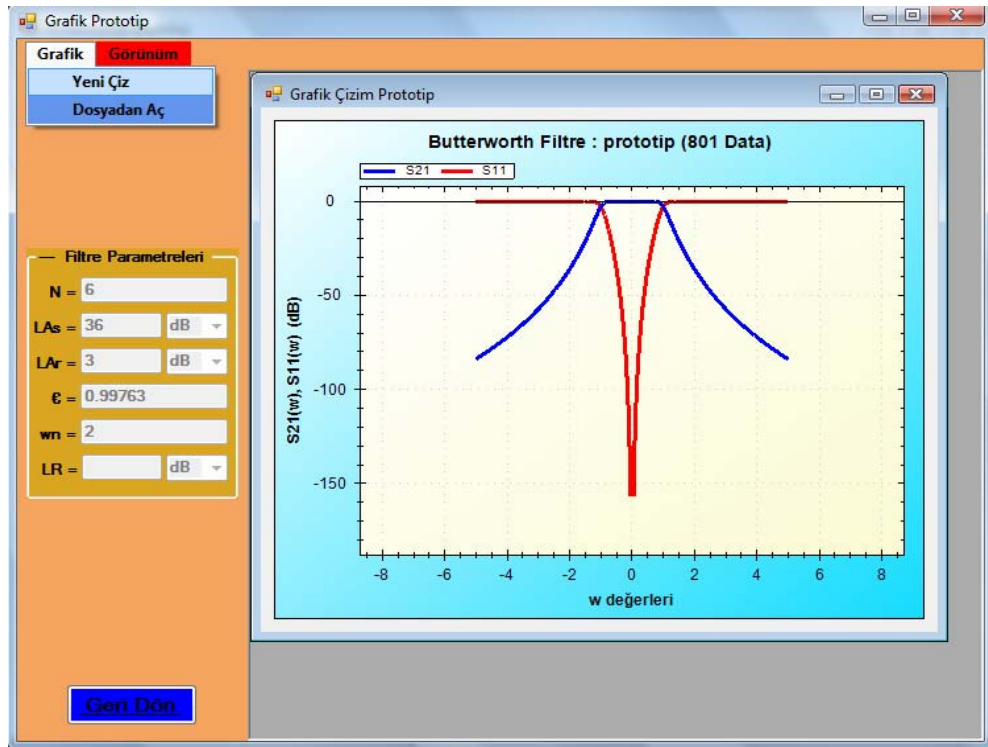
Şekil 4.10 Grafik üzerinde yapılabilen işlemler menüsü

İletim ve yansıma karakteristikleri için çizdirilen grafik üzerinde mavi ile gösterilmekte olan iletim karakteristiği $S_{21}(w)$ 'nin grafiği üzerinde $w=-2$ değerine karşılık gelen -36 dB seviyesinin okunması Şekil 4.11'de görülmektedir.

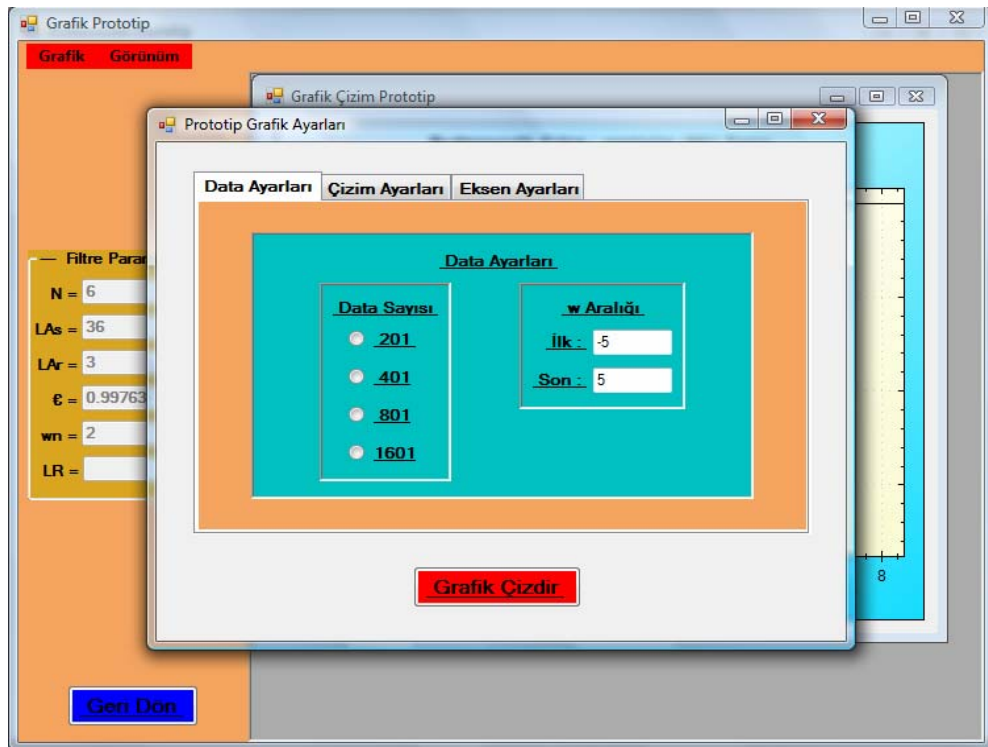


Şekil 4.11 S21(w) grafiği üzerinde $w=-2$ değerine karşılık -36 dB seviyesinin okunması

Kullanıcı yeni ayarlarda bir grafik çizdirmek isterse Şekil 4.12’de görüldüğü gibi “Grafik->Yeni” menü seçeneklerini takip ederek Şekil 4.13’deki “Prototip Grafik Ayarları” formuna ulaşır.

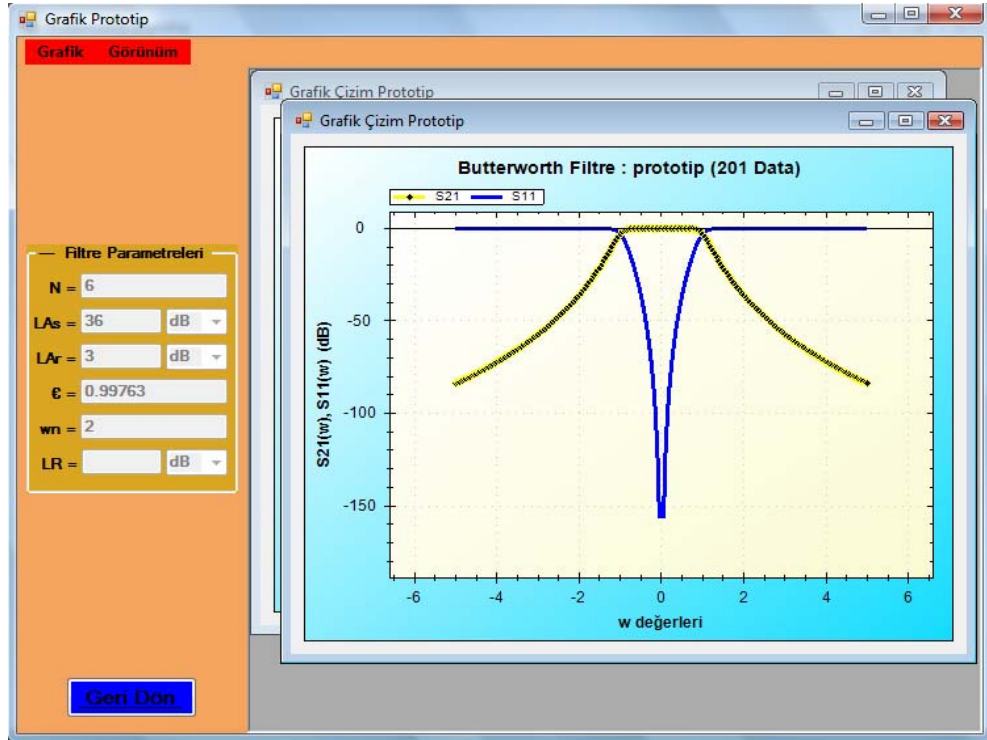


Şekil 4.12 “Grafik” menü görüntüsü



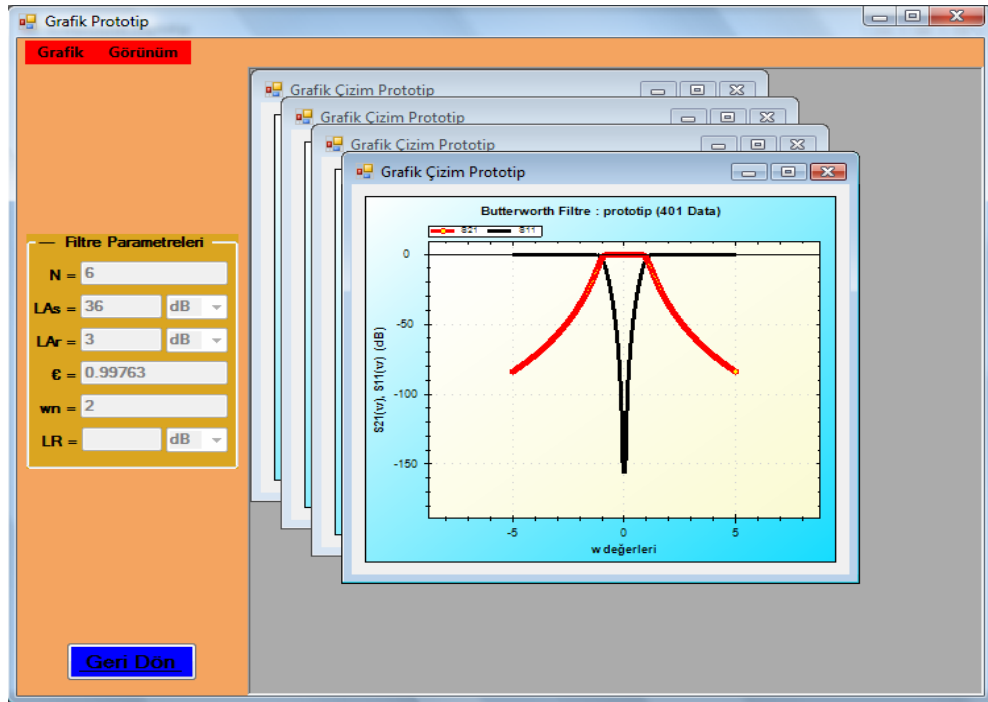
Şekil 4.13 “Prototip Grafik Ayarları” form görüntüsü

Kullanıcı ‘‘Prototip Grafik Ayarları’’ formundan oluşturacağı yeni grafiğin ayarlarını (data sayısı, font ayarları, eksen ayarları vb.) yaparak yeni ayarlarıyla birlikte grafik çizimini tamamlamış olur (şekil 4.14).

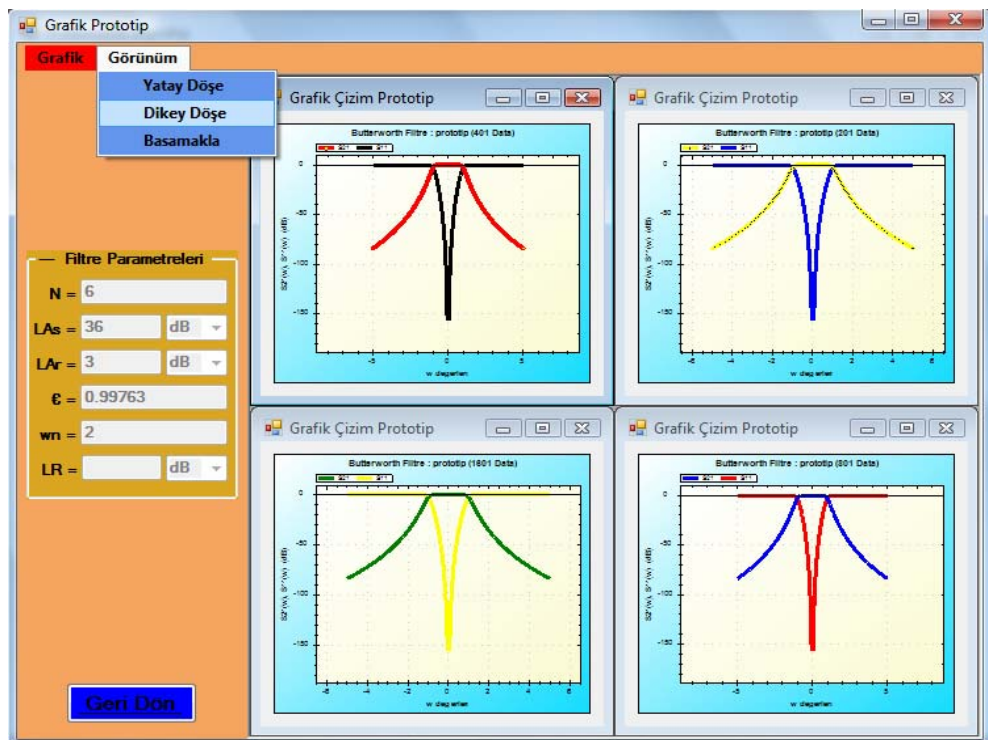


şekil 4.14 Yeni ayarlarda elde edilen grafik goruntüsü

Programın güzel yanlarından birisi de dinamik olarak değişen değerleri kullanarak aynı anda birden fazla grafik çizdirebilmeyi mümkün kılmasıdır. Mevcut çizilmiş olan grafikler ‘‘Görünüm’’ menüsündeki ayarlardan düzenlenebilmektedir (şekil 4.15). Grafiklerin düzenli hali şekil 4.16’da görülmektedir.



Şekil 4.15 Çoklu grafik çalışma görüntüsü

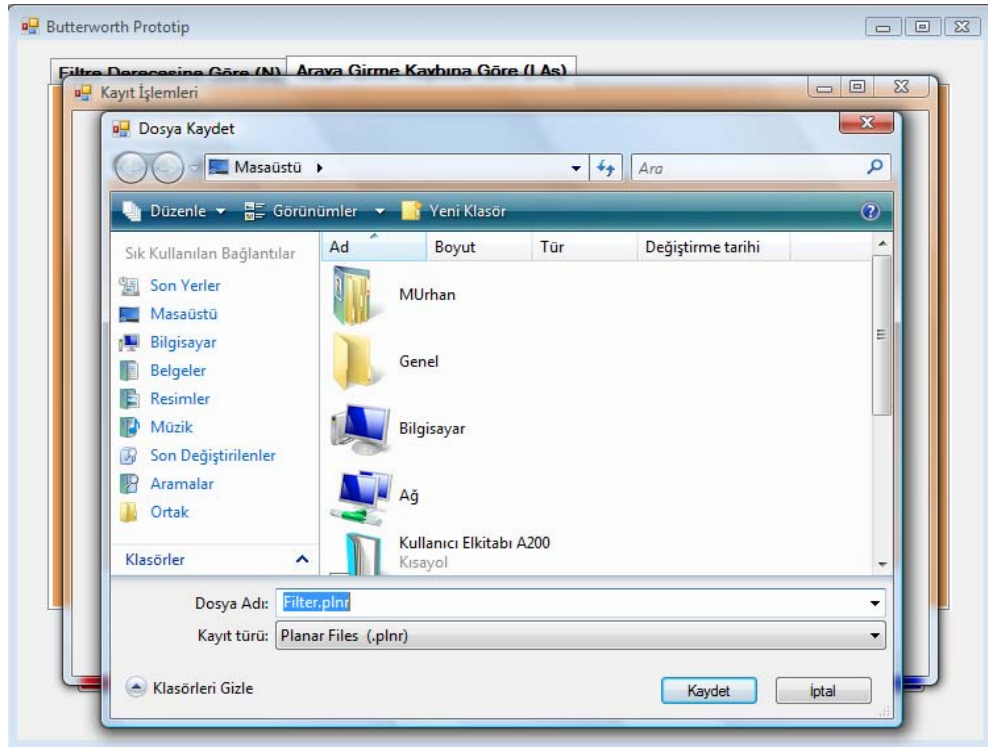


Şekil 4.16 Grafiklerin “Görünüm” menüsünden düzene koyulması

Programın güzel yanlarından bir diğeri de sonradan grafik datalarının kullanılarak tekrar grafik çizdirebilme amacıyla grafiğe ait dataların kendine özgü kayıt formatıyla kaydedilmeye elverişli olmasıdır. “Butterworth Prototip” formu üzerinde iken “Kayıt İşlemleri” bölümüne geçilirse Şekil 4.17’deki ekran görüntüsü ile karşılaşılır. Burada “Normal” ve “Spesifik” kayıt olmak üzere iki farklı türde kayıt yapma özelliği bulunur.

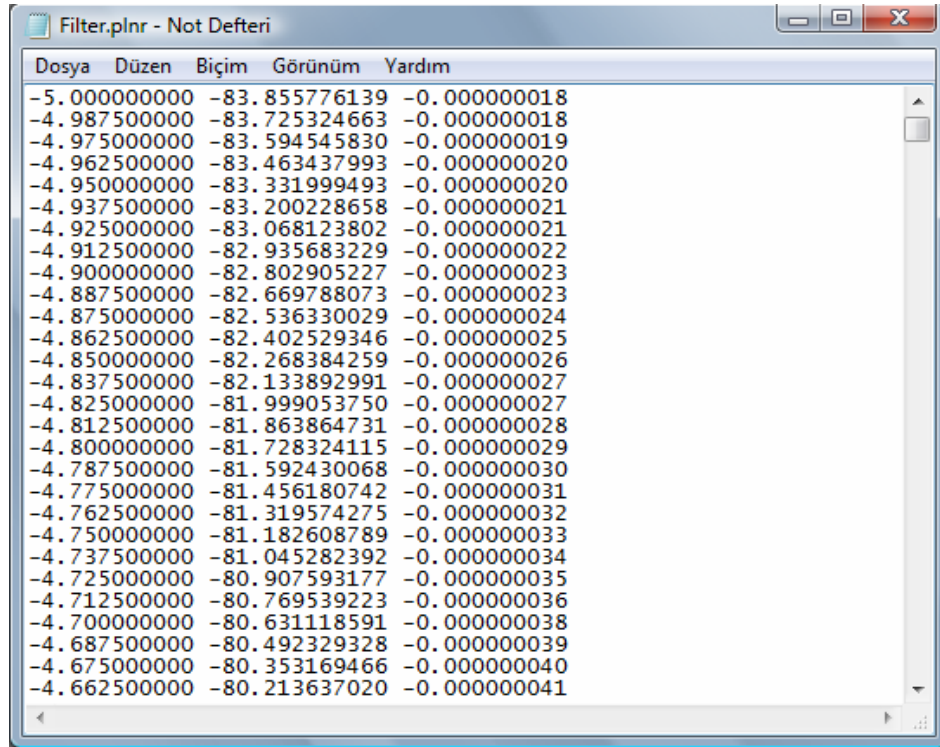
Şekil 4.17 “Kayıt İşlemleri” form görüntüsü

Bu formda kullanıcı tarafından istenilen özellikte grafik ayarları yapılarak kayıt işlemine geçilirse dosyanın kayıt yapılacak yerinin ve dosya uzantısının ne olacağını sorulduğu Şekil 4.18’de görülen “Dosya Kaydet” penceresi gelir. Burada dosya adı kısmında başlangıçta varsayılan olarak programın kendine özgü uzantılı (*.plnr) olan “Filter.plnr” yer alır.



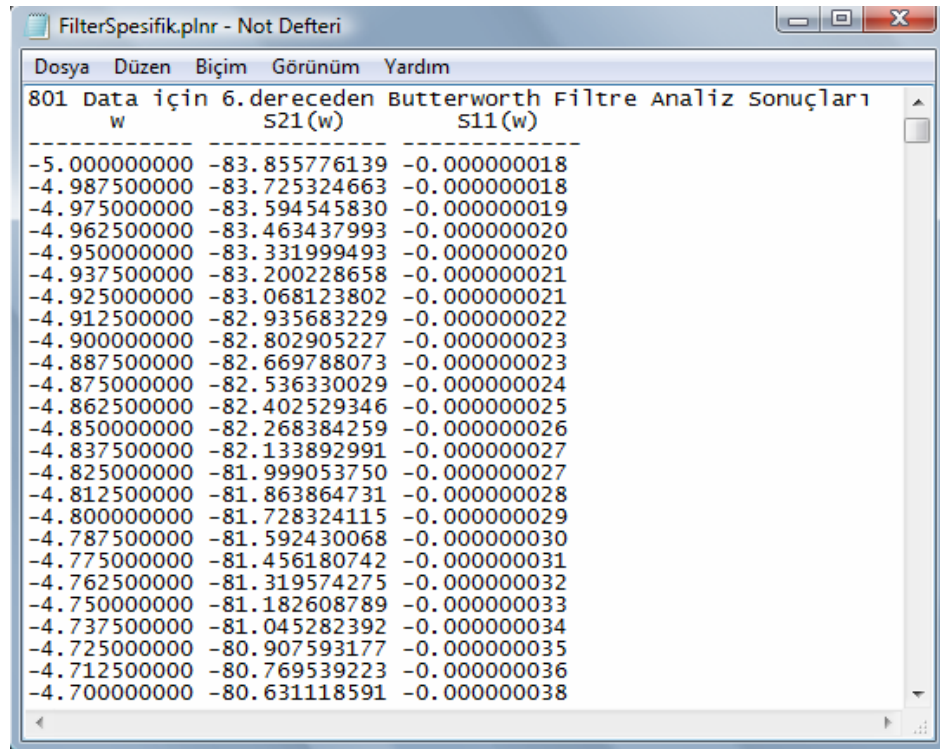
Şekil 4.18 “Dosya Kaydet” pencere görüntüsü

Programın kayıt formatına göre w , $S21(w)$, $S11(w)$ data dizileri, aralarında belli boşluk bırakılarak kayıt işlemi gerçekleştirilir. Normal ve spesifik kayıt örnek dosyaları sırasıyla Şekil 4.19’da ve Şekil 4.20’de görülmektedir.Şekil 4.19’daki dosya kayıt formatı bu program ve diğer “Mathcad” vb. programlarda kullanılabilir formattır.



| Dosya | Düzen | Biçim | Görünüm | Yardım |
|--------------|---------------|--------------|---------|--------|
| -5.000000000 | -83.855776139 | -0.000000018 | | |
| -4.987500000 | -83.725324663 | -0.000000018 | | |
| -4.975000000 | -83.594545830 | -0.000000019 | | |
| -4.962500000 | -83.463437993 | -0.000000020 | | |
| -4.950000000 | -83.331999493 | -0.000000020 | | |
| -4.937500000 | -83.200228658 | -0.000000021 | | |
| -4.925000000 | -83.068123802 | -0.000000021 | | |
| -4.912500000 | -82.935683229 | -0.000000022 | | |
| -4.900000000 | -82.802905227 | -0.000000023 | | |
| -4.887500000 | -82.669788073 | -0.000000023 | | |
| -4.875000000 | -82.536330029 | -0.000000024 | | |
| -4.862500000 | -82.402529346 | -0.000000025 | | |
| -4.850000000 | -82.268384259 | -0.000000026 | | |
| -4.837500000 | -82.133892991 | -0.000000027 | | |
| -4.825000000 | -81.999053750 | -0.000000027 | | |
| -4.812500000 | -81.863864731 | -0.000000028 | | |
| -4.800000000 | -81.728324115 | -0.000000029 | | |
| -4.787500000 | -81.592430068 | -0.000000030 | | |
| -4.775000000 | -81.456180742 | -0.000000031 | | |
| -4.762500000 | -81.319574275 | -0.000000032 | | |
| -4.750000000 | -81.182608789 | -0.000000033 | | |
| -4.737500000 | -81.045282392 | -0.000000034 | | |
| -4.725000000 | -80.907593177 | -0.000000035 | | |
| -4.712500000 | -80.769539223 | -0.000000036 | | |
| -4.700000000 | -80.631118591 | -0.000000038 | | |
| -4.687500000 | -80.492329328 | -0.000000039 | | |
| -4.675000000 | -80.353169466 | -0.000000040 | | |
| -4.662500000 | -80.213637020 | -0.000000041 | | |

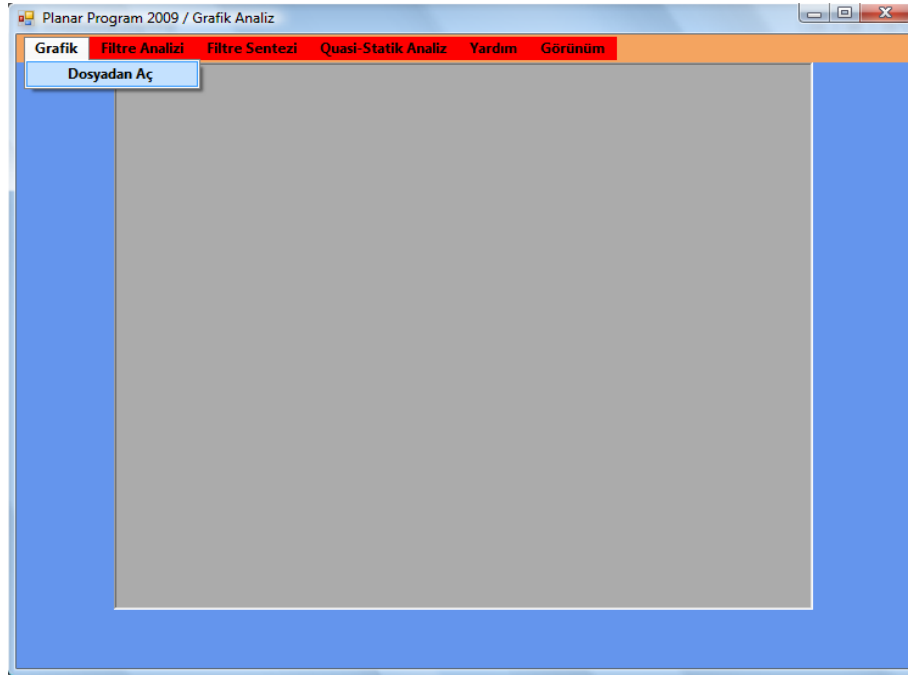
Şekil 4.19 “Filter.plnr” dosyasının ekran görüntüsü



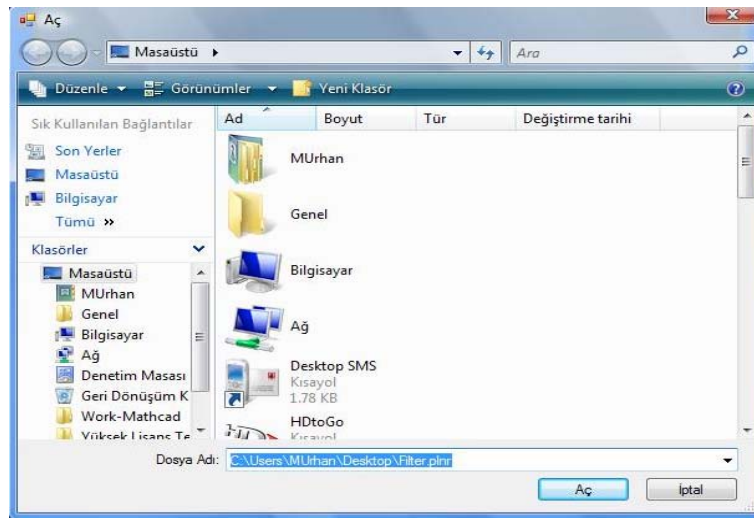
| Dosya | Düzen | Biçim | Görünüm | Yardım |
|---------------------------------------------------------------|---------------|--------------|---------|--------|
| 801 Data için 6.dereceden Butterworth Filtre Analiz Sonuçları | | | | |
| w | S21(w) | S11(w) | | |
| -5.000000000 | -83.855776139 | -0.000000018 | | |
| -4.987500000 | -83.725324663 | -0.000000018 | | |
| -4.975000000 | -83.594545830 | -0.000000019 | | |
| -4.962500000 | -83.463437993 | -0.000000020 | | |
| -4.950000000 | -83.331999493 | -0.000000020 | | |
| -4.937500000 | -83.200228658 | -0.000000021 | | |
| -4.925000000 | -83.068123802 | -0.000000021 | | |
| -4.912500000 | -82.935683229 | -0.000000022 | | |
| -4.900000000 | -82.802905227 | -0.000000023 | | |
| -4.887500000 | -82.669788073 | -0.000000023 | | |
| -4.875000000 | -82.536330029 | -0.000000024 | | |
| -4.862500000 | -82.402529346 | -0.000000025 | | |
| -4.850000000 | -82.268384259 | -0.000000026 | | |
| -4.837500000 | -82.133892991 | -0.000000027 | | |
| -4.825000000 | -81.999053750 | -0.000000027 | | |
| -4.812500000 | -81.863864731 | -0.000000028 | | |
| -4.800000000 | -81.728324115 | -0.000000029 | | |
| -4.787500000 | -81.592430068 | -0.000000030 | | |
| -4.775000000 | -81.456180742 | -0.000000031 | | |
| -4.762500000 | -81.319574275 | -0.000000032 | | |
| -4.750000000 | -81.182608789 | -0.000000033 | | |
| -4.737500000 | -81.045282392 | -0.000000034 | | |
| -4.725000000 | -80.907593177 | -0.000000035 | | |
| -4.712500000 | -80.769539223 | -0.000000036 | | |
| -4.700000000 | -80.631118591 | -0.000000038 | | |

Şekil 4.20 “FilterSpesifik.plnr” dosyasının ekran görüntüsü

Programın güzel yanlarından bir diğeri de dışarıdan grafik datası okumaya elverişli olmasıdır. Program, kendi data okuma formatına uygun her türlü uzantıdaki dosyayı okuyup değerlendirebilme yeteneğine sahiptir. Şekil 4.19'daki kaydedilen dosyanın içeriğindeki data bilgileri birkaç yerden okunabilir. Kullanıcı “Grafik Analiz”, “Prototip Grafik” ve “Gerçek Grafik” formlarında bulunan “Grafik->Dosyadan Aç” menü seçeneklerini (Şekil 4.21) takip etmek suretiyle “Aç” penceresine ulaşır (Şekil 4.22).

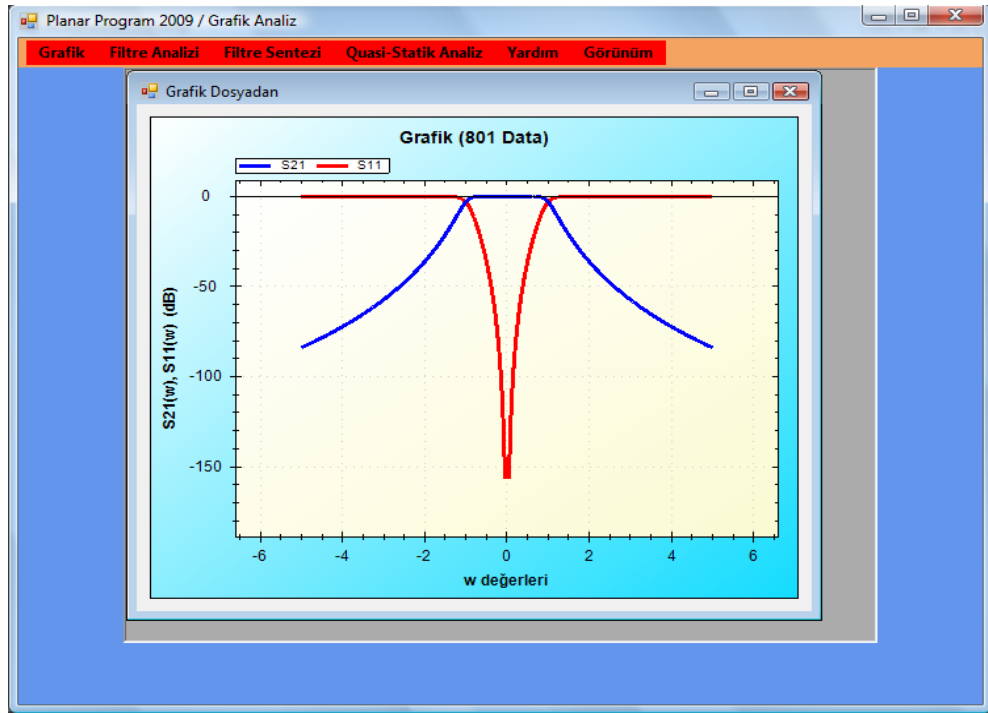


Şekil 4.21 “Grafik->Dosyadan Aç” menü görüntüsü



Şekil 4.22 “Aç” pencere görüntüsü

Bu pencereden data bilgileri okunacak olan dosya belirlendikten sonra dosyadan okunan data bilgilerine göre grafik çizimi gerçekleştirilir (Şekil 4.23).



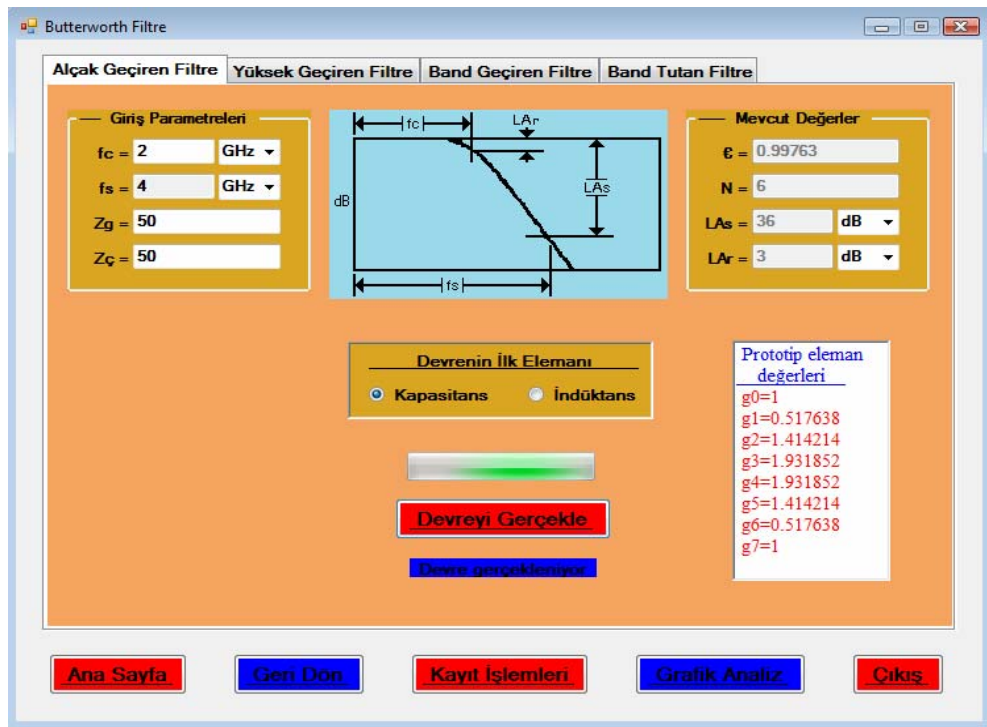
Şekil 4.23 “Filter.plnr” dosyasından okuma sonucu oluşan grafik görüntüsü

Buraya kadar Örnek 3.1’de istenilen özelliklerdeki filtrenin prototip eleman değerlerinin bulunması işlemi programla birlikte gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki aşama prototip eleman değerlerinden Bölüm 3’de anlatılan frekans ve eleman dönüşümleri yöntemi ile filtrenin gerçek eleman değerlerine geçiş yapılmasıdır. Bu dönüşümler için program uygulaması Örnek 3.1’in devamı niteliğinde yapılacaktır.

“Butterworth Prototip” arayüz formundaki (Bkz. Şekil 4.8) “Gerçek Elemanlara Geçiş” butonu ile, filtre seçeneklerinin yer aldığı Şekil 4.24’deki seçenek formuna geçiş yapılır. Bu formda istenilen filtre türü seçilerek bir sonraki aşamaya geçilir (Şekil 4.25).

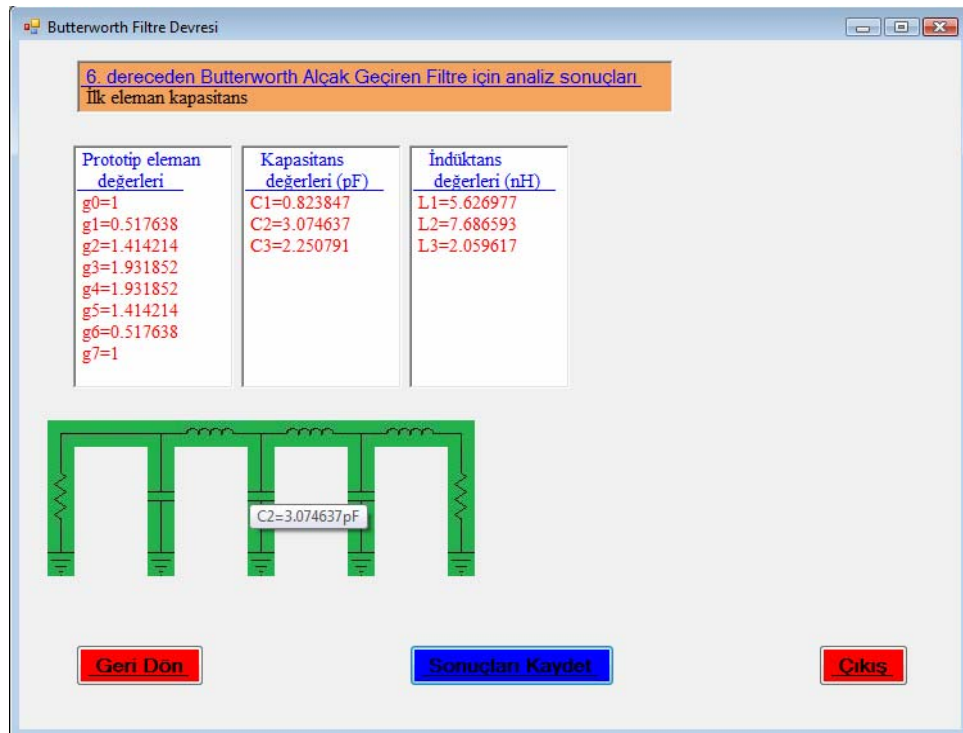


Şekil 4.24 “Butterworth Filtre Türleri” form görüntüsü

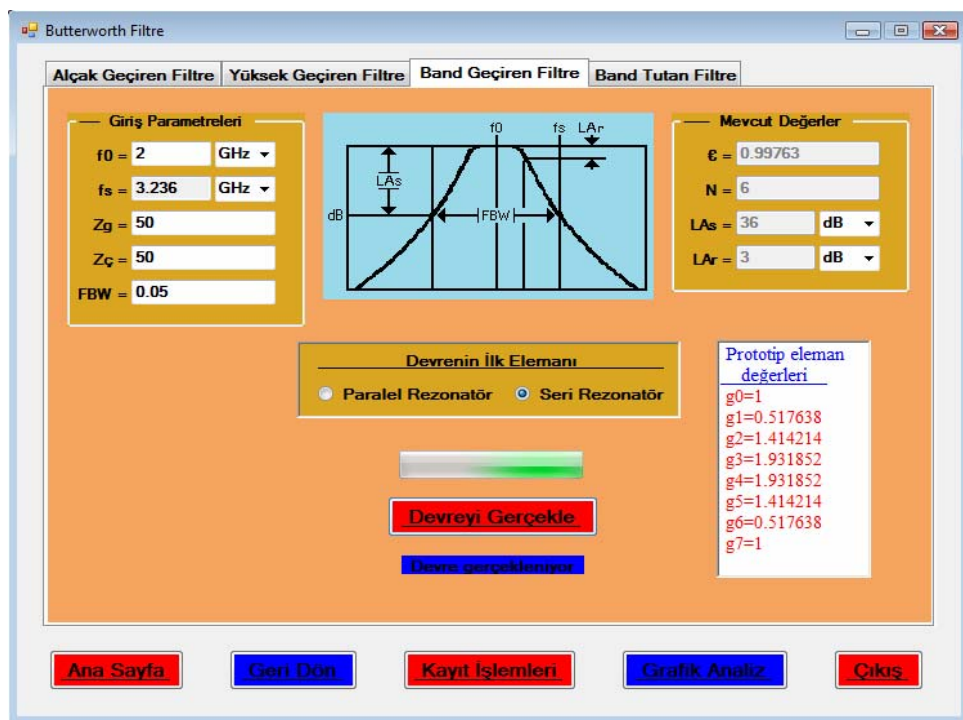


Şekil 4.25 Butterworth “Alçak Geçiren Filtre” sayfa görüntüsü

Programın bir diğer güzel özelliği de devre tasarımı yapabilesidir. Kullanıcı eşdeğer devrenin ilk elemanını belirledikten sonra “Devreyi Gerçekle” butonu ile devre tasarımının yapıldığı Şekil 4.26’da gösterilen “Butterworth Filtre Devresi” formuna geçiş yapacaktır. Bu formda eşdeğer devrenin eleman değerleri hem şekil üzerinde hem de liste halinde görülebilmektedir.

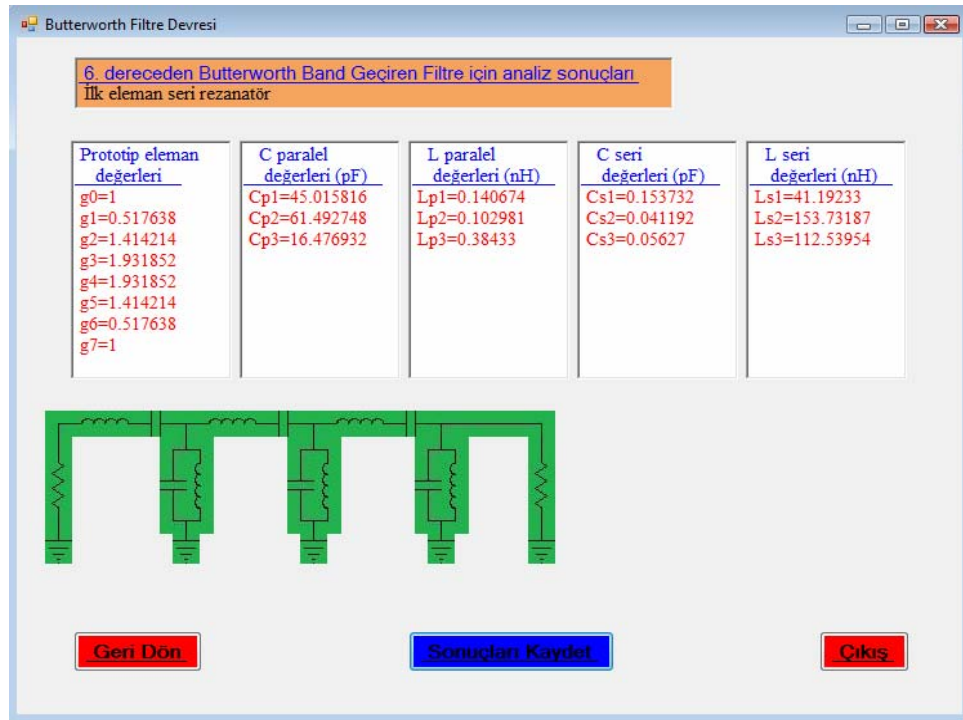


Şekil 4.26 İlk elemanı kapasite olan 6. dereceden alçak geçiren filtre prototip eşdeğer devre görüntüsü



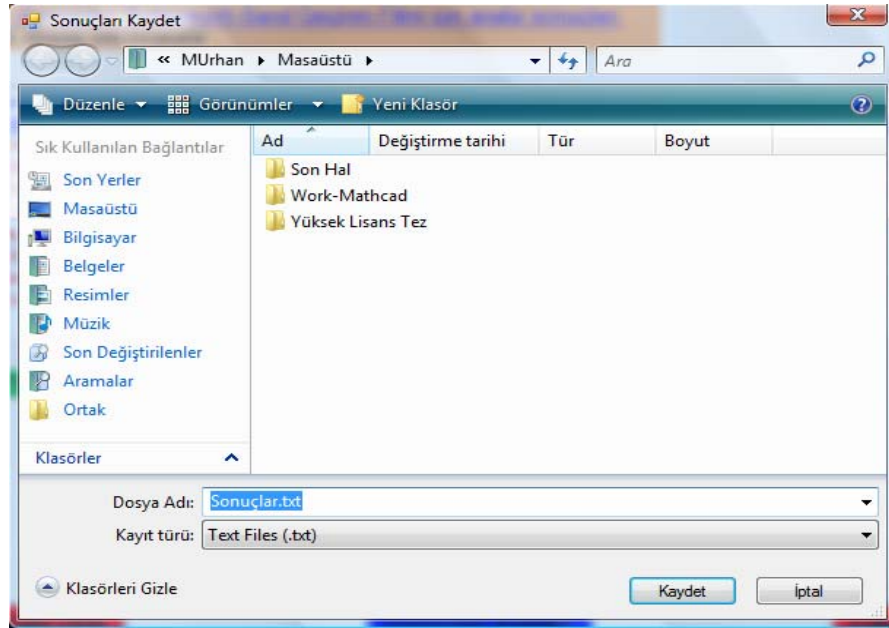
Şekil 4.27 Butterworth “Band Geçiren Filtre” sayfa görüntüsü

Şekil 4.27'deki "Band Geçiren Filtre" sayfasından benzer işlemler uygulanıp devre tasarımına geçilecek olunursa prototip eşdeğer devre Şekil 4.28'deki gibi olacaktır.



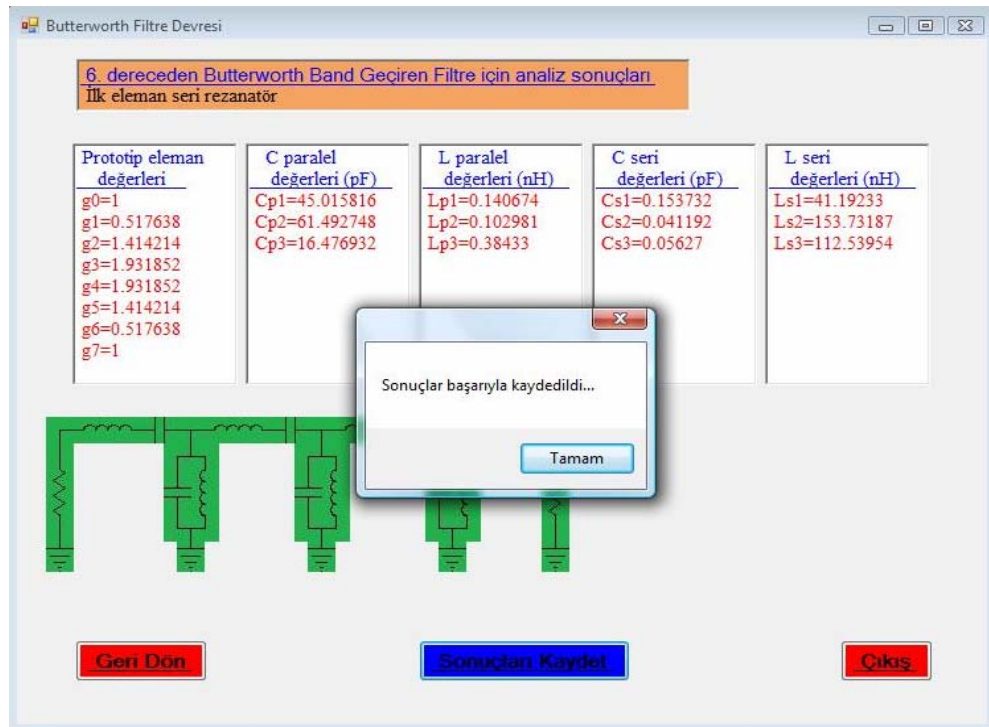
Şekil 4.28 İlk elemanı indüktans olan band geçiren prototip eşdeğer devre görüntüsü

Kullanıcı son olarak bu formda "Sonuçları Kaydet" butonu ile gelecek olan "Sonuçları Kaydet" penceresinden kaydetme işlemi gerçekleştirebilir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 “Sonuçları Kaydet” pencere görüntüsü

Eğer kullanıcının verdiği dosya adı önceden mevcut ise program kullanıcıyı hata mesajı ile uyaracaktır. Diğer durumlarda ise kayıt işlemi başarıyla gerçekleştirilecektir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 “Sonuçlar başarıyla kaydedildi...” mesaj görüntüsü

Örnek kayıt dosyası Şekil 4.31’de gösterilmiştir.

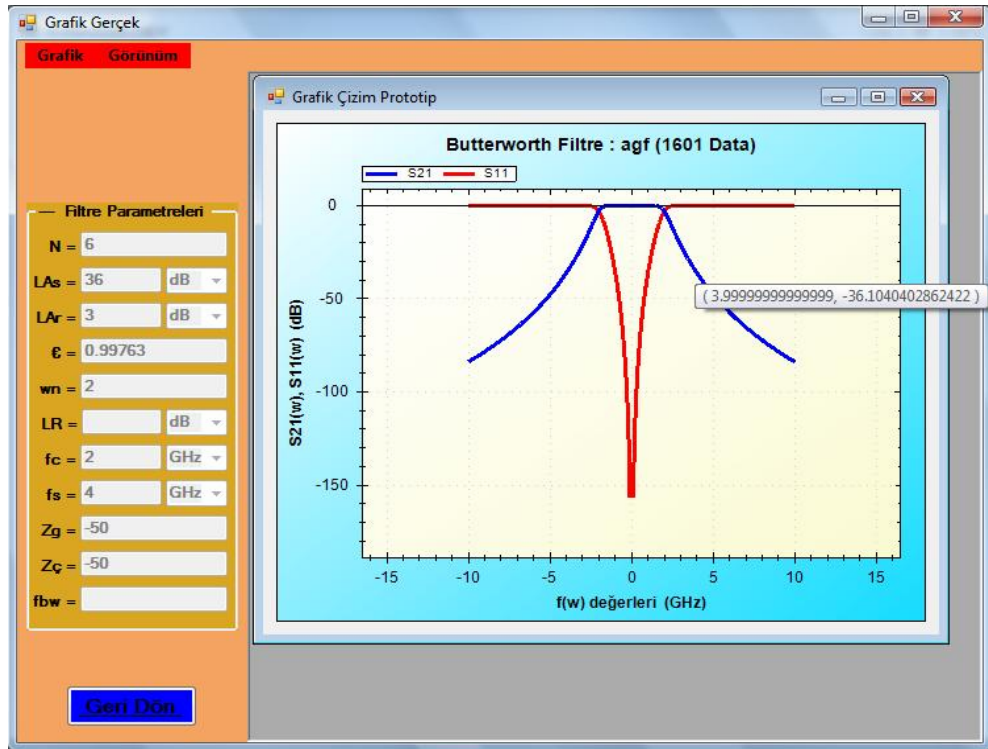
```

Sonuçlar.txt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
6.dereceden Butterworth Band Geçiren Filtre için analiz sonuçları
-----
Giriş Parametreleri
Filtrenin derecesi (N) = 6
Araya girme kaybı (LAS) = -36 dB
Geçirme bandı dalgalanması (LAR) = -3 dB
Ripple faktörü (ε) = 0.99763
Kesim frekansı (fc) = 2 GHz
Giriş empedansı (Zg) = 50 Ohm
Çıkış empedansı (Zc) = 50 Ohm
Band genişliği (fbw) = 0.05
-----
Çıkış Parametreleri
LAS'ye karşılık gelen frekans değeri (fs) = 3.236 GHz
LAS'ye karşılık gelen normalize frekans değeri (ws) = 20.332
-----
İlk eleman seri rezonatör
Prototip eleman değerleri
-----
g0=1
g1=0.517638
g2=1.414214
g3=1.931852
g4=1.931852
g5=1.414214
g6=0.517638
g7=1
Gerçek eleman değerleri
-----
Seri kapasitans değerleri
-----
Cs1=0.153732pF
Cs2=0.041192pF
Cs3=0.05627pF
Seri indüktans değerleri
-----
Ls1=41.19233nH
Ls2=153.73187nH
Ls3=112.53954nH
Paralel kapasitans değerleri
-----
Cp1=45.015816pF
Cp2=61.492748pF
Cp3=16.476932pF
Paralel indüktans değerleri
-----
Lp1=0.140674nH
Lp2=0.102981nH
Lp3=0.38433nH

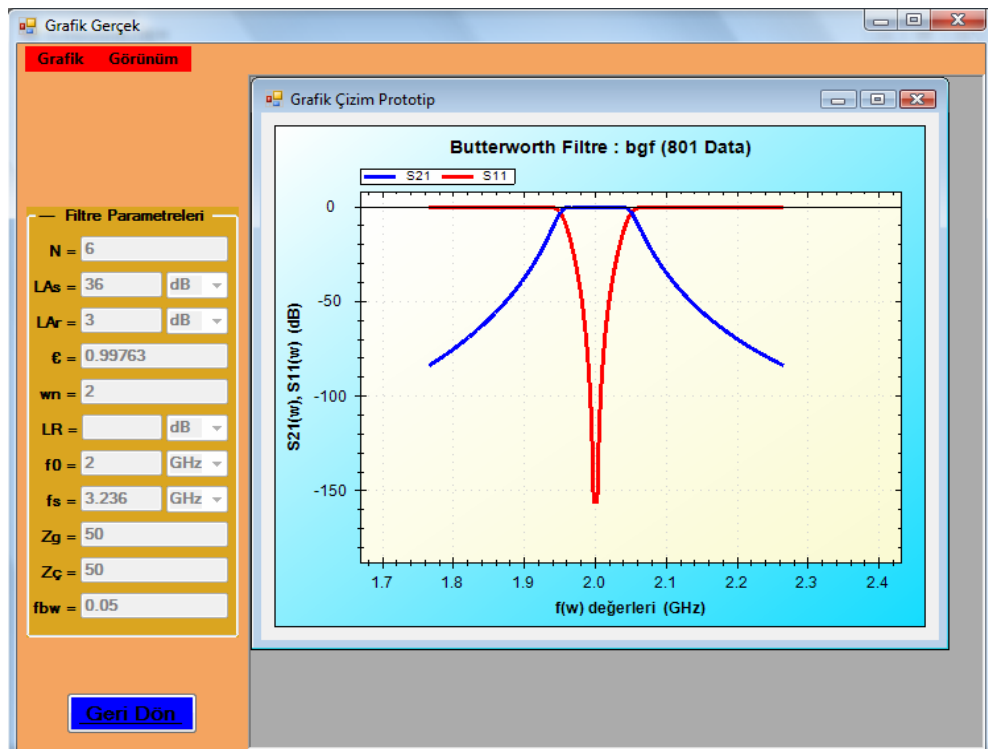
```

Şekil 4.31 “Sonuçlar.txt” dosyasının ekran görüntüsü

Kullanıcı prototip bölümünde olduğu gibi “Butterworth Filtre” formu üzerinde de “Kayıt İşlemleri” ve “Grafik Analiz” bölümlerine geçiş yapabilmektedir. Burada diğer filtre türleri için de grafik çizimi gerçekleştirilebilir. Tek fark grafiğin artık gerçek frekans değerlerine göre çizdirilecek olmasıdır (Şekil 4.32, Şekil 4.33). Kayıt işlemleri daha önce anlatıldığı şekilde yapılır.



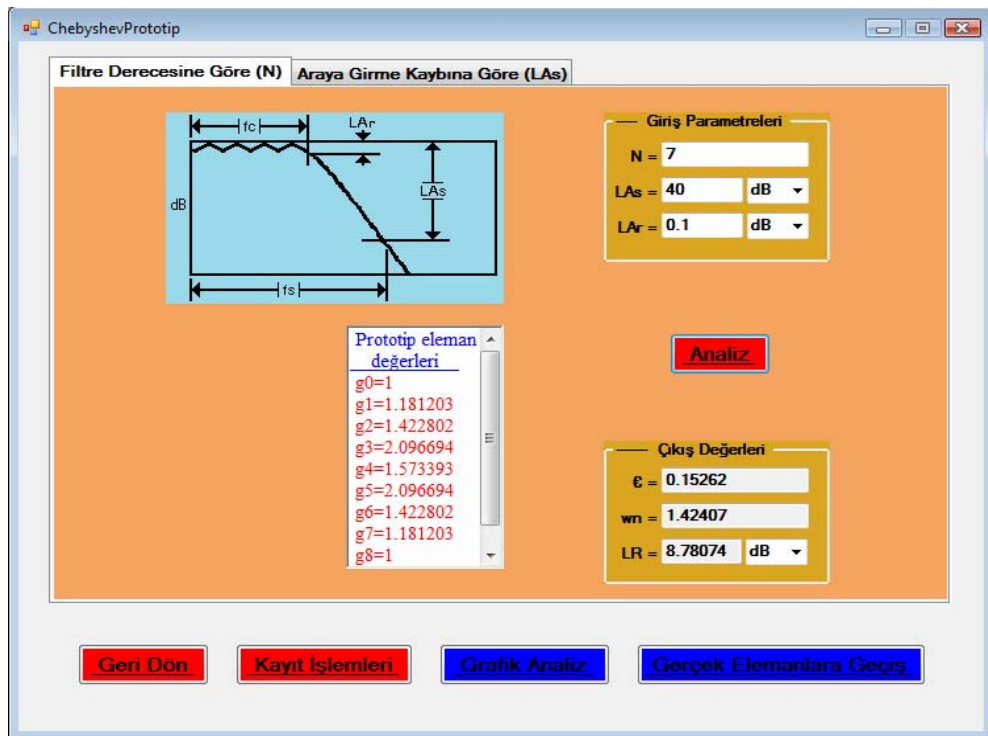
Şekil 4.32 Alçak geçiren filtrenin $S_{21}(w)$ grafiği üzerinde $f(w)=4$ GHz değerine karşılık gelen -36 dB seviyesinin okunması



Şekil 4.33 Butterworth band geçiren filtrenin iletim ve yansıma karakteristiği

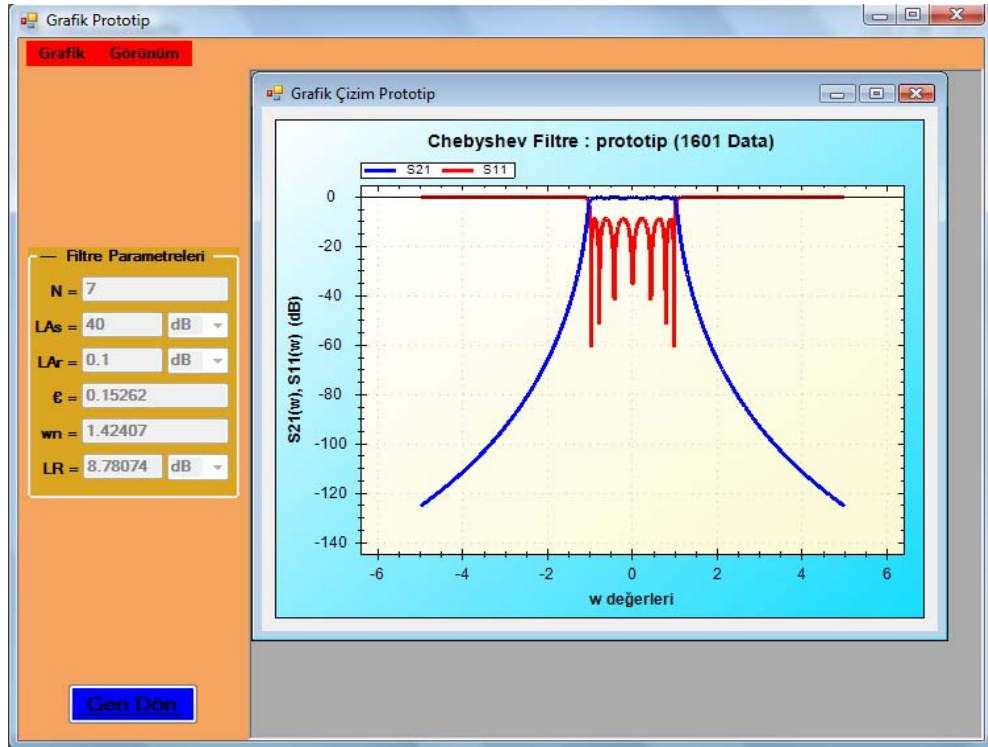
Uygulama 4.1 ile yapılan program, detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Bu nedenle Uygulama 4.2’de Örnek 3.2’nin hızlı bir biçimde uygulaması yapılacaktır.

Uygulama 4.2 : Bu uygulama Örnek 3.2’nin program uygulamasıdır (Bkz. Örnek 3.2). “Filtre Türleri” formundan “Chebyshev Filtre” seçilmek suretiyle Uygulama 4.1’deki benzer işlem adımları takip edilerek sonuçlara gidilir.

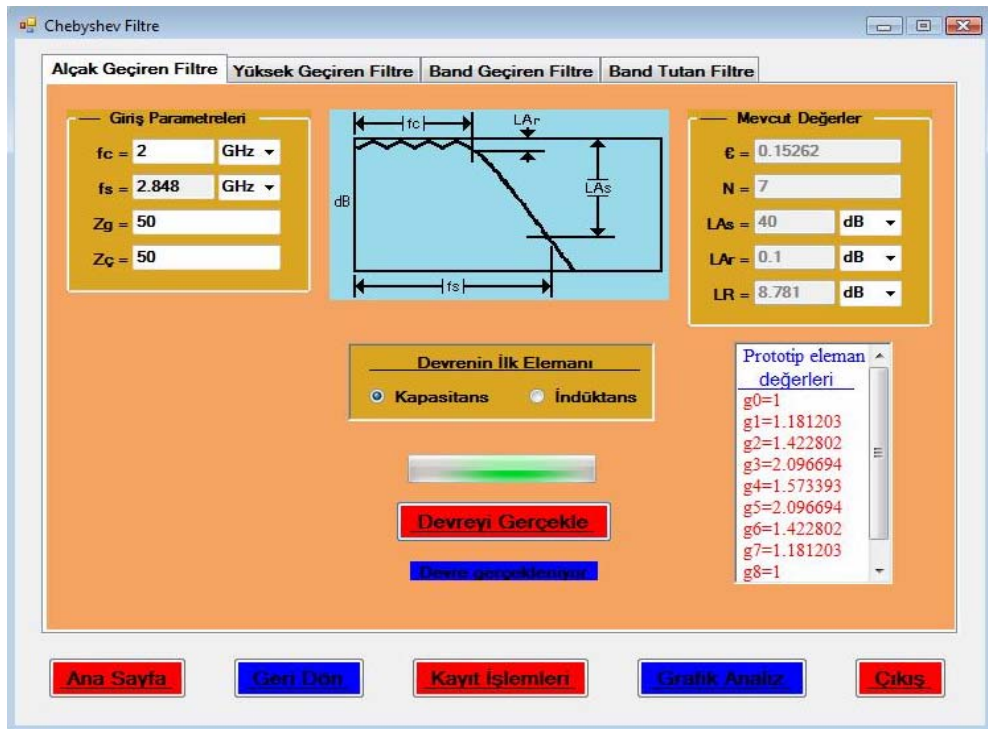


Şekil 4.34 Uygulama 4.2 için analiz sonuçları görüntüsü

Chebyshev alçak geçiren filtrenin iletim ve yansımaya karakteristiği Şekil 4.35’de görülmektedir.

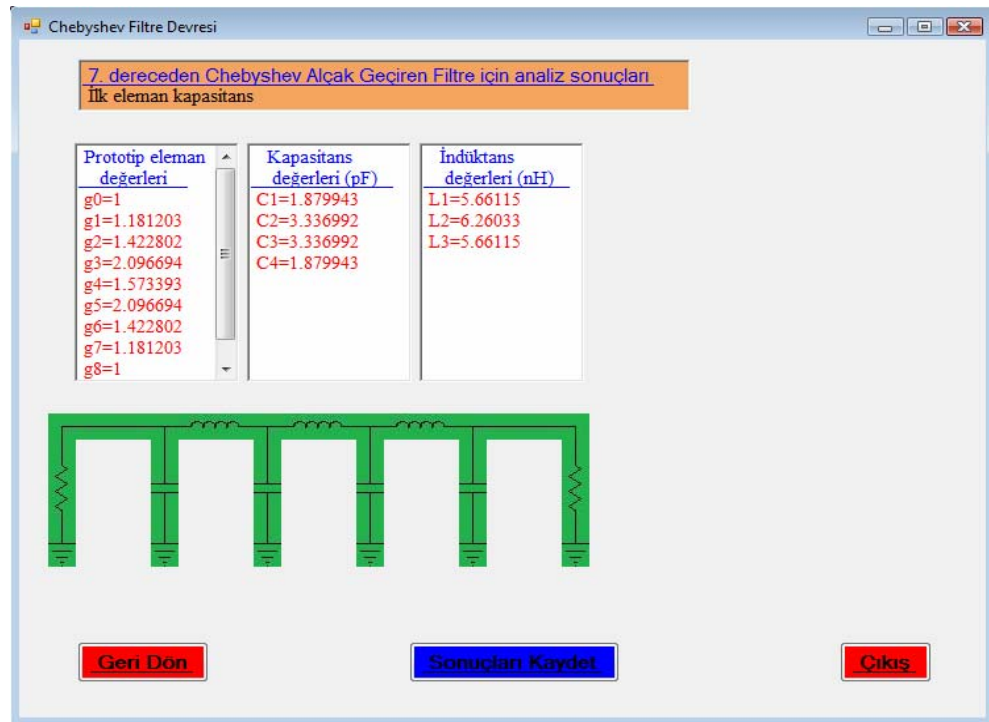


Şekil 4.35 7. dereceden Chebyshev alçak geçiren filtrenin iletim ve yansımaya karakteristiği görüntüsü



Şekil 4.36 Chebyshev “Alçak Geçiren Filtre” sayfa görüntüsü

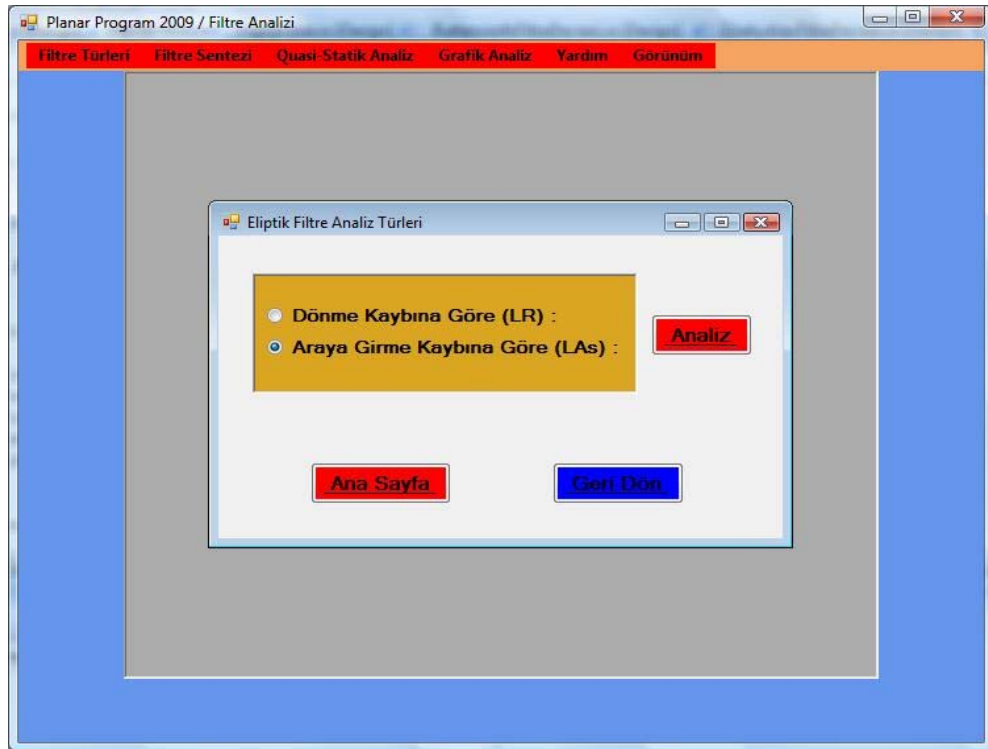
Şekil 4.36'daki formdan “Devreyi Gerçekle” butonu ile devreye geçilir (Şekil 4.37).



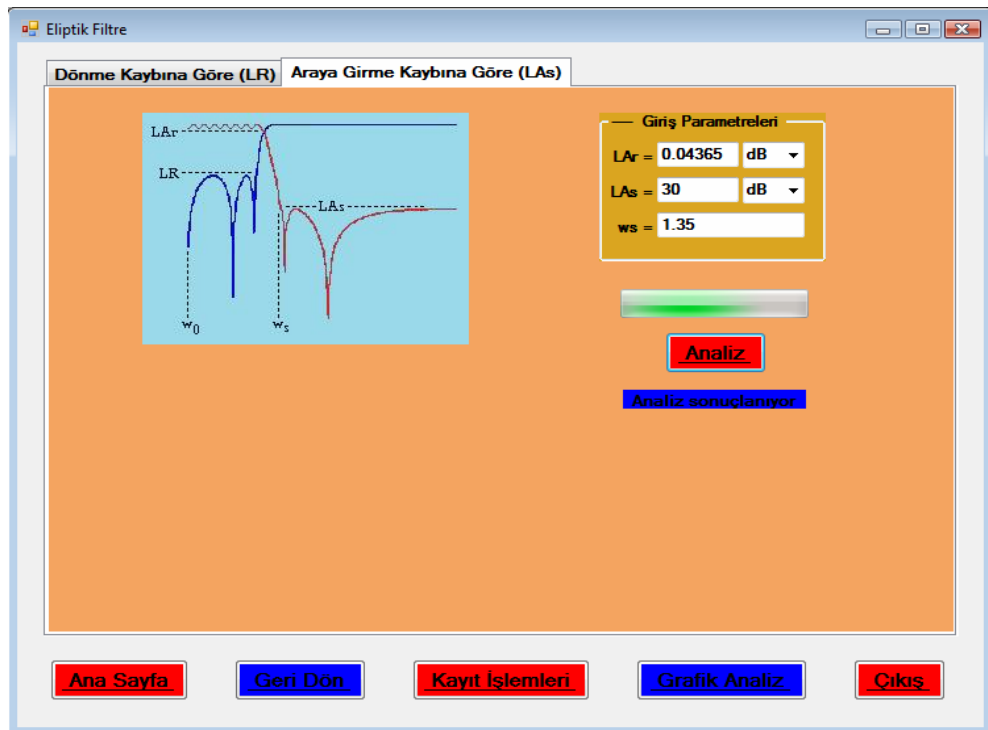
Şekil 4.37 İlk elemanı kapasite olan 7. dereceden alçak geçiren filtre prototip eşdeğer devre görüntüsü

Uygulama 4.3 : Bu uygulamada tutma bandı araya girme kaybı $LA_s = -30$ dB'den fazla, geçme bandı dalgalanması $LA_r = -0.04365$ dB ve seçicilik faktörü $ws = 1.35$ olan eliptik filtre analiz edilecektir.

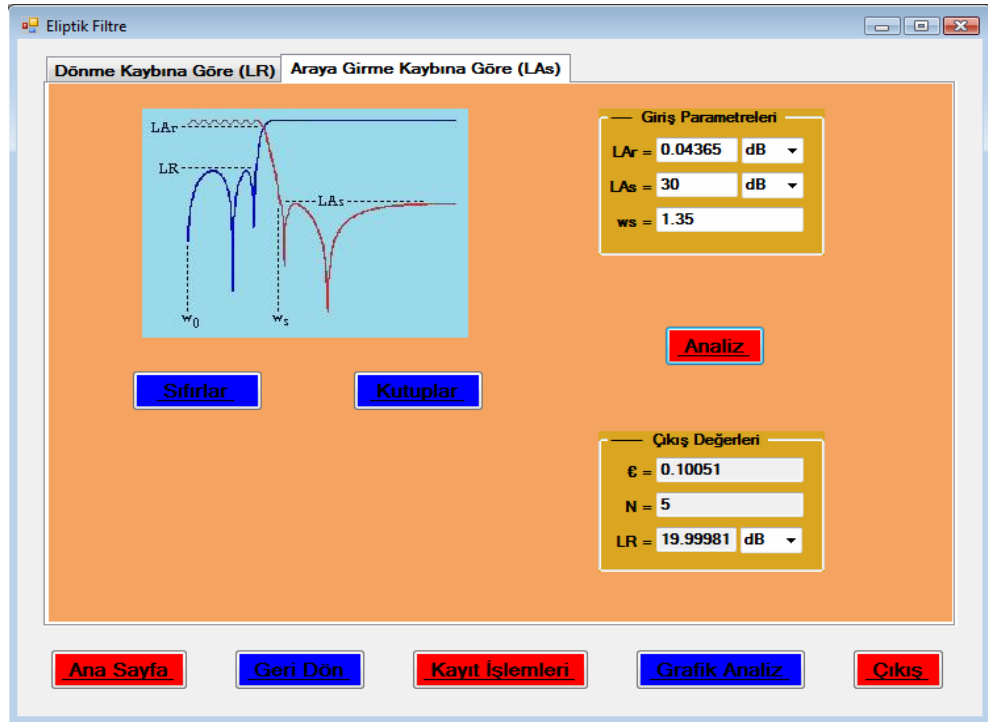
Şekil 4.37'deki “Eliptik Filtre Analiz Türleri” formundan analiz türü belirlenerek “Eliptik Filtre” formuna geçilir (Şekil 4.38). Buradan giriş parametreleri girilmek suretiyle analize geçilir (Şekil 4.39). Analiz sonucunda bulunan parametre değerleri Şekil 4.40'da görülmektedir.



Şekil 4.38 “Eliptik Filtre Analiz Türleri” form görüntüsü

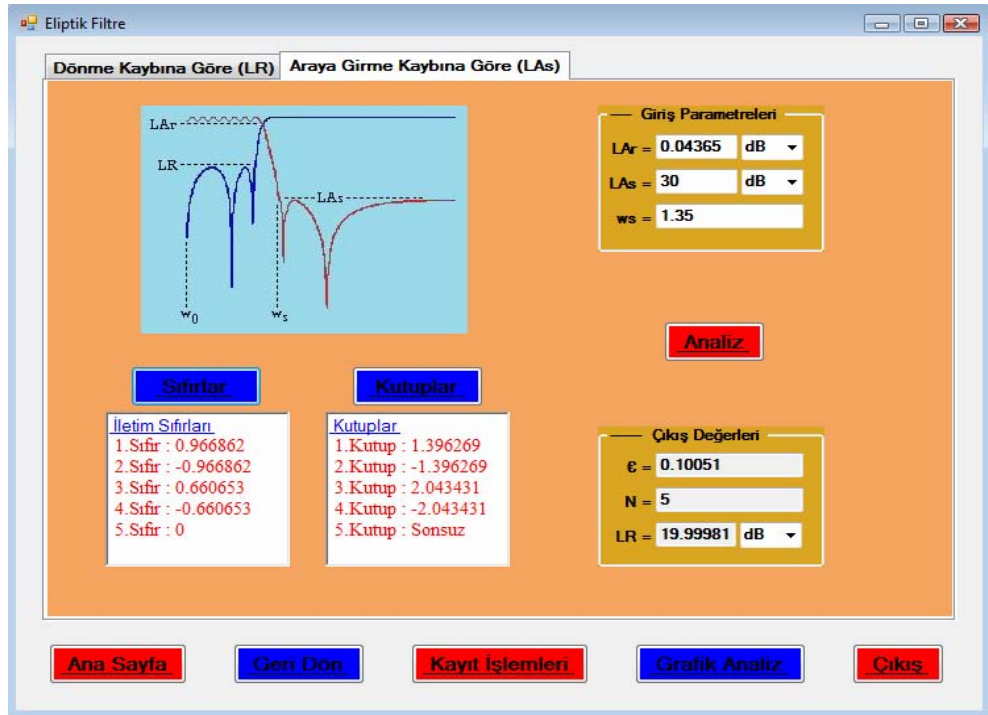


Şekil 4.39 Uygulama 4.3 için analiz görüntüsü



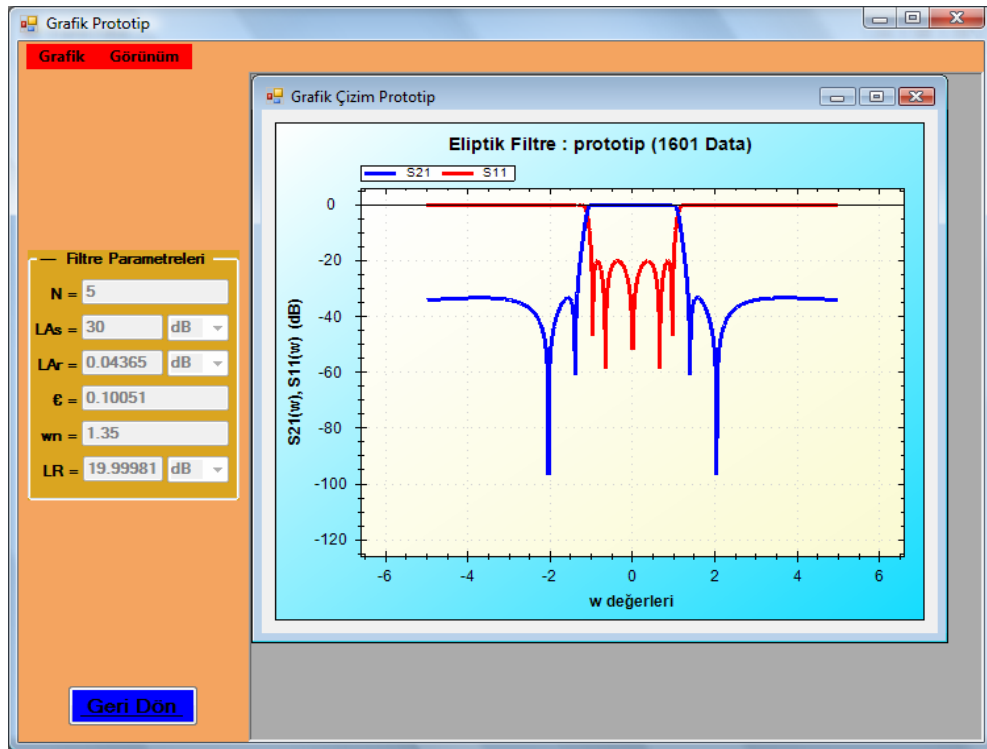
Şekil 4.40 Uygulama 4.3 için analiz sonuçları görüntüsü

Daha sonra rasyonel eliptik fonksiyonun kutup ve sıfırları bulunur.



Şekil 4.41 Eliptik filtrenin kutup ve sıfırlarının bulunması

Eliptik filtrenin iletim ve yansıma karakteristiği Şekil 4.42’de görülmektedir.

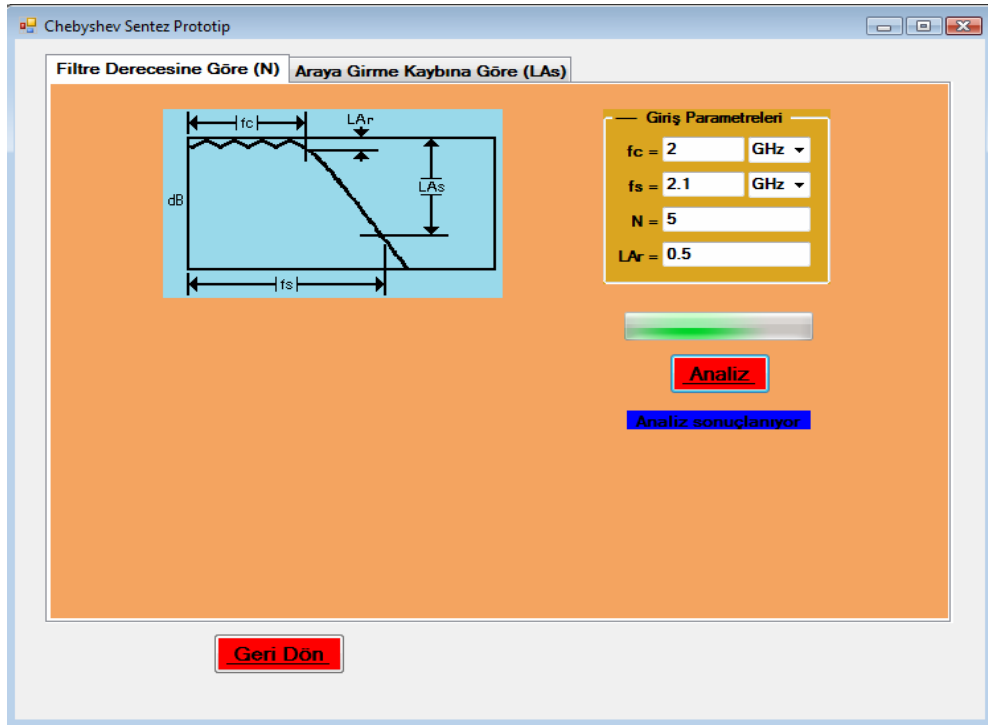


Şekil 4.42 5. dereceden Eliptik filtrenin iletim ve yansıma karakteristiği görüntüsü

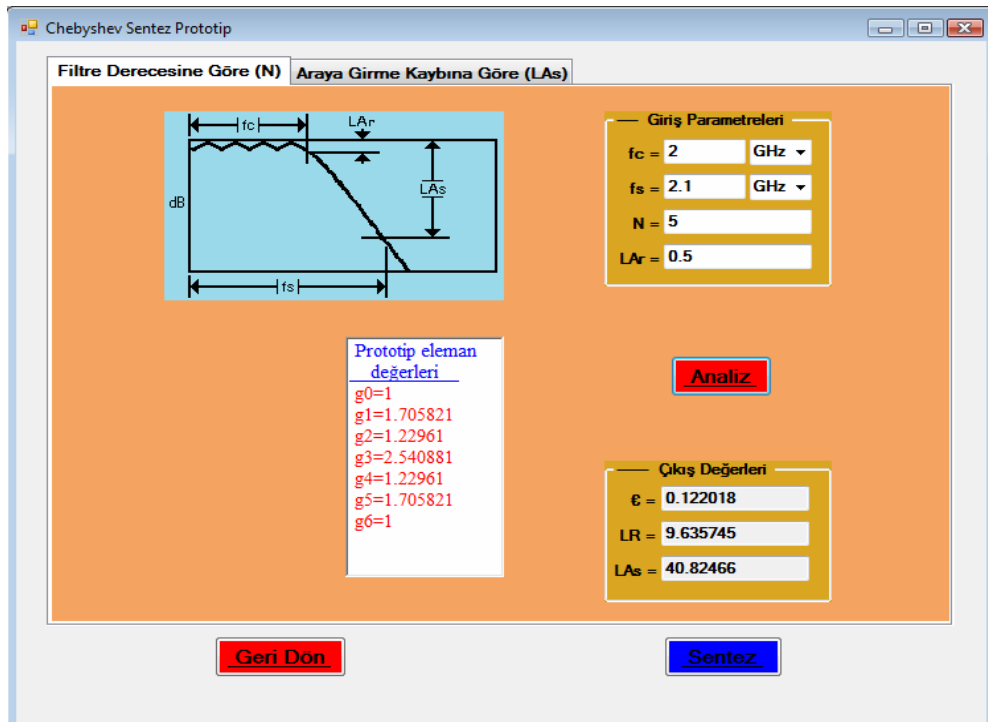
Kayıt işlemleri önceki bölümlerde anlatıldığı biçimde yapılır (Bkz. Uygulama 4.1).

4.3 Filtre Sentezi

“Filtre Sentezi” bölümünde sentez yoluyla prototip eleman değerleri bulunmaktadır. Bu bölüme geçildiğinde ilk olarak Şekil 4.43’deki form gelir. Daha sonra analize geçilerek filtrenin bilinmeyen diğer parametre değerleri ve prototip eleman değerleri bulunur (Şekil 4.44).



Şekil 4.43 “Chebyshev Sentez Prototip” formu analiz görüntüsü

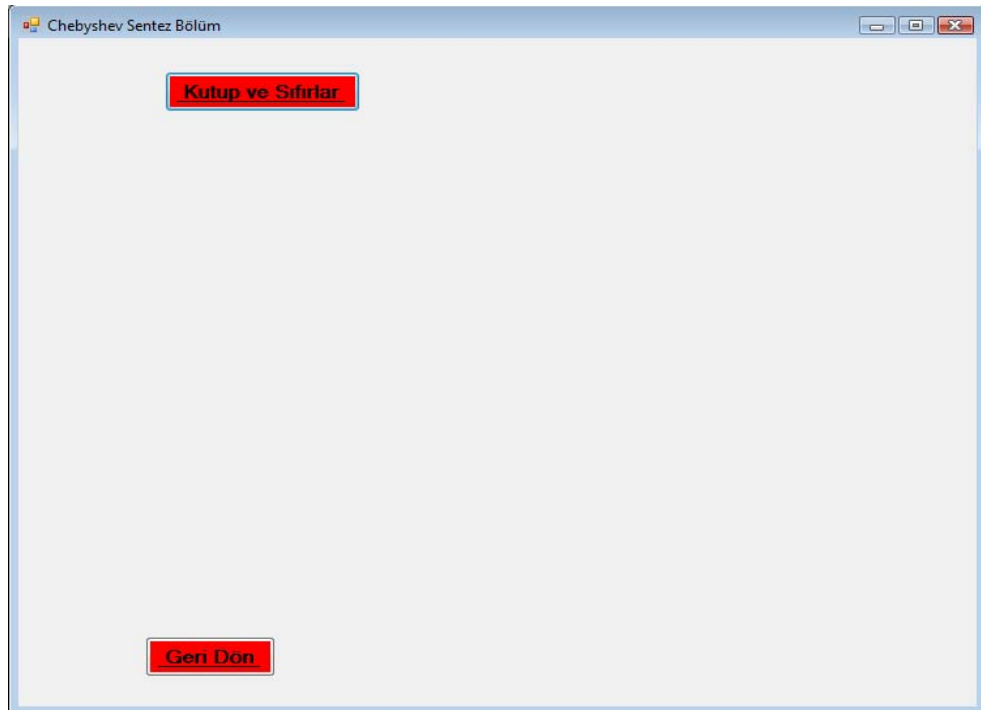


Şekil 4.44 “Chebyshev Sentez Prototip” formu analiz sonuçları görüntüsü

Burada bulunan prototip eleman değerleri formülasyonlarla bulunmuştur. Aynı sonuçları sentez yoluyla da bulmak mümkündür. Bunu yapmak için “Sentez” butonu ile gelecek olan Şekil 4.45’deki “Chebyshev Filtre Sentez Türleri” formunda sentez türü seçilerek “Sentez Bölüm” formuna geçiş yapılır (Şekil 4.46).

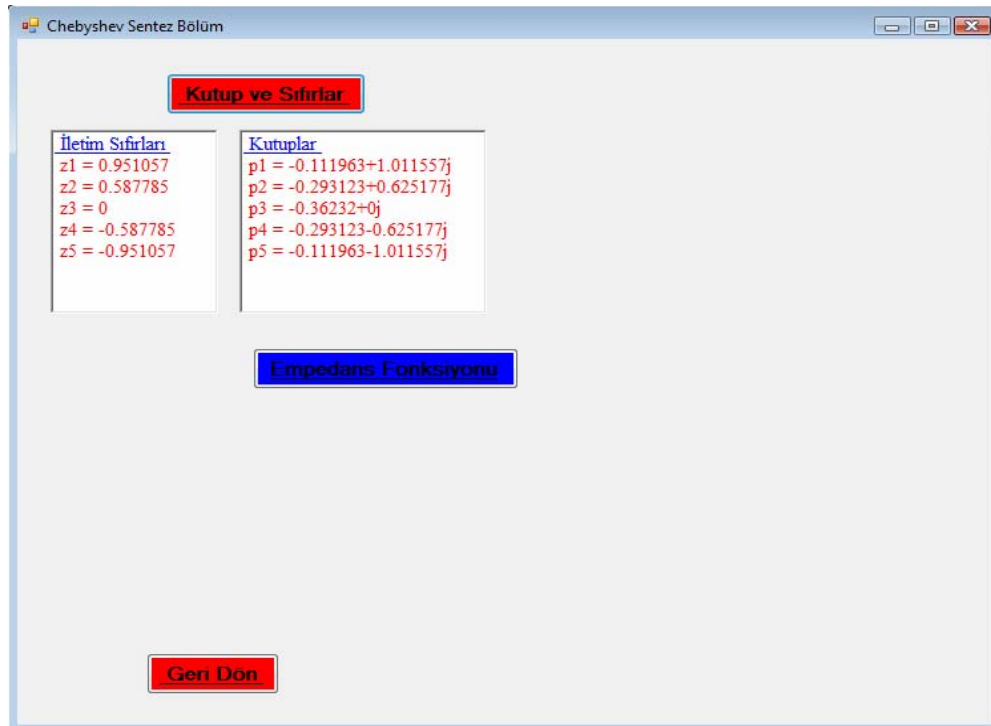


Şekil 4.45 “Chebyshev Filtre Sentez Türleri” form görüntüsü



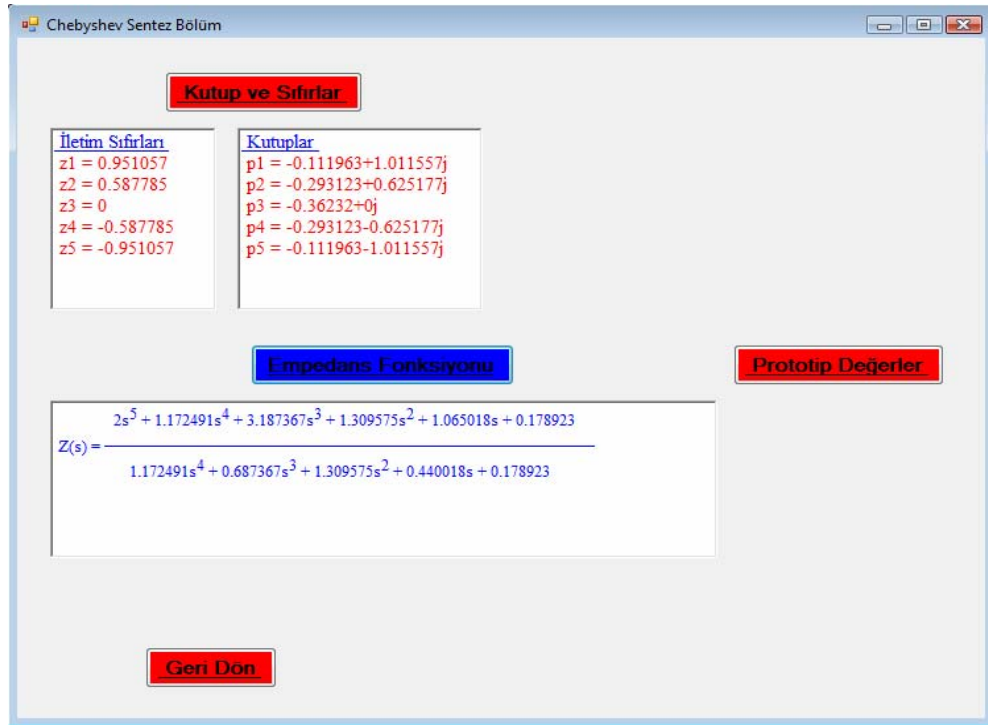
Şekil 4.46 “Chebyshev Sentez Bölüm” form görüntüsü

İlk önce arka planda filtre parametreleri kullanılarak ‘‘Kutuplar ve Sıfırlar’’ butonu ile kutup ve sıfırlar bulunur.



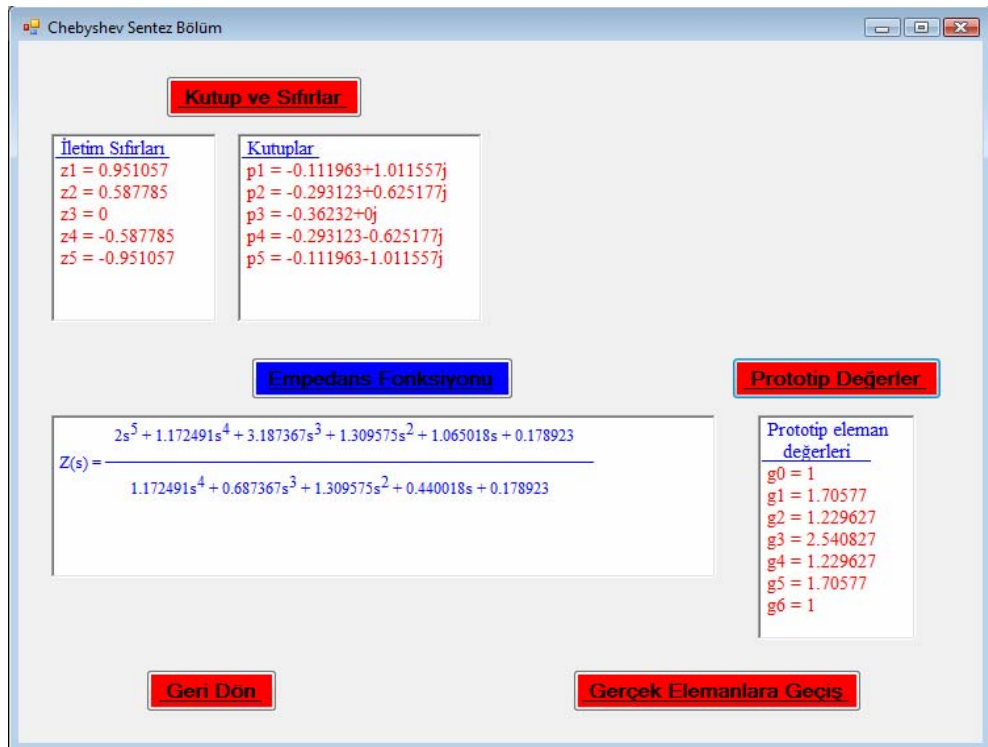
Şekil 4.47 Chebyshev filtre için kutup ve sıfırların bulunması

Daha sonraki aşamada kutup ve sıfırlar yardımıyla devrenin empedans fonksiyonu Şekil 4.48’deki şekliyle bulunur.



Şekil 4.48 Chebyshev filtre için empedans fonksiyonunun bulunması

Sonrasında ise prototip eleman değerleri bulunur (Şekil.4.49).



Şekil 4.49 Chebyshev filtre için prototip eleman değerlerinin sentez yoluyla bulunması

Burada dikkat edilecek olunursa Şekil 4.44 ve Şekil 4.49’da sırasıyla analiz ve sentez yöntemi ile bulunan prototip eleman değerleri neredeyse birbirlerine eşittir. Aralarında çok küçük farklar bulunmaktadır. Bundan sonra “Gerçek Elemanlara Geçiş” butonu ile gelecek olan Şekil 4.50’deki “Chebyshev Filtre Türleri” formundan daha önce anlatıldığı şekilde (Bkz Uygulama 4.1) işlemlere devam edilir.

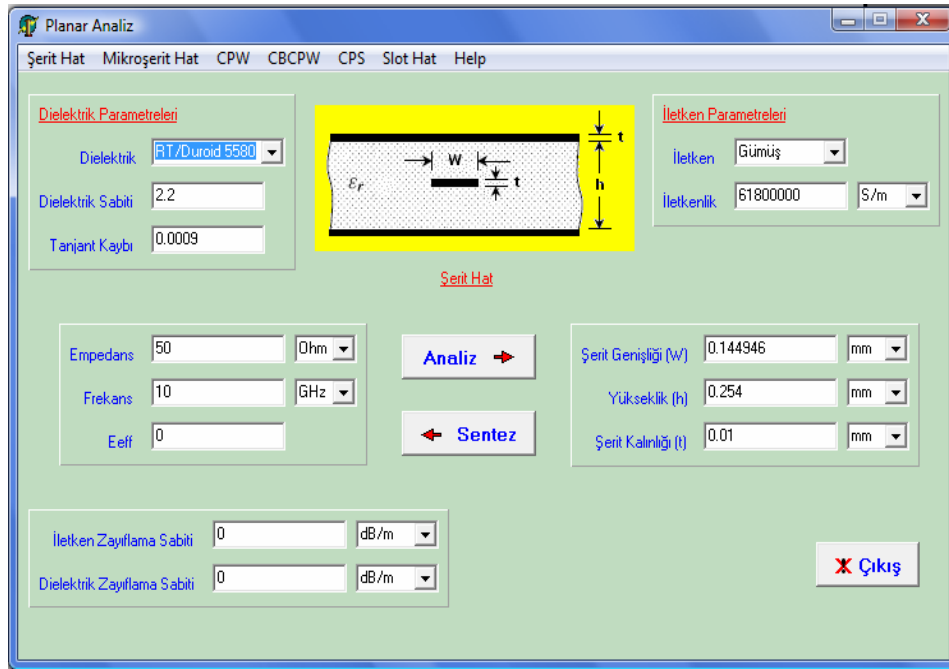


Şekil 4.50 “Chebyshev Filtre Türleri” form görüntüsü

4.4 Quasi-Statik Analiz

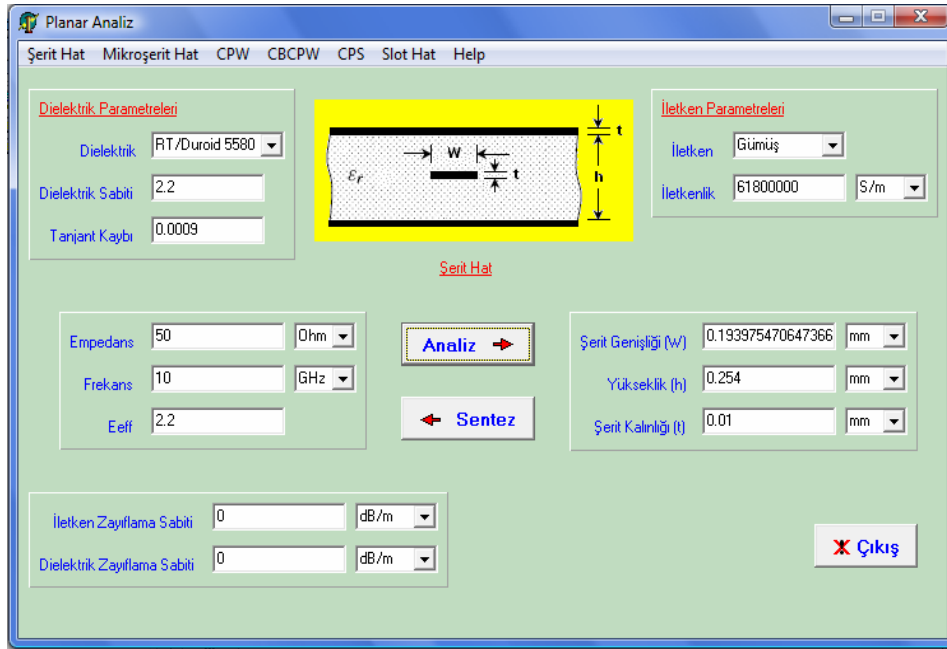
Bölüm 2’de *Mikroşerit Hat*, *Şerit Hat*, *Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CPW ve CBCPW)*, *Eş Düzlemsel Şeritler (CPS)* ve *Yarık (Slot) Hat* düzlemsel iletim hatlarının karmaşık yapıdaki formülasyonları ana başlıklar halinde ayrıntılı olarak incelenmişti. Programın bu bölümünde düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanması gerçekleştirilecektir. Kullanıcı, arayüz formunda bir taraftan gireceği giriş parametrelerine karşılık diğer taraftaki çıkış parametrelerine kolaylıkla ulaşabilir.

“Quasi-Statik Analiz” bölümüne başlangıç ekranından (Bkz. Şekil 4.2) veya diğer bölümler içerisindeki menülerden ulaşılabilir. Kullanıcı ilk başlangıçta Şekil 4.51’deki “Planar Analiz” form görüntüsüyle karşılaşır.

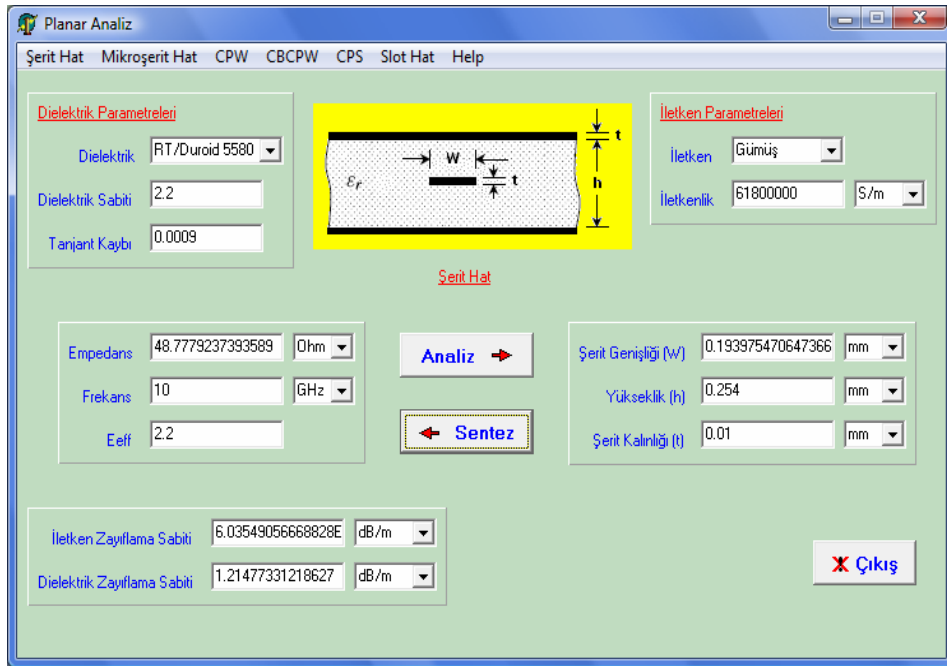


Şekil 4.51 “Planar Analiz” form görüntüsü

“Planar Analiz” formu ilk başta “Şerit Hat” a göre default değerlerle gelmektedir. Kullanıcı “Analiz Butonu” veya “Sentez Butonu” ile birlikte girişi yapılan parametre değerlerine göre çift yönlü hesaplatma yapabilir. Yani bir taraftan girilen parametre değerlerine göre diğer taraftaki parametre değerleri hesaplanır. Şerit hat için analiz ve sentez işlemleri Şekil 4.52 ve Şekil 4.53’de görülmektedir.

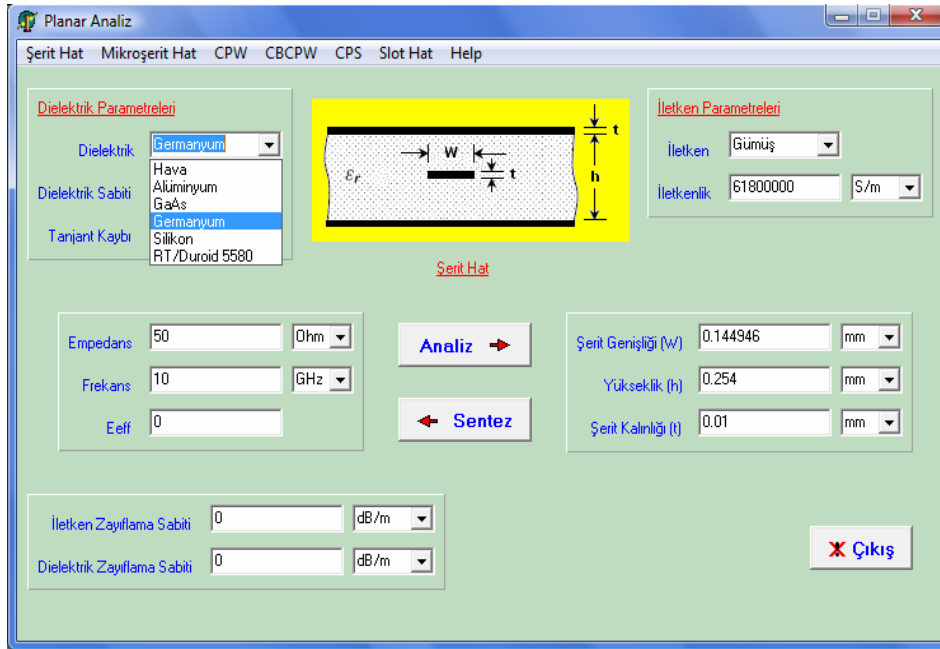


Şekil 4.52 “Şerit Hat” analiz görüntüsü

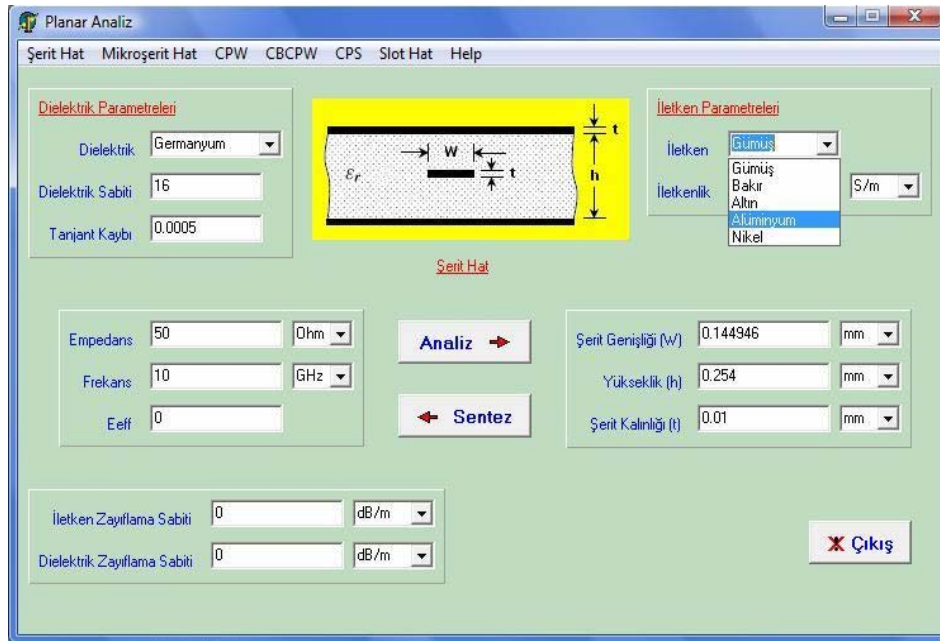


Şekil 4.53 “Şerit Hat” sentez görüntüsü

Değişik dielektrik ve iletken seçimine göre değişik türdeki düzlemsel yapıların analizi gerçekleştirilebilmektedir. Örnek olarak dielektrik malzeme olarak germanyum ve iletken olarak alüminyum seçilerek (Şekil 4.54 ve Şekil 4.55) işleme geçilebilir.

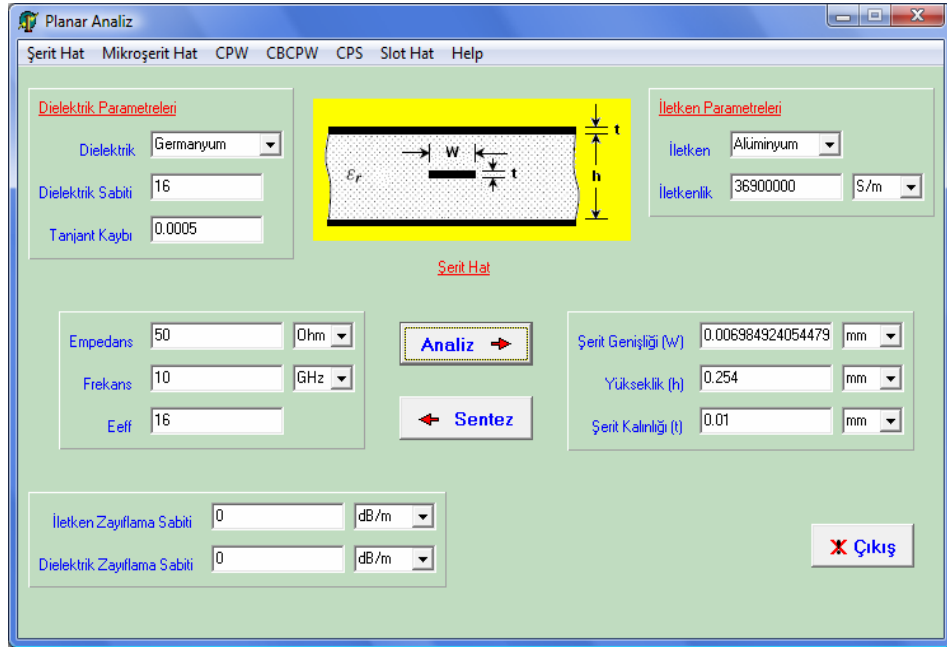


Şekil 4.54 Dielektrik seçimi

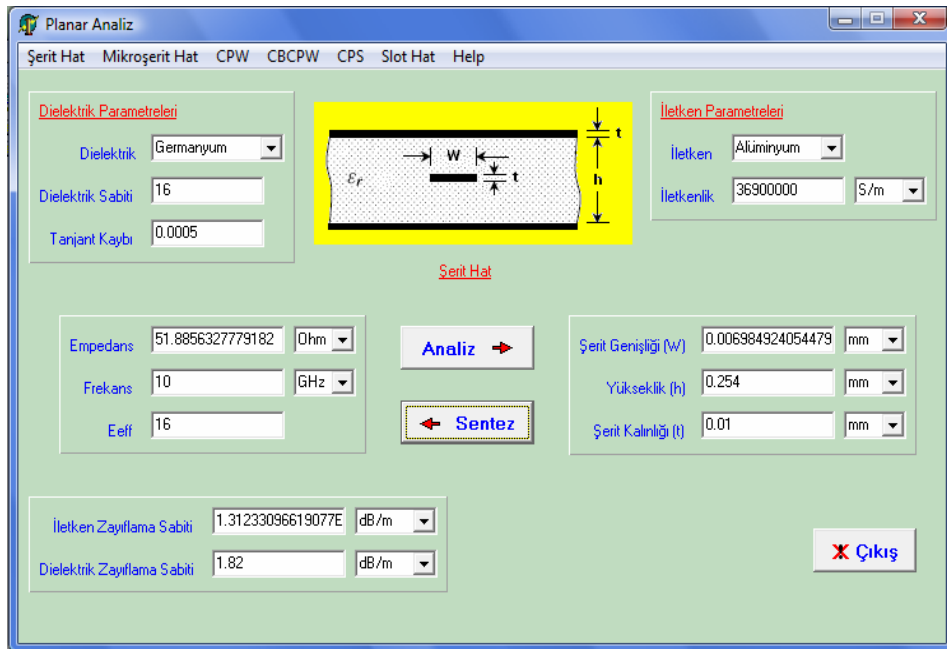


Şekil 4.55 İletken seçimi

Şekil 4.56’da ve Şekil 4.57’de görüleceği üzere girilen giriş parametrelerine göre “Analiz Butonu” ile birlikte sağ taraftaki bilinmeyen parametreler hesaplanır. Diğer yandan “Sentez Butonu” ile de sol taraftaki parametre değerleri hesaplanır .



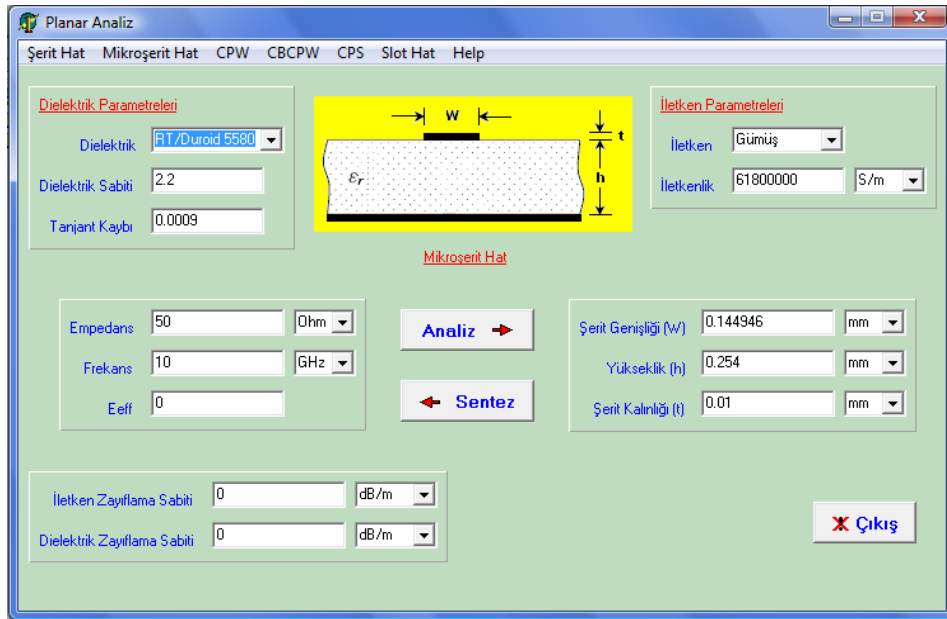
Şekil 4.56 “Şerit Hat” analiz sonuçları görüntüsü



Şekil 4.57 “Şerit Hat” sentez sonuçları görüntüsü

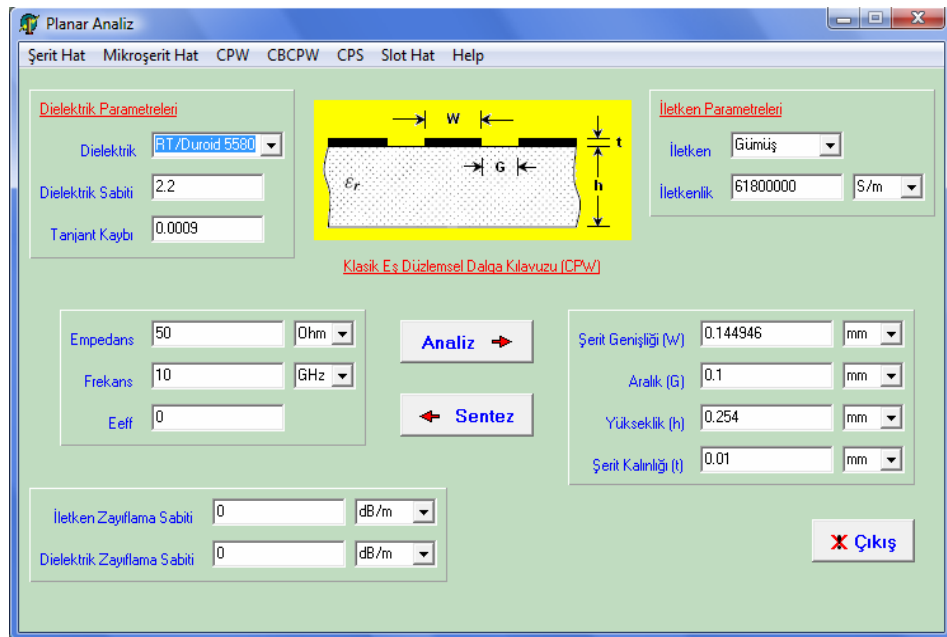
Aynı şekilde diğer düzlemsel yapılar seçilerek benzer hesaplamalar yapılabilir.

“Mikroşerit Hat” için Şekil 4.58;



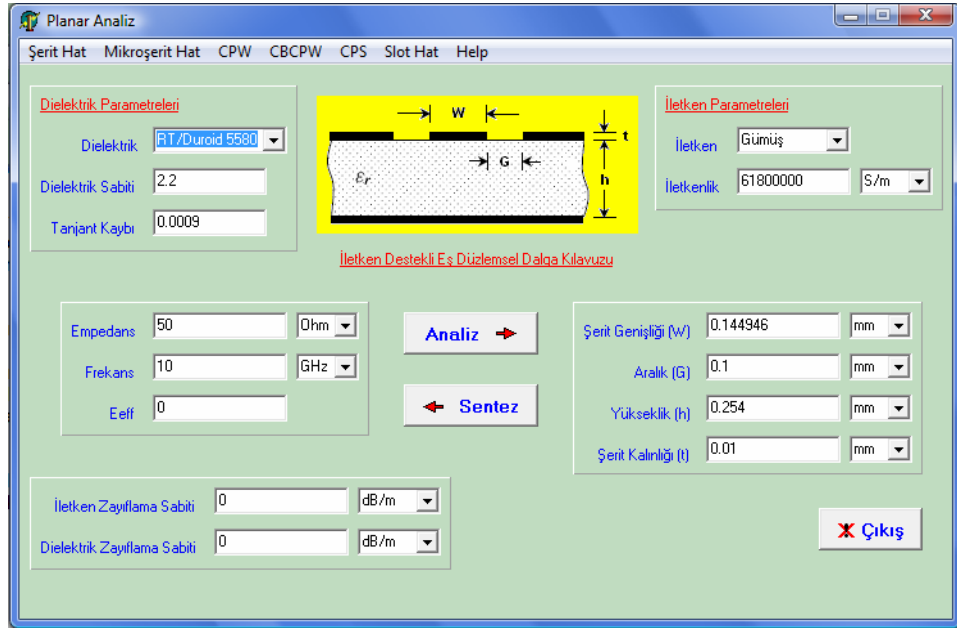
Şekil 4.58 “Mikroşerit Hat” form görüntüsü

“Klasik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CPW)” için Şekil 4.59;



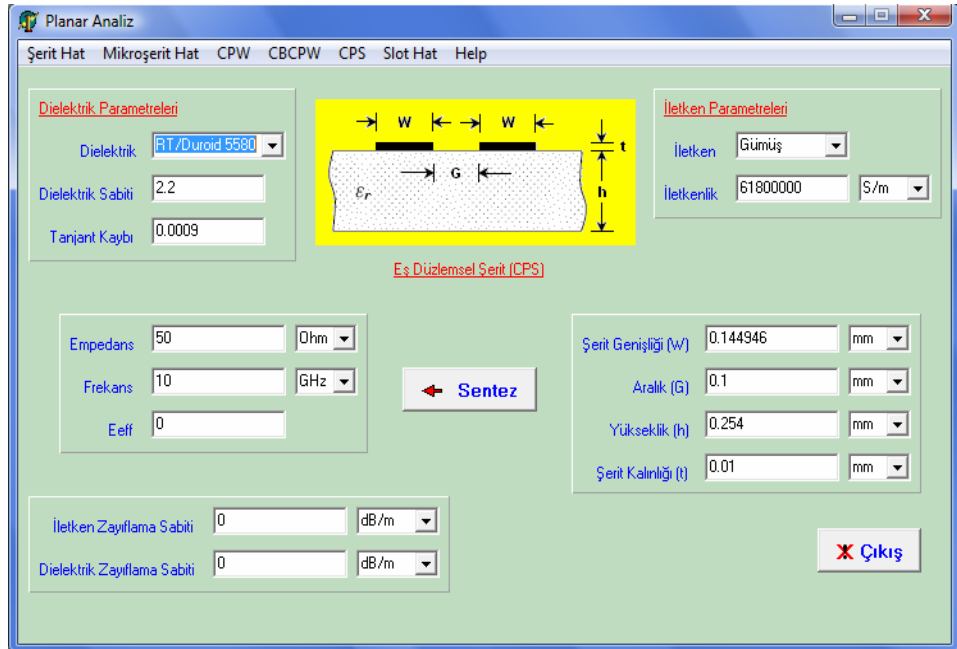
Şekil 4.59 “Klasik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu” form görüntüsü

“İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu” için Şekil 4.60;



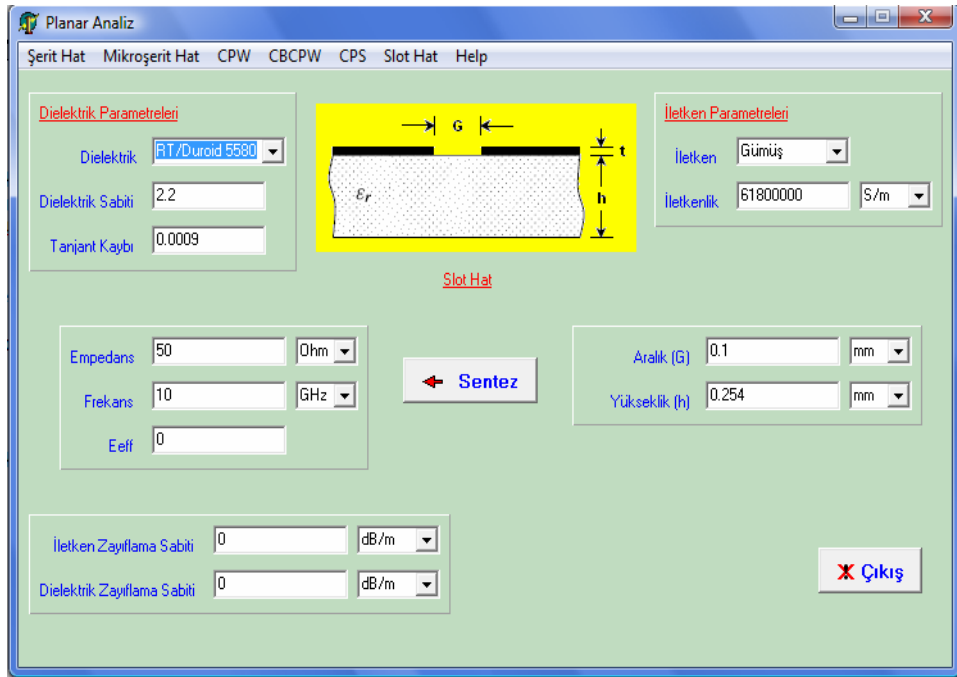
Şekil 4.60 “İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu” form görüntüsü

“Eş Düzlemsel Şerit (CPS)” için Şekil 4.61;



Şekil 4.61 “Eş Düzlemsel Şerit” form görüntüsü

“Slot Hat” için Şekil 4.62;



Şekil 4.62 “Slot Hat” form görüntüsü

arayüzlerinden benzer hesaplamalar yapılabilir.

4.5 Grafik Analiz

Bu bölüm “Filtre Analizi” bölümünde yeterli uygulamalarla ayrıntılı olarak ele alınmıştır (Bkz Uygulama 4.1).

4.6 Yardım

Bu bölümde kullanıcıya yol gösterme amaçlı bazı bilgiler (kullanım kılavuzu vb.) yer almaktadır.

5. KULLANILAN YAZILIMLAR

5.1 Giriş

Günümüz teknolojisi artık görselliği vazgeçilmez unsurlardan birisi olarak kabul etmektedir. Bu nedenle hemen herşeyde olduğu gibi programcılıkta da artık görsellik ön plana çıkarılmıştır. Klasik programlama dillerinden farklı olarak Visual Basic, Delphi, Visual C# vb. görsel programlama dilleri; programlamayı karmaşıklığından çıkararak daha kolay ve zevkli hale getirmiştir. Görsel programlama dilleri 4GL diller olarak nitelendirilmektedir. Yani kod üzeri geliştirilmiş ve programcının işini kolaylaştırmak için procedure kısımlarını otomatik olarak yazan dillerdir.

Bu tez çalışmasında hazırlanan paket programda görsellik ön planda tutulmuştur. Paket programın yazılım aşamasında genel programlama dili olarak Visual C#.Net'den yararlanılmıştır. Ayrıca programın bir parçası olan “Quasi-Statik Analiz” bölümü için Borland Delphi'den yararlanılmıştır. Paket program için yapılan çalışmalarda işlem adımları diğer paket programlar (Mathcad vb.) yardımıyla test edilerek doğruluk kontrolü yapılmıştır.

5.2 Visual C#.Net

C#, C ve C++ temelleri esas alınarak tasarlanmış Visual Studio.Net'in yeni ve güçlü bir dilidir. Windows işletim sistemi üzerinde .Net platformu oluşturulduktan sonra en çok kullanılan ve tercih edilen dil olabilmeyi başarmıştır. C++ diline ait kompleks özellikleri kullanmadaki başarısı ve Visual basic diline ait kullanım kolaylığını üzerine alması çok başarılı bir bilgisayar dil tekniği kullanabilmesine yardımcı olmuştur. Bu yazılım hakkında ayrıntılı bilgi **Ekler Bölümü**'nde **Ek-1**'de sunulmuştur.

5.3 Borland Delphi

Borland Delphi tam bir nesnel ve kolaylıkları çok fazla olan bir görsel programlama dilidir. Bu programlama dili klasik programlama dillerinden çok farklıdır. Bu yazılım hakkında ayrıntılı bilgi **Ekler Bölümü**'nde **Ek-2**'de sunulmuştur.

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

6.1 Sonuç

Bu çalışmada düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanması ve mikrodalga filtre tasarımına yönelik olarak filtre tasarımcılarına katkı sağlayabilecek yeni bir paket program hazırlanmıştır. İlk önce konu ile ilgili ayrıntılı literatür taraması yapılarak filtre tasarımı için en uygun metodun “*Araya Girme Kaybı Metodu (Insertion Loss Method)*” olduğu sonucuna varılmıştır ve bu metod kullanılarak mikrodalga filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanmasında ise bir *Quasi statik analiz* metodu olan “*Konform Dönüşüm Metodu (Conformal Mapping Method)*” esasları kullanılarak düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında yeni paket program hazırlama hedefine yönelik olarak düzlemsel iletim hatlarının analiz ve mikrodalga filtre tasarım aşamaları ayrıntılı bir biçimde incelenerek formülasyonları toparlanmıştır. Toparlanan bu formülasyonlar yazılım haline dönüştürülmüştür. Bu çerçevede hazırlanan programda öncelikli olarak *Araya girme kaybı* metodu ile, *Butterworth*, *Chebyshev* ve *Eliptik* karakteristikli frekans cevapları için prototip alçak geçiren filtre eleman değerleri hesaplanmakta ve daha sonra frekans ve eleman dönüşüm formülleri kullanılarak prototip eleman değerlerinden gerçek filtrelerin eleman değerlerine geçiş yapılmaktadır. Sonuç olarak; hazırlanan yeni paket program kendine özgü grafik paketi ve kayıt formatları gibi birçok fonksiyonel özelliğe sahip olarak kullanıcılarına değişik platformlarda çalışma imkanı sunmaktadır.

En son aşamada hazırlanan program; setup dosyasının oluşturulması sonucunda gerçek bir paket program haline getirilerek CD halinde kullanıma sunulmuştur.

Hazırlanan yeni paket program ileriki dönemlerde konu ile ilgili yeni çalışmalarla birlikte genişletilebilecek durumdadır.

KAYNAKLAR

ALGAN Sefer “HerYönüyle C#”

Pusula Yayıncılık

BOWICK, C. Circuit Design, NewNess, Boston, 1982.

COHN S. B., “Problems in Strip Transmission Lines”, *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-2, pp. 52-55, July 1954.

COHN S. B., “Slot Line on a Dielectric Substrate”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-17, pp. 768-778, Oct. 1969.

DEMIRLI Nihat and INAN Yuksel “Visual C#.NET 2005”, 25, 31

Palme Yayıncılık

ENGLEMANN H. F. and GRIEG D. D., “Microstrip-A New Transmission Technique for the Kilomegacycle Range”, *Proc. IRE*, Vol. 40. pp. 1644-1650, Dec. 1952.

ESFANDIARI R., MAKI D. W., and SIRACUSA M., "Design of Interdigitated Capacitors and Their Application to Gallium Arsenide Monolithic Filters", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-31, Jan. 1983, pp. 57-64

GHIONE G. and NALDI C., “Analytical Formulas for Coplanar Lines in Hybrid and Monolithic MICs”, *Electron. Lett.*, Vol. 20, No. 4, pp. 179-181, Feb. 1984.

GHIONE G. and NALDI C., “Parameters of Coplanar Wave guides with Lower Ground Plane”, *Electron. Letters*, Vol. 19, No. 18, pp. 734-735, Sept. 1983.

GORUR Adnan, KARPUZ Ceyhun, GUNTURKUN Elif, URHAN Mehmet

“Design of Microstrip Bandstop Filter with Adjustable Wide Passband Using Folded Open-Circuited Stub Resonators”, 2009.

- GOYAL R., *Monolithic Microwave Integrated Circuits: Technology and Design*, Artech House, Norwood, MA, 1989, 17.
- GUPTA K. C and GARG R., “Expressions for Wavelength and Impedance of Slotline” Slotline,” *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-24, p. 532, Aug. 1976.
- GUPTA K. C., GARG R., and BAHL I. J., *Microstrip Lines and Slotlines*, Artech House, Dedham, MA, 1979, pp. 277-280.
- GUPTA K. C., Garg R., and CHADHA R., *Computer-Aided Design of Microwave Circuits* Artech House, Dedham, MA, 1981, p. 72.
- HAMMERSTAD E. O., and JENSEN O., “Accurate Models for Microstrip Computer-Aided Design”, *1980 IEEE MTT-S Digest*, pp. 407-409.
- HAMMERSTAD E. O., “Equation for Microstrip Circuit Design”, *Proc. Eur. Microwave Conf.*, pp. 268-272, 1975.
- HILBERG W., “From Approximation to Exact Relations for Characteristic Impedances”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-13, pp. 29-38, Jan. 1965.
- HIROTA T, TARUSAWA Y, OGAWA H., “Unplanar MMIC Hybrids-A Proposed New MMIC Structure”, *IEEE Trans.on Microwave Theory and Tech.* vol. MTT-35 NO. 6 J- 1987
- HOBDELL J., “Optimization of Interdigital Capacitors”, *IEEE Trans. On MTT*, 788-791
- HOWE, Artech House Chapter 1 “Stripline Circuit Design” ,1974
- JANASWAMY R. and SCHAUBERT D. H., “Characteristic Impedance of a Wide Slotline on low Permittivity Substrates”, *IEEE trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-34, pp. 900-902, Aug. 1986.

J. Champion, Engineer 6 June 2007

KARAGULLE Ihsan and PALA Zeydin, "Borland Delphi 4"
Türkmen Kitabevi

LANCASTER M. J., JIA-Sheng Hong
"Microstrip Filters for RF/Microwave Applications"
Copyright © 2000 John Wiley & Sons. Inc.

LIU L. C. T., Lin C. S., KESSLER J. R., and WANG S. K., "A 30 Ghz Monolithic Receiver", IEEE 1986 Microwave- and Millimeter-Wave Monolithic Circuit Symposium Digest, New York IEEE, 1986, pp. 41-44.

MEDLEY Max W. "Microwave and RF Circuits : Analysis, Synthesis and Design

MURAGUCHI ve HAYASHI H. "An MMIC Active Phase Shifter Using a Variable Resonant Circuit", in IEEE MTT- S Int. Microwave Symp. Dig., June 1998

NGUYEN Cam "Analysis Methods for RF, Microwave, and Millimeter-Wave Planar Transmission Line Structures"
Copyright © 2000 John Wiley & Sons. Inc.

OHIRA et al, "MMIC 14-GHz VCO and Miller Frequency Divider for Low-Noise Local Oscillators", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-35, No. 7, Jul. 1987, pp. 657-662

OZAKI, H. and ISHII J., Synthesis of a Class of Stripline Filters , IRE Trans. Circuit Theory, vol. CT-5, pp. 104-109, June 1958.

POZAR, M., D., Microwave Engineering, Addison-Wesley, Menlo Park, 1990.

PUCEL R. A., MASSE D. J., and HARTWIG C. P., "Losses in Microstrip", *IEEE Trans. Microwave Theory tech*, Vol. MTT-16, pp. 342-350, June 1968.

- PUCEL R. A., MASSE D. J., and HARTWIG C. P., "Correction to Losses in Microstrip", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-16, p. 1064, Dec. 1968.
- RICHARDS, P. I., Resistor Transmission-Line Circuits, *Proc. IRE* vol. 36 pp. 217-220 February 1948
- WELCH J. D. and PRATT H. J., "Losses in Microstrip Transmission Systems for Integrated Microwave Circuits", *NEREM Rec.*, Vol. 8, pp. 100-101, 1966.
- WEN C. P., "Coplanar Waveguide: A Surface Strip Transmission Line Suitable for Nonreciprocal Gyromagnetic Device Application", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-17, pp. 1087-1090, Dec. 1969.
- WHEELER H. A., "Transmission Line Properties of a Stripline Between Parallel Planes", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-26, pp. 866-876, Nov. 1978
- YAGIMLI Mustafa and AKAR Feyzi, "Delphi 6 Görsel Program Tasarımı"
Beta Yayıncılık
- WEB_1 "Txline" <http://web.awrcorp.com/Usa/Products/Optional-Products/TX-Line/>
- WEB_2 "Filter Design" <http://www.aade.com/filter32/>
- WEB_3 "Filter Free" <http://www.nuhertz.com/filter/>

EKLER

Ek-1

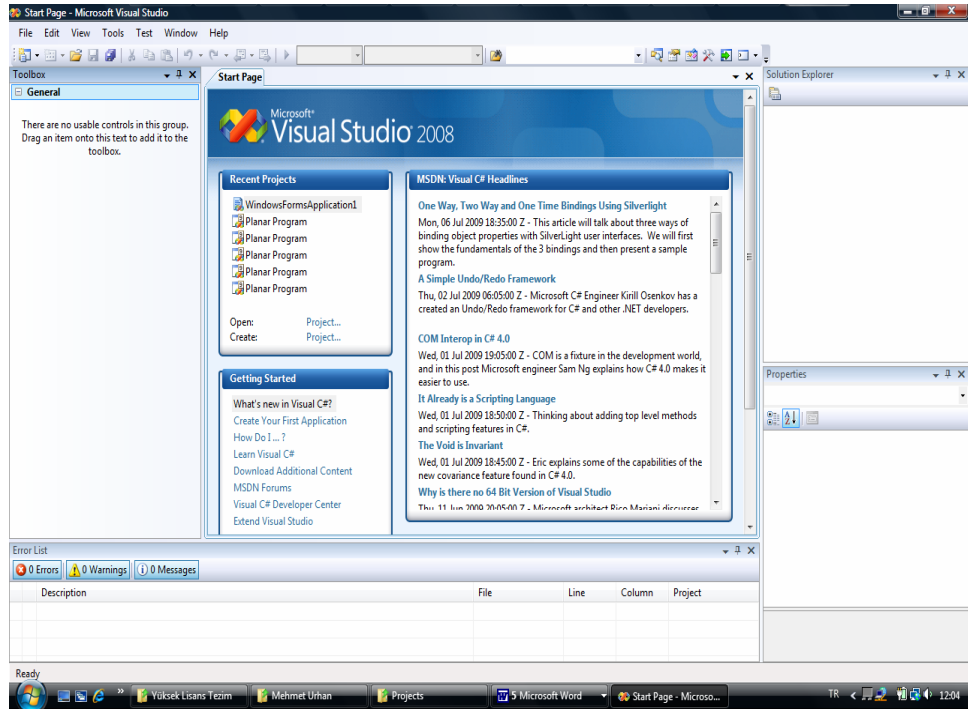
Bu kısımda **Bölüm 5**'te kısaca bahsedilen, yapılan paket program yazılımının temelini oluşturan “Visual C#.Net” yazılımı hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Ek-1.1 Visual C#.Net

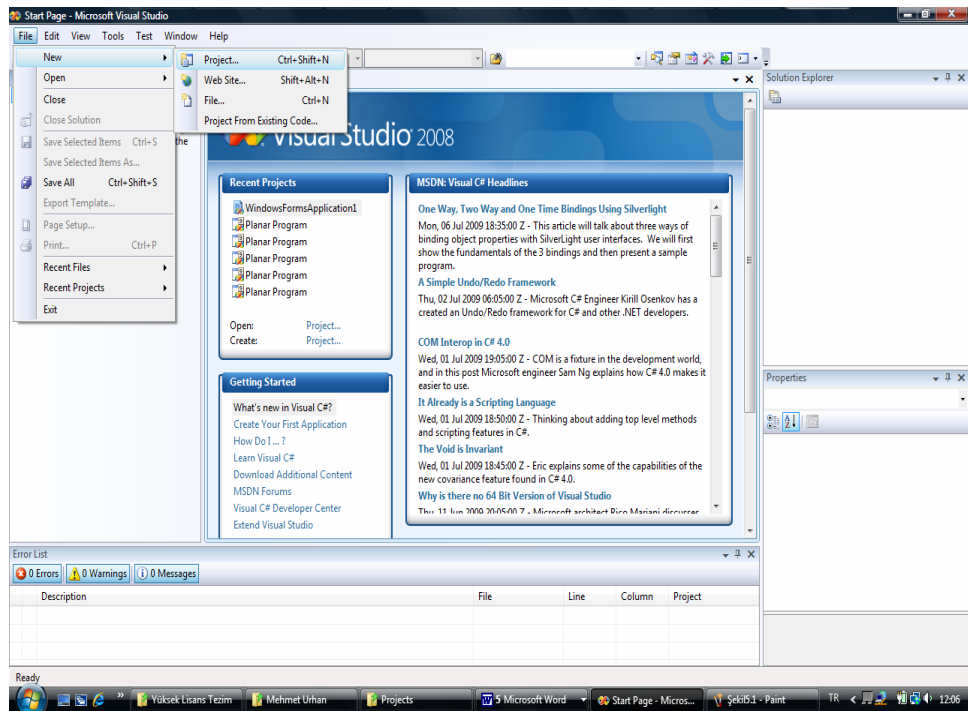
C#, C ve C++ temelleri esas alınarak tasarlanmış Visual Studio.Net'in yeni ve güçlü bir dilidir. Windows işletim sistemi üzerinde .Net platformu oluşturulduktan sonra en çok kullanılan ve tercih edilen dil olabilmeyi başarmıştır. C++ diline ait kompleks özellikleri kullanmadaki başarısı ve Visual basic diline ait kullanım kolaylığını üzerine alması bu dilin çok başarılı bir bilgisayar dil tekniği kullanmasını sağlamıştır.

C# nesnel bir dildir. Bu sayede sınıf mantığını çok iyi kullanarak profesyonel proje geliştirme olanağı sağlar. Tüm projeler için ortak olan kodlar *.dll uzantılı dosyalarda tutularak diğer projeler içerisinde kullanılmaları sağlanır. Bu nedenle mümkün olduğunca az kod kullanılmasını sağlayarak aynı kodları tekrar yazmak zorunda bırakmaz. Bu şekilde hem kod tutarlılığını ve doğruluğunu sağlarken hem de zamandan tasarruf edilir.

Microsoft Visual Studio 2008 ilk açılışta kullanıcının karşısına Şekil Ek-1.1'deki “Start Page” ekran görüntüsüyle gelir. Daha önceden kaydedilen projelerin isimleri “Recent Projects” listesinde görülmektedir. Bu listeden eski projeler kısa yoldan çift tıklanarak açılabilir.

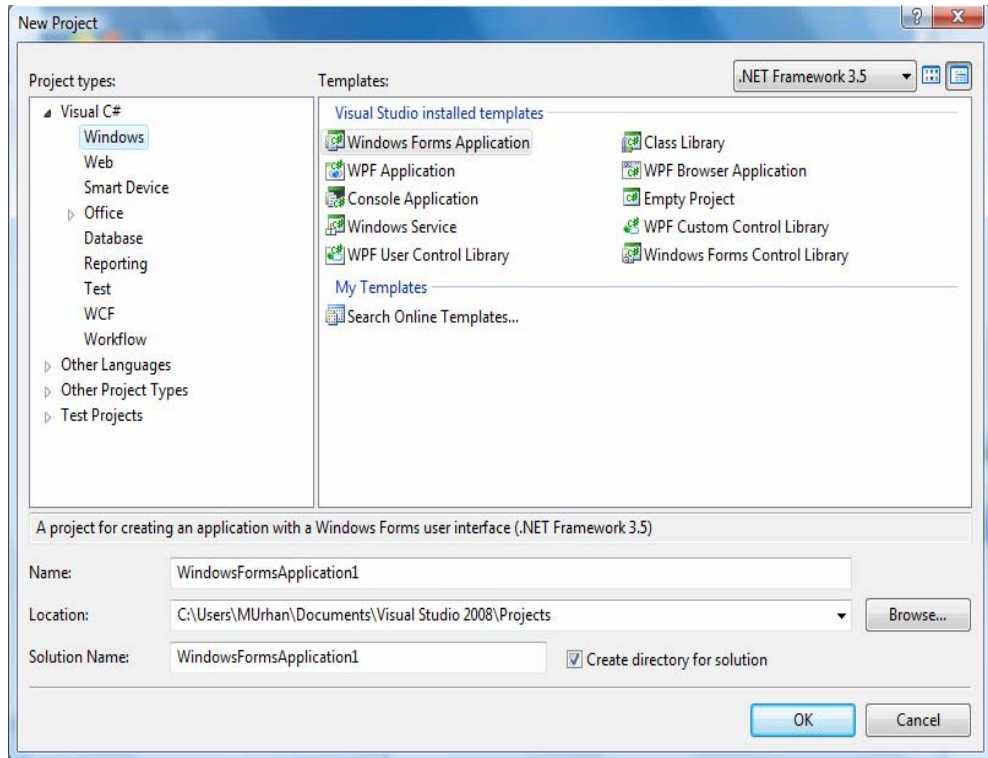


Şekil Ek-1.1 “Start Page” ekran görüntüsü



Şekil Ek-1.2 “File->New->Project” menü seçenekleri görüntüsü

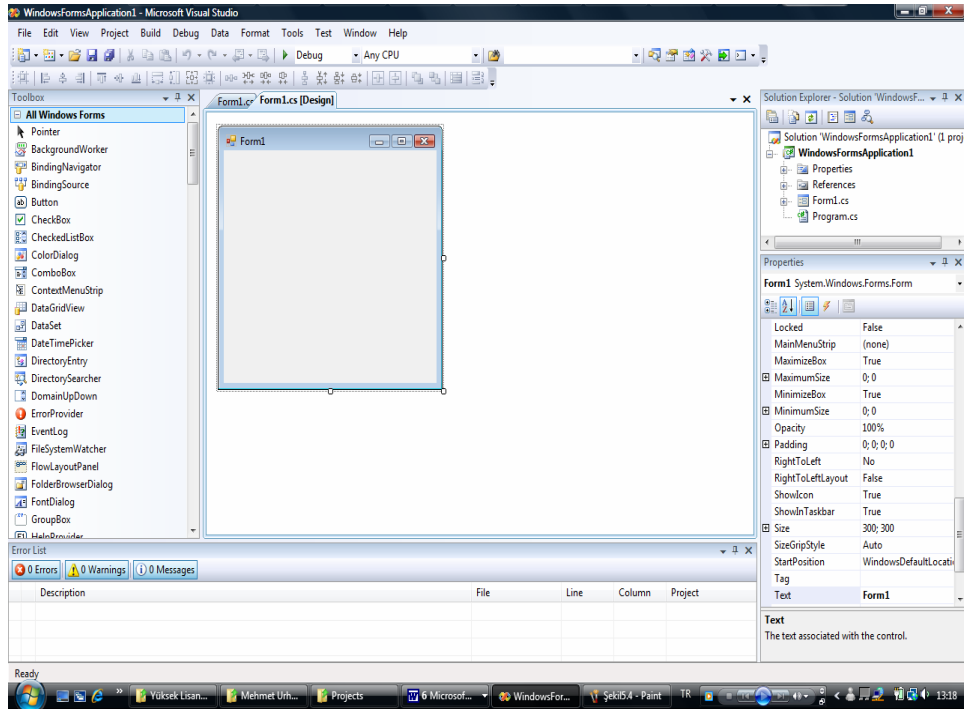
Kullanıcı yeni bir proje açmak için Şekil Ek-1.2'deki gibi “File->New->Project” menü seçeneklerini takip ederek Şekil Ek-1.3'deki ekrana ulaşır.



Şekil Ek-1.3 “New Project” ekran görüntüsü

“Visual C#.Net 2008” sürümü içerisinde bir çok değişik seçenek kullanarak uygulama geliştirebilirsiniz (Şekil Ek-1.3). Console uygulaması, Web uygulaması vb. her çeşit projeyi desteklenmektedir. “New Project” formu sayesinde oluşturulacak projenin tipi, adı ve kaydedileceği yer belirlenebilir. Windows projesi açmak için ilk olarak “Project Type” listesinde yer alan “Visual C#” dili ile “Windows” seçilir ve “Templates” listesinden “Windows Forms Application” uygulaması seçilir. Daha sonra en alt kısımda yer alan “Name” kutusuna bir proje adı ve “Location” kutusuna projenin kaydedileceği yer girilir. Son olarak “OK” tuşuna basılarak windows projesi Şekil Ek-1.4'deki gibi açılmış olur.

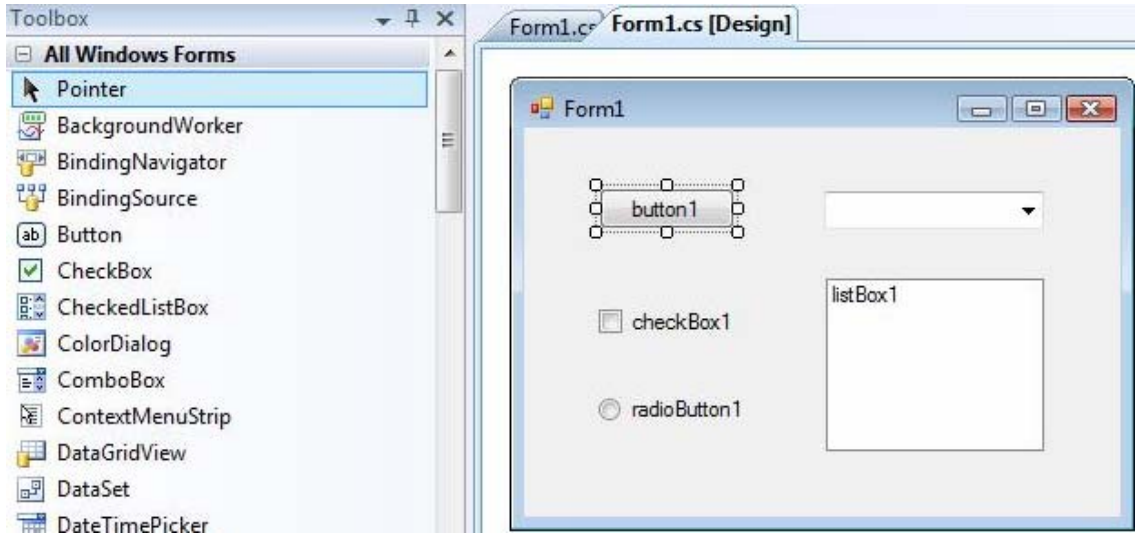
Projede ilk olarak “Form1.cs[Design]” varsayılan adında kullanıcının tasarımını yaparak projesini geliştireceği bir form arayüzü oluşur (Şekil Ek-1.4).



Şekil Ek-1.4 Windows uygulama projesi ekran görüntüsü

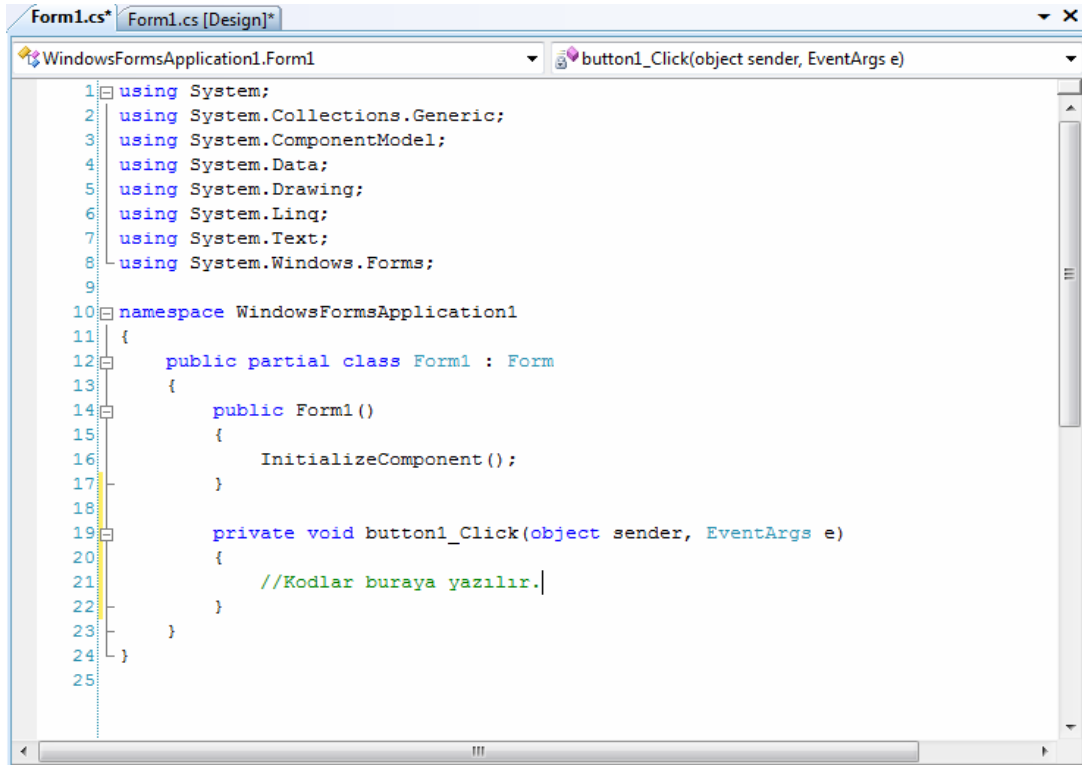
Ek-1.1.1 Toolbox Penceresi

Formun sol tarafında yer alarak kullanılmaya hazır controller bulundurmaktadır. Kullanıcı bu pencereden kontrolleri sürükleyip bırakarak formun üzerine bırakabilir (Şekil Ek-1.5). Bu sayede bir çok proje uygulamasında tasarım ekranları için kod yazmaya gerek kalmayacaktır. Yani “C#” dili kullanıcının yerine arka plan kodlarını otomatik olarak oluşturmaktadır.



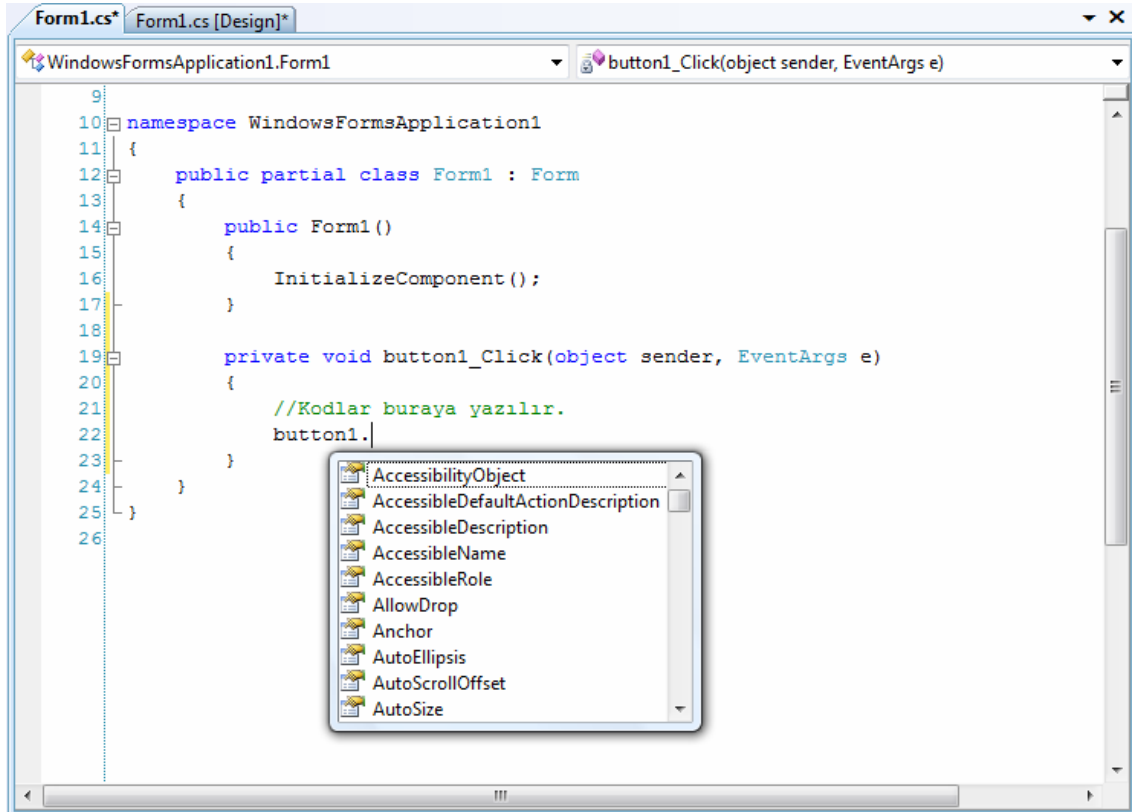
Şekil Ek-1.5 “Toolbox” penceresindeki kontrollerin sürükle-bırak metodu ile kullanılması

Şekil Ek-1.5’de form üzerinde yer alan kontrollerin üzerine çift tıklayarak veya “Solution Explorer” penceresinden seçim yaparak projenin kod kısmının yazıldığı “Form1.cs” varsayılan adında kod editor sayfasına geçiş yapılır (Şekil Ek-1.6).



Şekil Ek-1.6 Kod editör sayfa görüntüsü

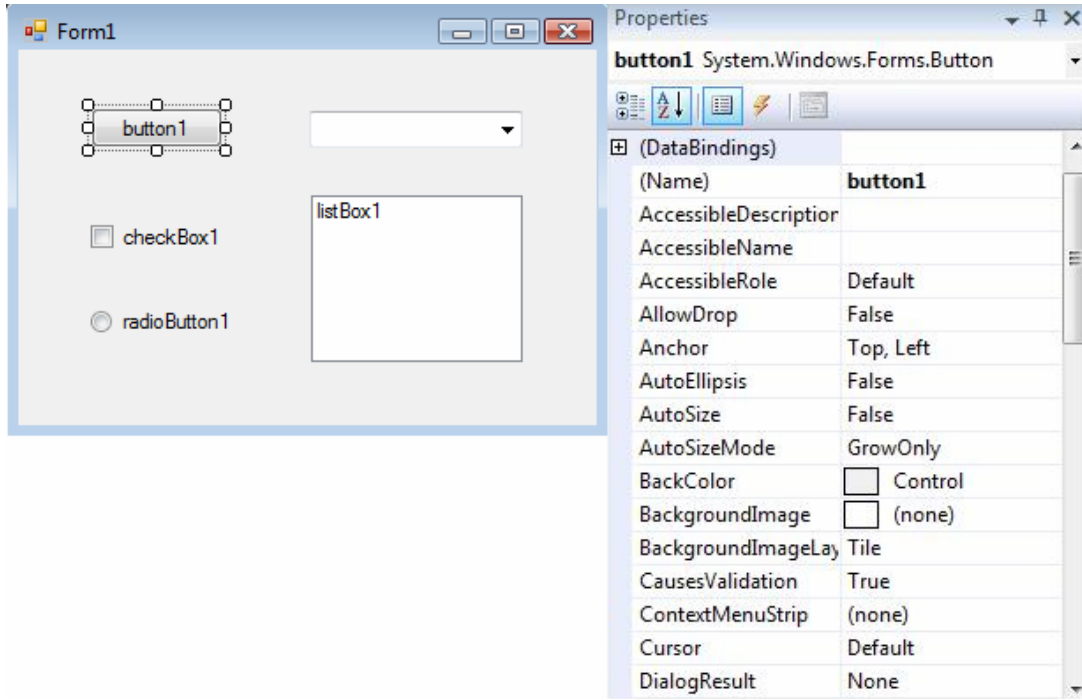
Bu sayfa üzerinde forma yerleştirilmiş olan kontrollerden birinin adını yazdıktan sonra “.” karakterine basılırsa o kontrole ait tüm kullanabileceğiniz komutlar (prosedür, fonksiyon, özellik vb.) çıkar (Şekil Ek-1.7).



Şekil Ek-1.7 Kontrollere ait komutların kullanılması

Ek-1.1.2 Properties Penceresi

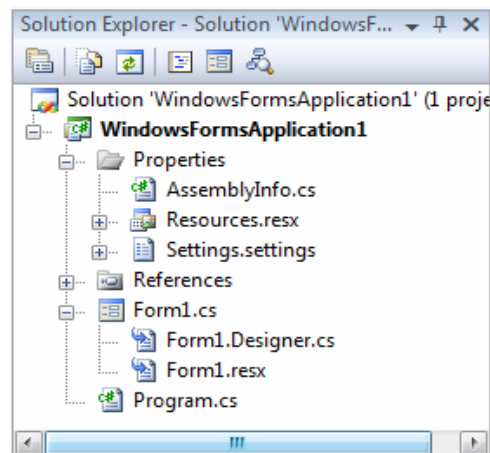
Formun sağ tarafında yer alan bu pencereden; formun üzerindeki herhangi seçili bir kontrolün özellikleri ayarlanabilir (Şekil Ek-1.8). Aynı zamanda buradan kontrollerin “Events”larına ulaşılabilir.



Şekil Ek-1.8 “Properties” penceresi kontrollerine ait özellik ayarları

Ek-1.1.3 Solution Explorer Penceresi

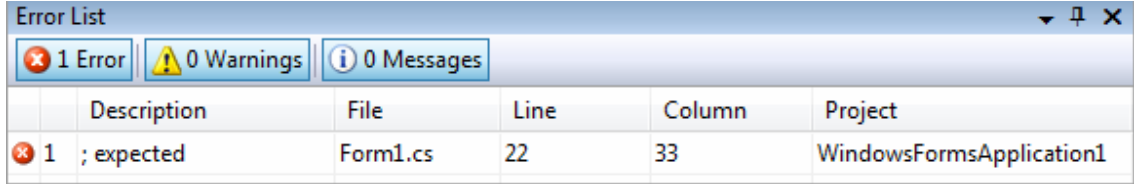
Proje için en önemli pencerelerden birisidir. Çünkü projede kullanılan tüm dosyalar (sınıflar, resim dosyaları, xml dosyaları vb.) ile kaynak kodların yer aldığı diğer dosyalar bu pencereden kontrol edilebilir.



Şekil Ek-1.9 “Solution Explorer” pencere görüntüsü

Ek-1.1.4 Error List Penceresi

Program çalıştırıldığında oluşan hataları gösteren çok yararlı bir penceredir. Oluşan hatalar ile ilgili program tarafından bilgi verilir.



| | Description | File | Line | Column | Project |
|---|-------------|----------|------|--------|--------------------------|
| 1 | ; expected | Form1.cs | 22 | 33 | WindowsFormsApplication1 |

Şekil Ek-1.10 “Error List” pencere görüntüsü

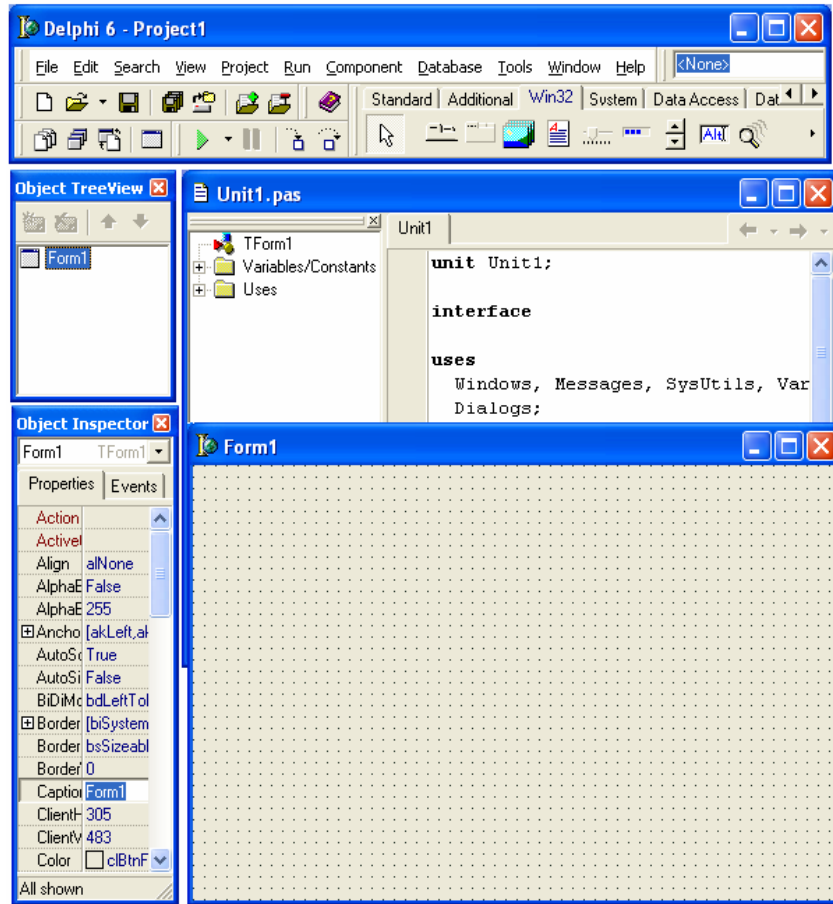
Ek-2

Bu kısımda **Bölüm 5**'de kısaca bahsedilen, paket programın “Quasi-Statik Analizi” bölümünün yazılımını oluşturan “Borland Delphi” yazılımı hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Ek-2.1 Borland Delphi

Borland Delphi tam bir nesnel ve kolaylıkları çok fazla olan bir görsel programlama dilidir. Bu programlama dili klasik programlama dillerinden çok farklıdır. Görsel programlama dilleri 4GL diller olarak nitelendirilmektedir. Yani kod üzeri geliştirilmiş ve programcının işini kolaylaştırmak için procedure kısımlarını otomatik olarak yazan dillerdir.

Delphi'ye ilk girdiğinizde Şekil Ek-2.1'deki gibi bir ekranla karşılaşılır. Program 3 ana pencereden meydana gelmektedir. Bunlar : Form, Object Inspector (Nesne Denetleyicisi) ve Kontrol Paneli. “Form1” başlıklı pencere programın anasayfası olur. Yani çalışmalar bu form üzerinde gerçekleştirilir. “Object Inspector” penceresi form ve bileşen ayarlarını değiştirebileceğimiz bölümdür. Kendi arasında “Properties” ve “Events” olarak ikiye ayrılır. Bizim için gerekli olan ve fazlaca kullanacağımız bölüm “Properties” penceresidir.

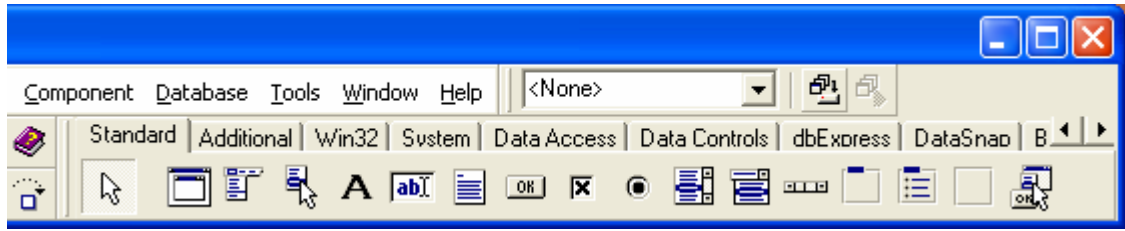


Şekil Ek-2.1 “Borland Dephi”nin açılış ekran görüntüsü

Görsel programlama dillerinin en önemli özelliklerinden birisi programın ekran tasarımının kodlama ile değil tasarım zamanı resim çiziyormuş gibi rahatça yapılabilmesidir. Yapılmak istenen programın aşama aşama safhaları rahatlıkla izlenebilir ve kontrol edilebilir.

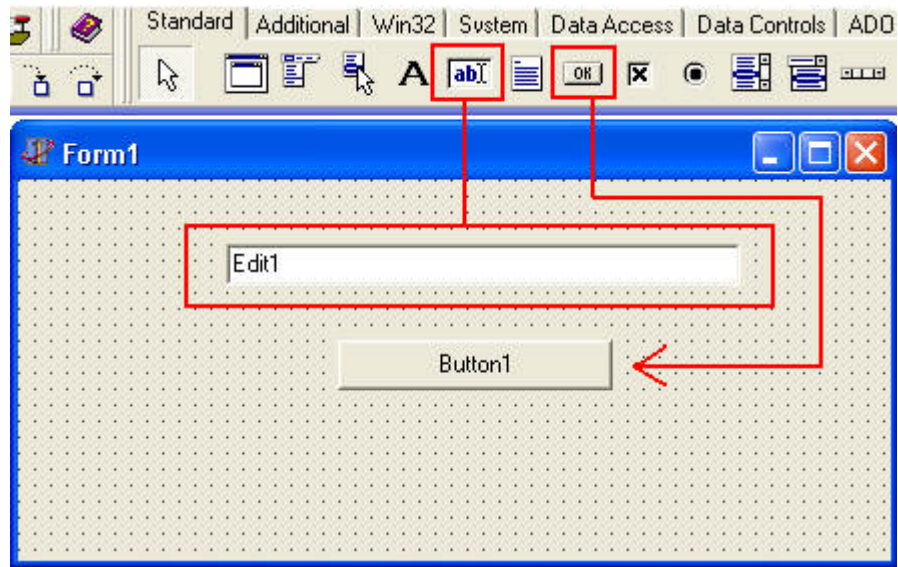
Ek-2.1.1 Component Palette Araç Çubuğu

Bir form üzerinde oluşturulacak ekran görüntüsü, Şekil Ek-2.2’de görülen Delphi’nin ana formundaki “Component Palette” araç çubuğunda yer alan 170’i aşkın kontrollerle yapılır. Bu araç çubuğu adeta Delphi’nin kalbi durumundadır.



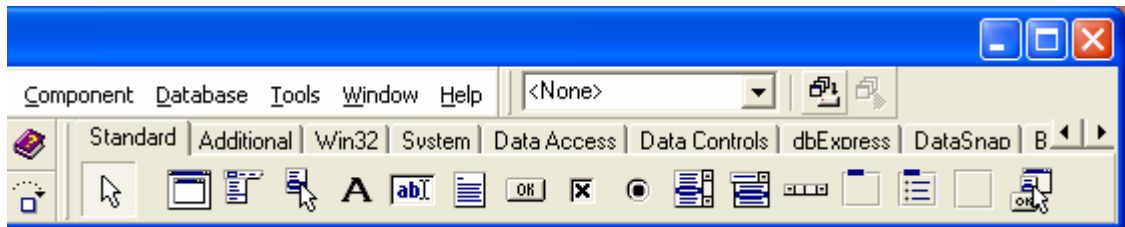
Şekil Ek-2.2 “Component Palette” araç çubuğu görüntüsü

Kullanıcı form üzerine “Component Palette”den seçtiği kontrolleri mouse ile kolayca yerleştirebilir (Şekil Ek-2.3).




Şekil Ek-2.3 “Component Palette” araç çubuğu kontrollerinin kullanım görüntüsü


En çok kullanılan kontroller “Standard” sekmesinde yer alır. Şekil Ek-2.4’de “Standard” sekmesi kontrolleri görülmektedir.





Şekil Ek-2.4 “Component Palette” araç çubuğunun “Standard” sekmesi kontrolleri


“Standard” sekmesi ve diğer sekmeler altında yer alan kontroller hakkında aşağıda bilgiler verilmiştir.

 **TButton (Komut Düğmesi)** : Bir olayın kullanıcı tarafından başlatılması için programlarda çok kullanılan kontrollerden biridir. “Standard” sekmesinde yer alır.


 **TLabel (Etiket)** : Label kontrolü genellikle form üzerinde açıklama yazmak veya başka bir kontrolün ne işe yaradığını belirtmek için kullanılır. “Standard” sekmesinde yer alır.

 **TEdit (Metin Kutusu)** : Programlarda en çok ihtiyaç duyulan kontrol Edit kontrolü olup bilgi girişi amacıyla kullanılmaktadır. “Standard” sekmesinde yer alır.

 **TMemo (Çok satırlı Bilgi Giriş Kutusu)** : Bu kontrol edit kontrolüne alternatif bir kontroldür. Edit kutusunun yapabildiği bütün işleri yapabilirken ayrıca edit kutusunun yapamadığı çok satır bilgi girişi, dosyadan text yükleme ve kaydetme gibi birçok işi de yapabilir. “Standard” sekmesinde yer alır.

 **TGroupBox (Gruplama Kutusu)** : “Standard” sekmesinde yer alan ve sıklıkla kullanılan bir diğer kontrol de “GroupBox”tır. Bu kontrol tek başına değil, diğer kontrolleri gruplamak için kullanılır. Kontrolleri bu kontrol ile gruplamanın birçok avantajı vardır:

- Bu çerçeveler içine konan kontroller çerçeveye bağımlıdır ve konumları bu çerçeve dışına taşamaz.
- Birden fazla kontrolün yerini yada özelliğini birden değiştirmeyi sağlar. Özellikle “RadioButton”ların kullanılmasında çerçeve kullanmak zorunlu hale gelebilir.

 **TRadioButton (Seçenek Kutusu)** : Kullanıcıya birkaç seçenektan birini seçme imkanı veren bir kontroldür. Bu kontrolün tek başına kullanılması anlamsızdır. “Standard” sekmesinde yer alır.



TListBox (Liste Kutusu) : Windows'un sağladığı, dizileri vb. gösterebilen “Standard” sekmesi kontrollerindedir. Elemanları listelemek, sıralamak gibi özellikler sunan genel amaçlı bir kontroldür.



TComboBox (Aşağı Doğru Açılan Liste) : Aşağı doğru açılabilen bir liste kontrolüdür. Genellikle değerleri daha önceden belli olan elemanların seçimi için kullanılırlar. Liste Kutusuna benzer ancak listedeki elemanlardan sadece seçileni ekranda görüntüler. “Standard” sekmesinde yer alır.



TMainMenu (Menü Oluşturma Kontrolü) : Borland Delphi 6 formlarına menü eklemek, menülere belirli bir format vermek ve oluşturulan menülere program kodu yazmayı mümkün kılan bir kontrol elemanıdır. Uygulamalara menü eklemek için “TMainMenu” kontrol elemanı ilk etapta form üzerine alınır. “Object Inspector” penceresinde bu kontrolün “Items” özelliği tıklanarak menü tasarım formu açılır. Bu form üzerinde istenilen şekilde menü oluşturmak mümkündür. “Standard” sekmesinde yer alır.



TImage (Resim Gösterme Elemanı) : “Image” kontrolü, resimleri göstermek için kullanılır. Gösterilecek resim “Image” kontrolünün “Picture” özelliğine atanır. “Additional” sekmesinde yer alır.



TDateTimePicker (Tarih Seçme Kutusu) : Bu kontrol, tarih ve saatin bulunduğu hazır bir kutu sunar. “Win32” sekmesinde yer alır.

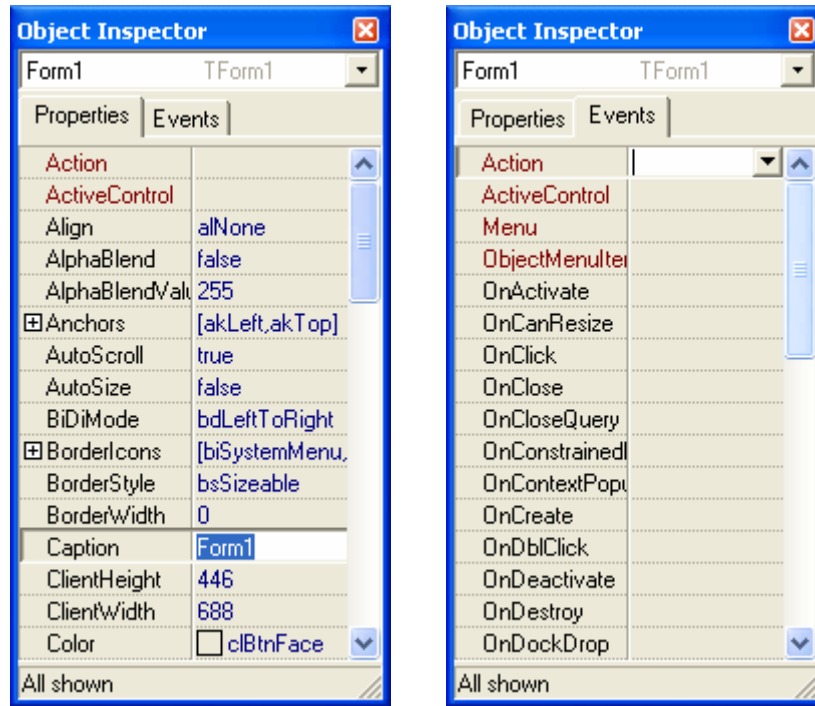


TRichEdit (Zengin Metin) : Bu kontrol, daha önce anlatılan “Memo” kontrolüne benzer özellikler taşır. Fakat “Memo” kontrolünden farklı olarak çok daha önemli özellikler taşır. Mesela “Memo” kontrolündeki yazının bir kısmının font büyüklüğü, font stili vb. değiştirilemezken “RichEdit” kontrolünde bu rahatlıkla yapılabilir. “RichEdit” kontrolü metni “RTF” (Rich Text Format) formatında kaydedebilir. Birçok popüler kelime işlemci bu formattaki dökümanları desteklediği için bir kelime işlem programı gibi rahatlıkla kullanılabilir. “Win32” sekmesinde yer alır.

Ek-2.1.2 Object Inspector (Olaylar ve Özellikler Penceresi)

“Object Inspector” penceresi, “Component Palette”’den form üzerine yerleştirilen her kontrolün özellik ve olaylarını belirler. Obeject Inspector penceresi, form üzerinden bir kontrol seçildikten sonra F11 tuşu veya View / Obeject Inspector menü seçeneği ile görüntülenir.

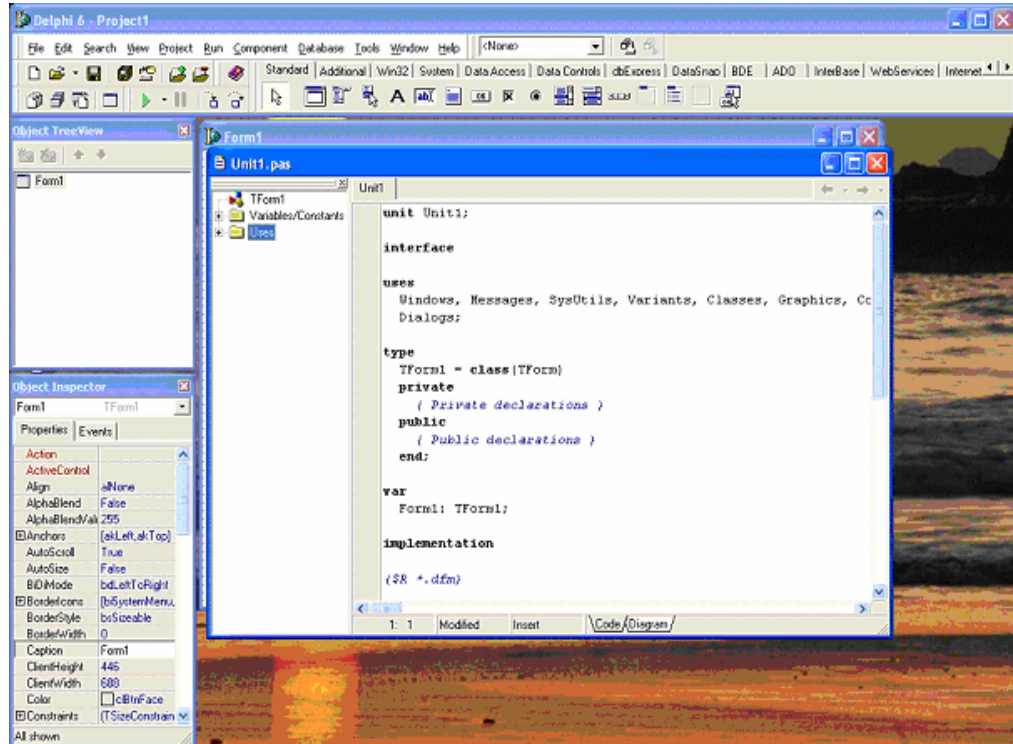
Aşağıda Şekil Ek-2.5’de görülen pencerelerden ikisi de “Object Inspector” penceresidir. Birinci pencerede form üzerine alınan elemanın tasarım zamanı özellikleri (properties) değiştirilirken, ikinci pencerede ise form üzerindeki elemana ait olan olaylar (events) görüntülenir.



Şekil Ek-2.5 “Object Inspector” penceresi görüntüsü

Borland Delphi’nin diğer dillerden bir farkı da budur. Program çalışmadan önce bu özellikler hiçbir koda gerek duymadan değiştirilebilmektedir. Pencerenin ikinci hali ise o kontrole ait olayları belirlemek için kullanılır. Kontrole ait olayların listesi pencerede görülmektedir. Bu pencerenin karşısındaki kutu çift tıklanarak varsayılan (default) olayın yazılmasını veya kendiniz bir program ismi yazarak, o olay gerçekleştiğinde seçtiğiniz olayın çalışması sağlanabilir.

Form ve form üzerinde bulunan her kontrol elemanı çift tıklanarak o elemana ait default olay prosedürüne ulaşılabilir. Bu olaylar arka plandaki kod bölümünde yazılır. Formun hemen altında kod için ayrı bir *.pas uzantılı “Unit” sayfası yer almaktadır. İşte program için yazılan kodlar buraya yazılır. Her olay için ayrı prosedürleri Borland Delphi kendiliğinden oluşturur. Aşağıda Şekil Ek-2.6’da ana formun hemen arkasındaki “Unit” sayfası görülmektedir.



Şekil Ek-2.6 Kodun yazıldığı “Unit.pas” sayfa görüntüsü

Sıklıkla kullanılan bazı olaylar aşağıda açıklanmıştır.

OnClick : Komut düğmesinin en önemli olayı budur. Kontrolün farenin sol tuşunun yanında enter ve kısayol tuşu da meydana getirir. Genel olarak mouse ile tuşlama işlemini görevini klavyeden de yapan tuşlar bu olayı meydana getirir.

OnDbClick : Farenin sol tuşu ile çift tıklanması halinde bu olay meydana gelir.

OnMouseDown : Fare kontrol elemanı üzerinde iken farenin tuşlarından birine basılmasıyla meydana gelir. Click olayından farklı olarak farenin sadece sol tuşu değil sağ ve orta tuşları da bu olayı meydana getirir.

OnMouseUp : Fare kontrol elemanı üzerinde iken basılan fare tuşu bırakıldığında bu olay meydana gelir. Parametrelerin anlamı MouseDown olayındaki gibidir.

OnMouseMove : Programda, üzerinde bulunulan nesne ile ilgili bilginin, formun altında verilmesini sağlar.

OnChange : Bu olay, ilgili kontrolün içeriği değiştiği zaman (bilgi girişi, içerisindeki bilginin değişmesi silinmesi vb.) meydana gelecek bu olayın içindeki program kodu çalışır.

OnKeyPress : Bu olay, klavyeden basılan ve ASCII kodu bulunan bir tuşa basıldığında meydana gelir. Yani bu olay “Control”, “Alt”, “Shift”, “CapsLock”, “F1” vb. gibi tuşlarda meydana gelmez. Bu tuşları ancak “OnKeyDown” ve “OnKeyUp” olayları algılayabilir. Bu olay daha çok kullanıcının girdiği karakteri kontrol etmek için kullanılır. Hangi tuşa basıldığı “Key” parametresi ile öğrenilir.

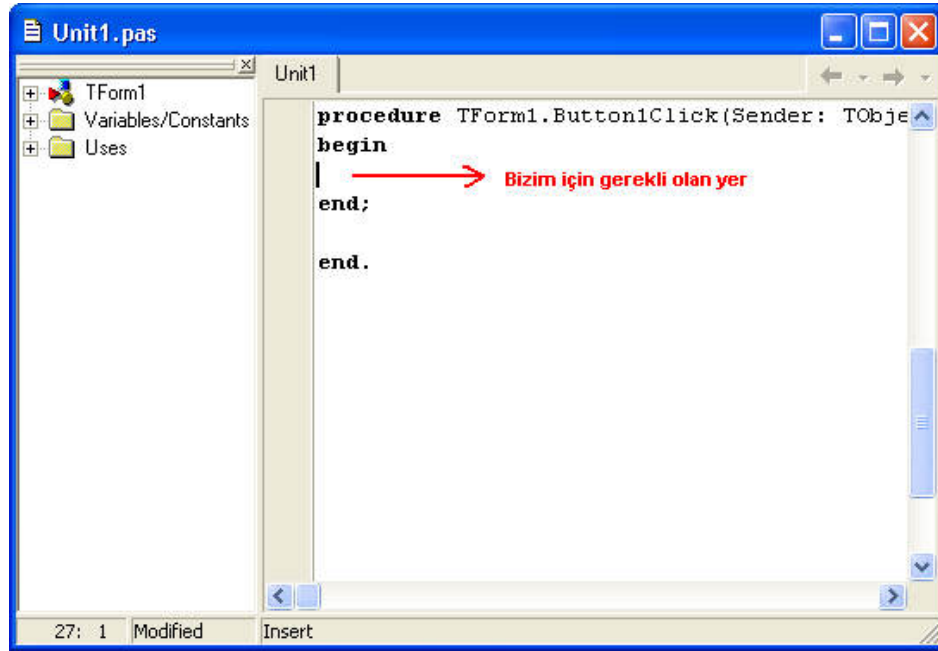
OnKeyDown : Bu olay, klavyeden bir tuşa basıldığında meydana gelir ve basılı tutulduğu müddetçe meydana gelmeye devam eder.

OnKeyUp : Bu olay, basılan tuş bırakıldığı anda meydana gelir.

OnEnter : Bir kontrol elemanının aktif olmasıyla meydana gelir. Bir nesneye kontrolün geçebilmesi için görülebilir (Visible) ve aktif (Enabled) olması gerekir.

OnExit : Kontrol elemanının kontrolü kaybetmesiyle bu olay meydana gelir. Birden fazla form arasında geçiş yapılırken ve Windows uygulamaları arasında geçiş yaparken “OnExit” ve “OnEnter” olayı meydana gelmez. Bu olaylar gerçekleştiğinde programda ne olmasını istiyorsak işte bu “Unit” sayfasında her olayın kendi prosedürleri altındaki begin-end arasına kodları yazarız. Borland Delphi her olayın prosedürlerini kod yazmaya gerek kalmadan kendisi anında oluşturmaktadır. Örnek vermek gerekirse mesela “Button” nesnesine basıldığında programın ne yapmasını istiyorsanız “Button”’a ait “OnClick” olayı çift tıklanarak Şekil Ek-2.7’de görüldüğü üzere buna ait

prosedürün oluşturulması sağlatılıp işletilmesi istenilen kod satırları begin-end arasına yazılır.



Şekil Ek-2.7 Kodun yazıldığı prosedür aralığı görüntüsü

ÖZGEÇMİŞ

03.02.1981 tarihinde Denizli'nin Acıpayam ilçesinde doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Denizli'de tamamlayarak 2001 yılında Pamukkale Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı. Bu bölümden 2006 yılında mezun olarak hemen ardından bu kez Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Aynı zamanda serbest iş hayatında inşaat proje sektöründe yerini alarak halen Pamukkale Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.