

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİFT MODLU KARE HALKA REZONATÖRLER  
KULLANILARAK MİKROŞERİT ÇİFTLEYİCİ VE  
DÖRTLEYİCİ TASARIMI**

**Tezi Hazırlayan  
Alper TÜRKELİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Nisan 2019  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİFT MODLU KARE HALKA REZONATÖRLER  
KULLANILARAK MİKROŞERİT ÇİFTLEYİCİ VE  
DÖRTLEYİCİ TASARIMI**

**Tezi Hazırlayan  
Alper TÜRKELİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Nisan 2019  
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR danışmanlığında Alper TÜRKELİ tarafından hazırlanan "Çift Modlu Kare Halka Rezonatörler Kullanılarak Mikroşerit Çiftleyici ve Dörtleyici Tasarımı" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

29.04/2019

### JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Yasemin ALTUNCU



Üye : Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Suad BAŞBUĞ



ONAY:

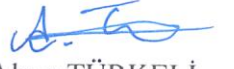
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun...30.04.2019...tarih ve...2019.25.213...sayılı kararı ile onaylanmıştır.

08/05/2019  
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK  
Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Alper TÜRKELİ

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren ve hiçbir yardımı esirgemeyen, tanıdığım günden beri bana her konuda ışık tutan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR'e,

Tez çalışmamdaki desteklerinden dolayı ikinci danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Elif GÜNTÜRKÜN ŞAHİN'e,

Deneysel çalışmalar için laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne ve yardımlarından dolayı Arş. Gör. Engin DOĞAN'a,

Tez çalışmam boyunca bana her an destek olan eşim Gülnihal TÜRKELİ'ye teşekkür ederim.

# ÇİFT MODLU KARE HALKA REZONATÖRLER KULLANILARAK MİKROŞERİT ÇİFTLEYİCİ VE DÖRTLEYİCİ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Alper TÜRKELİ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2019

## ÖZET

Bu tez çalışmasında çift modlu kare halka rezonatörler kullanılarak çeşitli mikroşerit çiftleyici ve dörtleyici tasarımları sunulmaktadır. Tasarlanacak çiftleyici ve dörtleyicilerin kanallarını elde edebilmek amacıyla farklı merkez frekanslarda ve farklı türlerde filtre tasarımları ele alınmaktadır. Çiftleyici için, dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmış yan hatlar içeren bir çift modlu kare halka rezonatör kullanılarak band geçiren filtre tasarlanmaktadır. Dörtleyici tasarımlarının kanallarının oluşturulmasına yönelik filtreler ise, kanalların anahtarlanabilirliğine göre iki aşamada ele alınmaktadır. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyiciye yönelik filtre tasarımları için kare halka rezonatör gibi davranan, yama pertürbasyon elemana sahip kıvrımlı halka rezonatörler kullanılmaktadır. Bu yama elemanların yerine varaktör diyotların kullanılması suretiyle elektronik olarak anahtarlanabilir ve band genişliği ayarlanabilir filtreler tasarlanmaktadır. Tez kapsamında ayrıca açık devre sonlandırılmalı yan hatlara sahip çok modlu rezonatörler kullanılarak çift geniş bantlı band geçiren filtre tasarımı da sunulmaktadır. Tasarlanan çift modlu filtrelerin ince film kapasitörlerle giriş ve çıkış portlarına uygun biçimde kuplajlanması sayesinde çiftleyici ve dörtleyici tasarımları gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan devreler içerisinde yüksek performansa sahip olanlardan bazıları imal edilerek ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ve simülasyon sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Kare halka rezonatör, Çiftleyici, Anahtarlanabilir, Dörtleyici.*

**Tez Danışman:** Doç. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR

**Sayfa Adeti:** 93

**DESIGN OF MICROSTRIP DIPLEXER AND QUADRUPLER USING  
DUAL-MODE SQUARE LOOP RESONATORS**

**(M. Sc. Thesis)**

**Alper TURKELI**

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**April 2019**

**ABSTRACT**

In this thesis, various diplexer and quadruplexer designs are presented by using dual mode square ring resonators. In order to obtain the channels of the diplexers and quadruplexers to be designed, filter designs with different center frequencies and different types are discussed. For the diplexer design, a bandpass filter is designed by using a dual mode square loop resonator having open circuited stubs with narrow slits. Filters for the creation of channels of quadruplexer designs are discussed in two stages according to the switchability of the channels. For the filter designs of the non-switchable quadruplexer, meandered loop resonators with a patch perturbation element, that act as a square loop resonator are used. Electronically switchable and bandwidth tunable filters are designed by using varactor diodes instead of these patch elements. Within the thesis, design of a dual wideband bandpass filter is also presented by using multimode resonators having open circuited stubs. Diplexer and quadruplexer designs are realized by coupling the designed dual-mode filters to the input and output ports by virtue of thin-film capacitors. Within the designed circuits, some of them having high performance have been fabricated and measured. A good agreement has been observed between the measured and simulated results.

***Keywords: Square ring resonator, Diplexer, Switchable, Quadruplexer.***

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Kürşad GÖRÜR**

**Page Number: 93**



## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
RESİMLER LİSTESİ .....	xvii
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xviii
<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Literatür Özeti.....	2
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>FİLTRE TASARIMLARI</b> .....	9
2.1. Çift Modlu Kare Halka Rezonatörler .....	9
2.2. Mikroşerit Çiftleyiciler İçin Band Geçiren Filtre Tasarımları .....	13
2.2.1. Dar yarıklı açık devre sonlandırmalı yan hatlara sahip band geçiren filtreler.....	13
2.2.1.1. Çiftleyicinin birinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı .....	15
2.2.1.2. Çiftleyicinin ikinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı.....	17
2.2.2. Üst tutma bandı temiz mikroşerit band geçiren filtreler .....	18

2.2.2.1.	Üst tutma bandı temiz çiftleyicinin birinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı.....	19
2.2.2.2.	Üst tutma bandı temiz çiftleyicinin ikinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı.....	21
2.3.	Mikroşerit Dörtleyiciler İçin Band Geçiren Filtre Tasarımları .....	22
2.3.1.	Anahtarlanabilir özelliğe sahip olmayan dörtleyici için band geçiren filtre tasarımı.....	23
2.3.1.1.	Birinci kanal için band geçiren filtre tasarımı.....	23
2.3.1.2.	İkinci kanal için band geçiren filtre tasarımı.....	25
2.3.1.3.	Üçüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı.....	27
2.3.1.4.	Dördüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı .....	29
2.3.2.	Anahtarlanabilir dörtleyici için band geçiren filtre tasarımı .....	32
2.3.2.1.	Birinci kanal için band geçiren filtre tasarımı.....	32
2.3.2.2.	İkinci kanal için band geçiren filtre tasarımı.....	35
2.3.2.3.	Üçüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı.....	36
2.3.2.4.	Dördüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı .....	39
2.4.	Çok Modlu Yan Hat Yüklü Rezonatörler Kullanılarak Çift Geniş Bandlı Band Geçiren Filtre Tasarımı .....	41

### **BÖLÜM 3**

#### **MİKROŞERİT ÇİFTLEYİCİ TASARIMI .....**

46

3.1. Dar Yarıklı Açık Devre Sonlandırmalı Yan Hatlara Sahip Mikroşerit Çiftleyici..... 46

3.2. Üst Tutma Bandı Temiz Mikroşerit Çiftleyici .....

50

### **BÖLÜM 4**

#### **MİKROŞERİT DÖRTLEYİCİ TASARIMI .....**

55

4.1. Anahtarlama Özelliğine Sahip Olmayan Mikroşerit Dörtleyici Tasarımı ... 55

4.2. Anahtarlanabilir Mikroşerit Dörtleyici Tasarımı .....

60

4.2.1.	Kanalların band genişliği kontrolü.....	64	
4.2.2.	Kanalların anahtarlanması.....	68	
<b>BÖLÜM 5</b>			
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>			71
5.1.	Çok Modlu Çift Geniş Bantlı Band Geçiren Filtre.....	71	
5.2.	Mikroşerit Çiftleyici.....	72	
5.3.	Anahtarlanabilir Mikroşerit Dörtleyici.....	73	
<b>BÖLÜM 6</b>			
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>			82
<b>KAYNAKLAR .....</b>			85
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>			93

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	16
Tablo 2.2.	Mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	18
Tablo 2.3.	Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	20
Tablo 2.4.	Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	22
Tablo 2.5.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	24
Tablo 2.6.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	26
Tablo 2.7.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	28
Tablo 2.8.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	30
Tablo 2.9.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	33
Tablo 2.10.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	35
Tablo 2.11.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	37

Tablo 2.12.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	40
Tablo 2.13.	Tasarlanan çift geniş bantlı band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	42
Tablo 4.1.	Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	58
Tablo 4.2.	İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	58
Tablo 4.3.	Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	58
Tablo 4.4.	Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	58
Tablo 4.5.	Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	63
Tablo 4.6.	İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	63
Tablo 4.7.	Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	63
Tablo 4.8.	Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.).....	63
Tablo 6.1.	Tasarlanan çiftleyici ile literatürdeki bazı çiftleyicilerin karşılaştırması.	84
Tablo 6.2.	Tasarlanan dörtleyici ile literatürdeki bazı dörtleyicilerin karşılaştırması .....	84

## ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1. (a) Köşe kesim şeklinde pertürbasyon elemanlı filtre, (b) İç köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtre, (c) Dış köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtre.....10
- Şekil 2.2. Köşe kesim şeklinde pertürbasyon elemanlı filtreye ait frekans cevabı (Kesikli çizgi), İç köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtreye ait frekans cevabı (düz çizgi), Dış köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtreye ait frekans cevabı (Kesikli noktalı çizgi).....11
- Şekil 2.3. (a) Yama elemana sahip çift modlu rezonatör, (b) Köşe kesim elemanlarına sahip çift modlu rezonatör.....11
- Şekil 2.4. (a) Mikroşerit çiftleyici için tasarlanan rezonatör, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı.....13
- Şekil 2.5. Zayıf kuplaj altında rezonatöre ait frekans cevabı ( $C_g$  kapasitans değeri 0.1 pF).....14
- Şekil 2.6. Dar yarık sayısına göre frekans cevabı değişimi.....15
- Şekil 2.7. (a) Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı.....16
- Şekil 2.8. (a) Mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi.....17
- Şekil 2.9. (a) İkinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı.....17
- Şekil 2.10. (a) Mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi.....18
- Şekil 2.11. (a) Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyici için tasarlanan rezonatör, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı.....19
- Şekil 2.12. (a) Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı.....20

Şekil 2.13.	Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi.....	21
Şekil 2.14.	(a) İkinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı.....	21
Şekil 2.15.	Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi.....	22
Şekil 2.16.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	23
Şekil 2.17.	Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması.....	24
Şekil 2.18.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı.....	25
Şekil 2.19.	Birinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	25
Şekil 2.20.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	26
Şekil 2.21.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı.....	27
Şekil 2.22.	İkinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	27
Şekil 2.23.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	28
Şekil 2.24.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı.....	29
Şekil 2.25.	Üçüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	29

Şekil 2.26.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	30
Şekil 2.27.	Dördüncü kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması .....	30
Şekil 2.28.	Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı.....	31
Şekil 2.29.	Dördüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	31
Şekil 2.30.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	32
Şekil 2.31.	Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması.....	33
Şekil 2.32.	Birinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği.....	34
Şekil 2.33.	Birinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	34
Şekil 2.34.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	35
Şekil 2.35.	İkinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği.....	36
Şekil 2.36.	İkinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	36
Şekil 2.37.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	37
Şekil 2.38.	Üçüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği.....	38
Şekil 2.39.	Üçüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	38



Şekil 2.40.	Anahtarlanabilir dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı.....	39
Şekil 2.41.	Dördüncü kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması.....	39
Şekil 2.42.	Dördüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği.....	40
Şekil 2.43.	Dördüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü.....	41
Şekil 2.44.	Tasarlanan çift geniş bantlı band geçiren filtre yapısı.....	41
Şekil 2.45.	Üst ve alt rezonatörlerin tek başlarına frekans cevapları.....	42
Şekil 2.46.	Ek bağlantı hatlarının uzunluğunun frekans cevabı üzerine etkisi.....	43
Şekil 2.47.	$L_5$ 'in iletim kutupları ve sıfırlarının frekansları üzerindeki etkisi.....	44
Şekil 2.48.	$L_3$ 'ün iletim kutuplarının frekansları üzerindeki etkisi.....	44
Şekil 2.49.	$L_4$ 'ün frekans cevabı üzerindeki etkisi.....	45
Şekil 2.50.	$L_9$ 'un frekans cevabı üzerindeki etkisi.....	45
Şekil 3.1.	Tasarlanan mikroşerit çiftleyici yapısı ( $p_{1x}= 5$ mm, $p_{1y}= 2$ mm, $p_{2x}=2$ mm, $p_{2y}=4$ mm, $d=4.1$ mm).....	47
Şekil 3.2.	Kanallara ait band genişliği kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal.....	48
Şekil 3.3.	Kanallara ait merkez frekans kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal.....	49
Şekil 3.4.	Band genişliği kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal.....	50
Şekil 3.5.	Merkez frekans kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal (b) İkinci kanal.....	50
Şekil 3.6.	Tasarlanan üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyici yapısı ( $p_{1x}= 4$ mm, $p_{1y}=1.4$ mm, $p_{2x}=1.3$ mm, $p_{2y}=4$ mm, $d=4.5$ mm).....	51

Şekil 3.7.	Kanallara ait band genişliği kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal.....	52
Şekil 3.8.	Kanallara ait merkez frekans kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal.....	53
Şekil 3.9.	Band genişliği kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal.....	54
Şekil 3.10.	Merkez frekans kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal (b) İkinci kanal.....	54
Şekil 4.1.	Tasarlanan anahtarlama özelliğine sahip olmayan mikroşerit dörtleyici tasarımı ( $b_a = 22.0$ mm, $b_b = 2.5$ mm).....	56
Şekil 4.2.	Rezonatörlere ait boyutlandırmalar, (a) Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (b) İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (c) Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (d) Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar.....	57
Şekil 4.3.	Tasarlanan mikroşerit dörtleyiciye ait frekans cevabı.....	59
Şekil 4.4.	Kanallar arası izolasyon seviyesi.....	60
Şekil 4.5.	Anahtarlabilir dörtleyici yapısı ( $b_a = 22$ mm, $b_b = 2.5$ mm, $b_c = 7.1$ mm, $b_d = 0.5$ mm, $b_e = 1.5$ mm, $b_f = 1.1$ mm, $b_g = 3.6$ mm, $b_h = 0.6$ mm, $b_x = 0.2$ mm, $b_y = 0.6$ mm $b_z = 3.05$ mm, $b_t = 0.45$ mm).....	61
Şekil 4.6.	Rezonatörlere ait boyutlandırmalar, (a) Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (b) İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (c) Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (d) Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar.....	62
Şekil 4.7.	Birinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band.....	65
Şekil 4.8.	İkinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band.....	66
Şekil 4.9.	Üçüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band .....	67

Şekil 4.10.	Dördüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band.....	68
Şekil 4.11.	Kanallara ait anahtarlama işlemi, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal, (c) Üçüncü kanal, (d) Dördüncü kanal.....	70
Şekil 5.1.	İmal edilen filtreye ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.2.	İmal edilen çiftleyiciye ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	73
Şekil 5.3.	Kanalların hepsinin açık olduğu durumda simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.4.	Kanallar arasındaki izolasyon seviyeleri.....	75
Şekil 5.5.	Kanallara ait anahtarlama işlemi, (a) Birinci kanala ait anahtarlama işlemi, (b) İkinci kanala ait anahtarlama işlemi, (c) Üçüncü kanala ait anahtarlama işlemi, (d) Dördüncü kanala ait anahtarlama işlemi.....	76
Şekil 5.6.	Birinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band.....	78
Şekil 5.7.	İkinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band.....	79
Şekil 5.8.	Üçüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band .....	80
Şekil 5.9.	Dördüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band.....	81

## RESİMLER LİSTESİ

Resim 5.1.	İmal edilen çift geniş bantlı band geçiren filtre .....	71
Resim 5.2.	İmal edilen çiftleyicinin fotoğrafı .....	72
Resim 5.3.	İmal edilen dörtleyiciye ait fotoğraf .....	73
Resim 5.4.	Ölçüm anına ait fotoğraflar .....	74



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>RF</b>	Radyo frekansı (Radio Frequency)
<b>LTCC</b>	Düşük sıcaklıkta beraber sinterlenen seramikler (Low-Temperature Co-fired Ceramic)
<b>SIW</b>	Dielektrik tabanda bütünleştirilmiş dalga kılavuzları (Substrate Integrated Waveguide)
<b>CPW</b>	Eş düzlemsel dalga kılavuzu (Coplanar Waveguide)
<b>SIR</b>	Basamak empedanslı rezonatör (Stepped-Impedance Resonator)
$\lambda_g$	Kılavuzlanmış Dalga Boyu (Guided Wavelength)
<b>4G</b>	4. Jenerasyon (4. Generation)
<b>MMR</b>	Çok Modlu Rezonatör (Multi Mode Resonator)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Son yıllarda uydu haberleşme sistemlerindeki hızla artan gelişmelere bağlı olarak, çoğullayıcılara olan ihtiyaç da hızlı bir şekilde artmaktadır. Frekans spektrumunun farklı bölgelerinde tahsis edilen RF sinyallerini ayırmak veya birleştirmek için kullanılan çoğullayıcılar modern mikrodalga haberleşme sistemlerindeki önemli elemanlar arasındadır [1]. Birden fazla frekans kanalına sahip olmaları nedeniyle, çoğullayıcılar haberleşme sisteminde kullanılması gereken birden fazla filtre ihtiyacını ortadan kaldırabilmektedir. Dolayısıyla hem boyut, hem de performans açısından önemli getirilere sahiptir. Mikrodalga çoğullayıcı tasarımlarında ucuz maliyeti, sunduğu tasarım esnekliği ve üretim kolaylığından dolayı mikroşerit yapılar en çok başvurulan teknoloji konumundadır.

Yüksek kompaktlık, kanallar arası yüksek izolasyon seviyesi ve düşük araya girme kaybı mikroşerit çoğullayıcı tasarımında arzu edilen özelliklerdir. Bazı rezonatör türleriyle kanallar arası yüksek izolasyon ve düşük araya girme kaybı elde edilebilmesine rağmen bu rezonatörlerin kullanıldığı çoğullayıcılarda büyük devre boyutu önemli sorunlardan biridir. Bu nedenle mikroşerit çoğullayıcı tasarımlarında kullanılan rezonatör türünün yanı sıra, rezonatörlerin giriş ve çıkış portlarına kuplajlanma biçimi de boyut ve performans açısından oldukça önemlidir.

#### 1.1. Amaç ve Kapsam

Son yıllarda gelişen mobil haberleşme sistemlerinin bir gereği olarak; farklı frekans bölgelerine sahip işlemlerin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi son derece önemli hale gelmiştir. Bu doğrultuda, yüksek kanal seçiciliğine sahip mikrodalga çoğullayıcıların tasarımı ve üretimi, aynı zamanda devrenin performans testinin gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir.

Tezin en önemli odak noktası, 4.5G haberleşme sistemleri frekanslarına sahip çeşitli mikroşerit çiftleyici ve dörtleyici tasarımlarının gerçekleştirilmesidir. Mikrodalga çoğullayıcı tasarımlarında önemli parametrelerden bir tanesi izolasyon olup, tez kapsamında tasarlanacak çiftleyici ve dörtleyici devrelerin yüksek seçicilikte olması da yine başlıca hedefler arasındadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, mikroşerit çoğullayıcı tasarımlarında çift modlu kare halka rezonatörlerin fazla kullanılmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, çift modlu kare halka rezonatörler ile tasarlanacak çoğullayıcıların özellikle kanallar arası izolasyon ve her bir kanaldaki kayıp açısından arzu edilen performanslara ulaşamamasıdır. Ancak çift modlu kare halka rezonatörler kompakt boyut açısından büyük bir öneme sahiptir. Çünkü farklı rezonatör türlerinin kullanıldığı filtre veya çoğullayıcı devreleri genellikle çift sayıda rezonatöre ihtiyaç duymaktadır. Çift modlu kare halka rezonatörlü filtre veya çoğullayıcılarda ise, bir adet çift modlu kare halka rezonatör band içerisinde bir çift iletim kutbunun elde edilmesi açısından yeterlidir. Bu nedenle tez kapsamında çift modlu kare halka rezonatör temelli farklı rezonatör çeşitleri kullanılarak çeşitli çiftleyici ve dörtleyici tasarımları hedeflenmektedir. Tasarlanacak çoğullayıcılarda kompakt boyut sağlamak için açık devre sonlandırılmalı yan hatlara sahip çift modlu kare halka rezonatörler kullanılacaktır. Bu açık devre sonlandırılmalı yan hatlar ve kullanılacak besleme hatları sayesinde kanallar arası izolasyon arttırılacak ve kanallardaki kayıplar mümkün olan minimum seviyeye indirilecektir. Diğer yandan, tez kapsamında tasarlanacak dörtleyicinin her bir kanalının diğerlerinden bağımsız biçimde elektronik olarak anahtarlanabilmesi ve band genişliğinin ayarlanabilmesi amaçlanmıştır. Böylece tez kapsamında tasarlanacak yüksek performanslı çoğullayıcıların literatürde oldukça önemli bir yere sahip olabileceği beklenmektedir.

## **1.2. Literatür Özeti**

Mikrodalga çoğullayıcı tasarımlarında ucuz maliyetinden ve üretim kolaylığından dolayı mikroşerit yapılar en çok başvurulan devre teknolojisidir. Bunun yanı sıra, düşük sıcaklıkta beraber sinterlenen seramikler (Low-Temperature Co-fired Ceramic - LTCC) [2,3], dielektrik tabanda bütünleştirilmiş dalga kılavuzları (Substrate Integrated Waveguide-SIW) [4,5] ve eş düzlemsel dalga kılavuzu (Coplanar Waveguide-CPW) [6,7] yapıları da mikrodalga çoğullayıcı tasarımlarında yararlanılan diğer devre teknolojileridir.

Bugüne kadar mikroşerit çoğullayıcı tasarımlarında araştırmacılar çeşitli rezonatör türleri kullanmıştır. Basamak empedanslı rezonatörler [8-17], ayırık halka rezonatörler [18-21], çok modlu rezonatörler [22-24], hairpin rezonatörleri [25-28], açık halka

rezonatörleri [29-32], yan hat yüklü rezonatörler [33-36] bunlardan bazılarıdır. Ayrıca çeyrek ve yarım dalga boylu rezonatörler [37-40], hibrid rezonatörler [41], spiral rezonatörler [42], kare halka rezonatörler [43,44], T şekilli rezonatörler [45-47], inter dijital rezonatörler [48] ve net tipi rezonatörler [49,50] de literatürdeki çoğullayıcı tasarımlarında kullanılan diğer rezonatör türleridir.

Mikroşerit çoğullayıcı tasarımlarında basamak empedanslı rezonatörlere bugüne dek oldukça fazla başvurulmuştur. Chen ve arkadaşlarının 2016 yılındaki çalışmasında, kıvrımlı basamak empedans rezonatörleri ile tasarladıkları filtreyi kullanarak bir çiftleyici tasarlanmıştır. Bu basamak empedans rezonatörleri kullanılarak devre boyutu önemli ölçüde azaltılmıştır. Chen ve arkadaşlarının tasarladığı bu mikroşerit çiftleyici iki adet band geçiren filtre ve bir eşleme T bağlantısından oluşmaktadır. Kompakt boyut ve esnek frekans kontrolünden dolayı filtre tasarımında basamak empedans rezonatörleri kullanılmıştır. Çiftleyici cevabında band dışı reddetme seviyesi ve çıkış izolasyonu 60 dB'den daha iyi ölçülmüştür [9].

Weng ve arkadaşları 2014'te, basamak empedanslı dağıtılmış kuplaj besleme hattı, dört farklı çeyrek dalga boylu basamak empedanslı rezonatör (SIR), iki paralel açık yan hat, iki p-i-n diyodu ve öngerilim devresinden oluşan anahtarlanabilir bir çiftleyici sunmuşlardır [10]. Harmonikleri engellemek için aynı temel frekansa sahip, ancak kademeli olarak harmonik frekanslara sahip çeşitli çeyrek dalga boyu SIR'ler kullanılmıştır. Çiftleyicinin anahtarlanabilir olmasını sağlamak için p-i-n diotları, rezonatörlerin ucuna bir anahtarlama cihazı olarak yerleştirilmiştir. Dolayısıyla, önerilen devrenin çok fonksiyonlu, kompakt, yüksek izolasyonlu ve ultra geniş durdurma bandına bağlı olarak diğer kanallardan gelen parazitlere karşı bağımsızlık kazanması gibi birçok avantajı vardır.

Li ve Zhang 2017'de kompakt boyut ve yüksek izolasyona sahip altı kanallı bir mikroşerit çiftleyici sunmuşlardır. Çiftleyici, sahte inter dijital bir yapıya ve dağıtılmış kuplaj besleme hattına sahip iki çift çok-modlu rezonatör içerir. Çok modlu rezonatörün tipik karakteristikleri çift tek mod yöntemi ile açıklanmaktadır. Merkez frekansları bağımsız olarak kontrol edilebilirken, band genişliği bağlanma katsayısı ve harici kalite faktörü ile belirlenebilir. Dağıtılmış kuplaj besleme hattı, boyut azaltma ve küçük yükleme etkisi avantajlarına sahiptir. Bu nedenle, her kanal filtresi bağımsız olarak



tasarlanabilir. Altı kanallı çiftleyici, 30 dB'den fazla izolasyonla  $0.26 \lambda_g \times 0.22 \lambda_g$ 'lik kompakt bir boyuta sahiptir. Bu özellikler önerilen altı kanallı çiftleyiciyi çok bandlı kablosuz iletişim sistemlerine çok uygun hale getirmektedir [22].

Çoğullayıcı tasarımında açık halka rezonatör kullanımı da önemli bir yer tutmaktadır. Konpang ve Thongnoi 2011 yılında bir çiftleyici geliştirmek için kompakt dört kutuplu çapraz kuplajlı kare açık halka rezonatörler önermiştir [30]. Filtre, boyut indirgemesi için kare açık halkanın iç köşesine tutturulan iki özdeş yamadan oluşan kare açık halka rezonatörüne dayanmaktadır. Çiftleyicide ölçülen araya girme kayıpları, 45 dB'den daha iyi elde edilmiştir. Tasarlanan çiftleyici IMT-2000 mobil iletişim sistemlerindeki uygulamalar için çok kullanışlıdır [30].

Chen ve arkadaşları 2014 yılında bağımsız kontrol edilebilir iletim sıfırlarına sahip yan hat yüklü rezonatörlere dayanan yüksek izolasyonlu ve yüksek reddetmeli mikroşerit çiftleyici sunmuştur. İletim sıfırları, yan hat yüklü rezonatörün doğal bir özelliğidir. Belirli frekanslarda bu iletim sıfırlarını düzgün bir şekilde tahsis ederek, çiftleyicinin çıkış izolasyonu ve band dışı reddi aynı anda iyileştirilebilmektedir. Hem çıkış izolasyonu hem de band dışı reddetme 70 dB'yi aşan değerlerde elde edilmiştir [35].

Chen ve arkadaşları 2016 yılında iki yeni kaskat bağlı dörtlü band geçiren filtreden oluşan bir çiftleyici önermiştir. Kaskat bağlı dörtlü filtre iki yarım dalga boylu rezonatör ve iki çeyrek dalga boylu rezonatörden oluştuğundan, devre boyutu küçüktür. Çapraz kuplaj uygulanarak simetrik iletim sıfırları her kanalın her iki tarafında ortaya çıkarılır. İki kanal arasındaki ölçülen izolasyon 47.3 dB'den daha büyüktür [38].

Radonić ve arkadaşları 2014'te çift modlu kare halka rezonatörler kullanılarak gerçekleştirilen filtrelere sahip bir çiftleyici önermişlerdir. İlk olarak, tek bir PCB tabakasında gerçekleştirilen düzlemsel çiftleyici tasarlanmıştır. Böylece, her iki banddaki karakteristik, rezonatör boyutlarını değiştirerek bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Çok katmanlı modifikasyon, farklı tabakalardaki filtreler arasında yüksek izolasyon elde etmek için, ortak düzlemden mikroşerit mimarisine geçiş olarak önerilmiştir. Çok katmanlı tasarım kullanılarak, boyut küçültme ve geniş geçiş bandları, 20 dB'den daha iyi izolasyonla elde edilmiştir. Çok tabakalı teknolojiyi kullanarak üç kattan fazla boyut azaltma işlemi gerçekleştirilmiştir [43].

Öztürk ve arkadaşlarının 2014'te yaptığı çalışmada indüktif yüklemeli kare halka rezonatörler kullanılarak gerçekleştirilen bir mikroşerit çiftleyici önerilmiştir. Rezonatörde indüktif yarıklar açılarak hatların birim uzunluklarındaki indüktif etki arttırılmış ve minyatürizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir [51].

Mikroşerit üçleyici tasarımı için yapılan çalışmalara bakıldığında tasarımda genellikle basamak empedans rezonatörleri ve keskin hat rezonatörleri kullanılmıştır. Taravati ve Khalaj'ın 2013'te önerdikleri üçleyicide bir mikroşerit eşleme devresi ve üç kombine keskin hat rezonatörleri kullanılmıştır [27].

Castillo ve arkadaşları 2013'te açık halka rezonatörleri, kompakt düzlemsel bir üçleyicinin temel bloğu olarak kullanmışlardır. Bu rezonatörler devre boyutunu azaltmak için kademeli üçlü ayırma (CT) filtrelerinde kullanılırlar. Halka rezonatörler, iyi bir yalıtım cevabı elde etmek, kanal etkileşimini bastırmak ve mobil haberleşme uygulamalarında tasarım şartlarını karşılamak için, giriş ve çıkış besleme hatlarına göre uygun bir şekilde yerleştirilmiştir [32].

Chen ve arkadaşları 2011'de çift ve üç modlu elektrik davranışlarına sahip net-tipi rezonatörler sunmuştur. Önerilen net-tipi rezonatör, küçük boyutlu ve daha esnek rezonans frekans tahsisi avantajları olan ve bu nedenle özellikle mikrodalga cihazların tasarımına yönelik uygulamalar için uygun olan kısa uçlu ve birkaç açık uçlu iletim hattı kesitinden oluşmaktadır. Tasarlanan devrelerin her biri çok küçük bir alanı kaplamakta ve iyi bir üst tutma bandı performansı göstermiştir [49].

Ayrıca Görür ve Karpuz'un yaptığı bir çalışmada çift modlu kare halka rezonatör gibi davranan kıvrımlı halka rezonatörler kullanılarak bir üçleyici önerilmiştir. Önerilen rezonatörler, bağlantı yollarını basitleştirmek için toplu kapasitörler vasıtasıyla giriş ve çıkış portlarına bağlanmıştır. Böylece, giriş ve üç çıkış portu için besleme hatlarına gerek kalmamıştır [52].

Bir başka çalışmada, Hsu ve arkadaşları tarafından dağıtılmış kuplaj besleme hattı, asimetrik basamak empedans rezonatörleri ve çıkış besleme hatları kullanılarak dörtleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Her bir rezonatör çifti, kendi geçiş bandı kanalını kontrol edebilmektedir. Dağıtılmış kuplaj tekniğini kullanarak, çoğullayıcıda gerekli

olan ilave bir eşleme devresine ihtiyaç duyulmamıştır. Geniş bir durdurma bandı elde etmek için asimetrik basamak empedans rezonatörleri ve asimetrik besleme hatları kullanılmıştır. Çok bandlı dörtleyiciye ait kanalların çalışma frekansları 1, 1.3, 1.6, 1.9, 2.2, 2.5, 2.8 ve 3.1 GHz'de elde edilmiştir [16].

Hung ve arkadaşları asimetrik basamak empedans rezonatörleri kullanarak geniş durdurma bandlı mikroşerit dörtleyici tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Dörtleyici, asimetrik kademeli empedans rezonatörlerinden ve dağıtılmış bir ortak besleme hattından oluşmaktadır. Durma bandı band genişliğini arttırmak için asimetrik SIR'lerin daha yüksek dereceli rezonans frekansları, basamak empedans rezonatörlerin empedans oranı ve uzunluk oranı uygun şekilde seçilerek sıralanmıştır. Dörtleyicinin kanallarının çalışma frekansları 1.5, 1.8, 2.1 ve 2.4 GHz'dir [17].

Lo ve arkadaşları tarafından 2014'te yüksek izolasyonlu ve kompakt boyutlu mikroşerit dörtleyici önerilmiştir. Dörtleyici için çok modlu rezonatörler, basamak empedanslı rezonatörler ve dağıtılmış kuplaj tekniği kullanılmıştır. Bu önerilen dörtleyicide, birinci ve üçüncü geçiş bandları, MMR'nin tek modlarında ve ikinci ve dördüncü geçiş bandları, MMR'nin çift modlarında uyarılmaktadır. İletim sıfırlarının kontrolü ile izolasyon iyileştirilebilmektedir. Tasarlanan dörtleyicinin boyutu  $0.049\lambda_0^2$ 'dir. İzolasyon 31 dB'den daha iyi elde edilmiştir [24].

Tseng ve arkadaşları 2014'te dört modlu yan hat yüklü rezonatör temelli dört adet band geçiren filtreden oluşan sekiz kanallı dörtleyici önermiştir. Sonuçta kanal izolasyonları 30 dB den daha iyi elde edilmiştir. Tasarlanan dörtleyici kompakt boyut, yüksek izolasyon, yüksek seçicilik ve esnek band kontrolü avantajlarından dolayı RF uygulamaları için özellikle uygundur [36].

Chen ve arkadaşları tarafından 2011'de kıvrılmış üç modlu net tipi dört rezonatörden oluşan filtreler kullanılarak dörtleyici önerilmiştir. Tek bir üç modlu net tipi rezonatörün yapısal parametrelerini ayarlayarak, ilk üç rezonans frekansı kontrol edilebilmektedir. Bu şekilde, bu rezonans frekansları uygun bir şekilde tayin edildiğinde üçüncü dereceden bir band geçiren filtre elde etmek için kullanılabilir. Sadece dört adet üç modlu rezonatörlerden oluşan dörtleyici için ekstra bir eşleme bağlantısına ihtiyaç duyulmamıştır. Önerilen dörtleyicinin boyutu  $0.42 \lambda_g \times 0.13 \lambda_g$ 'dir [50].

Dörtleyici üzerine çeşitli çalışmalar bulunmasına rağmen sadece birkaç tane anahtarlanabilir dörtleyici tasarımı çalışması yapılmıştır. Weng ve arkadaşları tarafından 2013'te çeyrek dalga boyuna sahip rezonatörlerden, paralel açık yan hatlardan ve pin diyotlardan oluşan anahtarlanabilir dörtleyici önerilmiştir. Dağıtılmış kuplaj tekniğinden gelen düşük yükleme etkisi nedeniyle, karmaşık bir eşleme devresi olmaksızın birçok kanal elde edilebilmektedir. Her geçiş bandı bağımsız olarak anahtarlanabilir [40].

Chen ve arkadaşları tarafından 2018'de bağımsız anahtarlanabilir geçiş bandlarına sahip sekiz kanallı bir çoğullayıcı önerilmiştir. Çift modlu yan hat yüklü rezonatörlerin kullanımı, çoğullayıcı için önemli derecede boyut küçültmesi sağlamıştır. Bunun nedeni, gerekli rezonatör sayısının azaltılmasıdır. Çoğullayıcı dağıtılmış kuplaj tekniğine dayanarak tasarlanmıştır, böylece her bir geçiş bandı yükleme etkisinin küçük olması nedeniyle ayrı ayrı tasarlanabilmektedir. Ayrıca, p-i-n diyotları her kanal için çıkış rezonatörlerine bağlı olduğundan, çoğullayıcıya ait tüm geçiş bandları bağımsız olarak anahtarlanabilmektedir [53].

Shao ve Chen 2017'de dörtleyici tasarımı için yeni bir eşleme devresi önermişlerdir. Eşleme devresi, iki parçadan oluşmaktadır ve her bir parça, kısa devre bir iletim hattı, bir açık devre iletim hattı ve bir seri iletim hattı içermektedir. Bu eşleme devresini kullanarak dörtleyici daha fazla değişiklik yapılmadan farklı band geçiren filtrelerin bağlanmasıyla kolayca gerçekleştirilmiştir. Dörtleyicinin geçiş bandlarının merkez frekansları sırasıyla 1.8 GHz, 2.2 GHz, 3.5 GHz ve 4 GHz'dir [54].

Zewani ve Hunter tarafından dörtleyici oluşturmak için mikro şerit band geçiren kanal filtrelerini bağlamak için bir halka dağıtıcı geliştirilmiştir. Bu halka dağıtıcı sayesinde çoğullayıcının kanalları arasındaki izolasyon önemli ölçüde artırılmıştır. Ayrıca, filtreler arası etkileşimi engellemek için filtrelerde herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek kalmamıştır. Filtreleri halkaya bağlayan besleme hatlarının uzunluğunu değiştirerek, önemli etkileşim olmadan bir dörtleyici oluşturmak için filtrelerin halkaya bağlanabileceği gösterilmiştir [55].

Zeng ve arkadaşları tarafından dağıtılmış bir kuplaj besleme hattı, çıkış besleme hatları ve tek tip rezonatör çiftleri kullanılarak dörtleyici gerçekleştirilmiştir. Tek tip rezonatörlerin birçok temel frekansta rezonans etmesinden dolayı, yüksek izolasyonlu

bir dörtleyici elde etmek için rezonatörler, harmonik tepkileri bastırmak için giriş ve çıkış besleme hatlarına göre uygun şekilde yerleştirilmiştir. Her bir rezonatör çifti, belirli bir kanal frekansını bağımsız olarak kontrol ettiğinden ve kanallar arasındaki yükleme etkisi çok küçük olduğu için, önerilen dörtleyici esnek geçiş frekanslarına sahip olabilmektedir [56].

Deng ve arkadaşları tarafından 2015'te yapılan çalışmada dal şeklinde eşleme devreleri kullanılarak mikroşerit dörtleyici önerilmiştir. Her kanal seçiminde bir doğrudan besleme filtresi kullanan dörtleyici tasarımımda, eşleme devreleri, kanal devreleri arasında düşük yükleme etkileri elde etmek için çok önemlidir [57].



## BÖLÜM 2

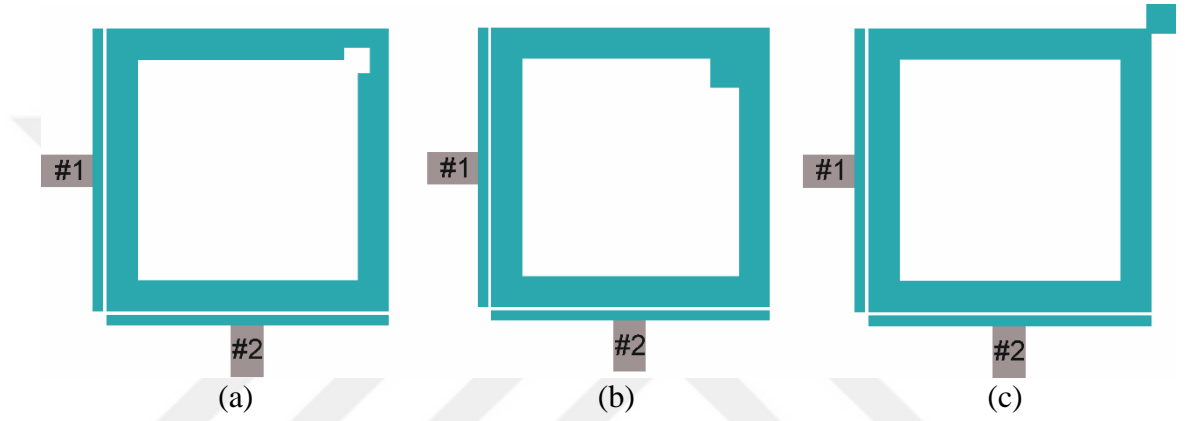
### FİLTRE TASARIMLARI

Bu bölümde çiftleyici ve dörtleyicinin kanallarının oluşturulabilmesi amacıyla tasarlanan filtre konfigürasyonlarına yer verilmektedir. Çiftleyiciler için açık devre sonlandırmalı yan hatlara sahip çift modlu kare halka rezonatörler kullanılarak filtre tasarımları gerçekleştirilmektedir. Dörtleyicilere yönelik filtre tasarımlarında ise kare halka rezonatör gibi davranan kıvrımlı halka rezonatörler kullanılmaktadır. Bu rezonatörler sayesinde, hem giriş ve çıkış portlarına uygun biçimde kuplaj sağlanmakta, hem de minyatürizasyon artırılabilir. Anahtarlanabilme özelliği sağlamak için önerilen rezonatörlerde yer alan pertürbasyon elemanı yerine varaktör diyotlar kullanılmakta, böylece anahtarlanabilir dörtleyici için filtre tasarımı gerçekleştirilmektedir. Bu bölümde ayrıca çift geniş bantlı band geçiren filtre tasarımı da yan hat yüklü rezonatörler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan filtrelerin simülasyonları Tam Dalga Elektromanyetik Simülatör kullanılarak yapılmıştır [58].

#### 2.1. Çift Modlu Kare Halka Rezonatörler

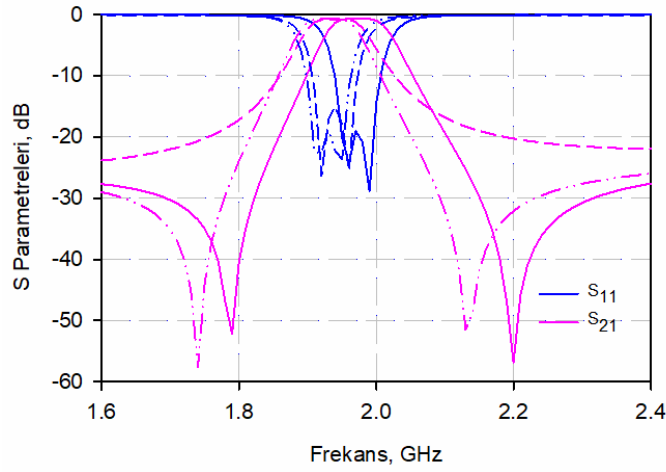
Kablosuz haberleşme sistemlerinde kompakt boyutlarda, yüksek performanslı mikrodalga band geçiren filtreler arzu edildiğinden, çift modlu kare halka rezonatörlere sıklıkla başvurulmaktadır. Bu rezonatörlerin kullandığı çift modlu filtreler, küçük boyut, düşük ağırlık, yüksek kalite faktörü ve düşük kayıp gibi özelliklerinden dolayı dar band filtrelere ihtiyaç duyan kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çift modlu halka rezonatörler kullanılarak tasarlanan filtre veya çoğullayıcılarda, bir adet çift modlu halka rezonatör band içerisinde bir çift iletim kutbunun elde edilmesi için yeterlidir. Bu iletim kutupları rezonatörün dejenere modları olarak da adlandırılır ve rezonatörün simetri eksenine yerleştirilen bir pertürbasyon elemanına bağlı olarak uyarılır [59]. Bu tür filtrelerde iki rezonatörün kullanılması gerekmeceği için, kompakt devre boyutu elde edilebilmektedir. Bugüne dek, çift modlu kare halka rezonatörlerin dejenere modları kullanılarak çeşitli mikroşerit band geçiren filtreler literatüre kazandırılmıştır. Çift modlu kare halka rezonatörün dejenere modları rezonatörün simetri eksenine çeşitli pertürbasyon elemanları ekleyerek veya çıkarılarak uyarılabilir.

Köşe kesim elemanları ve yama elemanları, çift modlu kare halka rezonatörlerin dejenere modlarını uyarmak için gereken çeşitli pertürbasyon türlerine örnektir. Şekil 2.1’de en sık kullanılan pertürbasyon düzenlemeleri gösterilmektedir. Pertürbasyon elemanının boyutu, konumu ve şekli, dejenere modlar arasındaki kuplajın türünü belirlediğinden filtre karakteristiğinin belirlenmesinde etkilidir. Pertürbasyon elemanına sahip olmayan kare halka rezonatörde rezonans frekansında köşelerdeki yük yoğunlukları aynı olacağı için dejenere modlar uyarılamaz [59].



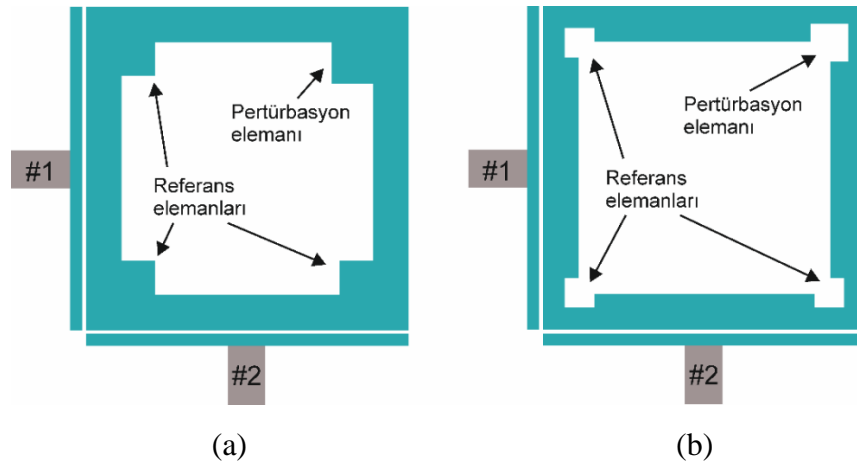
Şekil 2.1. (a) Köşe kesim şeklinde pertürbasyon elemanlı filtre, (b) İç köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtre, (c) Dış köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtre

Çift modlu halka rezonatörde Şekil 2.1.(a)’da görüldüğü gibi simetri ekseninde köşe kesme şeklinde pertürbasyon elemanı kullanıldığında bu pertürbasyon rezonatörde birim uzunluk başına düşen indüktansı arttırmakta bu da dejenere modlar arasında indüktif kuplaj oluşturmaktadır. Şekil 2.1.(b)’deki gibi simetri eksenindeki köşelerden birine yama şeklinde pertürbasyon elemanı eklenirse pertürbasyon elemanı bu köşelerdeki maksimum yük yoğunluğu nedeniyle rezonatörün birim uzunluk başına düşen kapasitansını artırır. Bu artış dejenere modlar arasında kapasitif kuplaj oluşturmaktadır. Ayrıca iletken yama şeklindeki pertürbasyon elemanı mikroşerit halka rezonatörün dış köşesine de bağlanabilir. Çünkü pertürbasyonun şekli her iki durumda da aynı olduğundan kuplaj yapısı değişmeyecek filtre karakteristiği aynı olacaktır [59].



Şekil 2.2. Köşe kesim şeklinde pertürbasyon elemanlı filtreye ait frekans cevabı (Kesikli çizgi), İç köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtreye ait frekans cevabı (düz çizgi), Dış köşede yama şeklinde pertürbasyon elemanlı filtreye ait frekans cevabı (Kesikli noktali çizgi)

Şekil 2.2’de pertürbasyon elemanının türüne göre elde edilen filtre karakteristikleri görülmektedir. Köşe kesme şeklindeki pertürbasyon elemanına sahip mikroşerit halka rezonatör kullanılarak oluşturulan çift modlu filtre lineer faz filtreleme karakteristiği gösterirken, yama şeklinde pertürbasyon elemanına sahip rezonatör kullanılarak gerçekleştirilen filtre eliptik filtreleme karakteristiği sergilemektedir.



Şekil 2.3. (a) Yama elemana sahip çift modlu rezonatör, (b) Köşe kesim elemanlarına sahip çift modlu rezonatör

Görür’ün 2004’te önerdiği yapıda Şekil 2.3’te görüldüğü gibi pertürbasyon elemanı ile aynı tür olacak şekilde giriş ve çıkış portlarından  $45^{\circ}$  uzaklıktaki köşelere de köşe kesim elemanları veya yama elemanlar eklenmiştir. Yeni eklenen bu elemanlar referans



elemanı olarak adlandırılmıştır. Sonuç olarak, tek başına bir pertürbasyon elemanı, kapasitif veya indüktif kuplaj olarak, dejenere modlar arasında sadece tek çeşit kuplaj sağlayabilir. Görür tarafından önerilen düzenlemede ise pertürbasyon elemanının boyutunun referans elemanlardan küçük veya büyük olmasına bağlı olarak çift modlu rezonatörün dejenere modları arasındaki kuplajın türü değiştirilebilir. Böylece pertürbasyon elemanının boyutu değiştirilerek lineer faz veya eliptik filtreleme karakteristikleri elde edilebilir. Şekil 2.3.(a)'da görülen rezonatör yapısında, pertürbasyon elemanının boyutu referans elemanlarının boyutundan büyük olduğunda rezonatör üzerinde kapasitif etki artacağından pertürbasyon elemanı dejenere modlar arasında kapasitif kuplaj oluşturur. Pertürbasyon elemanının boyutu referans elemanlarının boyutundan küçük olduğunda ise rezonatördeki indüktif etkiyi artacağından indüktif kuplaj oluşturur. Şekil 2.3.(b)'deki rezonatörde ise köşe kesimi şeklinde pertürbasyon ve referans elemanları kullanılmıştır. Pertürbasyon elemanının boyutu referans elemanlarının boyutundan büyük olduğunda rezonatör üzerinde indüktif etki artacağından pertürbasyon elemanı dejenere modlar arasında indüktif kuplaj oluşturur. Pertürbasyon elemanının boyutu referans elemanlarının boyutundan küçük olduğunda ise rezonatördeki kapasitif etkiyi artacağından kapasitif kuplaj oluşturur. Görüldüğü gibi her iki rezonatör yapısında da pertürbasyon elemanın boyutuna bağlı olarak kapasitif veya indüktif kuplaj elde edilebilir. Böylece her iki durumda da lineer faz ve eliptik filtreleme karakteristikleri elde edilebilmektedir [59]. Lineer faz ve eliptik filtreleme karakteristiklerinin en önemli farkı ise iletim sıfırlarının varlığıdır. Lineer faz filtreleme karakteristiğinde iletim sıfırları imajiner frekanslarda gözükmemektedir. Ayrıca düz bir grup gecikmesi elde edilebilmektedir. Eliptik filtreleme karakteristiğinde ise reel frekanslarda geçme bandının alt ve üst frekanslarında bir çift iletim sıfırı elde edilebilmektedir. Böylece lineer faza göre daha yüksek seçicilik elde edilebilmektedir.

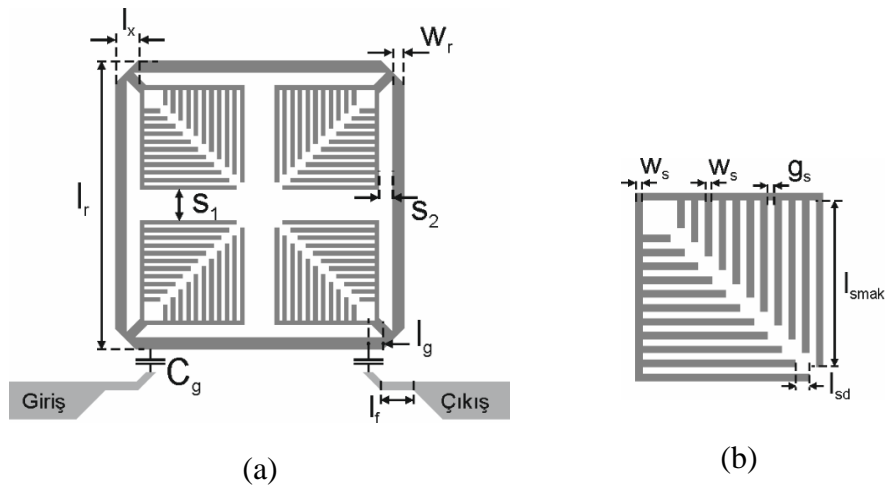
Çift modlu filtrelerin temel yapıtaşını oluşturabilecek bir başka çalışma da Eryılmaz ve arkadaşları tarafından 2008 yılında literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada asimetric frekans cevabına sahip çift modlu mikroserit filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan rezonatörde giriş çıkış portları birbirine dik olmayacak şekilde simetrik olarak bağlanmıştır. Bir başka deyişle, önerilen rezonatör geleneksel çeyrek dalga boyu kare halka rezonatörler gibi davranmamakta, daha farklı dalga boyu değerlerine sahip olmaktadır. Bu rezonatörde dejenere modlar arasındaki negatif veya pozitif kuplaj

pertürbasyon elemanının boyuna göre belirlenebilmektedir. Çift modlu filtreler genel olarak iletim sıfırları ile simetrik frekans cevabı sağlamaktadır. Önerilen yapıda kullanılan pertürbasyon elemanının boyutuna bağlı olarak giriş ve çıkış portunun yerine göre iletim sıfırlarının pozisyonu değiştirilebilmektedir. Küçük pertürbasyon boyutlarında iletim sıfırlarının ikisi de üst durdurma bandında yer alırken, büyük pertürbasyon boyutlarında iletim sıfırlarından biri alt durdurma bandında elde edilmektedir. Böylece iletim sıfırlarının yeri ayarlanarak geçiş bandının altında veya üstünde seçicilik artırılabilir. Bu da çoğullayıcılar için kanallar arası izolasyonun artırılması açısından fayda sağlayabilecek bir durumdur [60].

## 2.2. Mikroşerit Çiftleyiciler İçin Band Geçiren Filtre Tasarımları

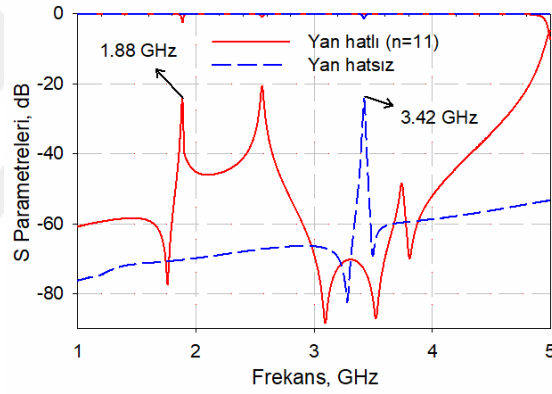
### 2.2.1. Dar yarıklı açık devre sonlandırmalı yan hatlara sahip band geçiren filtreler

Tez kapsamındaki çiftleyici tasarımı için açık devre sonlandırmalı yan hatlara sahip çift modlu kare halka rezonatörler kullanılmaktadır. Söz konusu yan hatlar, hem devre boyutunun minyatürizasyonu, hem de özellikle çoğullayıcı tasarımlarında devre performansı açısından önemli getirilere sahiptir. Şekil 2.4'te önerilen dar yarıklara sahip kare halka rezonatör tasarımı görülmektedir. Tasarımlar, 3.38 bağıl dielektrik sabitine sahip 0.813 mm kalınlığında Rogers 4003C taban malzemesi üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. (a) Mikroşerit çiftleyici için tasarlanan rezonatör, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırmalı yan hattın yapısı

Önerilen rezonatör, giriş ve çıkış portlarına toplu kapasitörler aracılığıyla zayıf bir şekilde kuplajlanmıştır. Şekil 2.4.(a)'da görüldüğü gibi, önerilen rezonatörün köşelerine bağlanmış dört açık devre sonlandırılmış yan hat mevcuttur. Çift modlu rezonatörlere yerleştirilen bu yan hatlar devre boyutunda kompaktlık sağlamaktadır [61,62]. Dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı Şekil 2.4.(b)'de görülmektedir. Dar yarıklar elektriksel uzunluğu arttırarak minyatürizasyon sağlayabilmekte, dolayısıyla rezonans frekansı yarık sayısına bağlı olarak kontrol edilebilmektedir. Şekil 2.5'te, dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmalı yan hatların olup olmasına göre zayıf kuplaj altında frekans cevabı gösterilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi, dar yarıklı yüklü açık devre yan hatlarla, merkez frekansı 3.42 GHz'den 1.88 GHz'e kadar düşürülebilmektedir.



Şekil 2.5. Zayıf kuplaj altında rezonatöre ait frekans cevabı ( $C_g$  kapasitans değeri 0.1 pF)

Dar yarıkların sayısının zayıf kuplaj altında rezonans frekansı üzerindeki etkisi Şekil 2.6'da görülmektedir. Dikkat edileceği üzere, dar yarık sayısı artarken, geçiş bandının merkez frekansının düşürülebileceği görülmektedir. Şekil 2.4'te verilen rezonatör yapısına pertürbasyon elemanı ekleyerek ve gerekli toplu kapasitörleri kullanarak band geçiren filtre yapısı elde edilebilmektedir.



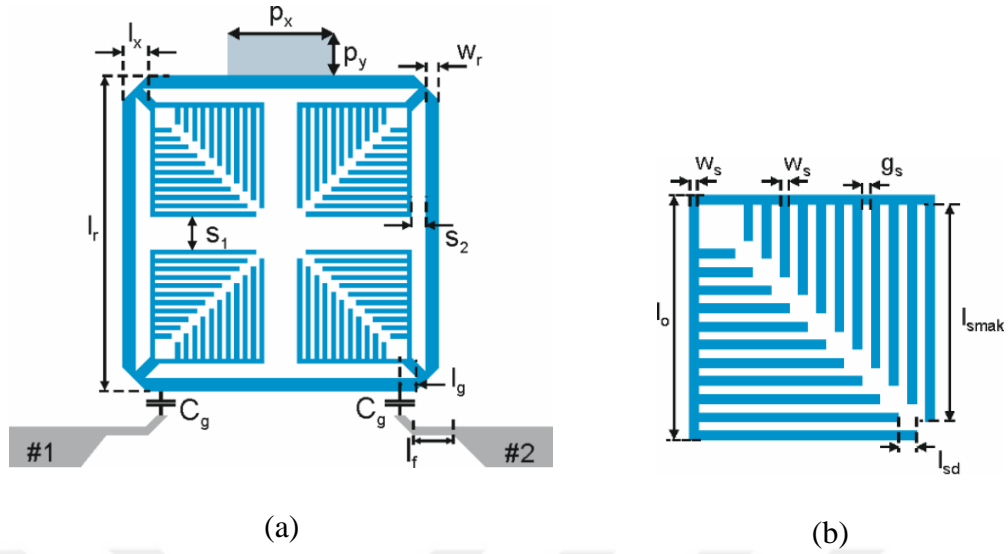
Şekil 2.6. Dar yarık sayısına göre frekans cevabı değişimi

### 2.2.1.1. Çiftleyicinin birinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı

Mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı Şekil 2.7.(a)'da görülmektedir. Şekil 2.7.(b)'de ise dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmalı yan hattın yakından görünümü mevcuttur. Rezonatör boyutu ve açık devre yan hatlardaki dar yarık sayısı sayesinde geçme bandının merkez frekansı 1.8 GHz olacak şekilde ayarlanmıştır. Filtrede rezonatörün beslemesi için kullanılan  $C_g$  kapasitans değeri 0.75 pF'dır. Ayrıca rezonatörün simetri ekseninde bir yama pertürbasyon elemanı kullanılarak dejenere modlar arasında kapasitif kuplaj oluşturulmakta, böylece eliptik filtreleme karakteristiği elde edilmektedir. Dejenere modlar arasındaki kuplaj mod frekanslarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir [63].

$$k = \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2 + f_2^2} \quad (2.1)$$

Burada  $f_1$  ve  $f_2$  sırasıyla modlara ait alt ve üst rezonans frekanslarını ifade etmektedir.



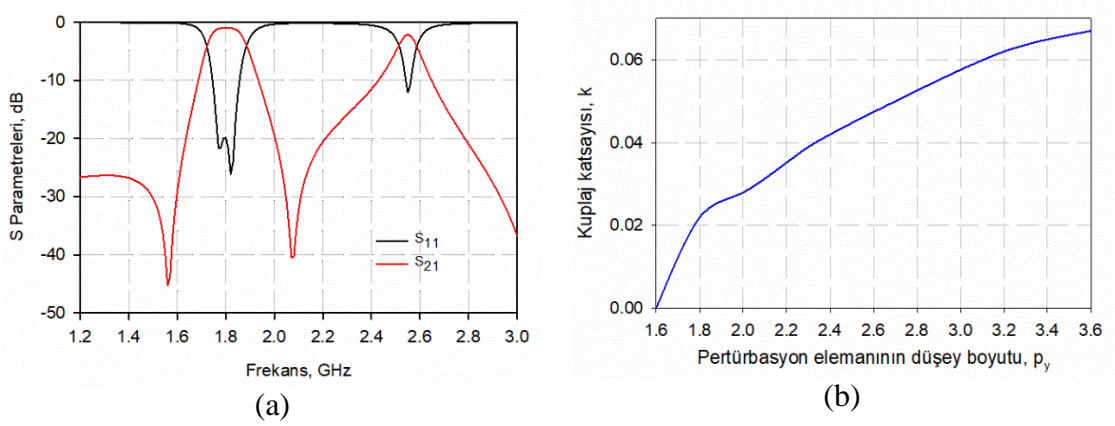
Şekil 2.7. (a) Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre , (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırmalı yan hattın yapısı

Şekil 2.7’de görülen boyutlandırmalara ait tüm uzunluklar Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_r$	$l_x$	$l_g$	$l_f$	$l_o$	$l_{smak}$	$l_{sd}$	$w_r$
15	1.2	0.7	1.9	5.4	4.8	0.4	0.6
$w_s$	$g_s$	$s_1$	$s_2$	$p_x$	$p_y$		
0.2	0.2	1.6	0.7	5.0	2.0		

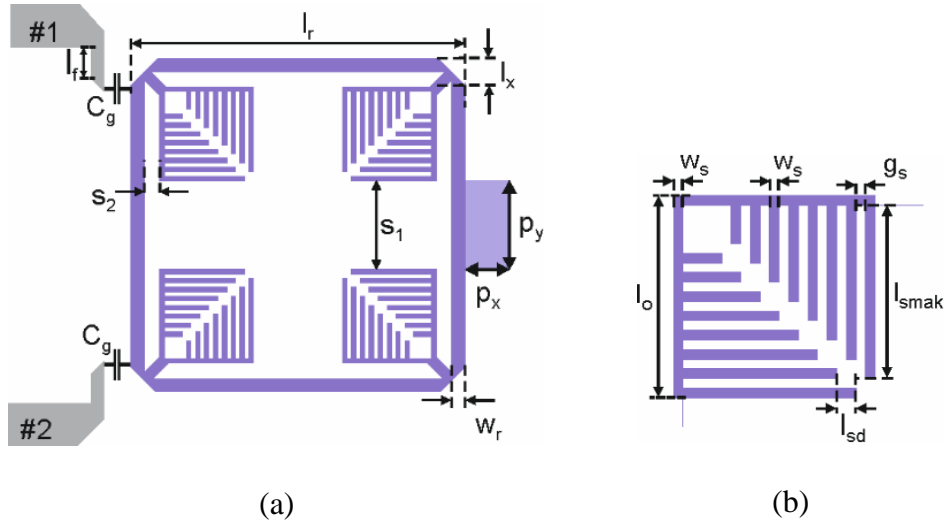
Şekil 2.8.(a)’da çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanmış filtreye ait frekans cevabı görülmektedir. Bandın merkez frekansı 1.8 GHz’dir. Frekans cevabında araya girme kaybı 0.98 dB, geri dönüş kaybı ise 19.86 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 2.8.(b)’de filtrenin mod frekansları arasındaki kupa katsayısının pertürbasyon boyutuna göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.8. (a) Mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi

### 2.2.1.2. Çiftleyicinin ikinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı

Mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtre yapısı Şekil 2.9.(a)'da görülmektedir. Şekil 2.9.(b)'de ise dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı görülmektedir. Rezonatör boyutu ve yan hatlardaki dar yarık sayısı sayesinde geçme bandının merkez frekansı 2.1 GHz olacak şekilde ayarlanmıştır. Filtrede rezonatörün beslemesi için kullanılan  $C_g$  kapasitans değeri 0.6 pF'dır.



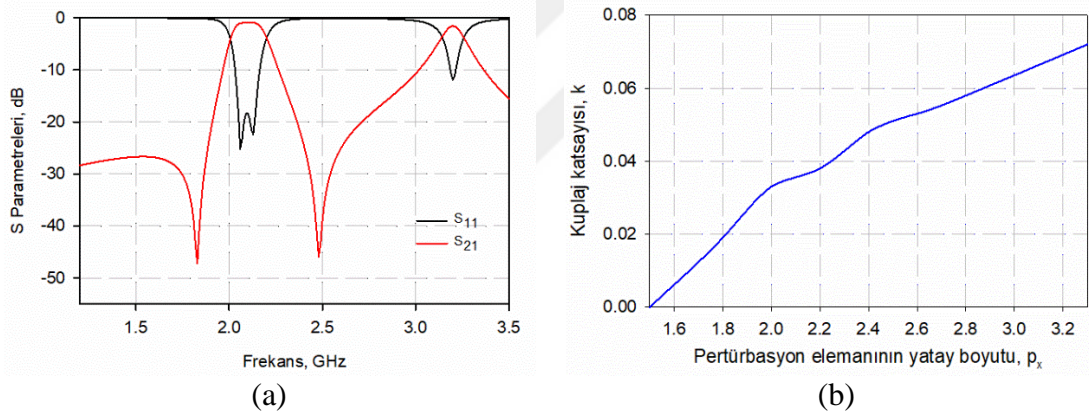
Şekil 2.9. (a) İkinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı

Şekil 2.9'da görülen boyutlandırmalara ait tüm uzunluklar Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_r$	$l_x$	$l_f$	$l_o$	$l_{smak}$	$l_{sd}$	$w_r$	$w_s$
15.0	1.2	1.4	4.2	3.6	0.4	0.6	0.2
$g_s$	$s_1$	$s_2$	$p_x$	$p_y$			
0.2	4.0	0.7	2.0	4.0			

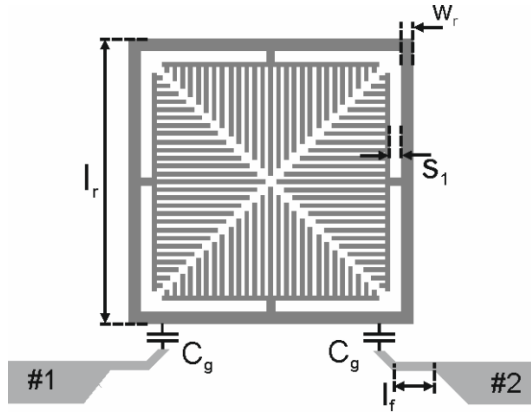
Şekil 2.10.(a)'da çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanmış filtreye ait frekans cevabı görülmektedir. Bandın merkez frekansı 2.1 GHz'dir. Frekans cevabında araya girme kaybı 0.9 dB, geri dönüş kaybı ise 18.34 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 2.10.(b)'de filtrenin mod frekansları arasındaki kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutuna göre değişimi görülmektedir.



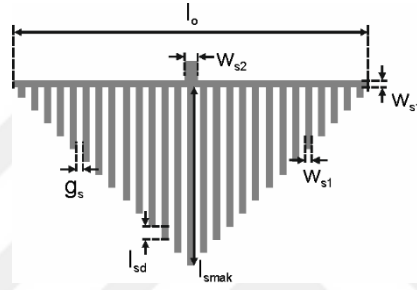
Şekil 2.10. (a) Mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi

### 2.2.2. Üst tutma bandı temiz mikroşerit band geçiren filtreler

Şekil 2.11.(a)'da band dışı reddetme seviyesini artırmak için tasarlanan rezonatör yapısı görülmektedir. Bölüm 2.2.1 de verilen rezonatörde açık devre yan hatlar kuplaj kapasitörlerinin bağlı olduğu noktalarda yani çıkış portundan  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$ 'de bağlı olduğundan geçiş bandının harmoniği olarak bir çentik bandı oluşmaktaydı. Bu bölümde verilen rezonatörde açık devre yan hatları çıkış portundan  $45^{\circ}$ - $135^{\circ}$ - $225^{\circ}$ - $315^{\circ}$  mesafede bağlayarak üst tutma bandında oluşan harmonik bastırılmış, böylece üst tutma bandı temiz frekans cevabına sahip filtre elde edilmiştir [61]. Tasarımlar, 3.38 bağlı dielektrik sabitine sahip 0.813 mm kalınlığında Rogers 4003C taban malzemesi üzerinde gerçekleştirilmiştir.



(a)



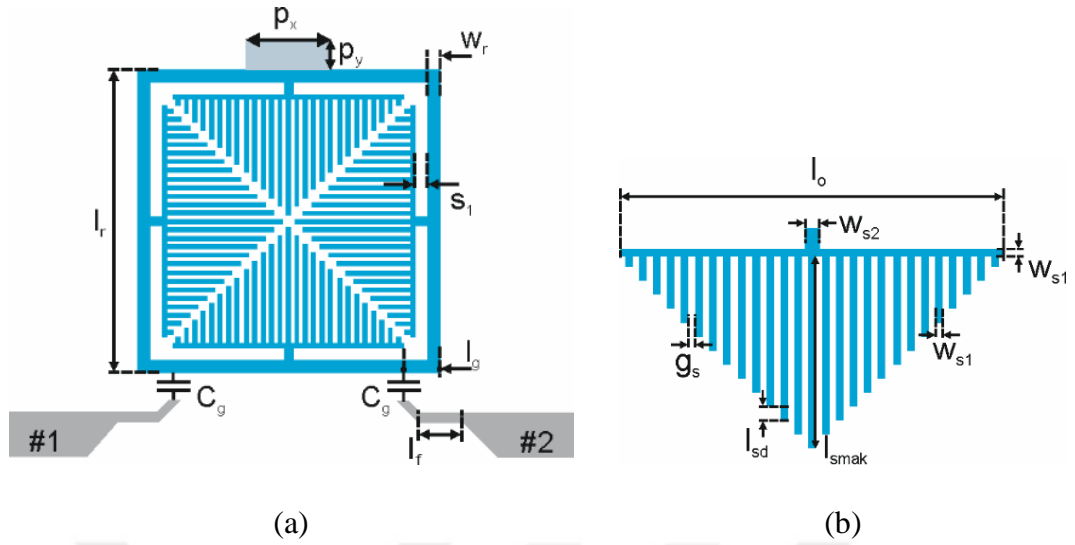
(b)

Şekil 2.11. (a) Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyici için tasarlanan rezonatör, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı

### 2.2.2.1. Üst tutma bandı temiz çiftleyicinin birinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı

Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtre yapısı Şekil 2.12.(a)'da görülmektedir. Şekil 2.12.(b)'de ise dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı görülmektedir. Rezonatör boyutu ve yan hatlardaki dar yarık sayısı sayesinde geçme bandının merkez frekansı 1.8 GHz olacak şekilde ayarlanmıştır. Filtrede rezonatörün beslemesi için kullanılan  $C_g$  kapasitans değeri 0.75 pF'dır.





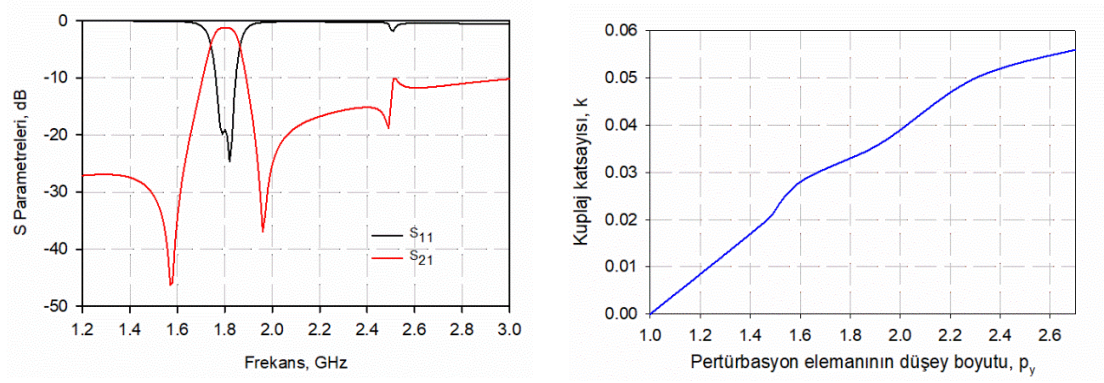
Şekil 2.12. (a) Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı

Şekil 2.12’de görülen boyutlandırmalara ait tüm uzunluklar Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3. Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_r$	$l_o$	$l_g$	$l_f$	$l_{smak}$	$l_{sd}$	$w_r$	$w_{s1}$
14.4	11.0	1.7	2.1	5.5	0.4	0.6	0.2
$w_{s2}$	$g_s$	$s_1$	$p_x$	$p_y$			
0.4	0.2	0.6	4.0	1.4			

Şekil 2.13.(a)’da çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanmış band geçiren filtreye ait frekans cevabı görülmektedir. Bandın merkez frekansı 1.8 GHz’dir. Frekans cevabında araya girme kaybı 1.23 dB, geri dönüş kaybı ise 19.09 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 2.13.(b)’de filtrenin mod frekansları arasındaki kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutuna göre değişimi görülmektedir.



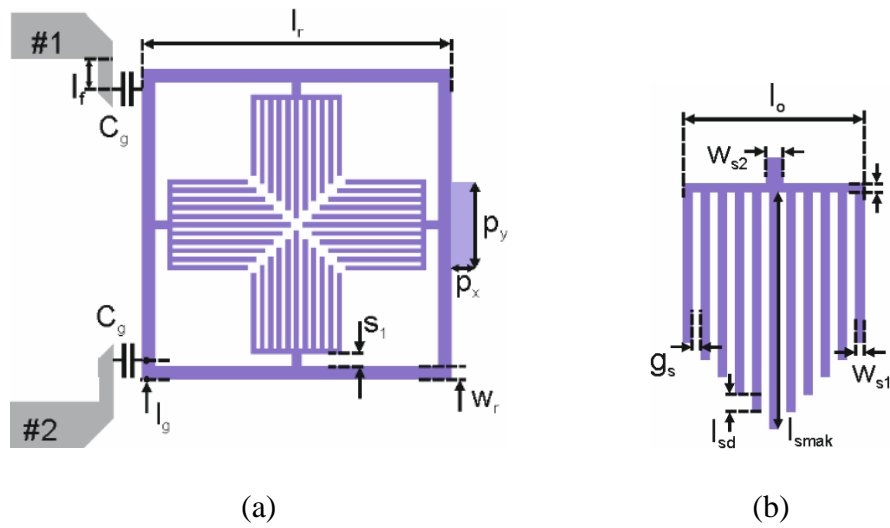
(a)

(b)

Şekil 2.13. (a) Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi

#### 2.2.2.2. Üst tutma bandı temiz çiftleyicinin ikinci kanalı için band geçiren filtre tasarımı

Mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtre yapısı Şekil 2.14.(a)'da görülmektedir. Şekil 2.14.(b)'de ise dar yarıklara sahip açık devre yan hattın yapısı görülmektedir. Rezonatör boyutu ve açık devre yan hatlardaki dar yarık sayısı bandın merkez frekansı 2.1 GHz olacak şekilde ayarlanmıştır. Filtrede rezonatörün beslemesi için kullanılan  $C_g$  kapasitans değeri 0.6 pF'dır.



(a)

(b)

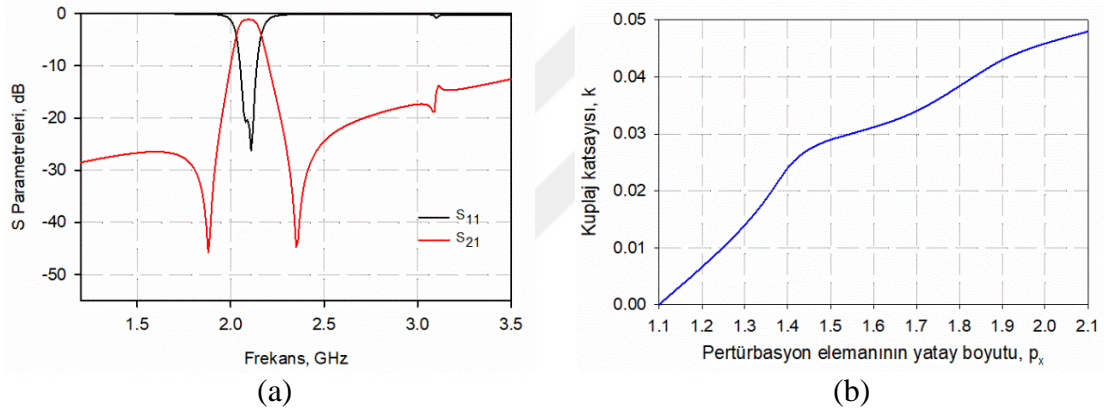
Şekil 2.14. (a) İkinci kanal için tasarlanan band geçiren filtre yapısı, (b) Dar yarıklı açık devre sonlandırılmalı yan hattın yapısı

Şekil 2.14'te görülen boyutlandırılmalara ait tüm uzunluklar Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_r$	$l_o$	$l_g$	$l_f$	$l_{smak}$	$l_{sd}$	$w_r$	$w_{s1}$
14.4	4.2	0.9	1.8	5.5	0.4	0.6	0.2
$w_{s2}$	$g_s$	$s_1$	$p_x$	$p_y$			
0.4	0.2	0.6	1.3	4.0			

Şekil 2.15.(a)'da üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanmış filtreye ait frekans cevabı görülmektedir. Bandın merkez frekansı 2.1 GHz'dir. Frekans cevabında araya girme kaybı 1.12 dB, geri dönüş kaybı ise 20.32 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 2.15.(b)'de filtrenin mod frekansları arasındaki kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutuna göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.15. (a) Üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı, (b) Kuplaj katsayısının pertürbasyon boyutu ile değişimi

### 2.3. Mikroşerit Dörtleyiciler İçin Band Geçiren Filtre Tasarımları

Bu bölümde dörtleyiciler için çift modlu kıvrımlı halka rezonatörler kullanılarak band geçiren filtre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Dörtleyicinin kanalları için 1.8 GHz, 2.1 GHz, 2.4 GHz ve 2.7 GHz merkez frekansına sahip olacak şekilde dört farklı elektriksel uzunlukta band geçiren filtreler tasarlanmıştır. Kıvrımlı halka rezonatörde kullanılan pertürbasyon elemanının yerine varaktör diyot kullanarak anahtarlanabilir dörtleyiciler için yine aynı merkez frekanslarına sahip anahtarlanabilir band geçiren filtreler tasarlanmıştır. Filtre tasarımlarında kullanılan kıvrımlı halka rezonatörler ayrıca dalga boyu açısından çeyrek dalga boylu rezonatörlerdir. Bu rezonatörlerin boyutu yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [63].

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.2)$$

$$\text{Rezonatör boyutu} = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.3)$$

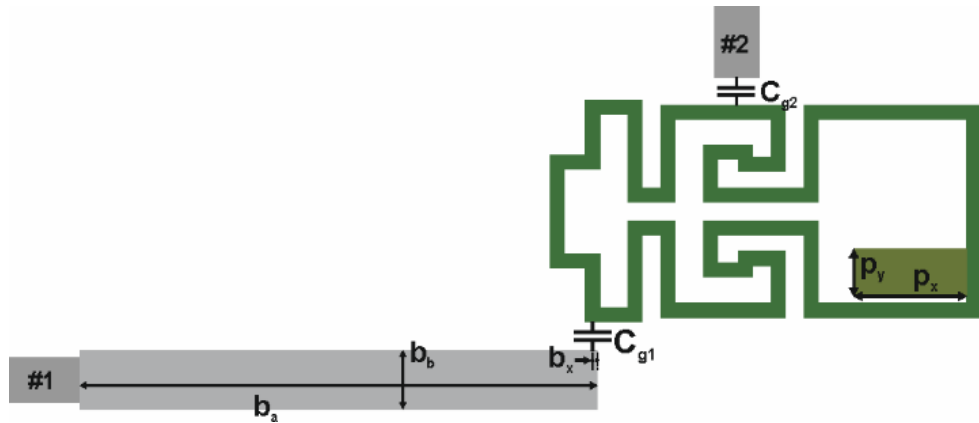
Burada  $\lambda_g$ , çalışma frekansındaki dalga boyunu,  $c$  ışık hızını,  $\epsilon_{eff}$  etkin dielektrik sabitini ifade etmektedir.

### 2.3.1. Anahtarlanabilir özelliğe sahip olmayan dörtleyici için band geçiren filtre tasarımı

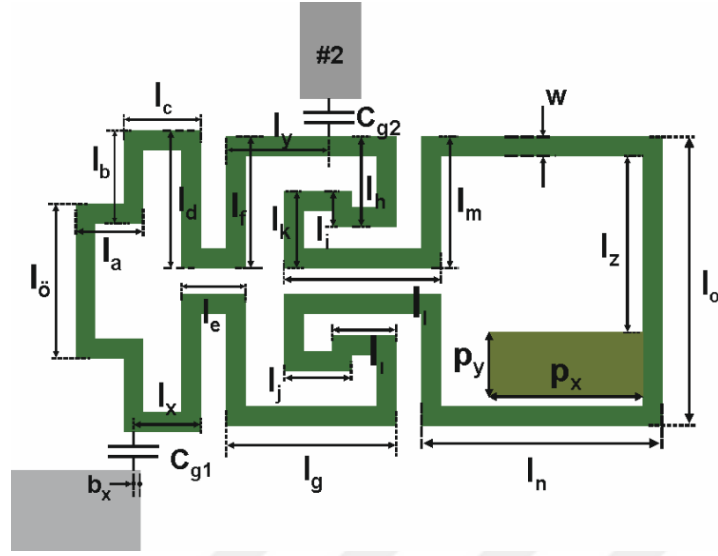
Bölüm 2.1’de anlatılan çift modlu kare halka rezonatörler tasarlanan dörtleyicide giriş ve çıkış portlarına uygun biçimde kuplajın sağlanması ve devre boyutunun küçültülerek minyatürizasyonun sağlanması için kıvrımlı hale getirilmiştir. Kare halka rezonatörde olduğu gibi kıvrımlı halka rezonatörde kullanılan pertürbasyon elemanı sayesinde dejenere modlar uyarılmış ve band geçiren filtre cevabı elde edilmiştir.

#### 2.3.1.1. Birinci kanal için band geçiren filtre tasarımı

Şekil 2.16’da anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı görülmektedir. Şekil 2.17’de ise filtreyi meydana getiren rezonatör yapısının ayrıntılı boyutlandırması verilmiştir. Bu boyutlandırmaya ait uzunluklar Tablo 2.5’te verilmiştir. Rezonatör  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitörleri yardımıyla beslenmiştir. Bu kapasitör değerleri sırasıyla 0.45 pF ve 0.55 pF’dir.



Şekil 2.16. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı

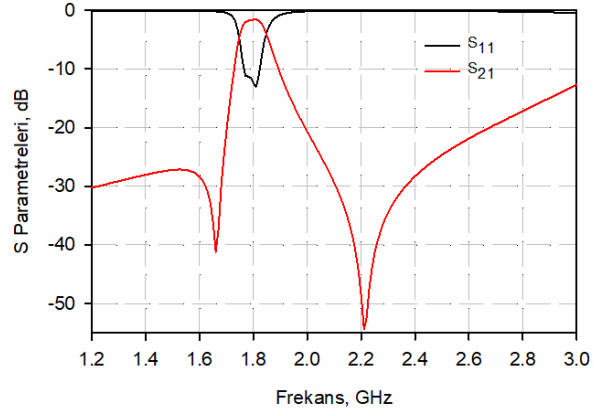


Şekil 2.17. Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması

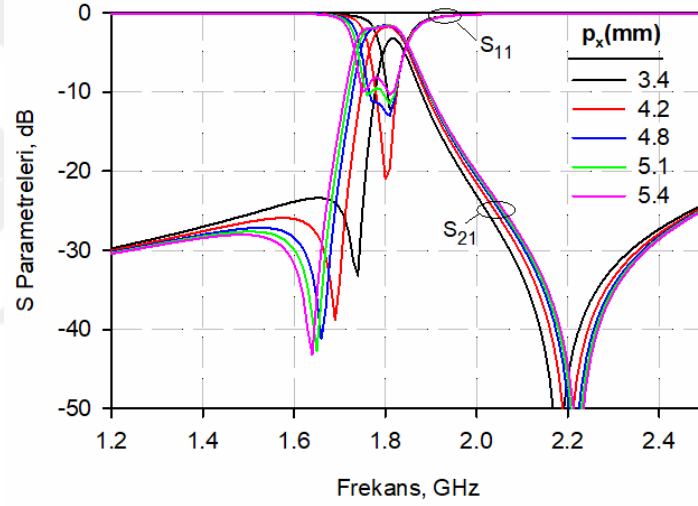
Tablo 2.5. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$
2.1	2.9	2.4	4.0	2.0	3.8	5.3	2.8	2.0
$l_i$	$l_j$	$l_k$	$l_l$	$l_m$	$l_n$	$l_o$	$l_ö$	$l_x$
1.1	2.0	2.4	4.8	4.1	7.5	9.0	4.8	2.1
$l_y$	$l_z$	$p_x$	$p_y$	$w$	$b_x$	$b_a$	$b_b$	
3.2	5.5	4.8	2.0	0.6	0.2	22	2.5	

Şekil 2.18’de anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtrenin frekans cevabı görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere filtre eliptik frekans cevabına sahiptir. Elde edilen filtre cevabına göre araya girme kaybı 1.56 dB, geri dönüş kaybı ise 11.54 dB olarak elde edilmiştir. Filtre pertürbasyon boyutundaki değişikliğe göre band genişliği açısından kontrol edilebilmektedir. Şekil 2.19’da bu kontrol işlemi gösterilmektedir. Kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 3.19 dB ile 1.56 dB arasında değişmektedir. Geri dönüş kaybı ise 8.1 dB ile 21 dB arasında değişmektedir. Filtreye ait band genişliği 48 MHz ile 117 MHz arasında kontrol edilebilmektedir.



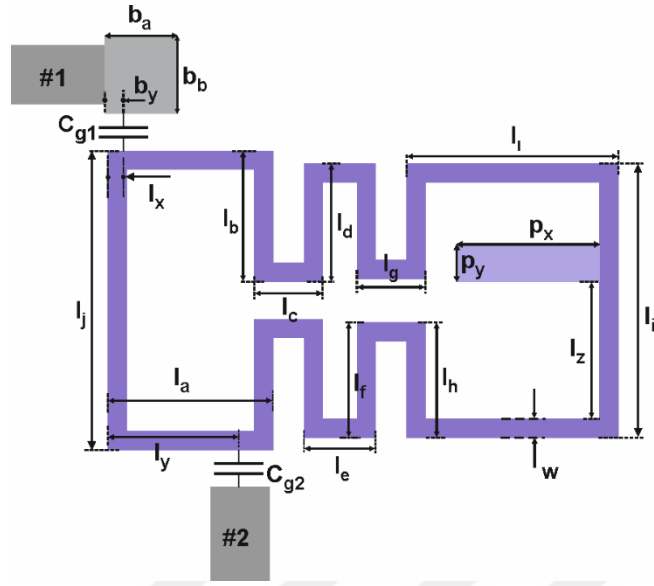
Şekil 2.18. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı



Şekil 2.19. Birinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

### 2.3.1.2. İkinci kanal için band geçiren filtre tasarımı

Şekil 2.20'de anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı görülmektedir. Filtrenin boyutlandırmasına ait uzunluklar Tablo 2.6'da verilmiştir.  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitör değerleri sırasıyla 0.6 pF ve 0.5 pF'dır.

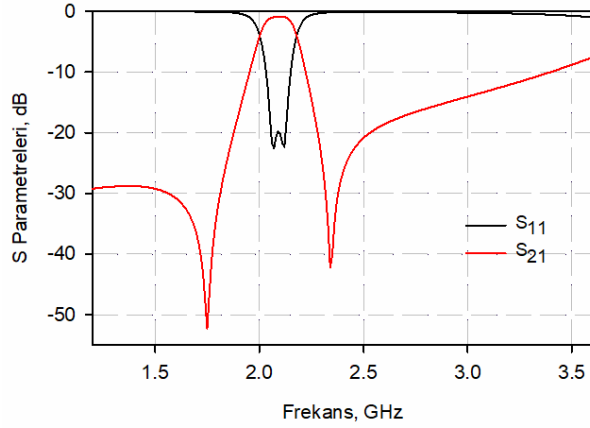


Şekil 2.20. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı

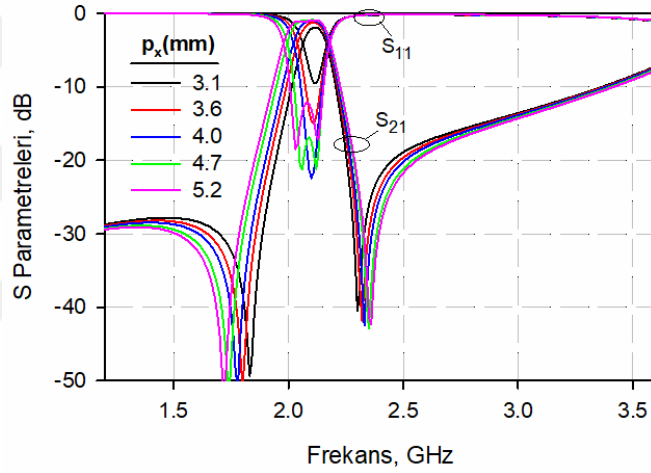
Tablo 2.6. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$
5.3	4.2	2.2	3.8	2.3	3.6	2.2	3.6	6.8
$l_i$	$l_j$	$l_x$	$l_y$	$l_z$	$p_x$	$p_y$	$w$	$b_y$
8.8	9.6	0.5	4.2	4.4	4.5	1.2	0.6	0.6
$b_a$	$b_b$							
1.9	2.5							

Şekil 2.21’de anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtrenin frekans cevabı görülmektedir. Tasarlanan fitrede araya girme kaybı 0.87 dB, geri dönüş kaybı ise 19.78 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 2.22’de pertürbasyon boyutundaki değişikliğe göre band genişliği açısından kontrol işlemi gösterilmektedir. Kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 1.88 dB ile 0.87 dB arasında değişmektedir. Geri dönüş kaybı ise 9.51 dB ile 22.43 dB arasında değişmektedir. Pertürbasyon boyutundaki değişimle bandın band genişliği 104 MHz ile 203 MHz arasında kontrol edilebilmektedir.



Şekil 2.21. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı

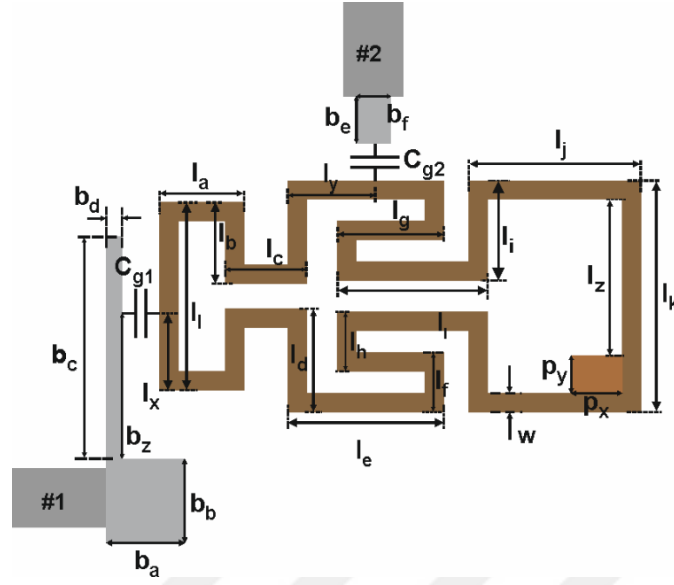


Şekil 2.22. İkinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

### 2.3.1.3. Üçüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı

Şekil 2.23'te anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan filtre yapısı görülmektedir. Filtrenin boyutlandırmasına ait uzunluklar Tablo 2.7'de verilmiştir. Rezonatör  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitörleri yardımıyla beslenmektedir. Bu kapasitör değerleri sırasıyla 0.3 pF ve 0.3 pF'dır.



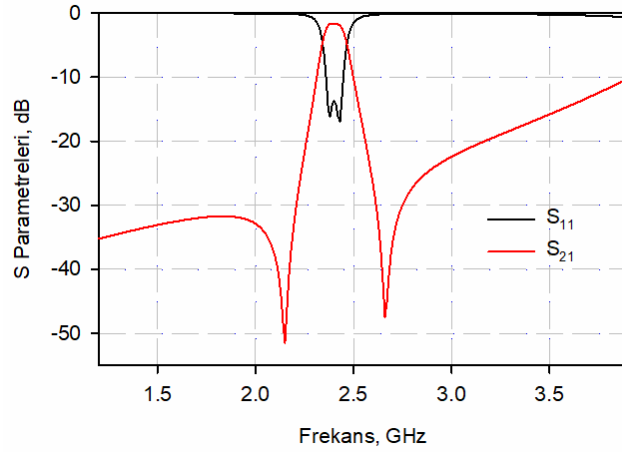


Şekil 2.23. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı

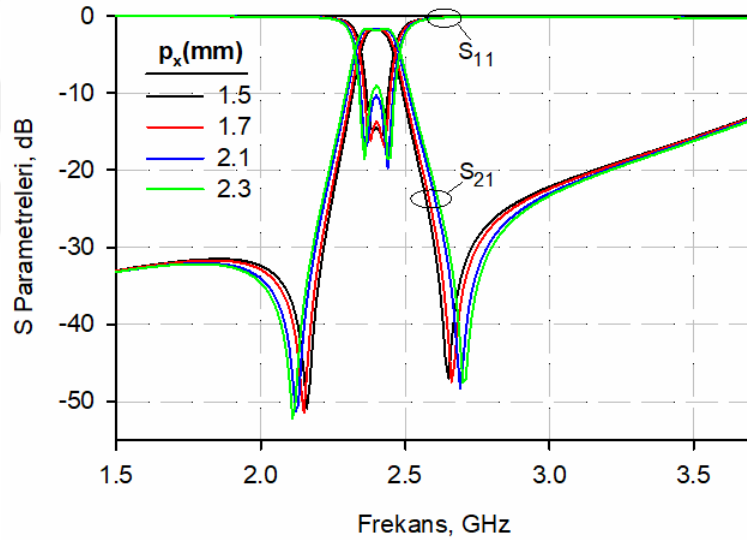
Tablo 2.7. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$
2.7	2.6	2.6	3.3	5.0	1.9	3.4	1.9	4.8
$l_j$	$l_k$	$l_l$	$l_x$	$l_y$	$l_z$	$p_x$	$p_y$	
3.2	5.5	7.4	6.0	2.4	2.8	5.0	1.7	1.2
$w$	$b_a$	$b_b$	$b_c$	$b_d$	$b_e$	$b_f$	$b_z$	
0.6	1.9	2.5	7.1	0.5	1.5	1.1	4.6	

Şekil 2.24'te anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan filtrenin frekans cevabı görülmektedir. Band içerisindeki araya girme kaybı 1.65 dB, geri dönüş kaybı ise 13.62 dB olarak elde edilmiştir. Filtre pertürbasyon boyutundaki değişikliğe göre band genişliği açısından kontrol edilebilmektedir. Şekil 2.25'te band genişliği açısından kontrol işlemi görülmektedir. Kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 1.83 dB ile 1.75 dB arasında elde edilmiştir. Geri dönüş kaybı ise 9.08 dB ile 14.5 dB arasında değişmektedir. Band genişliği 48 MHz ile 157 MHz arasında kontrol edilebilmektedir.



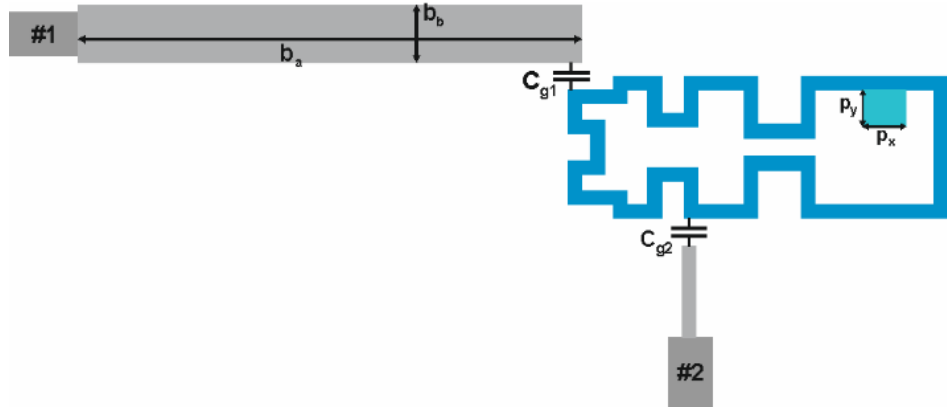
Şekil 2.24. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı



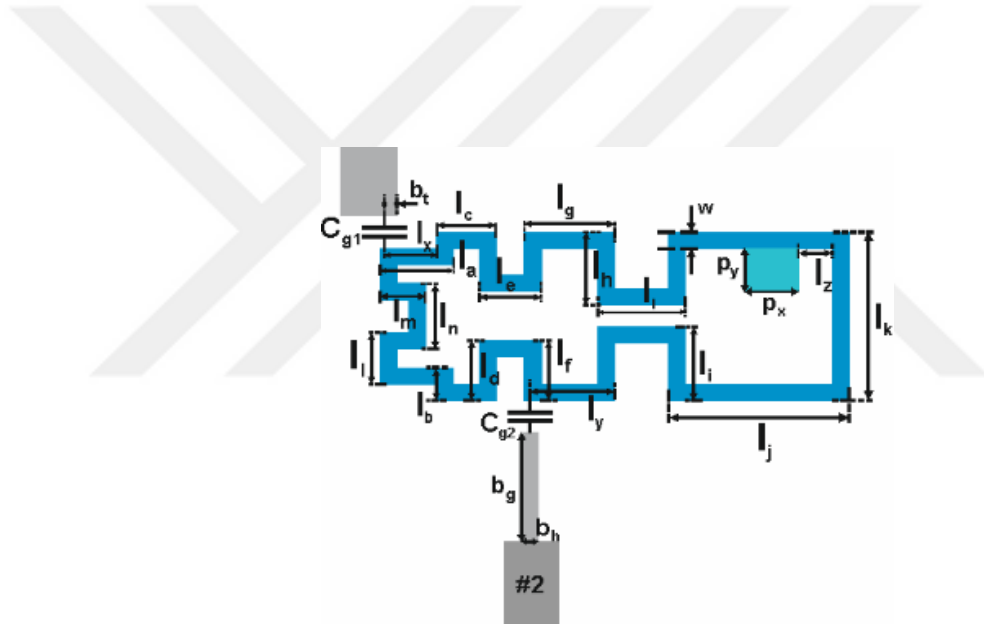
Şekil 2.25. Üçüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

#### 2.3.1.4. Dördüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı

Şekil 2.26'da anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı görülmektedir. Şekil 2.27'de ise filtreyi meydana getiren rezonatör yapısının ayrıntılı boyutlandırması verilmiştir. Bu boyutlandırmaya ait uzunluklar Tablo 2.8'de verilmiştir. Rezonatör  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitörleri yardımıyla beslenmektedir. Bu kapasitör değerleri sırasıyla 0.4 pF ve 0.3 pF'dır.



Şekil 2.26. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı

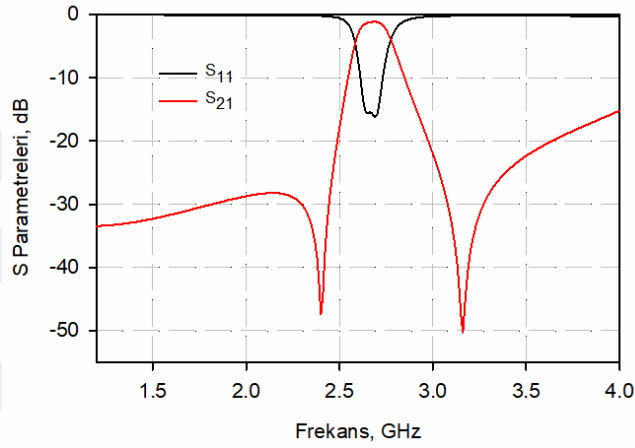


Şekil 2.27. Dördüncü kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması

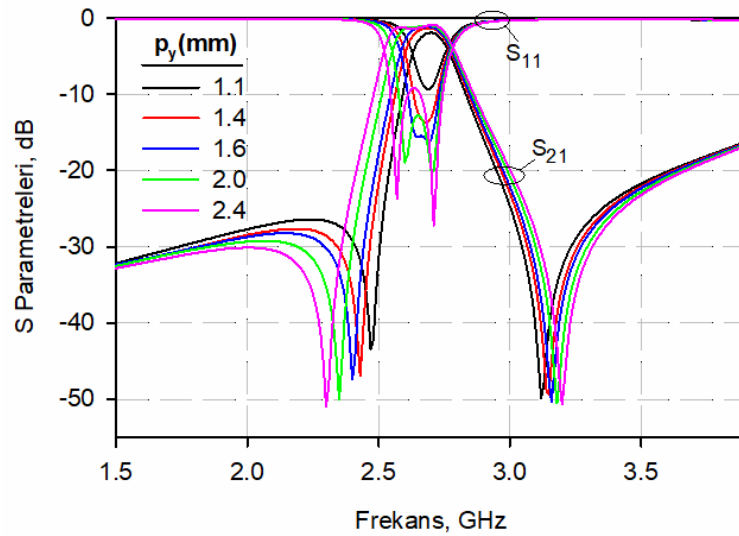
Tablo 2.8. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$
2.6	1.2	2.1	2.4	2.2	2.4	3.2	2.7	3.1
$l_i$	$l_j$	$l_k$	$l_l$	$l_m$	$l_n$	$l_x$	$l_y$	$l_z$
2.7	6.5	6.2	1.9	1.6	2.4	1.8	3.0	1.3
$p_x$	$p_y$	$w$	$b_a$	$b_b$	$b_t$	$b_g$	$b_h$	
1.9	1.6	0.6	22.0	2.5	0.4	4.0	0.6	

Şekil 2.28’de anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait frekans cevabı görülmektedir. Elde edilen filtre cevabına göre araya girme kaybı 1.15 dB, geri dönüş kaybı ise 15.53 dB’dir. Filtrenin pertürbasyon boyutundaki değişikliğe göre band genişliği açısından kontrolü Şekil 2.29’da gösterilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 1.9 dB ile 0.96 dB arasında değişmektedir. Geri dönüş kaybı ise 9.34 dB ile 15.53 dB arasında değişmektedir. Filtreye ait band genişliği 132 MHz ile 262 MHz arasında kontrol edilebilmektedir.



Şekil 2.28. Anahtarlanabilme özelliğine sahip olmayan dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtrenin cevabı



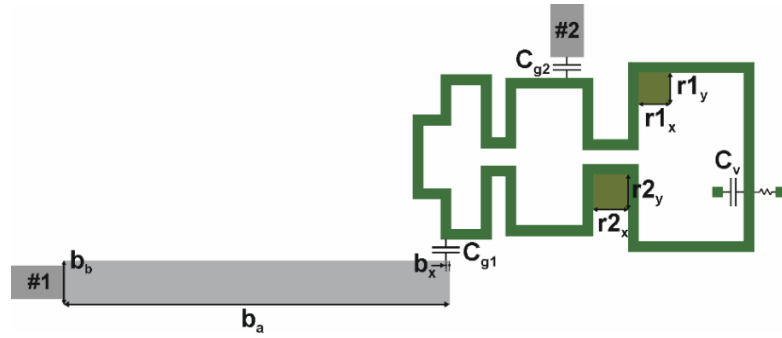
Şekil 2.29. Dördüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

### 2.3.2. Anahtarlanabilir dörtleyici için band geçiren filtre tasarımı

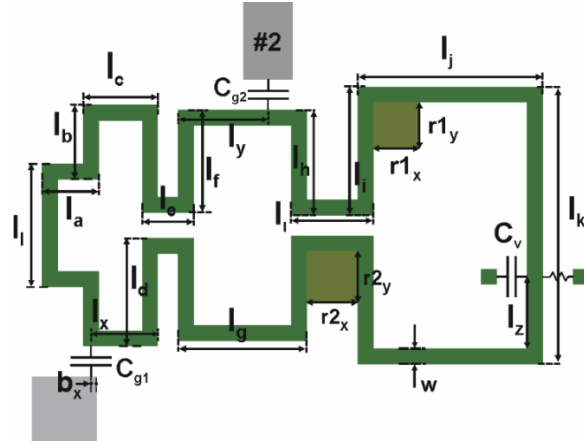
Dörtleyiciye anahtarlanabilme özelliği sağlamak için Bölüm 2.3.1’de verilen çift modlu kıvrımlı halka rezonatörlerde dejenere modları uyarmak için yer alan pertürbasyon elemanı yerine varaktör diyotların kullanılması mümkündür. Böylece anahtarlanabilir dörtleyici için filtre tasarımı gerçekleştirilebilir. Varaktör diyotun değiştirilebilir kapasitans değerlerine bağlı olarak rezonatörün dejenere modlarının kontrol edilebilmesi, böylece belli bir kapasitans değerinde filtrede anahtarlama sağlanabilmesi mümkündür. Bu kapsamda varaktör diyodun belirli bir kapasitans değeri aralığında filtrenin band genişliği kontrolü de gerçekleştirilebilir.

#### 2.3.2.1. Birinci kanal için band geçiren filtre tasarımı

Anahtarlanabilir dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtre yapısı Şekil 2.30’da görülmektedir. Şekil 2.31’de ise filtreye ait ayrıntılı boyutlandırma verilmiştir. Rezonatör boyutu bandın merkez frekansı 1.8 GHz olacak şekilde ayarlanmıştır. Dörtleyicinin birinci kanalını oluşturacak olan bu rezonatörün dörtleyicide bulunduğu yerden dolayı besleme için uzun bir iletim hattı kullanılmıştır. Rezonatör  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitörleri yardımıyla beslenmiştir. Bu kapasitör değerleri sırasıyla 0.4 pF ve 0.5 pF’dir.



Şekil 2.30. Anahtarlanabilir dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı



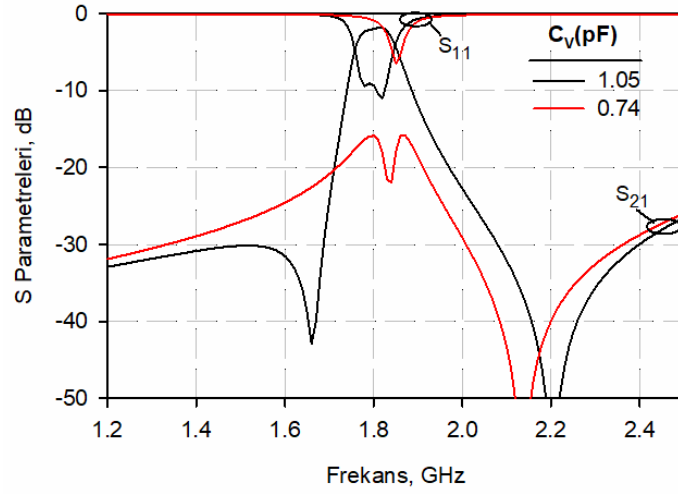
Şekil 2.31. Birinci kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması

Tablo 2.9’da, Şekil 2.30 ve Şekil 2.31’de verilen boyutlandırmalara ait uzunluklar verilmiştir.

Tablo 2.9. Anahtarlanabilir dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

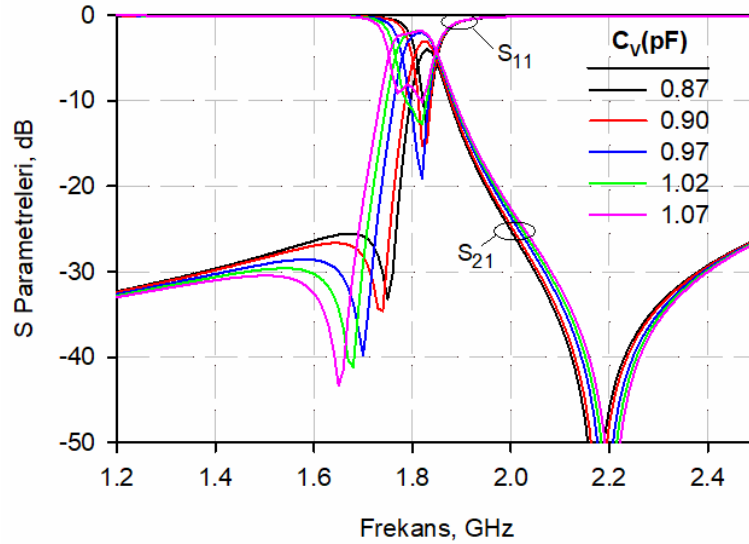
$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$	$l_j$
2.2	2.9	2.9	3.9	2.0	3.7	5.0	4.1	3.2	5.0
$l_j$	$l_k$	$l_l$	$l_x$	$l_y$	$l_z$	$w$	$r1_x$	$r1_y$	$r2_x$
7.2	10.8	4.8	2.6	3.5	2.8	0.6	1.8	1.8	2.0
$r2_y$	$b_a$	$b_b$	$b_x$						
2.0	22.0	2.5	0.2						

Şekil 2.32’de anahtarlanabilir dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanmış band geçiren filtreye ait anahtarlama işlemi frekans cevabı verilmiştir. Filtredeki varaktör diyodun kapasitans değeri 1.05 pF iken banda ait araya girme kaybı 1.84 dB, geri dönüş kaybı ise 9.06 dB olarak elde edilmiştir. Varaktör diyoda ait kapasitans değeri 0.74 pF yapıldığında bandın anahtarlama işlemi gerçekleşmektedir. Anahtarlama sırasında 15.76 dB band reddetme seviyesi elde edilmiştir.



Şekil 2.32. Birinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği

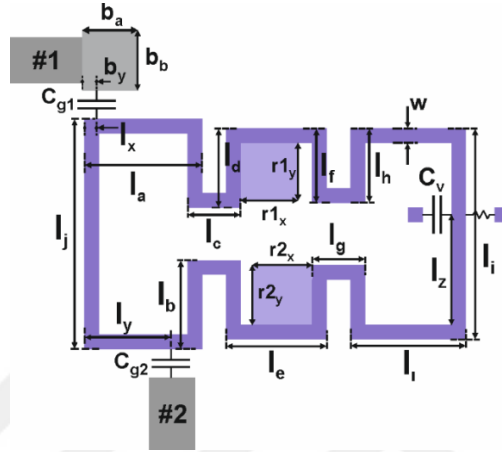
Şekil 2.33'te anahtarlanabilir dörtleyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtreye ait varaktör diyodun kapasitans değişimine göre bandın band genişliği açısından kontrolü görülmektedir. Varaktör diyot kapasitansı 0.87 pF ile 1.07 pF arasında değiştirilerek band genişliği 37 MHz ile 96 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 3.95 dB ile 1.96 dB arasında elde edilmiştir. Geri dönüş kaybı ise 8.1 dB ile 19.1 dB arasında değişmektedir.



Şekil 2.33. Birinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

### 2.3.2.2. İkinci kanal için band geçiren filtre tasarımı

Anahtarlanabilir dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtre yapısı Şekil 2.34'te görülmektedir. Rezonatör boyutu bandın merkez frekansı 2.1 GHz olacak şekilde ayarlanmıştır.  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitör değerleri sırasıyla 0.5 pF ve 0.45 pF'dır.



Şekil 2.34. Anahtarlanabilir dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı

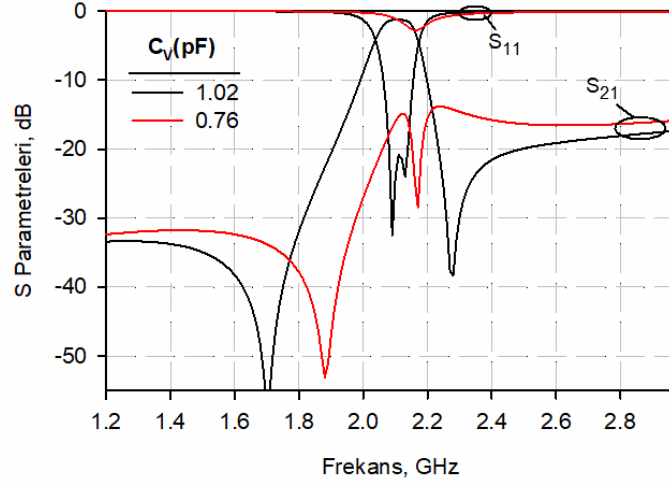
Tablo 2.10'da Şekil 2.34'te verilen boyutlandırmalara ait uzunluklar verilmiştir.

Tablo 2.10. Anahtarlanabilir dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$	$l_j$
4.9	3.7	2.3	3.3	4.2	3.1	2.2	3.1	4.8	8.8
$l_j$	$l_x$	$l_y$	$l_z$	$w$	$r1_x$	$r1_y$	$r2_x$	$r2_y$	$b_a$
9.6	0.5	3.6	4.6	0.6	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4
$b_b$	$b_y$								
2.5	0.6								

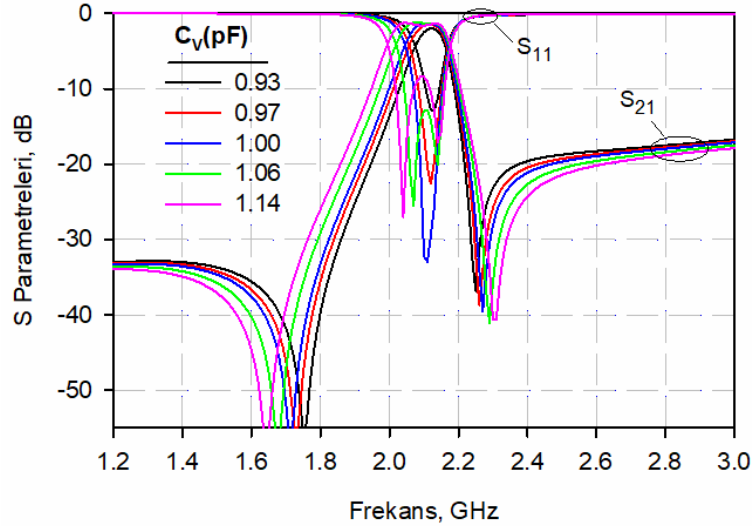
Şekil 2.35'te anahtarlanabilir dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanmış filtreye ait anahtarlama işlemi frekans cevabı verilmiştir. Varaktör diyodun kapasitans değeri 1.02 pF iken banda ait araya girme kaybı 1.23 dB, geri dönüş kaybı 20.86 dB olarak elde edilmiştir. Varaktör diyoda ait kapasitans değeri 0.76 pF yapıldığında bandın anahtarlama işlemi gerçekleşmektedir. Anahtarlama işlemi sırasında 14.97 dB band reddetme seviyesi elde edilmiştir.





Şekil 2.35. İkinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği

Şekil 2.36'da anahtarlabilir dörtleyicinin ikinci kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye varaktör diyodun kapasitans değişimine göre bandın band genişliği açısından kontrolü görülmektedir. Varaktör diyot kapasitansını 0.93 pF ile 1.14 pF arasında ayarlayarak band genişliği 91 MHz ile 182 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 1.98 dB ile 1.28 dB arasında elde edilmiştir. Bu kayıplara karşılık geri dönüş kaybı ise 8.4 dB ile 32.9 dB arasında değişmektedir.

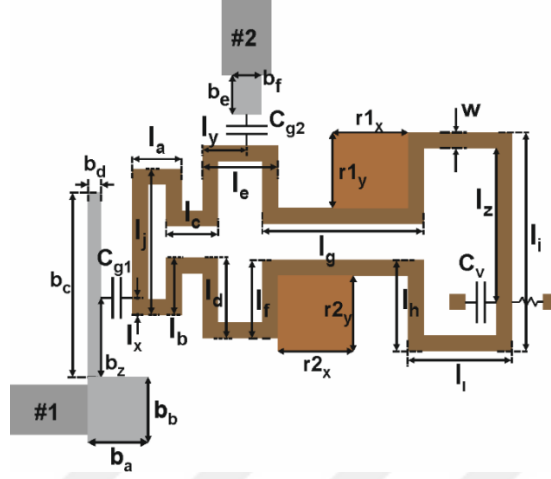


Şekil 2.36. İkinci kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

### 2.3.2.3. Üçüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı

Anahtarlabilir dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan filtre yapısı Şekil 2.37'de görülmektedir. Rezonatör boyutu bandın merkez frekansı 2.4 GHz olacak şekilde

ayarlanmıştır. Rezonatör  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitörleri yardımıyla beslenmektedir. Bu kapasitör değerleri sırasıyla 0.4 pF ve 0.35 pF'dır.



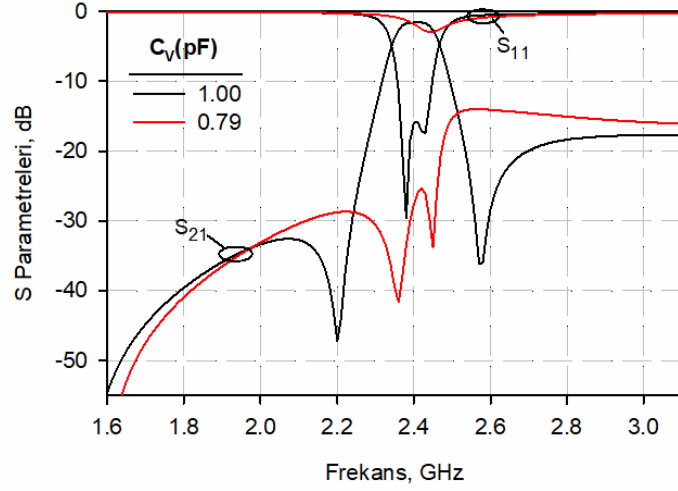
Şekil 2.37. Anahtarlanabilir dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı

Tablo 2.11'de Şekil 2.37'de verilen boyutlandırmalara ait uzunluklar verilmiştir.

Tablo 2.11. Anahtarlanabilir dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

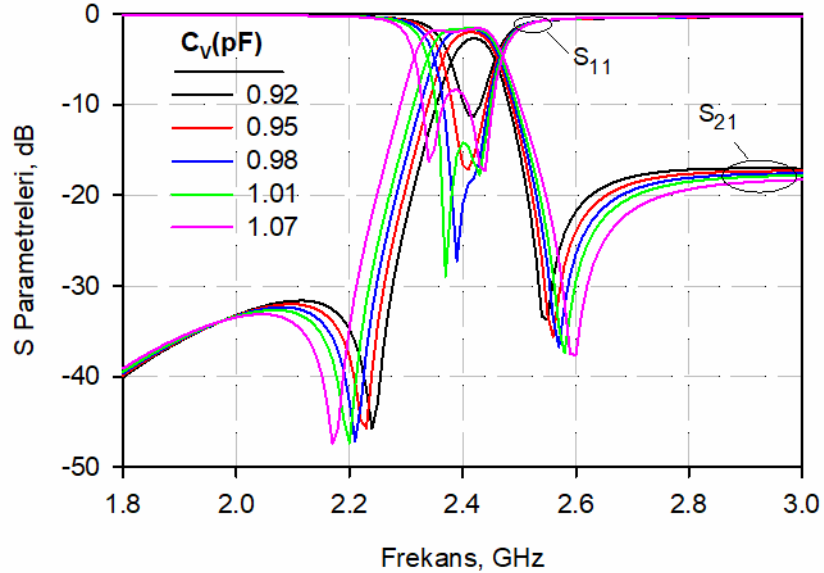
$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$	$l_j$
1.9	2.2	2.0	3.1	2.9	3.0	6.2	3.5	4.0	8.4
$l_j$	$l_x$	$l_y$	$l_z$	$w$	$r1_x$	$r1_y$	$r2_x$	$r2_y$	$b_a$
5.6	0.65	1.7	5.9	0.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.4
$b_b$	$b_c$	$b_d$	$b_e$	$b_f$	$b_z$				
2.5	7.1	0.5	1.5	1.1	3.05				

Şekil 2.38'de anahtarlanabilir dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanmış band geçiren filtreye ait anahtarlama işlemi gösterilmektedir. Varaktör diyodun kapasitans değeri 1.0 pF iken banda ait araya girme kaybı 1.26 dB, geri dönüş kaybı ise 17.12 dB olarak elde edilmiştir. Varaktör diyot kapasitans değeri 0.79 pF olarak ayarlandığında bandın anahtarlama işlemi gerçekleşmektedir. Anahtarlama işlemi sırasında 25.29 dB band reddetme seviyesi elde edilmiştir.



Şekil 2.38. Üçüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği

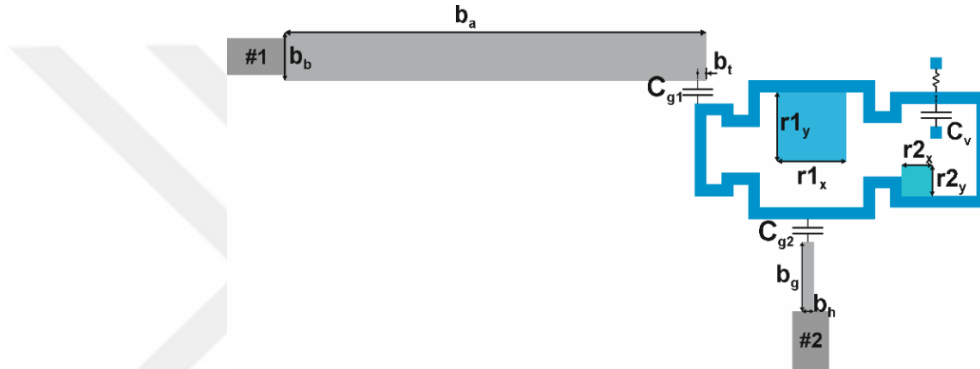
Şekil 2.39’da anahtarlanabilir dörtleyicinin üçüncü kanalı için tasarlanan filtreye ait varaktör diyodun kapasitans değişimine göre bandın band genişliği açısından kontrolü görülmektedir. Varaktör diyot kapasitansı 0.92 pF ile 1.07 pF arasında değiştirilerek band genişliği 77 MHz ile 156 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 2.66 dB ile 1.59 dB arasında elde edilmiştir. Geri dönüş kaybı ise 8.3 dB ile 21 dB arasında değişmektedir.



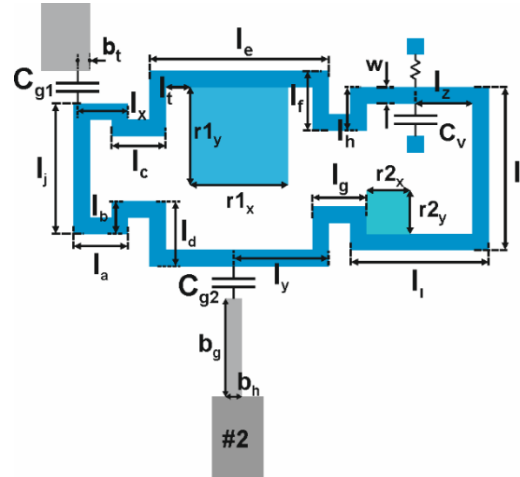
Şekil 2.39. Üçüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

### 2.3.2.4. Dördüncü kanal için band geçiren filtre tasarımı

Anahtarlanabilir dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı Şekil 2.40'da görülmektedir. Şekil 2.41'de ise filtreye ait ayrıntılı boyutlandırma verilmiştir. Rezonatör boyutu bandın merkez frekansı 2.7 GHz olacak şekilde ayarlanmıştır. Dörtleyicinin dördüncü kanalını oluşturacak olan bu rezonatörün dörtleyicide bulunduğu yerden dolayı besleme için uzun bir iletim hattı kullanılmıştır. Rezonatör  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  toplu kapasitörleri yardımıyla beslenmektedir. Bu kapasitör değerleri sırasıyla 0.5 pF ve 0.3 pF'dır.



Şekil 2.40. Anahtarlanabilir dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtre yapısı



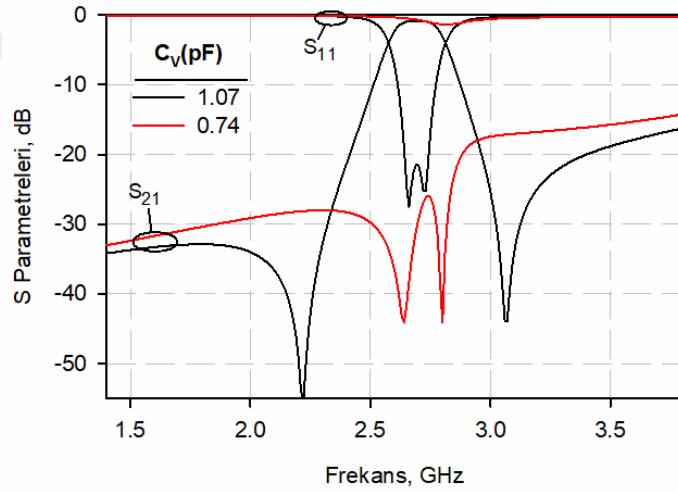
Şekil 2.41. Dördüncü kanal için tasarlanan band geçiren filtreyi meydana getiren rezonatörün ayrıntılı boyutlandırması

Tablo 2.12'de Şekil 2.40 ve Şekil 2.41'de verilen boyutlandırmalara ait uzunluklar verilmiştir.

Tablo 2.12. Anahtarlanabilir dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

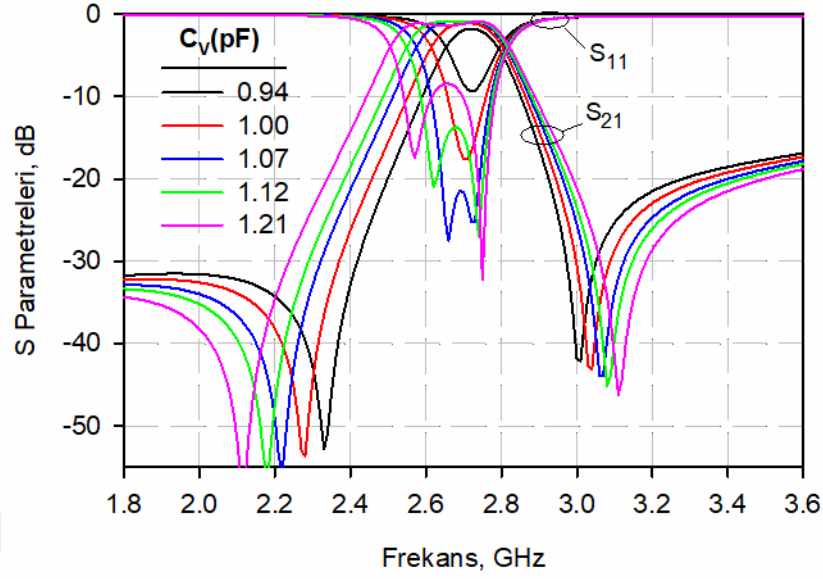
$l_a$	$l_b$	$l_c$	$l_d$	$l_e$	$l_f$	$l_g$	$l_h$	$l_i$	$l_j$
2.0	1.2	2.0	2.4	6.6	2.2	2.0	1.6	5.1	6.0
$l_j$	$l_x$	$l_y$	$l_z$	$w$	$r_{1x}$	$r_{1y}$	$r_{2x}$	$r_{2y}$	$b_a$
4.8	1.85	3.5	2.1	0.6	3.6	3.6	1.6	1.6	22.0
$b_b$	$b_g$	$b_h$	$b_t$						
2.5	3.6	0.6	0.45						

Şekil 2.42’de anahtarlanabilir dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanmış band geçiren filtreye ait anahtarlama işlemi gösterilmektedir. Filtreye ait varaktör diyodun kapasitans değeri 1.07 pF iken banda ait araya girme kaybı 0.85 dB, geri dönüş kaybı ise 21.4 dB olarak elde edilmiştir. Varaktör diyot kapasitans değeri 0.74 pF olarak ayarlandığında bandın anahtarlama işlemi gerçekleşmektedir. Anahtarlama işlemi sırasında 25.92 dB band reddetme seviyesi elde edilmiştir.



Şekil 2.42. Dördüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait anahtarlama karakteristiği

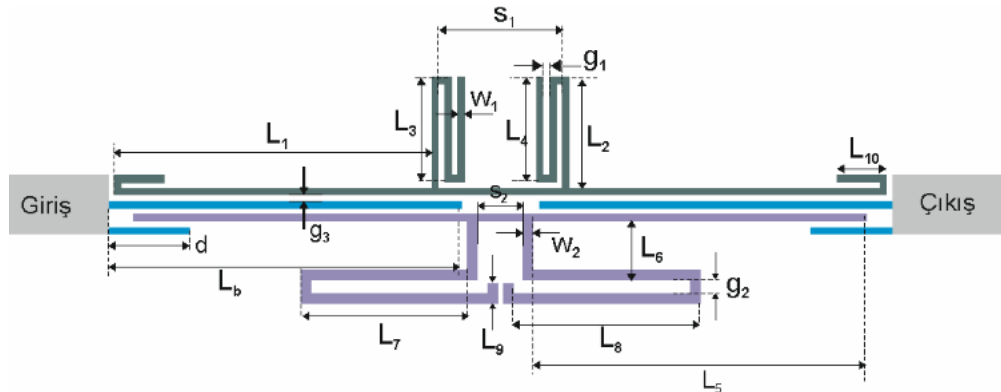
Şekil 2.43’te anahtarlanabilir dörtleyicinin dördüncü kanalı için tasarlanan filtrede varaktör diyodun kapasitans değişimine göre bandın band genişliği açısından kontrolü görülmektedir. Varaktör diyot kapasitansını 0.94 pF ile 1.21 pF arasında ayarlayarak band genişliği 140 MHz ile 315 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 1.76 dB ile 0.85 dB arasında elde edilmiştir. Bu kayıplara karşılık geri dönüş kaybı ise 9.38 dB ile 21.41 dB arasında değişmektedir.



Şekil 2.43. Dördüncü kanalı oluşturan band geçiren filtreye ait band genişliği kontrolü

#### 2.4. Çok Modlu Yan Hat Yüklü Rezonatörler Kullanılarak Çift Geniş Bandlı Band Geçiren Filtre Tasarımı

Tez kapsamında çoğullayıcılara yönelik filtre tasarımlarının yanı sıra çift geniş bandlı band geçiren filtre tasarımı da gerçekleştirilmektedir. Bu tasarımda, açık devre sonlandırılmalı yan hatlara sahip çok modlu rezonatörler kullanılmaktadır. Söz konusu rezonatörler Zhang ve Zhu'nun 2011 yılındaki çalışmada yer alan üç ve dört modlu rezonatörlerin modifiye edilmesi suretiyle oluşturulmaktadır [64]. Bu çalışmadaki filtreler tek geçme bandına sahiptir. Bu tez kapsamında ise rezonatörlerin giriş ve çıkış portlarına yüksek empedanslı iletim hatları vasıtasıyla kuplajlanmasıyla iki geniş geçme bandı oluşturulmaktadır.



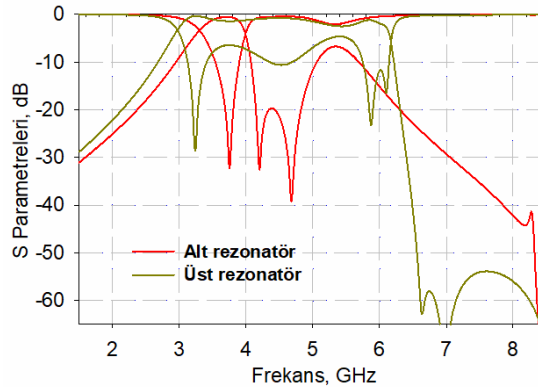
Şekil 2.44. Tasarlanan çift geniş bandlı band geçiren filtre yapısı

Tasarlanan çift geniş bantlı band geçiren filtre yapısı Şekil 2.44'te görülmektedir. Tasarlanan filtre açık devre sonlandırılmalı yan hat yüklü çok modlu iki rezonatörden meydana gelmektedir. Bu rezonatörlerin beslemesi giriş ve çıkış portlarına bağlı yüksek empedanslı iletim hatlarının rezonatörlere kuplajlanmasıyla sağlanmaktadır. Rezonatör boyutları ve açık devre sonlandırılmalı yan hatların rezonatörlerdeki bağlantı yerleri birbirinden farklıdır. Bu şekilde, iki geniş geçme bandı elde etmek için iki farklı filtreleme karakteristiği elde edilmektedir. Şekil 2.44'te verilen filtreye ait boyutlar Tablo 2.13'te verilmiştir.

Tablo 2.13. Tasarlanan çift geniş bantlı band geçiren filtreye ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

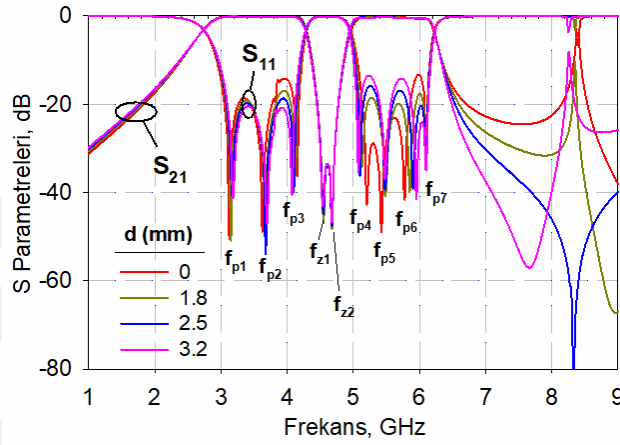
L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>	L <sub>8</sub>	L <sub>9</sub>	L <sub>10</sub>
9.7	3.4	3.2	3.2	10.2	1.8	5.1	5.7	0.6	1.5
L <sub>b</sub>	d	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	
10.8	2.5	0.2	0.3	3.8	1.4	0.2	0.4	0.2	

Üst ve alt rezonatörlerin tek başlarına frekans cevapları Şekil 2.45'te görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi üst rezonatör geniş bir geçiş bandı oluşturmaktadır. Alt rezonatör ise bandın üst tutma frekanslarında iki iletim sıfırına sahip bir geçiş bandı meydana getirmektedir. Böylece geniş bir geçiş bandı her iki rezonatör ana kuplaj hattına bağlandığında çift geniş geçiş bandlarına bölünebilir. Alt rezonatör sayesinde oluşturulan iki iletim sıfırının üst rezonatörün oluşturduğu geniş geçiş bandını ikiye bölmesiyle çift geniş bantlı band geçiren filtre elde edilmiştir.



Şekil 2.45. Üst ve alt rezonatörlerin tek başlarına frekans cevapları

Ayrıca band dışı reddetme seviyesini artırmak için giriş ve çıkış portlarına ek bağlantı yat hatları eklenmiştir. Bu ek bağlantı hattının uzunluk değişiminin frekans cevabı üzerine etkisi Şekil 2.46’te verilmiştir. Ek bağlantı hattının varlığına bağlı olarak üst durdurma bandında bir iletim sıfırı elde edilmektedir. Şekil 2.46’dan görüldüğü gibi band dışı harmoniğin bastırılması için kritik bir  $d$  değeri vardır. Bu değer ek bağlantı hattının rezonans frekansına bağlıdır. Bu hattın uzunluğu 2.5 mm olduğunda band dışı harmonik bastırma gerçekleşmektedir.

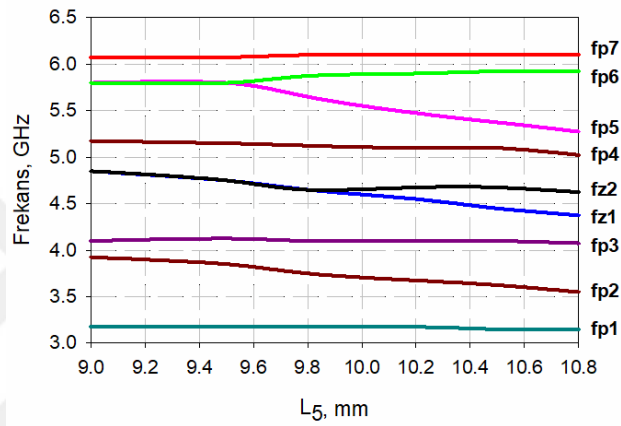


Şekil 2.46. Ek bağlantı hatlarının uzunluğunun frekans cevabı üzerine etkisi

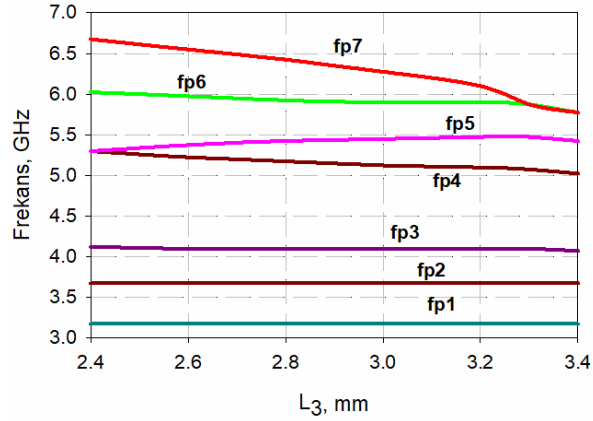
Filtreye ait bazı hatların uzunluk değişimiyle filtrenin frekans cevabı üzerinde bazı kontroller sağlanabilmektedir. Şekil 2.47’de alt rezonatördeki  $L_5$  uzunluğunun değişimine karşı kutup frekanslarının değişimi görülmektedir.  $L_5$  arttırıldığında ilk banda ait ikinci ve üçüncü iletim kutupları ayrılmaktadır.  $L_5$  uzunluğu 9 mm iken ikinci kutup 3.9 GHz’de, üçüncü kutup 4.1 GHz’de oluşmaktadır.  $L_5$  arttırıldığında üçüncü kutup 4.1 GHz’de sabit kalırken ikinci kutup frekansı düşmektedir.  $L_5$ , 10.8 mm olduğunda ikinci kutup 3.5 GHz’de oluşmaktadır. Aynı şekilde  $L_5$  uzunluğundaki artışla ikinci bandda beşinci ve altıncı iletim kutupları da ayrılmaktadır. 9.5 mm’ye kadar 5.8 GHz’de tek kutup görülürken,  $L_5$  uzunluğu 9.5 mm’yi geçtikten sonra bu kutup ayrılarak beşinci ve altıncı kutbu oluşturmaktadır. Ayrıca  $L_5$  uzunluğu arttıkça bandlar arasındaki iletim sıfırları ayrılmaktadır. 9.8 mm’ye kadar bandlar arasında tek iletim sıfırı oluşurken, 9.8 mm’den daha uzun değerlerde bandlar arasında iki iletim sıfırı olduğu görülmektedir. Böylece bandlar arası seçicilik artmaktadır. Şekil 2.48’de  $L_3$  uzunluğunun frekans cevabı üzerine etkisi görülmektedir. Birinci bandın iletim kutupları sabitken ikinci geçiş bandının iletim kutupları ayarlanabilmektedir.  $L_3$ , 2.4



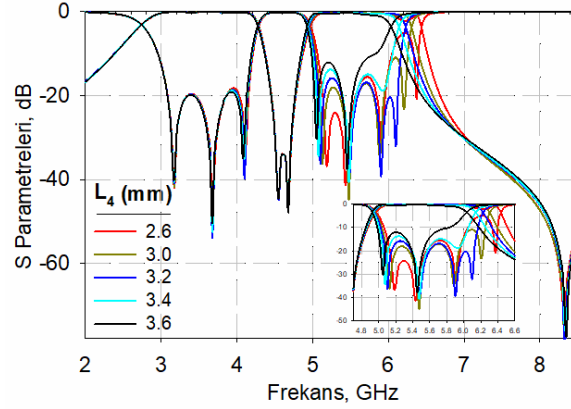
mm iken 5.3 GHz’de tek kutup görülürken uzunluk arttırıldığında iki kutbun oluştuğu görülmektedir.  $L_3$ , 3.4 mm olduğunda dördüncü kutup 5.0 GHz’de beşinci kutup 5.4 GHz’de görülmektedir.  $L_3$  arttırıldıkça altıncı ve yedinci kutup birbirine yaklaşmakta, 3.3 mm olduğunda iki kutup birleşmekte ve tek kutup görülmektedir. Görüldüğü gibi  $L_3$ ’teki değişimle ikinci geçiş bandı bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Aynı şekilde  $L_4$  uzunluğundaki değişimle de ikinci geçiş bandı kontrol edilebilmektedir.  $L_4$ ’ün değişiminin frekans cevabı üzerine etkisi Şekil 2.49’da görülmektedir.



Şekil 2.47.  $L_5$ 'in iletim kutupları ve sıfırlarının frekansları üzerindeki etkisi

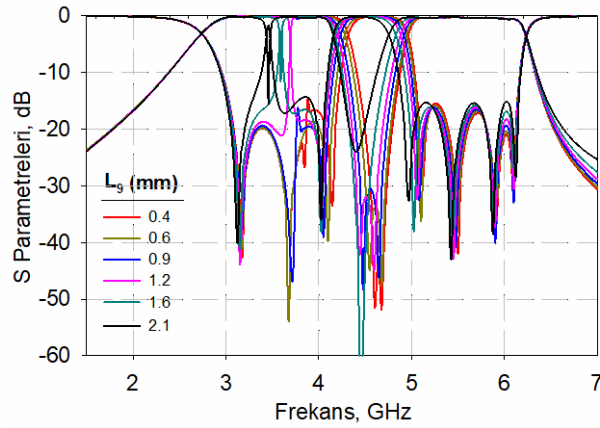


Şekil 2.48.  $L_3$ 'ün iletim kutuplarının frekansları üzerindeki etkisi



Şekil 2.49.  $L_4$ 'ün frekans cevabı üzerindeki etkisi

Tasarlanan filtrede ayrıca  $L_9$ 'daki değişime bağlı olarak birinci geçiş bandı içinde bir çentik geçiş bandı elde edilebilmektedir.  $L_9$ 'un uzunluk değişiminin frekans cevabı üzerine etkisi Şekil 2.50'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi,  $L_9$ 'un artırılmasıyla bir çentik geçiş bandı oluşturulabilir ve kontrol edilebilir.  $L_9$ , 1.2 mm iken çentik bandı oluşmaya başlamakta uzunluk arttırıldıkça çentik bandı sola kaymaktadır. Aynı zamanda bu artışla geçiş bandları arasındaki iletim sıfırları sola kaymaktadır. Böylece ikinci geçiş bandının band genişliği artmaktadır.



Şekil 2.50.  $L_9$ 'un frekans cevabı üzerindeki etkisi

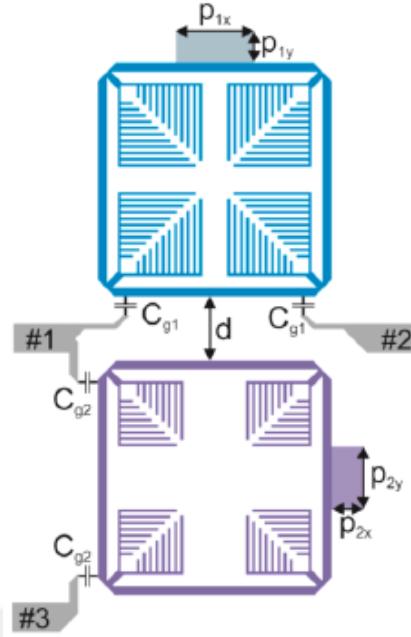
## BÖLÜM 3

### MİKROŞERİT ÇİFTLEYİCİ TASARIMI

Bu bölümde dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmalı yan hatlar içeren çift modlu kare halka rezonatörler kullanılarak tasarlanan mikroşerit çiftleyici yer almaktadır. Rezonatördeki dar yarıkların sayısı değişimiyle merkez frekansın, pertürbasyon elemanlarının boyut değişimiyle de band genişliklerinin kontrol edilebildiğine önceki bölümde yer verilmişti. Çiftleyici tasarımı için yapılan tüm simülasyonlar Sonnet Tam Dalga Elektromanyetik Simülatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir [58]. Tasarlanan devrelerde taban malzemesi olarak 3.38 bağıl dielektrik sabitine sahip 0.813 mm kalınlığında Rogers 4003C taban malzemesi kullanılmıştır.

#### 3.1. Dar Yarıklı Açık Devre Sonlandırılmalı Yan Hatlara Sahip Mikroşerit Çiftleyici

Bölüm 2.2.1’ de bahsedilen band geçiren filtre konfigürasyonları kullanılarak mikroşerit çiftleyici tasarımı gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.1’de kare halka rezonatörler kullanılarak tasarlanan mikroşerit çiftleyici yapısı görülmektedir. Bu çiftleyicideki rezonatör yapıları Bölüm 2.2.1’de verilen filtrelerle, boyut ve hat uzunlukları açısından birebir aynıdır. Bu yüzden bu bölümde boyutlandırmaya tekrar yer verilmeyecektir. Çiftleyicide arzu edilen frekans cevabını elde etmek için sadece kuplaj kapasitörlerinin değeri değiştirilmektedir. Kanalların istenilen frekans bölgelerinde elde edilebilmesi için rezonatörler farklı sayıda dar yarıklara sahiptir. Üst rezonatördeki açık yan hatlarda on bir adet yarıklar varken, alt rezonatördekilerde ise sekiz adet yarıklar vardır. Böylece, kanal frekansları 1.8 GHz ve 2.1 GHz’e ayarlanmıştır. Üst rezonatör 1.8 GHz merkez frekansına sahip birinci kanalı oluştururken, daha az yarığa sahip alt rezonatör 2.1 GHz merkez frekansına sahip ikinci kanalı meydana getirmektedir. Dejenere modları uyarmak için pertürbasyon elemanı olarak kullanılan yama elemanları sayesinde ilgili kanalın band genişliği de kontrol edilebilmektedir. Çıkış portları arasında en iyi izolasyon seviyesini ve her bir kanalda en düşük araya girme kaybı seviyeleri elde etmek için  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  kuplaj kapasitörleri sırasıyla 0.8 pF ve 0.6 pF olarak kullanılmıştır. Simülasyon çalışmalarında bu kapasitörler ideal kapasitörlerle temsil edilmiştir.



Şekil 3.1. Tasarlanan mikroşerit çiftleyici yapısı (  $p_{1x}= 5$  mm,  $p_{1y}= 2$  mm,  $p_{2x}=2$  mm,  $p_{2y}=4$  mm,  $d=4.1$  mm)

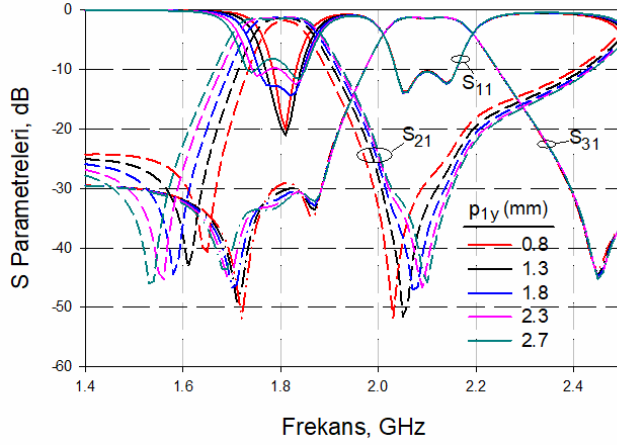
Her kanal, pertürbasyon boyutlarındaki ve dar yarıkların sayılarındaki değişikliklere göre, band genişliği ve merkez frekansı açısından bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Şekil 3.2.(a) birinci kanal için band genişliği kontrol işlemi göstermektedir. Dikey pertürbasyon boyutu,  $p_{1y}$ , 0.8 mm ile 2.7 mm arasında değiştirilerek, böylece band genişliği 90 MHz ve 180 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Filtrelerde band genişliği kısmi band genişliği olarak da ifade edilebilmektedir. Kısmi band genişliği (3.1) eşitliğindeki gibi hesap edilebilir [63]. 90 MHz ve 180 MHz band genişliklerine karşılık gelen kısmi band genişlikleri sırasıyla % 5 ve % 10'dur.

$$FBW = \frac{f_{3dB2} - f_{3dB1}}{f_0} \times 100 \quad (3.1)$$

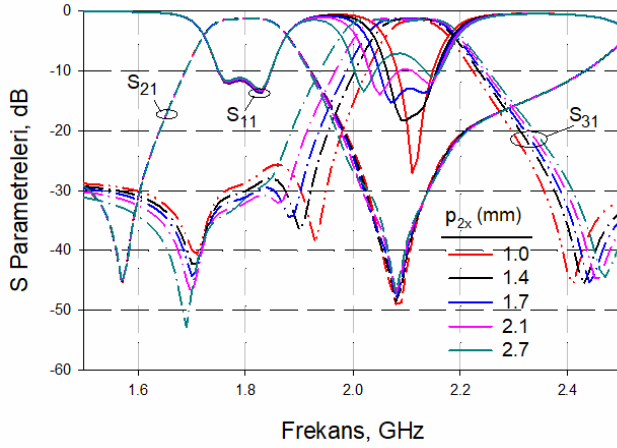
$$f_0 = \sqrt{f_{3dB1} \cdot f_{3dB2}} \quad (3.2)$$

FBW kısmi band genişliğini ifade etmektedir. Burada  $f_{3dB2} - f_{3dB1}$  bandın band genişliğidir,  $f_{3dB1}$  ve  $f_{3dB2}$  bandın 3dB kesim frekanslarını ifade etmektedir.  $f_0$  bandın merkez frekansıdır. Eşitlik (3.2)'deki gibi 3 dB kesim frekanslarının aritmetik ortalaması şeklinde bulunmaktadır.

Şekil 3.2.(b)'de, ikinci kanal için band genişliği kontrol işlemi gösterilmektedir. Yatay pertürbasyon boyutu,  $p_{2x}$ , 1.0 mm ile 2.7 mm arasında değiştirilerek, band genişliği sırasıyla % 5.4 ve % 10.5 kısmi band genişliklerine karşılık gelen 115 MHz ve 220 MHz arasında kontrol edilebilmektedir.



(a)



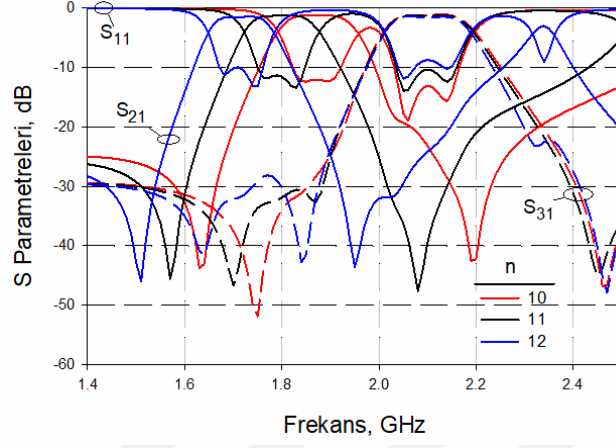
(b)

Şekil 3.2. Kanallara ait band genişliği kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal

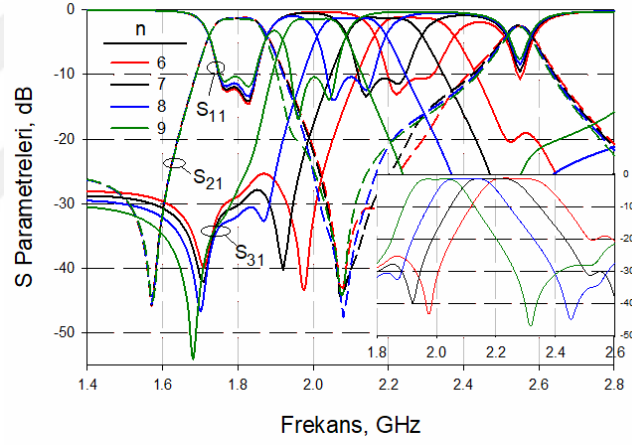
Şekil 3.3.(a)'da, birinci kanalda dar yarıkların sayısındaki değişime göre merkez frekans kontrolü gösterilmektedir. Dar yarıkların sayısı 10 ile 12 arasında değiştirilerek merkez frekansı 1,88 GHz ile 1,7 GHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında, her bir durumdaki kısmi band genişlikleri % 8.8, % 8.7 ve % 8' dir.

İkinci kanalın merkez frekansı, Şekil 3.3.(b)'de gösterildiği gibi alt rezonatörün dar yarıklarının sayısındaki değişiklikler sayesinde kontrol edilebilir. Merkez frekansı, 6 ile 9 arasında değişen dar yarıkların sayısındaki değişikliklere göre 2.28 GHz ile 2.0 GHz

arasında kontrol edilebilmektedir. Her bir durumda kısmi band genişlikleri % 9.3, % 9, % 8.7, % 8.3'tür.



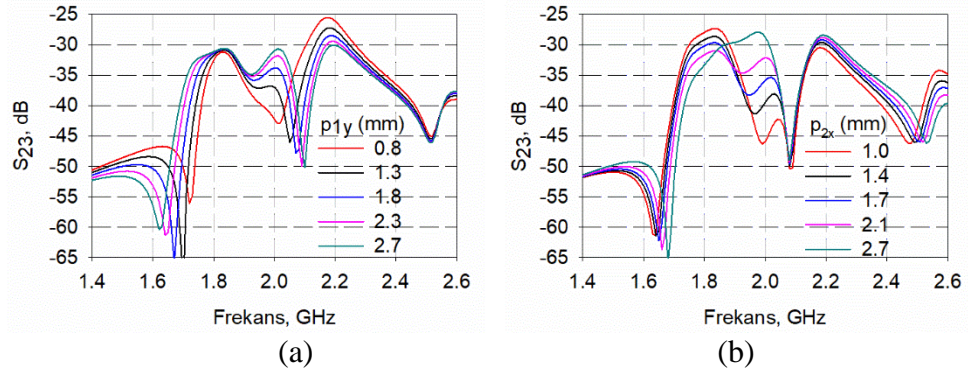
(a)



(b)

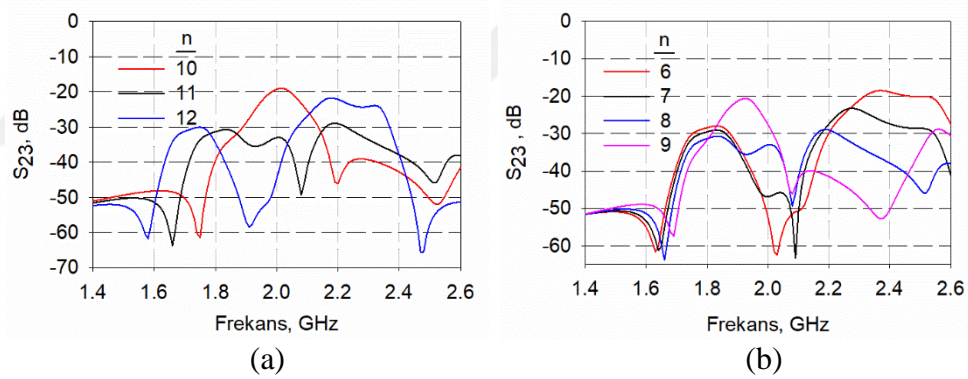
Şekil 3.3. Kanallara ait merkez frekans kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal

Şekil 3.4'te her iki kanal için band genişliği kontrolü durumu için izolasyon seviyesindeki değişim gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki kanaldaki band genişliği kontrolünde de 25 dB'den daha iyi izolasyon seviyeleri elde edilmiştir.



Şekil 3.4. Band genişliği kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal

Şekil 3.5'te her iki kanalda merkez frekans kontrolü durumu için izolasyon seviyesindeki değişim gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki kanaldaki merkez frekans kontrolünde de 19 dB'den daha iyi izolasyon seviyeleri elde edilmiştir.

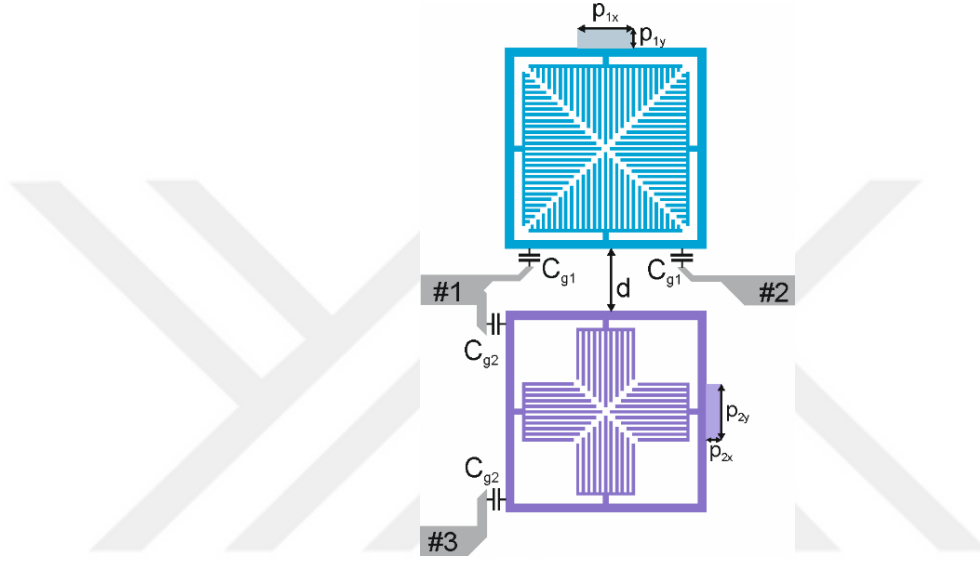


Şekil 3.5. Merkez frekans kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal (b) İkinci kanal

### 3.2. Üst Tutma Bandı Temiz Mikroşerit Çiftleyici

Şekil 3.6'da, Bölüm 2.2.2'de anlatılan üst tutma bandı harmoniklerini azaltmak için tasarlanan filtre yapısı kullanılarak gerçekleştirilen üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyici yapısı görülmektedir. Bu çiftleyicideki rezonatör yapıları Bölüm 2.2.2'de verilen filtrelerle, boyut ve hat uzunlukları açısından birebir aynıdır. Bu yüzden bu bölümde boyutlandırmaya tekrar yer verilmeyecektir. Çiftleyicide istenilen cevabı sağlamak için sadece kuplaj kapasitörlerinin değeri değiştirilmiştir. Kanalların istenilen frekans bölgelerinde elde edilebilmesi için rezonatörler farklı sayıda dar yarıklara sahiptir. Üst rezonatördeki açık yan hatlarda yirmi yedi yarık varken, alt

rezonatörlerde ise on bir yarık vardır. Böylece, kanal frekansları 1.8 GHz ve 2.1 GHz'e ayarlanmıştır. Üst rezonatör 1.8 GHz merkez frekansına sahip birinci kanalı oluştururken, daha az yarığa sahip alt rezonatör 2.1 GHz merkez frekansına sahip ikinci kanalı meydana getirmektedir. Her bir kanalda en düşük araya girme kaybı ve en yüksek geri dönüş kaybı seviyeleri elde etmek için  $C_{g1}$  ve  $C_{g2}$  kapasitörleri sırasıyla 0.85 pF ve 0.65 pF olarak kullanılmıştır.



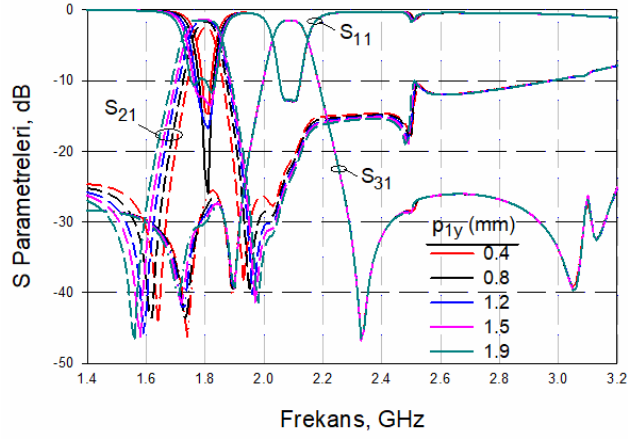
Şekil 3.6. Tasarlanan üst tutma bandı temiz mikroşerit çiftleyici yapısı (  $p_{1x}= 4$  mm,  $p_{1y}= 1.4$  mm,  $p_{2x}=1.3$  mm,  $p_{2y}=4$  mm,  $d=4.5$  mm)

Pertürbasyon elemanın boyut değişikliğiyle her bir kanalın band genişliği, açık devre yan hatların sahip olduğu yarık sayısı değişimiyle kanalların merkez frekansları ayarlanabilmektedir. Şekil 3.7.(a)'da 1.8 GHz merkez frekansına sahip birinci kanalın band genişliği kontrolü görülmektedir. Pertürbasyon elemanın dikey uzunluğu,  $p_{1y}$ , 0.4 mm ile 1.9 mm arasında değiştirilerek band genişliği 65 MHz ve 136 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında birinci kanalda araya girme kaybı 1.38 dB ile 2.41 dB arasında değişmektedir. Bu pertürbasyon boyutu değerlerine karşılık gelen geri dönüş kaybı ise 9.6 dB'den daha iyi seviyededir.

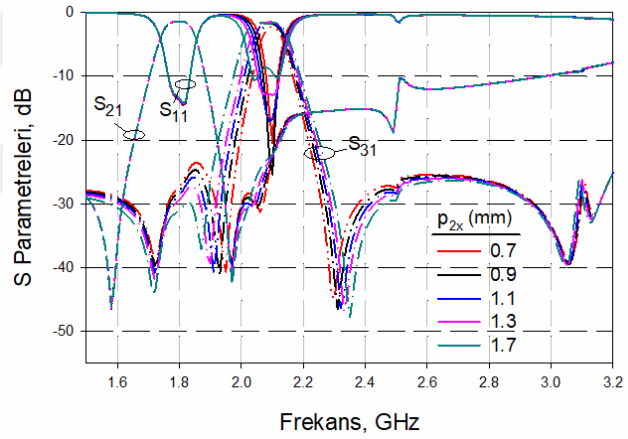
Şekil 3.7.(b)'de 2.1 GHz merkez frekansına sahip ikinci kanalın band genişlik kontrolü görülmektedir. İkinci rezonatöre ait yatay pertürbasyon boyutu,  $p_{2x}$ , 0.7 mm ile 1.7 mm arasında değiştirilerek ikinci kanalın band genişliği 74 MHz ile 145 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu band genişliklerine karşılık araya girme kaybı 1.5 dB ile



2.18 dB arasında değişmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında geri dönüş kaybı 8.58 dB'den daha iyi seviyede olmaktadır.



(a)



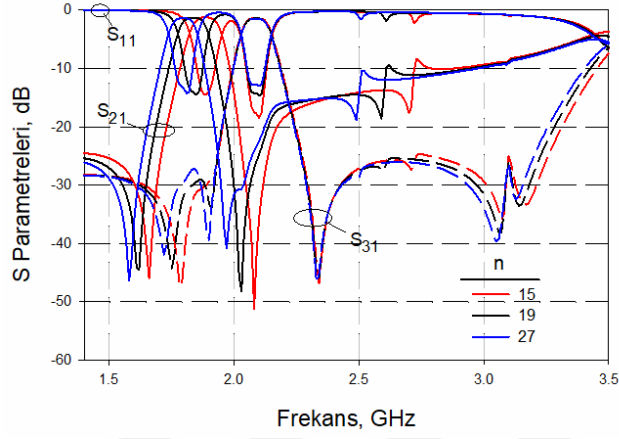
(b)

Şekil 3.7. Kanallara ait band genişliği kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal

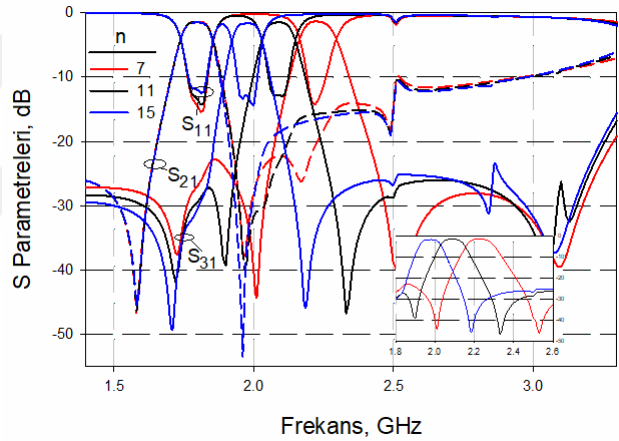
Şekil 3.8.(a)'da, üstteki rezonatörün dar yarıklarının sayısındaki değişime göre birinci kanalın merkez frekans kontrolü gösterilmektedir. Dar yarıkların sayısı 15 ile 27 arasında değiştirilerek merkez frekansı 1,89 GHz ile 1,8 GHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu dar yarık sayılarına karşılık araya girme kaybı 1.23 dB ile 1.37 dB arasında, geri dönüş kaybı 14.4 dB ile 13.56 dB arasında değişmektedir.

İkinci kanalın merkez frekansı, Şekil 3.8.(b)'de gösterildiği gibi alt rezonatörün dar yarıklarının sayısındaki değişiklikler sayesinde kontrol edilebilir. Dar yarıkların sayısı 7 ile 15 arasında değiştirilerek merkez frekansı 2,23 GHz ile 1,98 GHz arasında kontrol

edilebilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 1.35 dB ile 1.63 dB arasında, geri dönüş kaybı ise 13.55 dB ile 12.79 dB arasında elde edilmektedir.



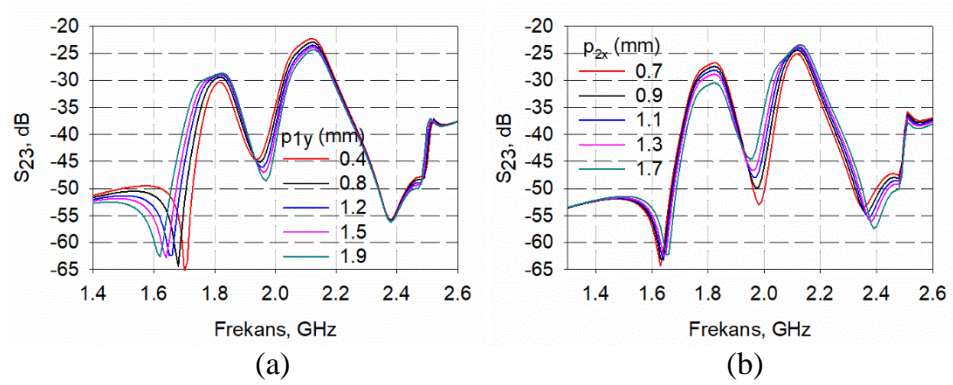
(a)



(b)

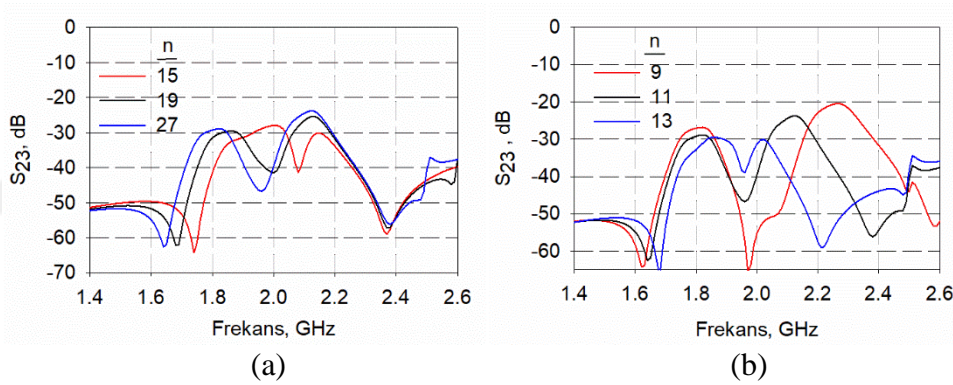
Şekil 3.8. Kanallara ait merkez frekans kontrolü, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal

Şekil 3.9’da her iki kanal için band genişliği kontrolü durumu için izolasyon seviyesindeki değişim gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki kanaldaki band genişliği kontrolünde de 22 dB’den daha iyi izolasyon seviyeleri elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Band genişliği kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal

Şekil 3.10'da her iki kanalda merkez frekans kontrolü durumu için izolasyon seviyesindeki değişim gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki kanaldaki merkez frekans kontrolünde de 20 dB'den daha iyi izolasyon seviyeleri elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Merkez frekans kontrolü için izolasyon seviyesi değişimi, (a) Birinci kanal (b) İkinci kanal

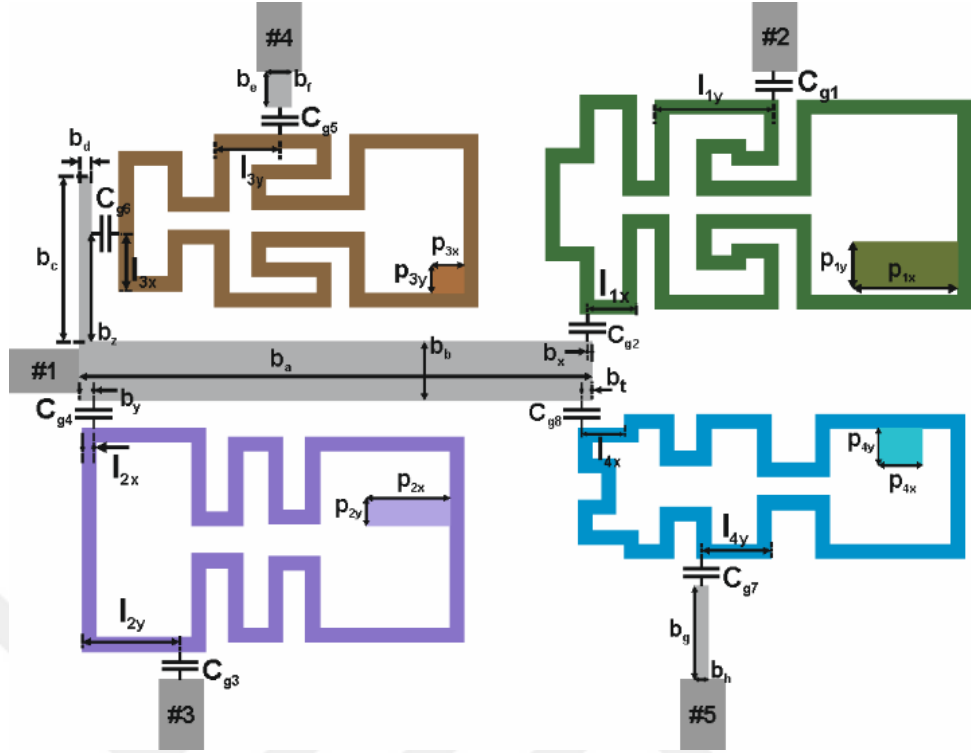
## BÖLÜM 4

### MİKROŞERİT DÖRTLEYİCİ TASARIMI

Bu bölümde kıvrımlı halka rezonatörler kullanılarak anahtarlama özelliğine sahip olmayan dörtleyici ve kıvrımlı halka rezonatörde pertürbasyon elemanı olarak varaktör diyotların kullanılmasıyla anahtarlanabilir dörtleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu dörtleyicilerde kullanılacak filtre tasarımları Bölüm 2.3'de verilmişti. Burada ise dörtleyicinin her bir kanalını oluşturacak filtreler tek bir devrede birleştirilerek dörtleyici tasarlanmaktadır. Ancak Bölüm 2.3'de verilen filtrelerin birebir aynısı kullanılmamıştır. Filtrelerin birleştirilmesinden dolayı kayıplarda meydana gelen değişiklikler ve kanalların merkez frekanslarının kaymasından dolayı filtreleri oluşturan rezonatörlerde bazı küçük boyut değişiklikleri ve kuplaj kapasite değerlerinde değişiklik yapılarak arzu edilen frekans cevabı optimize edilmiştir. Söz konusu değişiklikler Tam Dalga Elektromanyetik Simülatör'de gerçekleştirilmiştir [58]. Tasarlanan devrelerde taban malzemesi olarak 6.15 bağıl dielektrik sabitine sahip 1.27 mm kalınlığında Rogers RT6006 taban malzemesi kullanılmıştır.

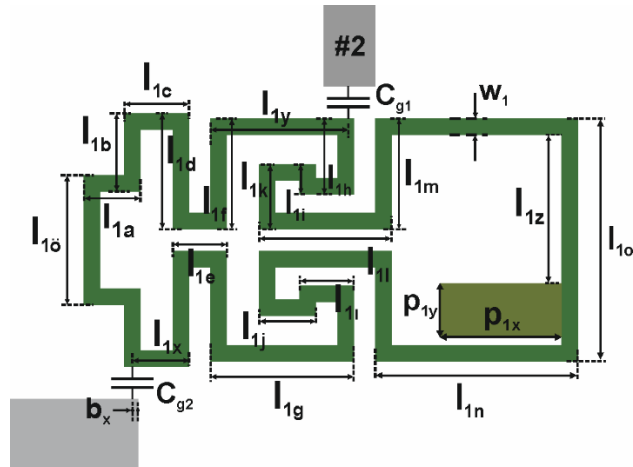
#### 4.1. Anahtarlama Özelliğine Sahip Olmayan Mikroşerit Dörtleyici Tasarımı

Bu bölümde geleneksel çift modlu kare halka rezonatörlerle oluşturulan dörtleyici verilmiştir. Dörtleyicide rezonatörler besleme hatları ve toplu kapasitörler kullanılarak beslenmiştir. Tasarlanan dörtleyici yapısı Şekil 4.1 de gösterilmektedir. Dörtleyicide çıkış portlarının numaralandırması sırasıyla her bir rezonatöre karşılık gelen kanalların merkez frekanslarının sırasına göre yapılmıştır. Minyatürizasyon sağlamak için kare halka rezonatör kıvrımlı hale getirilerek rezonatör boyutunda küçültme sağlanmıştır. Farklı merkez frekanslarında kanallar elde etmek için farklı elektriksel uzunluk gerektiğinden rezonatörlerin boyutları birbirinden farklıdır.

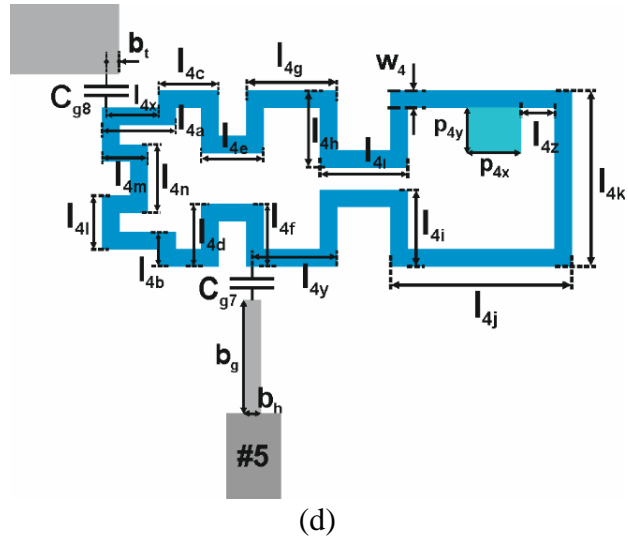
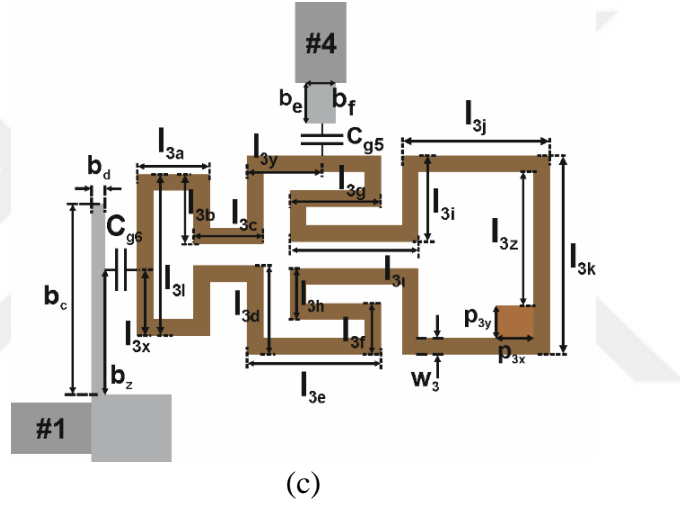
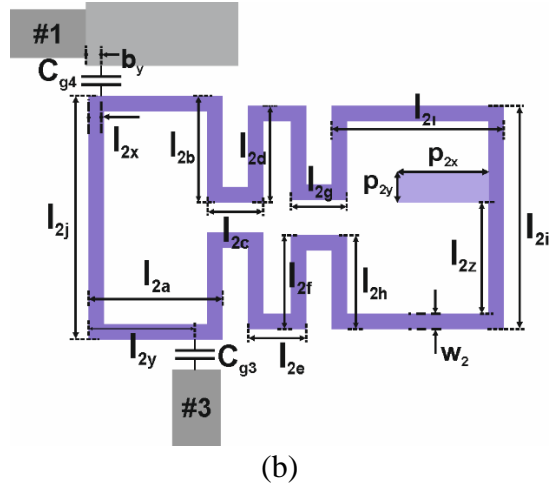


Şekil 4.1. Tasarlanan anahtarlama özelliğine sahip olmayan mikroşerit dörtleyici tasarımı ( $b_a = 22.0$  mm,  $b_b = 2.5$  mm)

Şekil 4.1’de görülen dörtleyicideki  $C_{g1}$ ,  $C_{g2}$ ,  $C_{g3}$ ,  $C_{g4}$ ,  $C_{g5}$ ,  $C_{g6}$ ,  $C_{g7}$ ,  $C_{g8}$  kapasitans değerleri sırasıyla 0.4 pF, 0.3 pF, 0.5 pF, 0.55 pF, 0.3 pF, 0.3 pF, 0.35 pF, 0.5 pF’dir. Dörtleyicideki her bir rezonatörün ayrıntılı bir şekilde boyutlandırması Şekil 4.2’de verilmiştir. Rezonatörlerde boyut adlandırmasındaki alt indislerdeki rakamlar o rezonatöre karşılık gelen kaçınıcı kanal olduğunu göstermektedir.



(a)



Şekil 4.2. Rezonatörlere ait boyutlandırılmalar, (a) Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (b) İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (c) Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (d) Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar

Rezonatörlere ait tüm uzunluklar sırasıyla Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.1. Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_{1a}$	$l_{1b}$	$l_{1c}$	$l_{1d}$	$l_{1e}$	$l_{1f}$	$l_{1g}$	$l_{1h}$	$l_{1i}$
2.1	2.9	2.4	4.3	2.0	4.1	5.3	2.8	2.0
$l_{1j}$	$l_{1k}$	$l_{1l}$	$l_{1m}$	$l_{1n}$	$l_{1o}$	$l_{1p}$	$l_{1q}$	$l_{1r}$
1.1	2.1	2.4	4.9	4.1	7.5	9.0	4.8	2.1
$l_{1y}$	$l_{1z}$	$p_{1x}$	$p_{1y}$	$w_1$	$b_x$			
5.1	5.5	4.5	2.0	0.6	0.2			

Tablo 4.2. İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_{2a}$	$l_{2b}$	$l_{2c}$	$l_{2d}$	$l_{2e}$	$l_{2f}$	$l_{2g}$	$l_{2h}$	$l_{2i}$
5.3	4.2	2.2	3.8	2.3	3.7	2.2	3.7	6.8
$l_{2j}$	$l_{2k}$	$l_{2l}$	$l_{2m}$	$l_{2n}$	$p_{2x}$	$p_{2y}$	$w_2$	$b_y$
8.8	9.6	0.5	4.2	4.4	3.6	1.2	0.6	0.6

Tablo 4.3. Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

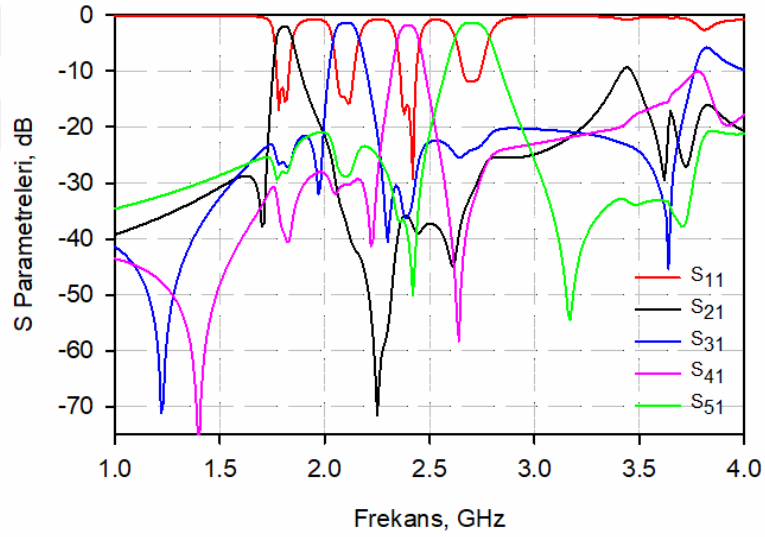
$l_{3a}$	$l_{3b}$	$l_{3c}$	$l_{3d}$	$l_{3e}$	$l_{3f}$	$l_{3g}$	$l_{3h}$	$l_{3i}$
2.7	2.6	2.6	3.3	5.0	1.9	3.4	1.9	4.8
$l_{3j}$	$l_{3k}$	$l_{3l}$	$l_{3m}$	$l_{3n}$	$l_{3o}$	$l_{3p}$	$p_{3x}$	$p_{3y}$
3.2	5.5	7.4	6.0	2.45	2.8	5.0	1.4	1.2
$w_3$	$b_z$	$b_c$	$b_d$	$b_e$	$b_f$			
0.6	4.65	7.1	0.5	1.5	1.1			

Tablo 4.4. Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_{4a}$	$l_{4b}$	$l_{4c}$	$l_{4d}$	$l_{4e}$	$l_{4f}$	$l_{4g}$	$l_{4h}$	$l_{4i}$
2.6	1.2	2.1	2.2	2.2	2.2	3.2	2.7	3.1
$l_{4j}$	$l_{4k}$	$l_{4l}$	$l_{4m}$	$l_{4n}$	$l_{4o}$	$l_{4p}$	$l_{4q}$	$l_{4r}$
2.7	6.4	6.2	1.9	1.6	2.4	1.85	3.0	1.2
$p_{4x}$	$p_{4y}$	$w_4$	$b_t$	$b_g$	$b_h$			
1.9	1.6	0.6	0.45	4.0	0.6			

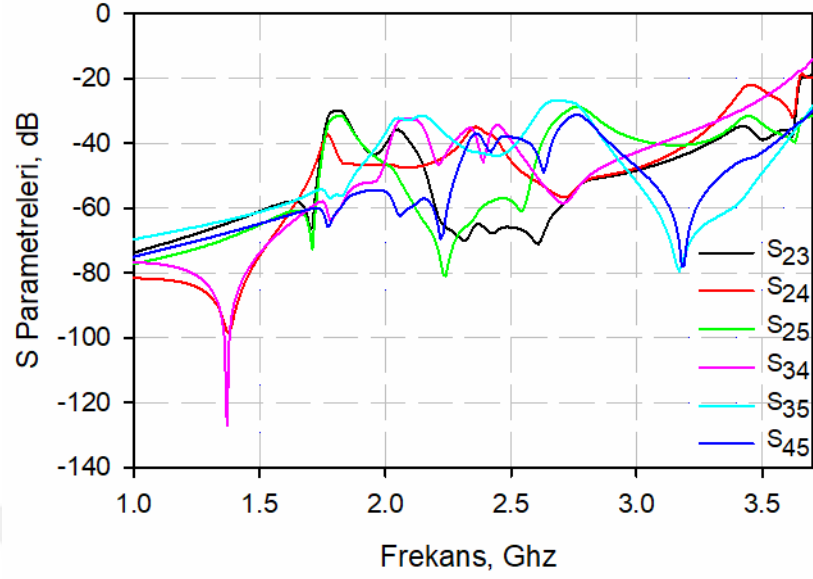
Anahtarlanabilir dörtleyici devresi bu bölümdeki dörtleyici tasarımını da kapsadığından bu bölümdeki dörtleyicinin sadece simülasyon çalışmasına yer verilmiştir. Şekil 4.3'te tasarlanan dörtleyicinin frekans cevabına ait simülasyon sonuçları görülmektedir. Yapılan simülasyonlarda kayıplı analiz gerçekleştirmek için kayıplı iletim hatları kullanılmıştır.

Simülasyon sonuçlarında kanallardaki araya girme kayıpları sırasıyla 2.08 dB, 1.33 dB, 1.80 dB ve 1.36 dB'dir. Sırasıyla geri dönüş kayıpları 12.94 dB, 14.95 dB, 16.01 dB ve 11.72 dB'dir. Kanalların merkez frekansları 1.8 GHz, 2.1 GHz, 2.4 GHz ve 2.7 GHz'de kısmi band genişlikleri sırasıyla 4.6 %, 6 %, 4.5 % ve 6 %'dir. Şekil 4.4'te kanallar arası izolasyon seviyeleri görülmektedir. İzolasyon seviyesi her kanalda 26.8 dB'den daha iyi elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Tasarlanan mikroşerit dörtleyiciye ait frekans cevabı

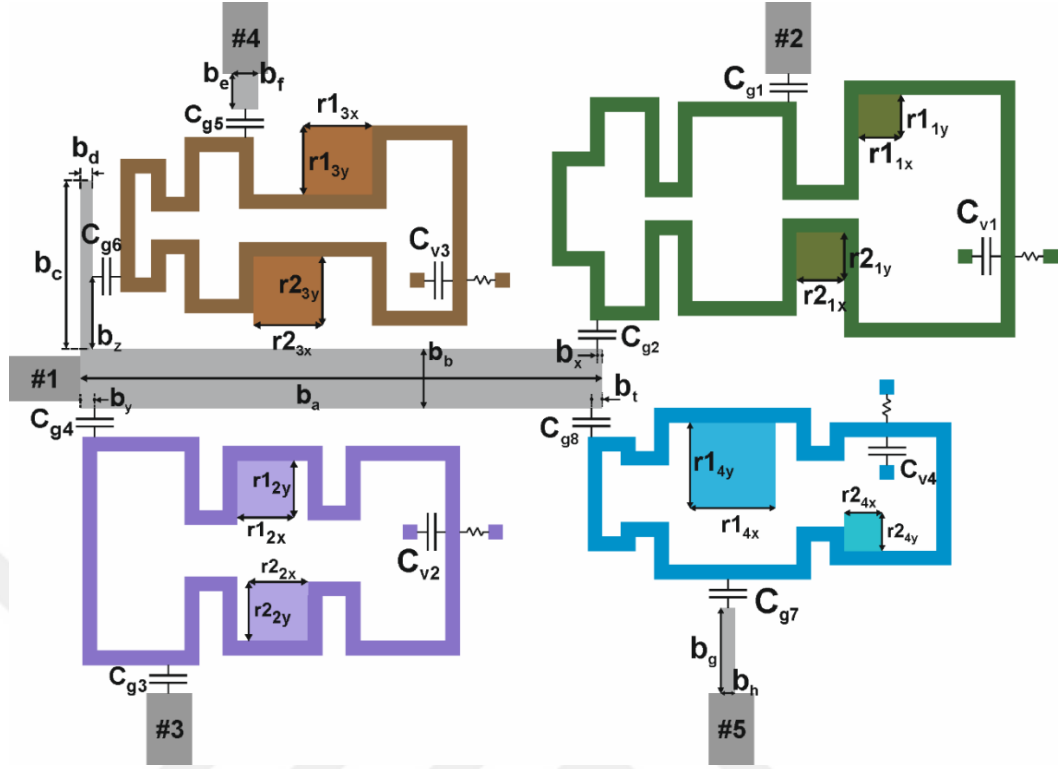




Şekil 4.4. Kanallar arası izolasyon seviyesi

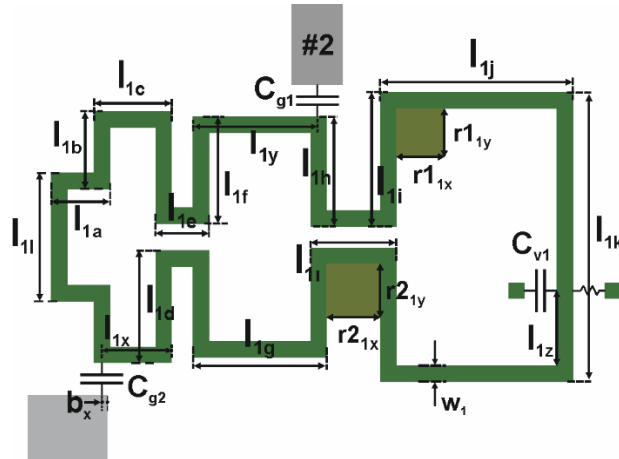
#### 4.2. Anahtarlanabilir Mikroşerit Dörtleyici Tasarımı

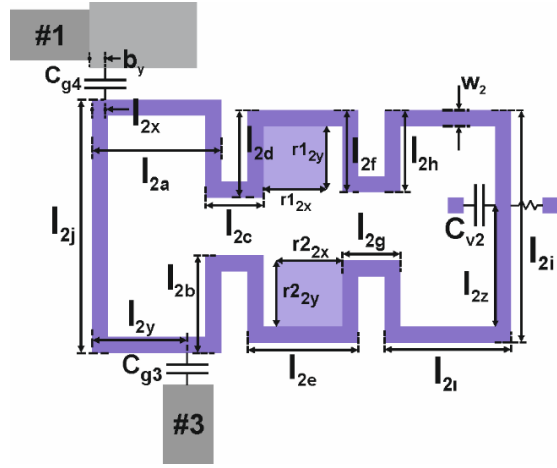
Bölüm 4.1’de anlatılan mikroşerit dörtleyici tasarımını anahtarlanabilir hale getirmek için pertürbasyon elemanı yerine varaktör diyot kullanılmıştır. Tasarlanan anahtarlanabilir mikroşerit dörtleyici yapısı Şekil 4.5’te verilmiştir. Bölüm 4.1’deki geleneksel çift modlu kare halka rezonatörden farklı olarak rezonatörün iki koluna referans eleman ve bu referans elemanlar arasında kalan iletim hattına da varaktör diyot yerleştirilerek yeni rezonatör yapısı oluşturulmuş böylece anahtarlanabilir dörtleyici yapısı elde edilmiştir. Dörtleyicinin rezonatörler dışında genel yapısında değişiklik olmamıştır. Rezonatörlerin beslemesi toplu kapasitörler yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



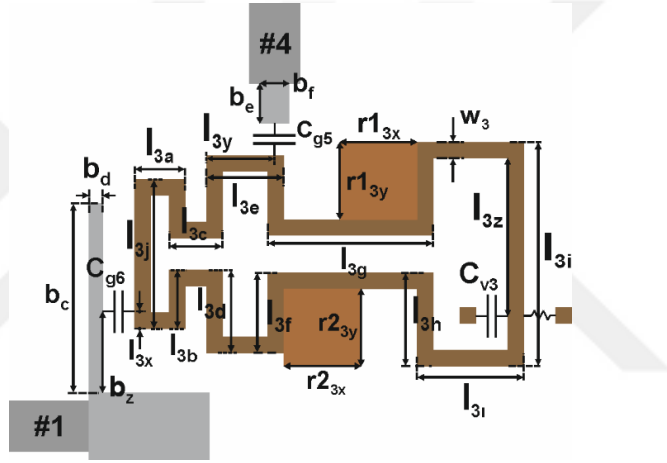
Şekil 4.5. Anahtarlanabilir dörtleyici yapısı ( $b_a= 22$  mm,  $b_b= 2.5$  mm,  $b_c= 7.1$  mm,  $b_d= 0.5$  mm,  $b_e= 1.5$  mm,  $b_f= 1.1$  mm,  $b_g= 3.6$  mm,  $b_h= 0.6$  mm,  $b_x= 0.2$  mm,  $b_y= 0.6$  mm,  $b_z= 3.05$  mm,  $b_t= 0.45$  mm)

Şekil 4.5'te görülen anahtarlanabilir dörtleyicideki  $C_{g1}$ ,  $C_{g2}$ ,  $C_{g3}$ ,  $C_{g4}$ ,  $C_{g5}$ ,  $C_{g6}$ ,  $C_{g7}$ ,  $C_{g8}$  kapasitans değerleri sırasıyla 0.4 pF, 0.3 pF, 0.5 pF, 0.55 pF, 0.35 pF, 0.4 pF, 0.3 pF, 0.7 pF'dır. Dörtleyicideki her bir rezonatörün ayrıntılı bir şekilde boyutlandırması Şekil 4.6' da verilmiştir. Rezonatörlerde boyut adlandırmasındaki alt indislerdeki rakamlar o rezonatöre karşılık gelen kaçınıcı kanal olduğunu göstermektedir.

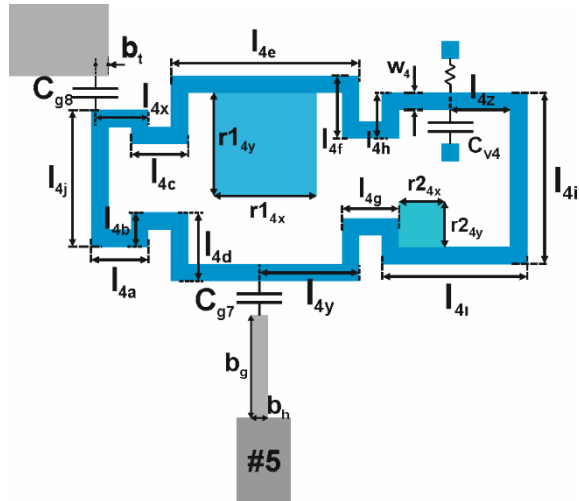




(b)



(c)



(d)

Şekil 4.6. Rezonatörlere ait boyutlandırmalar, (a) Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (b) İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (c) Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar, (d) Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar

Rezonatörlere ait tüm uzunluklar sırasıyla Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Birinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_{1a}$	$l_{1b}$	$l_{1c}$	$l_{1d}$	$l_{1e}$	$l_{1f}$	$l_{1g}$	$l_{1h}$	$l_{1i}$	$l_{1i}$
2.2	2.9	2.9	4.2	2.0	4.0	5.0	4.1	3.2	5.0
$l_{1j}$	$l_{1k}$	$l_{1l}$	$l_{1x}$	$l_{1y}$	$l_{1z}$	$w_1$	$r_{11x}$	$r_{11y}$	$r_{21x}$
7.2	10.8	4.8	2.6	4.6	2.8	0.6	1.8	1.8	2.0
$r_{21y}$									
2.0									

Tablo 4.6. İkinci kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_{2a}$	$l_{2b}$	$l_{2c}$	$l_{2d}$	$l_{2e}$	$l_{2f}$	$l_{2g}$	$l_{2h}$	$l_{2i}$	$l_{2i}$
4.9	3.7	2.2	3.3	4.2	3.1	2.2	3.1	4.8	8.8
$l_{2j}$	$l_{2x}$	$l_{2y}$	$l_{2z}$	$w_2$	$r_{12x}$	$r_{12y}$	$r_{22x}$	$r_{22y}$	
9.6	0.5	3.6	4.6	0.6	2.4	2.4	2.5	2.5	

Tablo 4.7. Üçüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_{3a}$	$l_{3b}$	$l_{3c}$	$l_{3d}$	$l_{3e}$	$l_{3f}$	$l_{3g}$	$l_{3h}$	$l_{3i}$	$l_{3i}$
1.9	2.2	2.0	3.1	2.9	3.0	6.2	3.5	4.0	8.4
$l_{3j}$	$l_{3x}$	$l_{3y}$	$l_{3z}$	$w_3$	$r_{13x}$	$r_{13y}$	$r_{23x}$	$r_{23y}$	
5.6	0.65	2.6	5.9	0.6	2.9	2.9	2.9	2.9	

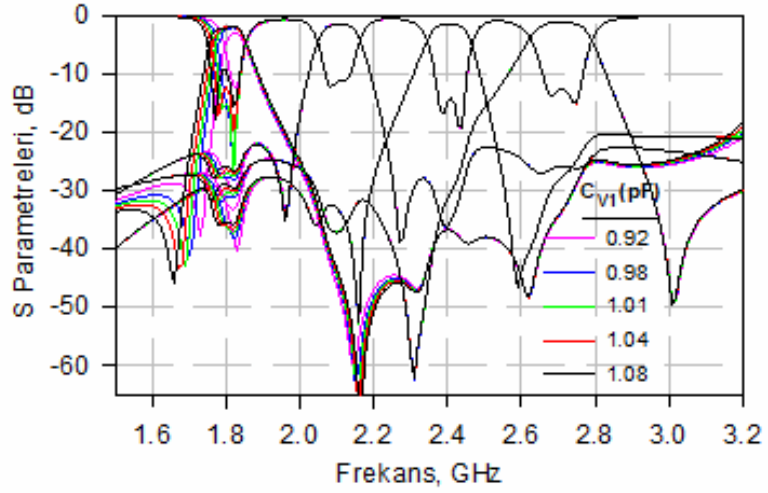
Tablo 4.8. Dördüncü kanalı oluşturan rezonatöre ait boyutlar (Boyutlar mm cinsinden verilmiştir.)

$l_{4a}$	$l_{4b}$	$l_{4c}$	$l_{4d}$	$l_{4e}$	$l_{4f}$	$l_{4g}$	$l_{4h}$	$l_{4i}$	$l_{4i}$
2.0	1.2	2.0	2.4	6.6	2.2	2.0	1.6	5.1	6.0
$l_{4j}$	$l_{4x}$	$l_{4y}$	$l_{4z}$	$w_4$	$r_{14x}$	$r_{14y}$	$r_{24x}$	$r_{24y}$	
4.8	1.85	3.5	2.1	0.6	3.6	3.6	1.6	1.6	

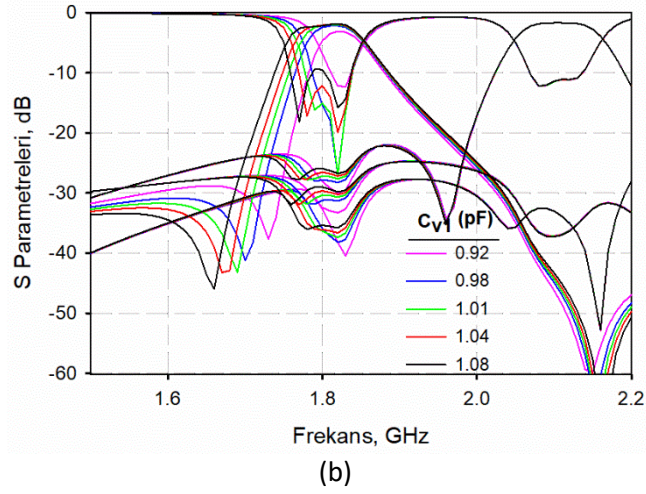
#### 4.2.1. Kanalların band genişliği kontrolü

Dörtleyicide band genişliği kontrol işlemi varaktör diyota uygulanan gerilimin değişimiyle sağlanır. Simülasyonlarda ise bu kontrol işlemi varaktör diyot yerine kullanılan kapasitörün kapasite değerinin değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Her bir rezonatörün sadece kendine ait varaktör diyodundaki değişimle kanalların birbirinden bağımsız olarak kontrolü gerçekleştirilebilir.

Şekil 4.7’de birinci kanalın band genişliği kontrolü görülmektedir. Birinci rezonatöre ait varaktör diyot  $C_{V1}$  kapasite değerinin 0.92 pF ile 1.08 pF arasında değiştirilmesiyle band genişliği 57 MHz ile 102 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 3.09 dB ile 2.15 dB arasında değişmektedir. Varaktör diyodun bu kapasite değerlerine karşılık gelen en yüksek yansıma kaybı 15.36 dB en düşük yansıma kaybı 9.46 dB olarak elde edilmiştir.

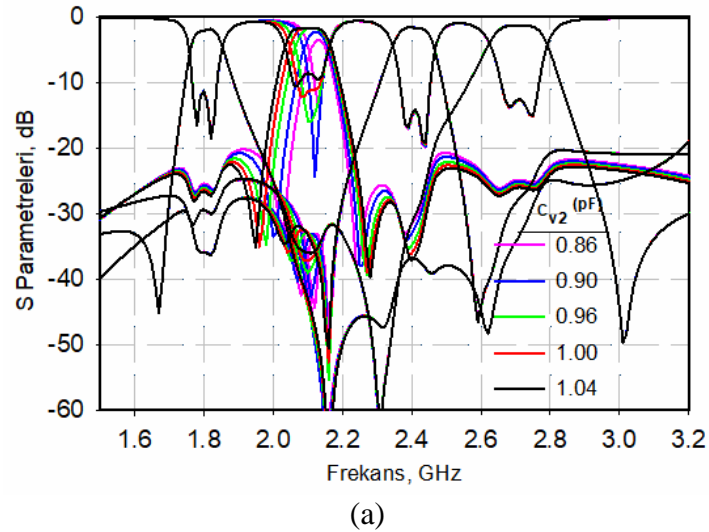


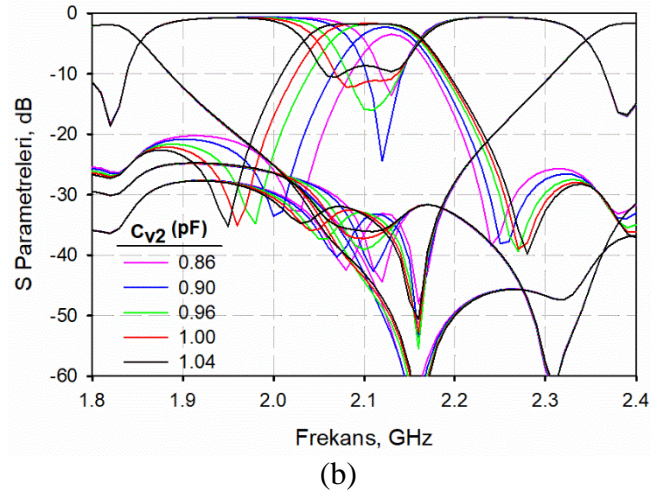
(a)



Şekil 4.7. Birinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

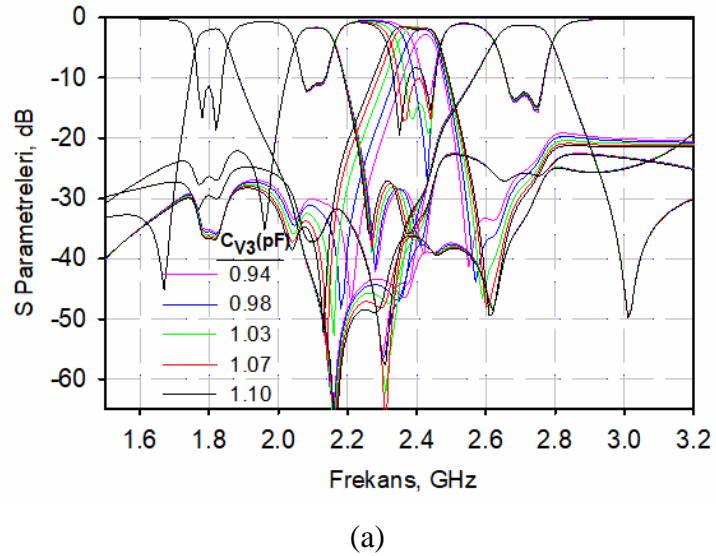
Şekil 4.8’de ikinci kanalın band genişliği kontrolü görülmektedir. İkinci rezonatöre ait varaktör diyot  $C_{v2}$  kapasite değerinin 0.86 pF ile 1.04 pF arasında değiştirilmesiyle band genişliği 50 MHz ile 130 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 3.45 dB ile 1.66 dB arasında değişmektedir. Varaktör diyodun bu kapasite değerlerine karşılık gelen en yüksek yansıma kaybı 16 dB en düşük yansıma kaybı 8.6 dB olarak elde edilmiştir.

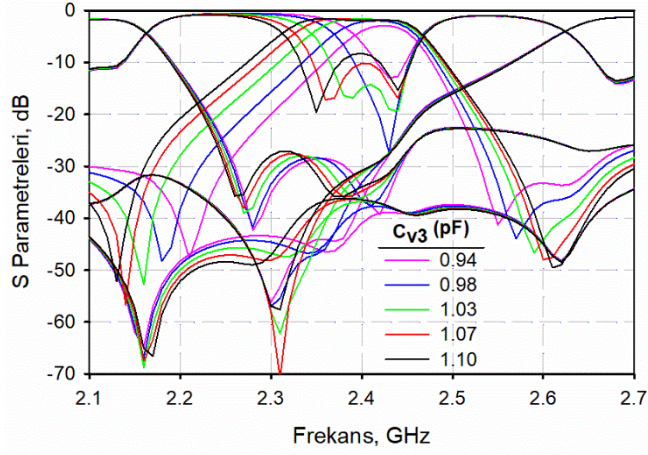




Şekil 4.8. İkinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

Şekil 4.9’da üçüncü kanalın band genişliği kontrolü görülmektedir. Üçüncü rezonatöre ait varaktör diyot  $C_{V3}$  kapasite değerinin 0.94 pF ile 1.1 pF arasında değiştirilmesiyle band genişliği 69 MHz ile 156 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 2.9 dB ile 1.62 dB arasında değişmektedir. Varaktör diyodun bu kapasite değerlerine karşılık gelen en yüksek yansıma kaybı 14.19 dB en düşük yansıma kaybı 8.21 dB olarak elde edilmiştir.

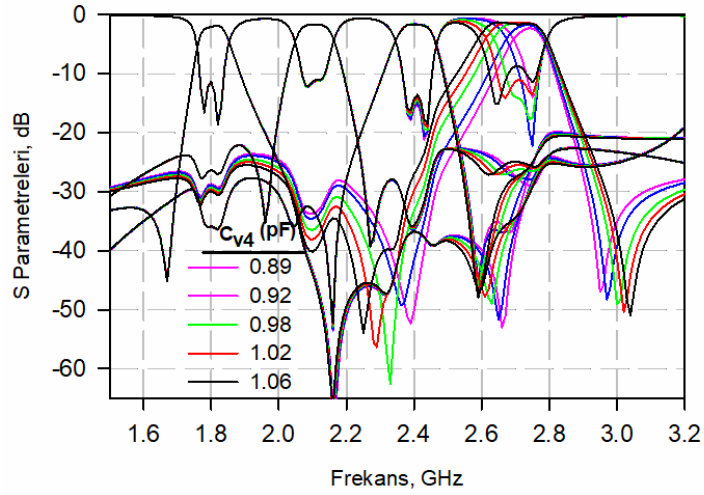




(b)

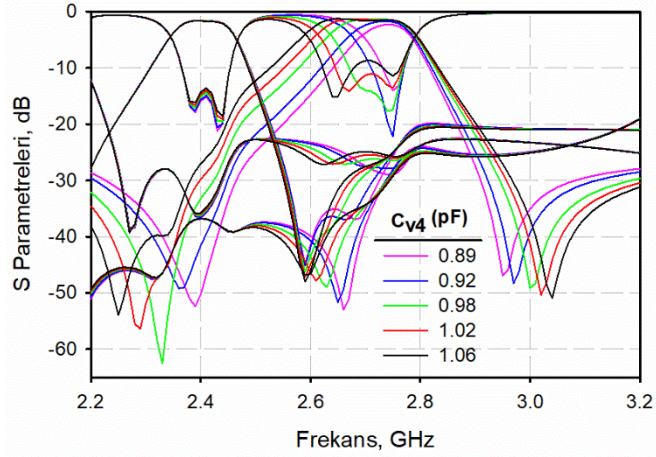
Şekil 4.9. Üçüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

Şekil 4.10'da dördüncü kanalın band genişliği kontrolü görülmektedir. Dördüncü rezonatöre ait varaktör diyot  $C_{V4}$  kapasite değerinin 0.89 pF ile 1.06 pF arasında değiştirilmesiyle band genişliği 94 MHz ile 200 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 2.29 dB ile 1.37 dB arasında değişmektedir. Varaktör diyodun bu kapasite değerlerine karşılık gelen en yüksek yansıma kaybı 14.67 dB en düşük yansıma kaybı 8.7 dB olarak elde edilmiştir.



(a)



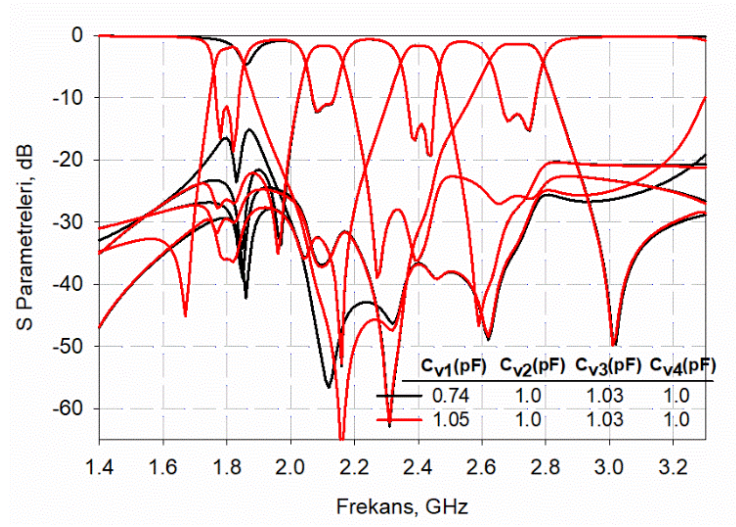


(b)

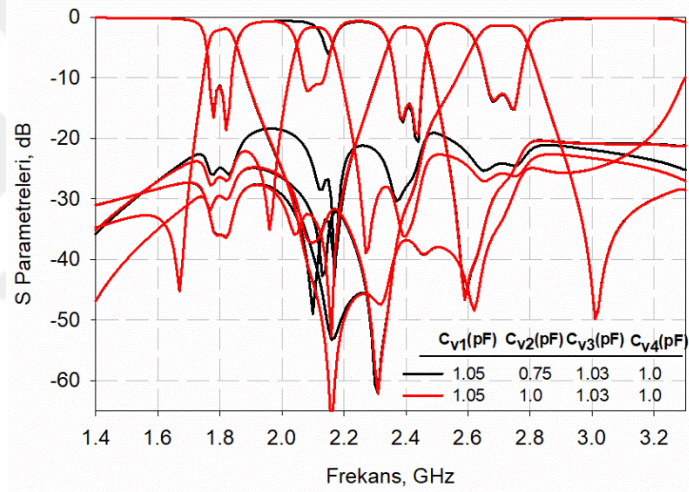
Şekil 4.10. Dördüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

#### 4.2.2. Kanalların anahtarlanması

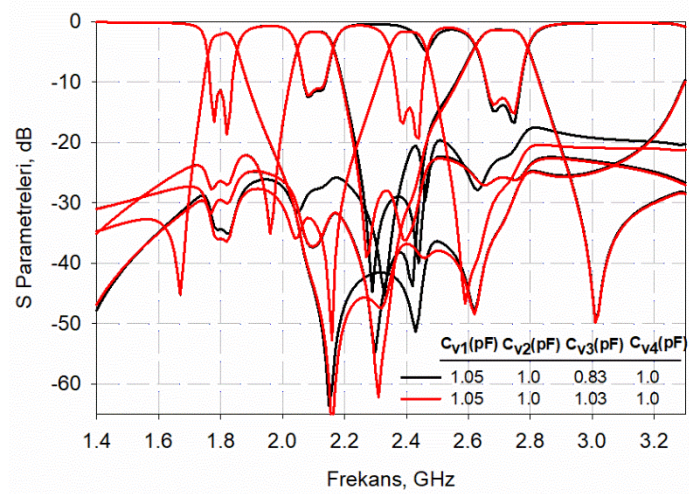
Tasarlanan dörtleyicide her rezonatöre ait varaktör diyot sayesinde her bir kanal birbirinden bağımsız olarak anahtarlanabilmektedir. Şekil 4.11.(a)'da birinci kanalı kanalın anahtarlama işlemi görülmektedir. Bu rezonatöre ait varaktör diyot kapasitansı  $C_{v1}$ 'in 0.74 pF olması durumunda birinci kanalda anahtarlama seviyesi 15 dB'nin altında elde edilmektedir. Şekil 4.11.(b)'de ikinci kanalın anahtarlama işlemi görülmektedir. İkinci rezonatöre ait varaktör diyot kapasitansı  $C_{v2}$ , 0.75 pF iken ikinci kanalda anahtarlama seviyesi 25 dB'nin altında elde edilmiştir. Şekil 4.11.(c)'de üçüncü kanalın anahtarlama işlemi gösterilmektedir. Varaktör diyot kapasitansı  $C_{v3}$ , 0.83 pF iken üçüncü kanala ait araya girme kaybı 20 dB'nin altına düşmektedir. Şekil 4.11.(d)'de dördüncü kanalın anahtarlama işlemi görülmektedir. Varaktör diyot kapasitansı  $C_{v4}$ , 0.75 pF iken dördüncü kanala ait araya girme kaybı 26 dB'nin altına düşmektedir.



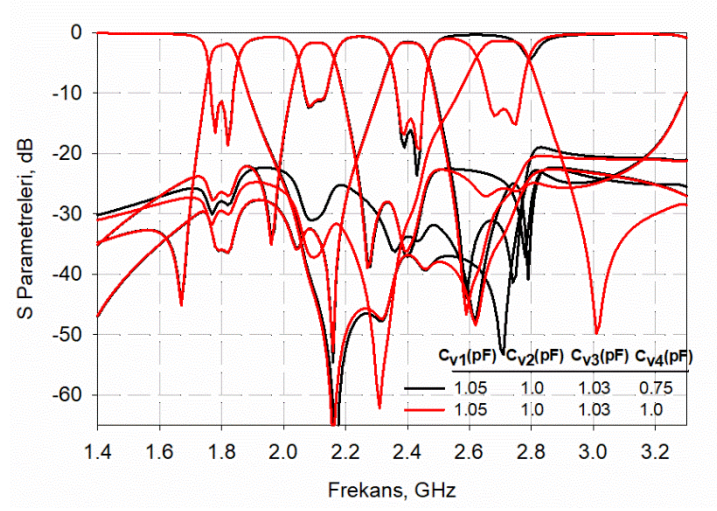
(a)



(b)



(c)



(d)

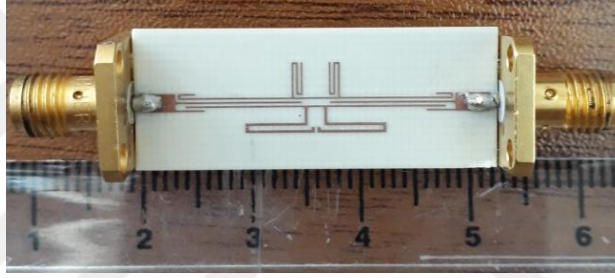
Şekil 4.11. Kanallara ait anahtarlama işlemi, (a) Birinci kanal, (b) İkinci kanal, (c) Üçüncü kanal, (d) Dördüncü kanal

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

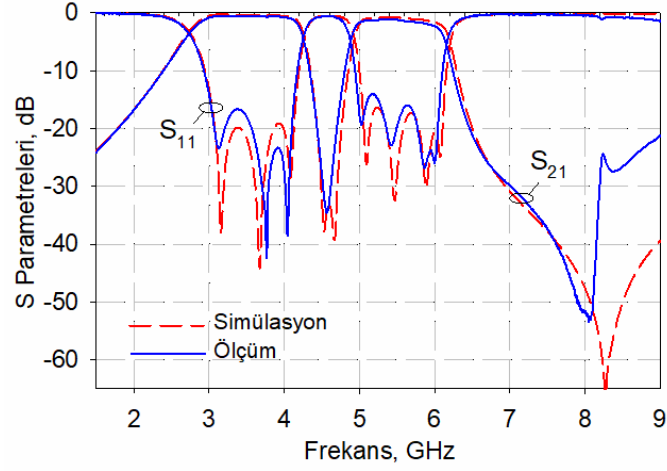
#### 5.1. Çok Modlu Çift Geniş Bandlı Band Geçiren Filtre

Bölüm 2.4'te anlatılan çok modlu rezonatörler kullanılarak tasarlanan çift geniş bandlı band geçiren filtrenin deneysel doğruluğunu göstermek amacıyla bu filtre imal edilmiştir. İmal edilen filtrenin fotoğrafı Resim 5.1'de görülmektedir. Filtrenin üretimi 3.38 dielektrik sabitine sahip, 0.813 mm kalınlığındaki Rogers RO4003C taban malzemesi üzerine gerçekleştirilmiştir. İmal edilen filtrenin boyutu 24 mm x 6.9 mm, dalga boyu cinsinden  $0.41 \lambda_g \times 0.12 \lambda_g$  ( $0.049 \lambda_g^2$ )'dir. İmal edilen filtreye ait ölçümler, HP8720C Network Analizör kullanılarak yapılmıştır.



Resim 5.1. İmal edilen çift geniş bandlı band geçiren filtre

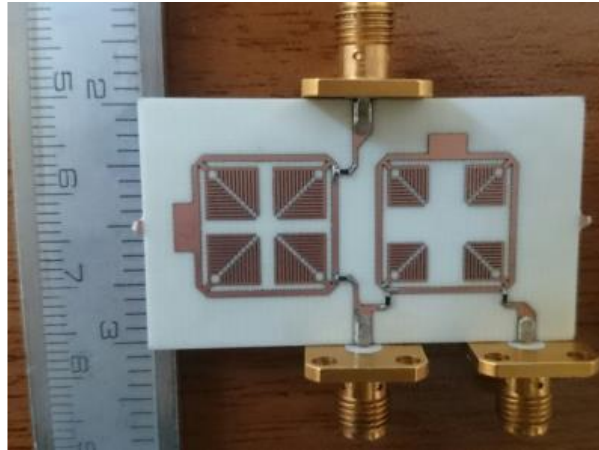
Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması Şekil 5.1'de verilmiştir. Simülasyon sonuçlarında, birinci ve ikinci geçiş bandlarındaki minimum araya girme kayıpları sırasıyla 0,31 dB ve 0,79 dB olarak elde edilmiştir. Geri dönüş kayıpları ise geçiş bandlarında sırasıyla 19 dB ve 16 dB'den daha iyi seviyelerde elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, araya girme kayıpları birinci ve ikinci geçiş bandlarında sırasıyla 0.6 dB ve 1.14 dB, geri dönüş kayıpları ise 16 dB ve 14 dB'den daha iyi seviyelerde ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarında da üçü ilk geçiş bandında dördü ikinci geçiş bandında olmak üzere yedi iletim kutbu elde edilmiştir. Bandların merkez frekansları simülasyonda sırasıyla 3.4 GHz ve 5.52 GHz'de elde edilirken, ölçümlerde sırasıyla 3.4 GHz ve 5.51 GHz'de ölçülmüştür. Görüldüğü üzere imal edilen filtreye ait ölçüm sonuçları simülasyonla iyi bir uyum içinde elde edilmiştir.



Şekil 5.1. İmal edilen filtreye ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

## 5.2. Mikroşerit Çiftleyici

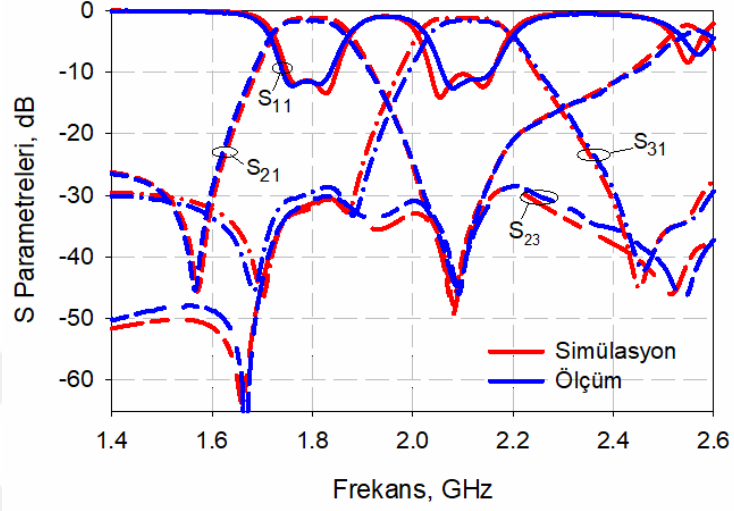
Simülasyon çalışması sonucu imal edilen devrenin fotoğrafı Resim 5.2’de gösterilmiştir. İmalat 3.38 dielektrik sabitli 0.813 mm kalınlığındaki Rogers RO4003C serisi taban malzemesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. İmal edilen çiftleyicinin boyutu 19 mm x 34.7 mm, dalga boyu cinsinden  $0.186 \lambda_g \times 0.34 \lambda_g$  ( $0.0646 \lambda_g^2$ )’dir. Üretilen çiftleyiciyi ölçmek için 50 ohm SMA konnektörleri kullanılmıştır. Ölçümler Agilent E5071C Network Analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.2. İmal edilen çiftleyicinin fotoğrafı

Üretilen mikroşerit çiftleyiciye ait ölçüm sonuçları Şekil 5.2 de gösterilmiştir. Deneysel sonuçlarında birinci ve ikinci kanallarda minimum araya girme kayıpları sırasıyla 1.63 dB ve 1.66 dB olarak elde edilmiştir. Her iki kanalda da geri dönüş kayıpları 10 dB’den daha iyi olarak ölçülmüştür. Kanalların merkez frekansları 1,8 GHz ve 2,1 GHz’de

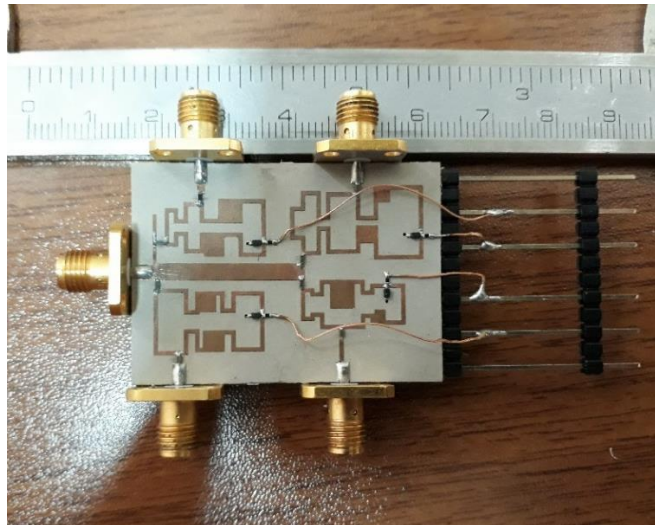
kısmi band genişlikleri sırasıyla % 8.3 ve % 8,5 olarak ölçülmüştür. Çıkış portları arasındaki izolasyon seviyeleri birinci ve ikinci kanalların merkez frekanslarında sırasıyla 30 dB ve 28 dB' den daha iyi seviyelerde elde edilmiştir.



Şekil 5.2. İmal edilen çiftleyiciye ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

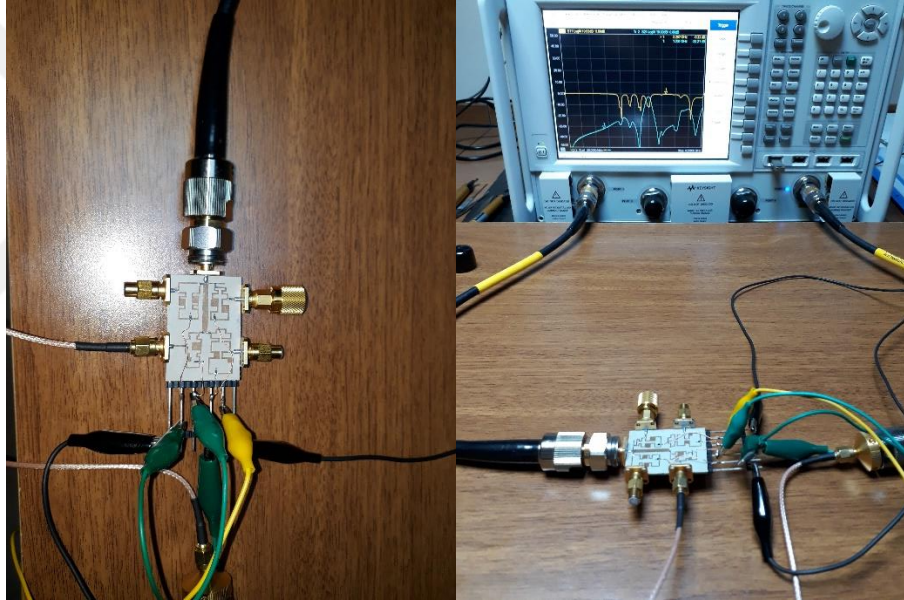
### 5.3. Anahtarlanabilir Mikroşerit Dörtleyici

Bölüm 4.2'de verilen anahtarlanabilir dörtleyicinin deneysel olarak doğruluğunu göstermek amacıyla devrenin imalatı gerçekleştirilmiştir. Devrede taban malzemesi olarak 6.15 bağıl dielektrik sabitine sahip, 1.27 mm kalınlığında Rogers RT6006 malzemesi kullanılmıştır. İmalat için devre kazıma işleminde LPKF D104 devre kazıma cihazı kullanılmıştır. İmal edilen dörtleyicinin fotoğrafı Resim 5.3'te görülmektedir.



Resim 5.3. İmal edilen dörtleyiciye ait fotoğraf

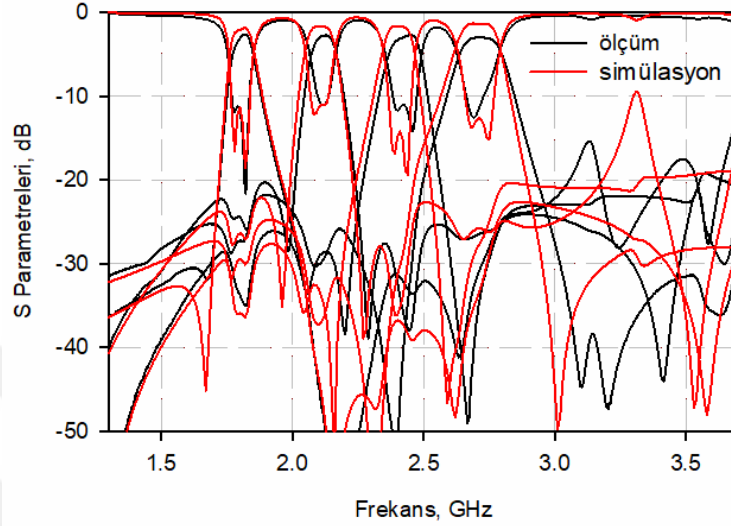
Devrede kullanılan varaktör diyotlara bias gerilimi uygulamak için bir adet 36 V sabit güç kaynağı kullanılmıştır. Dörtleyicide kanalların birbirinden bağımsız kontrol edilebilmesi için her bir rezonatörde kullanılan varaktör diyotlara birbirinden bağımsız olarak gerilim uygulanması gerektiğinden dört tane gerilim regülatör modülü kullanılarak 36 V sabit gerilim değeri rezonatörlerde istenilen değerlere ayarlanabilmiştir. İmal edilen dörtleyicinin ölçümü Keysight PNA N5222A Network Analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Resim 5.4'te ölçüm anına ait fotoğraflar verilmiştir. Laboratuvar imkanlarından dolayı ölçüm yapılırken analizörün ikinci portu ölçülmesi istenilen kanala ait çıkış portuna bağlanmış, diğer portlar 50 ohm'luk sonlandırma ile sonlandırılmıştır.



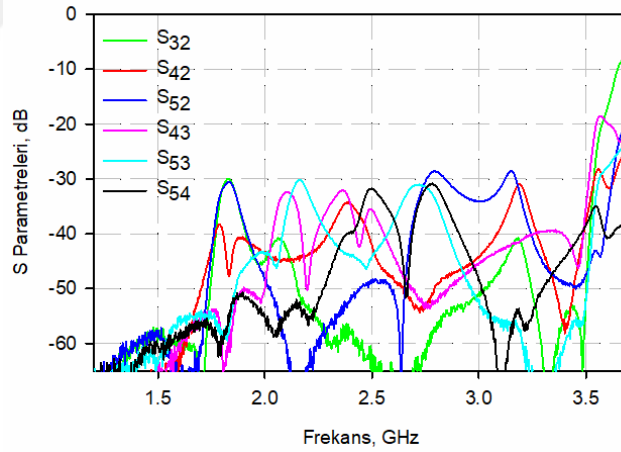
Resim 5.4. Ölçüm anına ait fotoğraflar

Tasarlanan anahtarlanabilir dörtleyiciye ait simülasyon sonucu ile ölçüm sonuçlarına ait karşılaştırma Şekil 5.3'te verilmiştir. Simülasyon çalışmasında varaktör diyot kapasite değerleri  $C_{v1}$ ,  $C_{v2}$ ,  $C_{v3}$ ,  $C_{v4}$  sırasıyla 1.05 pF, 1.0 pF, 1.03 pF ve 1.0 pF olarak alınmıştır. Deneysel çalışmada bütün kanalların açık durumda olduğu durumdaki varaktör diyotlara uygulanan gerilim değerleri sırasıyla 13.9 V, 14.8 V, 16.6 V ve 17.8 V'tur. Kanalların merkez frekansları sırasıyla 1.8 GHz, 2.11GHz, 2.42 GHz ve 2.71 GHz'de elde edilmiştir. Uygulanan bu gerilim değerleri sonucu ölçümlerde kanallardaki araya girme kayıpları sırasıyla 2.7 dB, 2.8 dB 2.9 dB ve 3.0 dB olarak elde edilmiştir. Geri dönüş kayıpları ise sırasıyla 11.2 dB, 11 dB, 11 dB ve 10.8 dB olarak elde edilmiştir.

Ölçüm sonucunda elde edilen kanallar arasındaki izolasyon seviyeleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kanallar arasındaki izolasyon seviyeleri 28.5 dB'den daha iyi seviyelerde elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Kanalların hepsinin açık olduğu durumda simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması

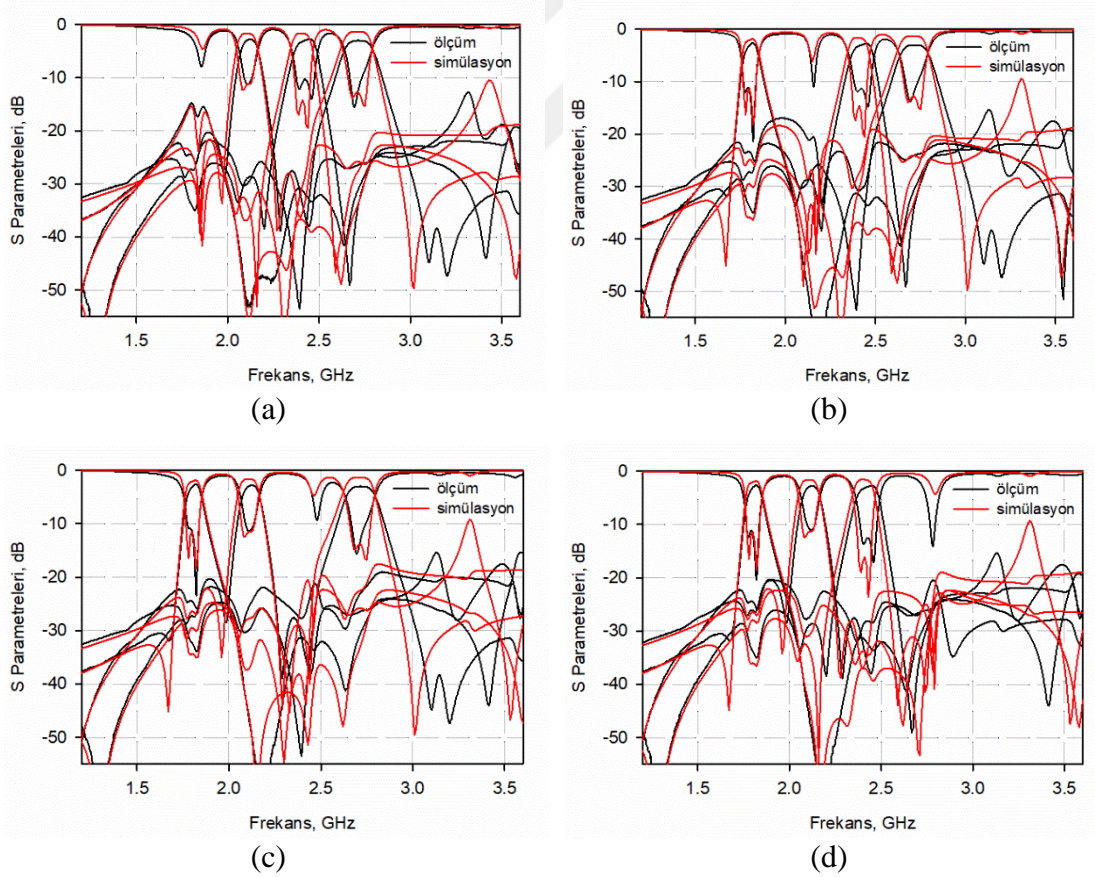


Şekil 5.4. Kanallar arasındaki izolasyon seviyeleri

Üretilen dörtleyicide kanalların anahtarlama işlemine ait ölçüm sonuçları Şekil 5.5'te verilmiştir. Varaktör diyoda uygulanan gerilim değeri arttırıldığında varaktör diyodun kapasitans değeri azalacağından bu sayede belirli gerilim değerlerinde kanalların anahtarlama yapılabilir. Şekil 5.5.(a)'da birinci kanalın anahtarlama işlemi görülmektedir. Birinci kanalın anahtarlama işlemi için varaktör diyotlara uygulanan gerilim değerleri sırasıyla 20.6 V, 14.8 V, 16.6 V ve 17.8 V'tur. Birinci kanala ait bu anahtarlama işleminde kanal anahtarlama seviyesi 14.8 dB olarak elde edilmiştir. Şekil



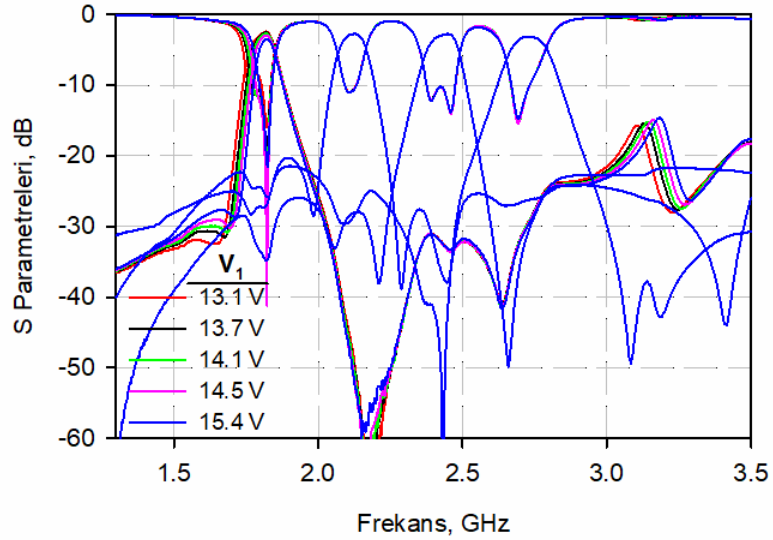
5.5.(b)'de ikinci kanalın anahtarlama işlemi görülmektedir. İkinci kanalın anahtarlama için varaktör diyotlara uygulanan gerilim değerleri sırasıyla 13.9 V, 20.4 V, 16.6 V ve 17.8 V'tur. İkinci kanala ait bu anahtarlama işleminde kanal anahtarlama seviyesi 20.5 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 5.5.(c)'de üçüncü kanalın anahtarlama işlemi görülmektedir. Üçüncü kanalın anahtarlama için varaktör diyotlara uygulanan gerilim değerleri sırasıyla 13.9 V, 14.8 V, 23.5 V ve 17.8 V'tur. Üçüncü kanala ait bu anahtarlama işleminde kanal anahtarlama seviyesi 21.2 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 5.5.(d)'de dördüncü kanalın anahtarlama işlemi görülmektedir. Dördüncü kanalın anahtarlama için varaktör diyotlara uygulanan gerilim değerleri sırasıyla 13.9 V, 14.8 V, 16.6 V ve 31.6 V'tur. Dördüncü kanala ait bu anahtarlama işleminde kanal anahtarlama seviyesi 20.4 dB olarak elde edilmiştir. Görüldüğü üzere anahtarlama işleminde ölçüm sonuçları simülasyon sonuçlarıyla uyumlu bir şekilde elde edilmiştir.



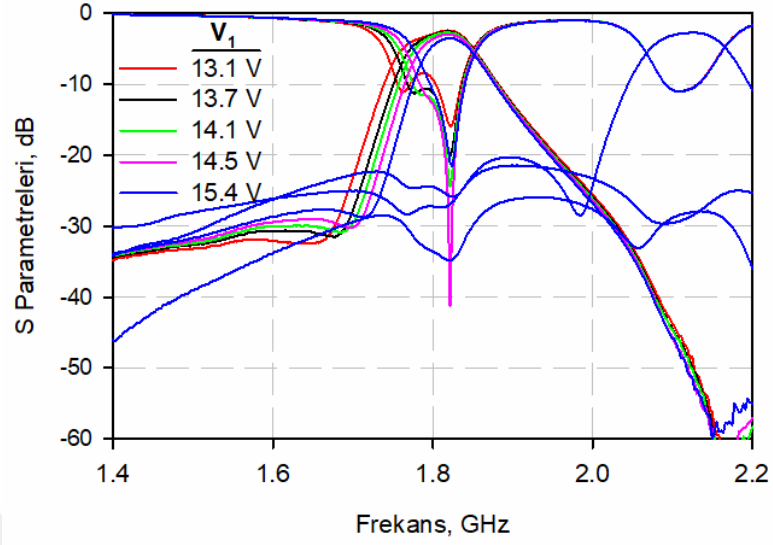
Şekil 5.5. Kanallara ait anahtarlama işlemi, (a) Birinci kanala ait anahtarlama işlemi, (b) İkinci kanala ait anahtarlama işlemi, (c) Üçüncü kanala ait anahtarlama işlemi, (d) Dördüncü kanala ait anahtarlama işlemi

İmal edilen anahtarlanabilir dörtleyicide her bir rezonatöre ait varaktör diyoda uygulanan gerilim belirli bir aralıkta değiştirilerek kanalların birbirinden bağımsız olarak band genişliği kontrolü sağlanabilmektedir. Bu nedenle deneysel çalışmada sadece band genişliği kontrol edilmesi istenen rezonatöre ait varaktör diyoda uygulanan gerilim değiştirilmiş diğer varaktör diyotların gerilimi sabit tutulmuştur.

Şekil 5.6'da varaktör diyoda uygulanan gerilim  $V_1$ 'in değişimine bağlı olarak birinci kanalın band genişliği kontrolüne ilişkin ölçüm sonuçları verilmiştir.  $V_1$  gerilimi 13.1 V ile 15.4 V arasında değiştirilerek band genişliği 100 MHz ile 70 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu gerilim değişimi sırasında birinci kanalın merkez frekansı 1.79 GHz ile 1.82 GHz arasında değişmektedir. Band genişliği kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 3.2 dB ile 3.5 dB arasında değerler almaktadır. Bu değerlere karşılık geri dönüş kayıpları ise 8.5 dB ve 21 dB olarak elde edilmiştir.



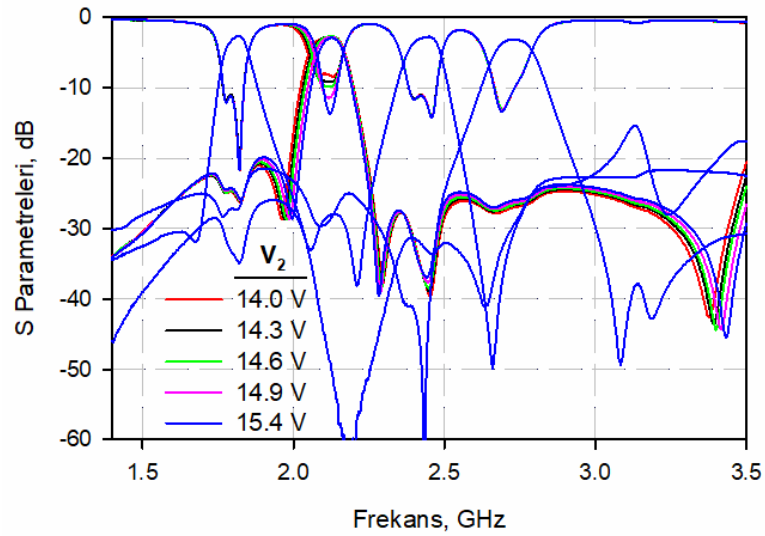
(a)



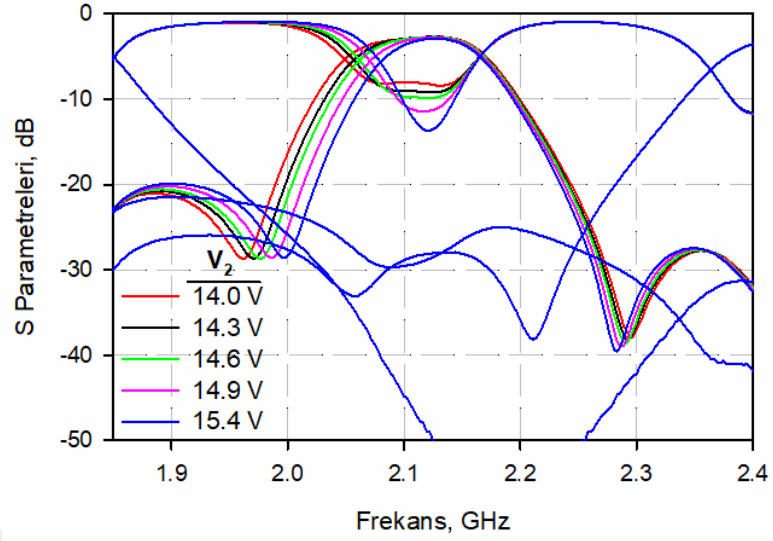
(b)

Şekil 5.6. Birinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

Şekil 5.7’de varaktör diyoda uygulanan gerilim  $V_2$ ’in değişimine bağlı olarak ikinci kanalın band genişliği kontrolüne ilişkin ölçüm sonuçları verilmiştir.  $V_2$  gerilimi 14 V ile 15.4 V arasında değiştirilerek band genişliği 120 MHz ile 90 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu gerilim değişimi sırasında ikinci kanalın merkez frekansı yaklaşık 2.1 GHz ile 2.12 GHz arasında değişmektedir. Band genişliği kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 2.8 dB ile 2.9 dB arasında değerler almaktadır. Bu değerlere karşılık geri dönüş kayıpları ise 8 dB ve 13.6 dB olarak elde edilmiştir.



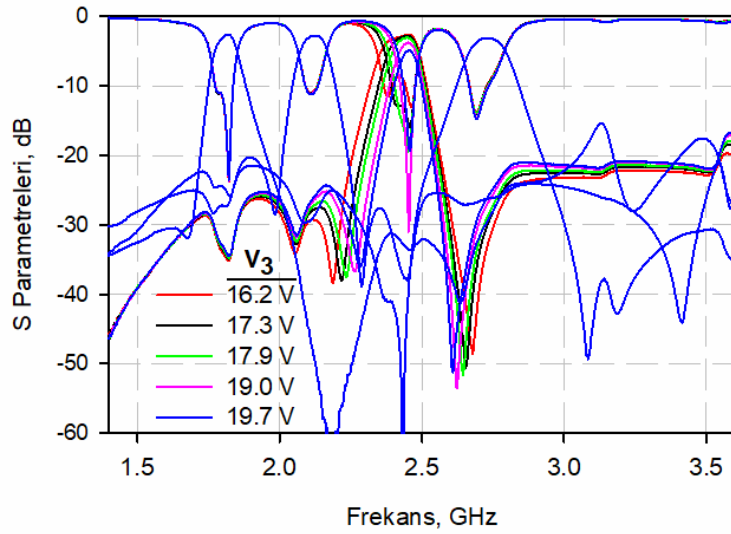
(a)



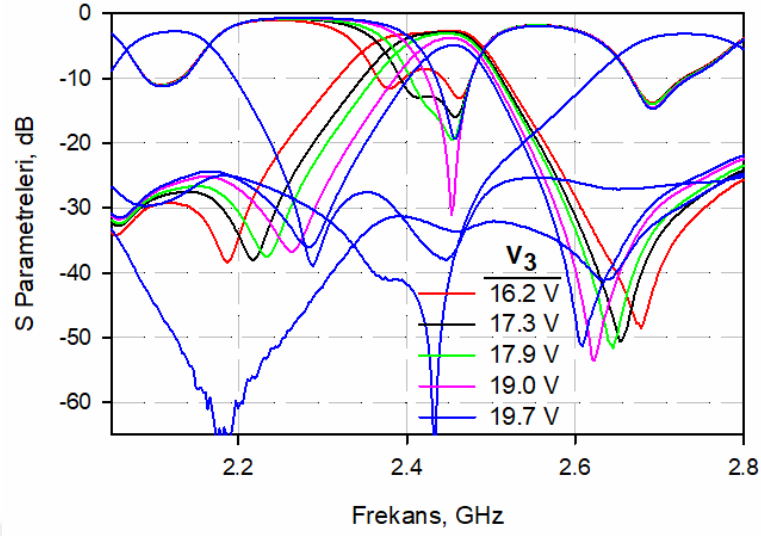
(b)

Şekil 5.7. İkinci kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

Şekil 5.8’de varaktör diyoda uygulanan gerilim  $V_3$ ’in değişimine bağlı olarak üçüncü kanalın band genişliği kontrolüne ilişkin ölçüm sonuçları verilmiştir.  $V_3$  gerilimi 16.2 V ile 19.7 V arasında değiştirilerek band genişliği 150 MHz ile 60 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu gerilim değişimi sırasında üçüncü kanalın merkez frekansı 2.42 GHz ile 2.45 GHz arasında değişmektedir. Band genişliği kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 2.9 dB ile 4.9 dB arasında değerler almaktadır. Bu değerlere karşılık geri dönüş kayıpları ise 8.5 dB ve 19.3 dB olarak elde edilmiştir.



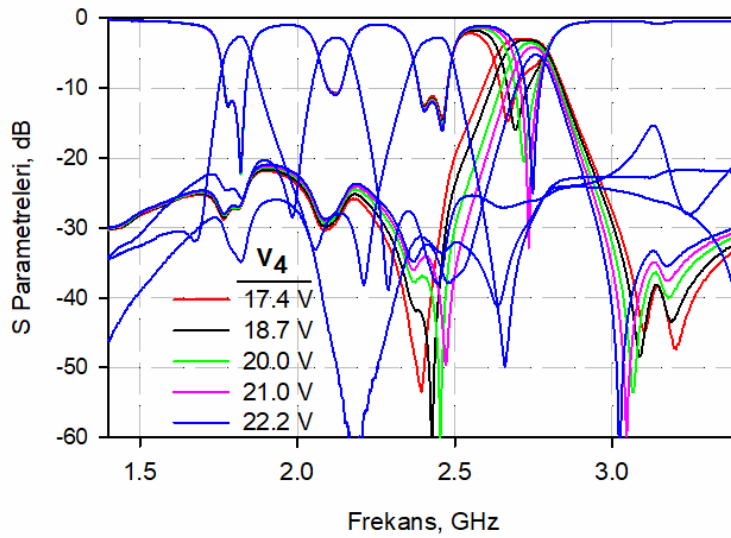
(a)



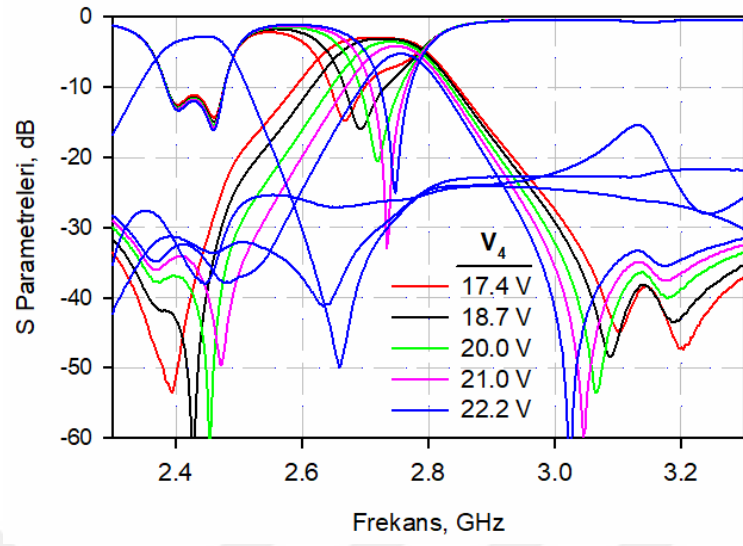
(b)

Şekil 5.8. Üçüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

Şekil 5.9’da varaktör diyoda uygulanan gerilim  $V_4$ ’in değişimine bağlı olarak dördüncü kanalın band genişliği kontrolüne ilişkin ölçüm sonuçları verilmiştir.  $V_4$  gerilimi 17.4 V ile 22.2 V arasında değiştirilerek band genişliği 170 MHz ile 70 MHz arasında kontrol edilebilmektedir. Bu gerilim değişimi sırasında dördüncü kanalın merkez frekansı 2.7 GHz ile 2.75 GHz arasında değişmektedir. Band genişliği kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 3 dB ile 5.3 dB arasında değişmektedir. Bu değerlere karşılık geri dönüş kayıpları ise 9.1 dB ve 25 dB olarak elde edilmiştir.



(a)



Şekil 5.9. Dördüncü kanala ait band genişliği kontrolü, (a) Geniş band, (b) Dar band

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında çeşitli mikroşerit çoğullayıcı tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu devrelerin tasarımı için öncelikle çoğullayıcıların her bir kanalı için filtre tasarımları ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu filtrelerin birleştirilmesi suretiyle boyut, karakteristik ve performans açısından farklı özelliklere sahip çiftleyici ve dörtleyici tasarımları ortaya konmuştur. Tasarımlar esnasında bir Tam-Dalga Elektromanyetik Simülatör kullanılmış ve deneysel çalışmalar öncesinde devre performansları (merkez frekans, araya girme kaybı, geri dönüş kaybı, kanallar arası izolasyon vb.) oldukça iyi seviyelere getirilmiştir. Tasarlanan filtre ve çoğullayıcılar arasından çift geniş bantlı band geçiren filtre, açık devre sonlandırılmış yan hatlara sahip kompakt bir çiftleyici ve elektronik olarak anahtarlanabilir ve band genişliği ayarlanabilir dörtleyici imal edilmiştir. Devrelerin imalatı düşük tanjant kaybına sahip taban malzemeleri kullanılarak baskı devre cihazı ile yapılmıştır. İmal edilen devrelerin ölçümleri Vektör Network Analizör sayesinde gerçekleştirilmiş, simülasyon sonuçlarıyla oldukça iyi bir uyum sergiledikleri gözlenmiştir.

Bölüm 2’de, çiftleyici ve dörtleyici tasarımlarına yönelik tek bantlı band geçiren filtre tasarımlarına ve yan hat yüklü çok modlu rezonatörler kullanılarak tasarlanan çift geniş bantlı band geçiren filtre tasarımlarına yer verilmiştir. Çiftleyiciler için öncelikle çift modlu geleneksel kare halka rezonatörün köşelerine dar yarıklara sahip açık devre sonlandırılmalı yan hatlar ekleyerek band geçiren filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu yarıklar hem minyatürizasyonu artırmış hem de merkez frekans kontrolüne imkân vermiştir. Çiftleyicilere yönelik bir başka band geçiren filtre ise açık devre sonlandırılmalı yan hatların köşelerden değil, rezonatörün kenarlarının ortalarından bağlanması suretiyle tasarlanmıştır. Böylelikle geçme bandı dışında daha temiz bir üst tutma bandı elde edilebilmiştir. Dörtleyici tasarımlarına yönelik filtreler ise elektronik olarak anahtarlanabilir özelliğe sahip olup olmama durumuna göre iki aşamada ele alınmıştır. Anahtarlama özelliğine sahip olmayan band geçiren filtre, geleneksel çift modlu kare halka rezonatörün kıvrımlı hale getirilmesiyle tasarlanmıştır. Anahtarlanabilir dörtleyici için tasarlanan filtrede ise, rezonatörün kollarına iki adet yama eleman ve bir adet varaktör diyot yerleştirilmiştir. Böylece varaktör diyot

kapasitansındaki değişimin harici bir DC bias gerilimiyle değiştirilmesi sayesinde geçme bandı anahtarlanabilmiştir. Burada çift modlu kare halka rezonatörlerin dejenere mod özelliklerinden yararlanılmıştır. Bu filtrelerde gerek pertürbasyon elemanın boyut değişiminin, gerekse varaktör diyodun kapasitans değişiminin band genişliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son olarak bu bölümde yan hat yüklü çok modlu rezonatörler kullanılarak tasarlanan çift bandlı band geçiren filtre tasarımı anlatılmıştır. Farklı boyutlarda çok modlu rezonatörlerden iki tane kullanarak çift bandlı filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çift bandlı band geçiren filtrenin imalatı gerçekleştirilerek deneysel çalışması yapılmıştır. Ölçüm sonuçları simülasyonla iyi bir uyum içinde elde edilmiştir.

Bölüm 3'te iki farklı çiftleyici tasarımına yer verilmiştir. Bunlardan ilki Bölüm 2'de ortaya konan açık devre sonlandırılmalı yan hatların kare halka rezonatörün köşelerinden bağlandığı filtrelerden oluşan çiftleyicidir. Farklı frekanslarda kanallar elde etmek için rezonatörlere farklı sayılarda yarıklar yerleştirilmiştir. Tasarlanan bu çiftleyici imal edilmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları simülasyonla iyi bir uyum içinde elde edilmiştir. Bu bölümde ele alınan diğer çiftleyici ise üst tutma bandı temiz filtreler kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan çiftleyicilerde, pertürbasyon elemanın boyut değişimi ile band genişliğinin, dar yarıkların sayısı ile de merkez frekansın kontrolü incelenmiştir.

Bölüm 4'te anahtarlama özelliğine sahip olmayan ve anahtarlanabilir olmak üzere iki farklı dörtleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Anahtarlama özelliğine sahip olmayan dörtleyici Bölüm 2'de anlatılan, pertürbasyon elemanı olarak yama eleman kullanılan rezonatörün oluşturduğu fitrelerden meydana gelmektedir. Anahtarlanabilir dörtleyici ise varaktör diyot kullanılarak tasarlanan filtreler kullanılarak tasarlanmıştır. Varaktör diyotların kapasitans değerlerine göre kanalların band genişliği kontrolü ve kanalların anahtarlama birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu anahtarlanabilir dörtleyici imal edilmiş ve test edilmiştir. Deneysel ölçümlerle simülasyonların iyi bir uyuma sahip olduğu görülmüştür.

Tez kapsamında deneysel çalışmaları gerçekleştirilen tüm devreler Bölüm 5'te devre fotoğrafları ve ölçüm performanslarıyla birlikte ele alınmıştır. Tasarlanan çiftleyici ve dörtleyici ile literatürdeki bazı çalışmalara ait karşılaştırmalar sırasıyla Tablo 6.1 ve



Tablo 6.2’de verilmiştir. Görüldüğü gibi imal edilen çiftleyici ve dörtleyici literatürdeki çalışmalar arasında önemli bir yere sahiptir. Tasarlanan ikileyicinin araya girme kaybı ve devre boyutu açısından önemli avantajlar sunduğu görülebilir. Literatürde anahtarlanabilir dörtleyiciler üzerine birkaç çalışma olmasına rağmen, hem kanalların anahtarlanabildiği, hem de band genişliklerinin ayarlanabildiği çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla tez kapsamında imal edilen dörtleyicinin literatürde önemli bir yere sahip olacağı beklenmektedir. İlerleyen yıllarda yapılacak çalışmalarla, kanalların lineer filtreleme karakteristiğinde elde edilmesi ve her bir kanalın merkez frekans kontrolünün sağlanması gibi özelliklerin de bu dörtleyiciye kazandırılması hedeflenmektedir.

Tablo 6.1. Tasarlanan çiftleyici ile literatürdeki bazı çiftleyicilerin karşılaştırması

Referans	Merkez Frekansları (GHz)	Araya Girme Kaybı (dB)	Geri Dönüş Kaybı (dB)	İzolasyon (dB)	Boyut ( $\lambda_g \times \lambda_g$ )
[9]	0.5/ 0.86	2.75/ 2.9	> 14	>70	0.34 x 0.28
[13]	2.45/ 3.5	1.2/ 1.05	> 15	>30	0.5 x 0.35
[33]	1.75/ 1.95	1.95/ 1.80	> 10/ 12	>20	0.35 x 0.40
[38]	2/ 2.4	1.8/ 1.9	> 12	>47	0.46 x 0.28
[41]	1.8/ 2.45	2.5/ 2.17	> 14	>55	0.177 x 0.274
[65]	1.78/ 2.37	1.54/ 1.47	> 18.26/ 25.21	>40	0.37 x 0.30
[66]	1.95/ 2.14	1.2/ 1.5	> 10	>35	0.36 x 0.38
Tasarlanan İkileyici	1.8/ 2.1	1.63/ 1.66	> 10	>28	0.186 x 0.34

Tablo 6.2. Tasarlanan dörtleyici ile literatürdeki bazı dörtleyicilerin karşılaştırması

Referans	Merkez Frekansları (GHz)	Araya Girme Kaybı (dB)	İzolasyon (dB)	Boyut ( $\lambda_g^2$ )	Anahtarlanabilirlik	Ayarlanabilirlik
[16]	1/ 1.3/ 1.6/ 1.9 2.2/ 2.5/ 2.8/ 3.1	1.58/ 1.64/ 1.54/ 1.54/ 3.31/ 2.68/ 2.18/ 2.86	>33	0.384	-	-
[17]	1.5/ 1.8/ 2.1/ 2.4	2.91/ 2.88/ 2.75/ 2.7	>25	0.183	-	-
[24]	3.2/ 3.7/ 4.2/ 4.7	3.05/ 3.1/ 3.14/ 3.23	>31	0.049 $\lambda_0$	-	-
[36]	1/ 1.2/ 1.4/ 1.6 1.8/ 2.0/ 2.3/ 2.6	2.5/ 2.1/ 2.8/ 2.5/ 2.7/ 2.6/ 2.0/ 2.0	>30	0.088	-	-
[40]	0.9/ 1.2/ 1.5/ 1.8	2.85/ 2.8/ 2.87/ 2.8	>35	0.07	+	-
[50]	0.9/ 1.2/ 1.5/ 1.8	2.5/ 2.4/ 2.3/ 2.1	>40	0.054	-	-
[53]	0.85/ 1.05/ 1.3/ 1.5 1.65/ 1.85/ 2.05/ 2.3	2.7/ 2.4/ 2.4/ 3/ 3.47/ 3.8/ 4.2/ 4.6	>27	0.105	+	-
[54]	1.8/ 2.2/ 3.5/ 4.0	2.8/ 2.1/ 2.8/ 2.8	>40	0.198	-	-
[55]	5.13/ 5.73/ 5.33/ 6.93	2.4/ 2.8/ 3.2/ 3.2	>37		-	-
[56]	2.3/ 3.7/ 5.0/ 6.1	2.2/ 2.5/ 1.8/ 2.1	>40	0.156	-	-
[57]	1.45/ 1.6/ 1.75/ 2.1	3.1/ 2.86/ 2.86/ 2.76	>34		-	-
	1.49/ 1.6/ 2.06/ 2.25	2.84/ 2.93/ 2.73/ 2.77	>26		-	-
Tasarlanan Dörtleyici	1.8/ 2.11/ 2.42/ 2.71	2.7/ 2.8/ 2.9/ 3.0	>28.5	0.174	+	+

## KAYNAKLAR

1. Macchiarella, G., "Synthesis of Star-Junction Multiplexers", *IEEE Microwave Magazine*, 12 (6), s. 101-109, 2011.
2. Xu, J. X., Zhang, X. Y., "Compact High-Isolation LTCC Diplexer Using Common Stub-Loaded Resonator With Controllable Frequencies and Bandwidths", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 65 (11), s. 4636-4644, 2017.
3. Kim, T. W., Lee, Y. C., "A compact sized LTCC diplexer with high-band selectivity and high isolation for GSM and CDMA multi-band applications", *2009 Asia Pacific Microwave Conference*, s. 2080-2083, Singapore, 2009.
4. Kordiboroujeni, Z., Bornemann, J., "Mode Matching design of substrate integrated waveguide diplexers", *2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT)*, s. 1-3, Seattle, WA, 2013.
5. Athanasopoulos, N., Makris, D., Voudouris, K., "Development of a 60 GHz Substrate Integrated Waveguide planar diplexer", *2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Millimeter Wave Integration Technologies*, s. 128-131, Sitges, 2011.
6. Chu, P., Zheng, K. L., Xu, F., "A planar diplexer using hybrid substrate integrated waveguide and coplanar waveguide", *2017 IEEE 17th International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB)*, s. 1-4, Salamanca, Spain, 2017.
7. Lai, C. H., Zhou, G. T., Ma, T. G., "On-Chip Miniaturized Diplexer Using Jointed Dual-Mode Right-/Left-Handed Synthesized Coplanar Waveguides on GIPD Process", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 24 (4), s. 245-247, 2014.
8. Bui, D. H. N., Vuong, T. P., Allard, B., Verdier, J., Benech, P., "Compact low-loss microstrip diplexer for RF energy harvesting", *Electronics Letters*, 53 (8), s. 552-554, 2017.

9. Chen, C. F., Wang, G. Y., Tseng, B. H., Lin, T. A., "Design of compact microwave diplexer for system-in-a-package applications", *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*, s. 1-2, Nantou, 2016.
10. Weng, S. C., Hsu, K. W., Tu, W. H., "Switchable and High-Isolation Diplexer With Wide Stopband", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 24 (6), s. 373-375, 2014.
11. Tu, W. H., Hung, W. C., "Microstrip Eight-Channel Diplexer With Wide Stopband", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 24 (11), s. 742-744, 2014.
12. Deng, H. W., Zhao, Y. J., Fu, F., Zhou, X. J., Liu, Y. Y., "Compact and high isolation microstrip diplexer for GPS and UWB application", *Electronics Letters*, 49 (10), s. 659-661, 2013.
13. Sugchai, T., Rattapon, J., Sommart, K., "A Design of Wide-Stopband Microstrip Diplexers with Multiorder Spurious-Mode Suppression Using Stepped-Impedance Resonators", *2012 Spring Congress on Engineering and Technology*, s. 1-4, Xian, 2012.
14. Chen, F. C., Qiu, J. M., Hu, H. T., Chu, Q. X., Lancaster, M. J., "Design of Microstrip Lowpass-Bandpass Triplexer With High Isolation", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 25 (12), s. 805-807, 2015.
15. Li, W., Ye, X., Ma, H., "Design of microstrip triplexer with new miniature resonator", *Proceedings of 2012 5th Global Symposium on Millimeter-Waves*, s. 641-643, Harbin, 2012.
16. Hsu, H. W., Tu, W. H., "Microwave Microstrip Six-Channel Triplexer and Eight-Channel Quadruplexer", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 7 (7), s. 1136-1143, 2017.
17. Hung, W. C., Hsu, K. W., Tu, W. H., "Wide-stopband microstrip quadruplexer using asymmetric stepped-impedance resonators", *2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT)*, s. 1-4, Seattle, WA, 2013.

18. Bonache, J., Gil, I., Garcia-Garcia, J., Martin, F., "Complementary split ring resonators for microstrip diplexer design", *Electronics Letters*, 41 (14), s. 810-811, 2005.
19. Huang, Y., Wen, G., Li, J., "Compact and highly-selective microstrip bandpass filter and diplexer using two-stage twist modified split-ring resonators", *2015 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, s. 1-4, Phoenix, AZ, 2015.
20. Huang, Y., Wen, G., Li, J., "Compact microstrip triplexer based on twist-modified asymmetric split-ring resonators", *Electronics Letters*, 50 (23), s. 1712-1713, 2014.
21. Huang, Y., Wen, G., Li, J., "Twist modified asymmetric split ring resonators for microwave components applications", *2015 31st International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES)*, s. 1-2, Williamsburg, VA, 2015.
22. Li, Q., Zhang, Y., "Six-channel diplexer with compact size and high isolation", *Electronics Letters*, 53 (17), s. 1205-1207, 2017.
23. Wu, J. Y., Hsu, K. W., Tseng, Y. H., Tu, W. H., "High-Isolation Microstrip Triplexer Using Multiple-Mode Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 22 (4), s. 173-175, 2012.
24. Lo, S. S., Hsu, K. W., Tu, W. H., "Compact and high-isolation microstrip quadruplexer", *2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*, s. 966-968, Seoul, 2013.
25. Weng, M. H., Hung, C. Y., Su, Y. K., "A Hairpin Line Diplexer for Direct Sequence Ultra-Wideband Wireless Communications", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 17 (7), s. 519-521, 2007.
26. Ogbodo, E. A., Wu, Y., Wang, Y., "Microstrip diplexers with dual-mode patch resonant junctions", *2016 46th European Microwave Conference (EuMC)*, s. 1155-1158, London, 2016.

27. Taravati, S., Khalaj-Amirhosseini, M., "Design method for matching circuits of general multiplexers", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 7 (4), s. 237-244, 2013.
28. Tunc, A. F., Ulker, C., Mungan, A. M., Ceylan, O., Yagci, H. B., "Triplexer design with hairpin structure", *2011 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers*, s. 988-991, Belgrade, 2011.
29. Feng, W., Zhang, Y., Che, W., "Tunable Dual-Band Filter and Diplexer Based on Folded Open Loop Ring Resonators", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 64 (9), s. 1047-1051, 2017.
30. Konpang, J., Thongnoi, L., "A compact four-poles cross-coupled square open loop resonator diplexer", *2011 German Microwave Conference*, s. 1-4, Darmstadt, 2011.
31. Ranjith, M., Aiswarya, S., Menon S. K., "High isolation diplexer for rf circuits using loop resonators", *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, s. 1919-1922, Udupi, 2017.
32. Castillo-Aranibar, P., Rodríguez-Postigo, P., García-Lampérez, A., Segovia-Vargas, D., "Compact triplexer with open ring resonators as microstrip trisection bandpass filters for asymmetric response", *2013 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC)*, s. 1-5, Rio de Janeiro, 2013.
33. Choocadee, S., Intarawiset, N., Tantivivat, S., "Compact microstrip diplexer using triple-mode stub loaded resonators", *2017 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM)*, s. 9-12, Nagoya, 2017.
34. Shao, Q., Chen, F. C., Qian, J. F., Qiu, J. M., Chu, Q. X., "Novel Matching Network and Its Application to Quad-Channel Diplexers", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 27 (5), s. 452-454, 2017.
35. Chen, C. F., Lin, C. Y., Tseng, B. H., Chang, S. F., "High-Isolation and High-Rejection Microstrip Diplexer With Independently Controllable Transmission Zeros", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 24 (12), s. 851-853, 2014.

36. Tseng, B. H., Chang, S. F., Lin, C. Y., Chen, C. F., "A compact eight-channel microstrip quadruplexer using quad mode stub-load resonators", *2014 Asia-Pacific Microwave Conference*, s. 7-9, Sendai, Japan, 2014.
37. Huang, F., Wang, J., Zhu, L., Wu, W., "Compact microstrip balun diplexer using stub-loaded dual-mode resonators", *Electronics Letters*, 52 (24), s. 1994-1996, 2016.
38. Chen, J.-F., Chen, F.-C., Li, R.-S., "High isolation diplexer using novel cascaded quadruplet bandpass filters", *2016 IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, s. 67-69, Beijing, 2016.
39. Yang, T., Chi, P. L., Itoh, T., "Compact Quarter-Wave Resonator and Its Applications to Miniaturized Diplexer and Triplexer", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 59 (2), s. 260-269, 2011.
40. Weng, S. C., Hsu, K. W., Tu, W. H., "Microstrip bandpass single-pole quadruple-throw switch and independently switchable quadruplexer", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 8 (4), s. 244-254, 2014.
41. Yang, T., Chi, P. L., Itoh, T., "High Isolation and Compact Diplexer Using the Hybrid Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 20 (10), s. 551-553, 2010.
42. Guan, X., *et al.*, "Compact, Low Insertion-Loss, and Wide Stopband HTS Diplexer Using Novel Coupling Diagram and Dissimilar Spiral Resonators", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 64 (8), s. 2581-2589, 2016.
43. Radonić, V., Crnojević-Bengin, V., Baskakova, A., Vendik, I., "Multilayer microwave diplexers based on dual-mode resonators for ISM/WiFi bands", *Proceedings of 2014 Mediterranean Microwave Symposium (MMS2014)*, s. 1-4, Marrakech, 2014.
44. Guan, X., *et al.*, "A novel microstrip diplexer with a common square ring resonator for WCDMA", *2016 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM)*, s. 1-3, Nanjing, 2016.

45. Chuang, M. L., Wu, M. T., "Microstrip Diplexer Design Using Common T-Shaped Resonator", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 21 (11), s. 583-585, 2011.
46. Chuang, M. L., Wu, M. T., "Microstrip Multiplexer and Switchable Diplexer with Joint T-Shaped Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 24 (5), s. 309-311, 2014.
47. Lin, S. C., Yeh, C. Y., "Design of Microstrip Triplexer with High Isolation Based on Parallel Coupled-Line Filters Using T-Shaped Short-Circuited Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 25 (10), s. 648-650, 2015.
48. Zayniyev, D., Budimir, D., "Microstrip three-port 4-channel multiplexers using dual-band bandpass filters for wireless applications", *2008 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, s. 1-4, San Diego, CA, 2008.
49. Chen, C. F., Shen, T. M., Huang, T. Y., Wu, R. B., "Design of Multimode Net-Type Resonators and Their Applications to Filters and Multiplexers", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 59 (4), s. 848-856, 2011.
50. Chen, C. F., Shen, T. M., Huang, T. Y., Wu, R. B., "Design of Compact Quadruplexer Based on the Tri-Mode Net-Type Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 21 (10), s. 534-536, 2011.
51. Öztürk Özdemir, P., Görür, A.K., Karpuz, C., "İndüktif Yüklemeli Mikroşerit Kare Halka Rezonatörler Kullanılarak Mikrodalga Frekans Çiftleyici Tasarımı ve Çift-Band Uygulamaları", 2014 Eleco, s. 464-468, Bursa, 2014.
52. Gorur, A. K., Karpuz, C., "A novel microstrip triplexer based on meandered loop resonators", *2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC)*, s. 1242-1245, Kuala Lumpur, 2017.
53. Chen, C., Tseng, B., Wang, G., Li, J., "Compact microstrip eight-channel multiplexer with independently switchable passbands", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 12 (6), s. 1026-1033, 2018.

54. Shao, Q., Chen, F., "Design of Compact and High-Isolation Quadruplexer With Novel Matching Network", *IEEE Access*, 5, s. 11374-11380, 2017.
55. Zewani, M., Hunter, I. C., "Design of Ring-Manifold Microwave Multiplexers", *2006 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, s. 689-692, San Francisco, CA, 2006.
56. Zeng, S., Wu, J., Tu, W., "Compact and High-Isolation Quadruplexer Using Distributed Coupling Technique", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 21 (4), s. 197-199, 2011.
57. Deng, P., Huang, B., Chen, B., "Designs of Microstrip Four- and Five-Channel Multiplexers Using Branch-Line-Shaped Matching Circuits", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 5 (9), s. 1331-1338, 2015.
58. Sonnet, User's Manual, Version 13.52, *Sonnet Software*, North Syracuse, NY, June 2011.
59. Gorur, A., "Description of coupling between degenerate modes of a dual-mode microstrip loop resonator using a novel perturbation arrangement and its dual-mode bandpass filter applications", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52 (2), s. 671-677, 2004.
60. Eryilmaz, G. M., Karpuz, C., Gorur, A., "Dual-mode microstrip filters with adjustable transmission zeros", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 2 (8), s. 839-847, 2008.
61. Gorur, A. K., Karpuz, C., "Design of compact multi-band microstrip bandpass filter having simultaneously excited passbands by using open-circuited stubs", *2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT)*, s. 1-3, Seattle, WA, 2013.
62. Gorur, A., "A novel dual-mode bandpass filter with wide stopband using the properties of microstrip open-loop resonator", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 12 (10), s. 386-388, 2002.



63. Hong, J.-S., Lancaster, M. J., *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, Wiley, s. 471, New York, 2001.
64. Zhang, S., Zhu, L., "Compact and High-Selectivity Microstrip Bandpass Filters Using Triple-/Quad-Mode Stub-Loaded Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 21 (10), s. 522-524, 2011.
65. Chen, X., Yu, X., S. Sun, "Design of high-performance microstrip diplexers with stub-loaded parallel-coupled lines", *Electronics Letters*, 53 (15), s. 1052-1054, 2017.
66. Guan, X., Yang, F., Liu, H., Zhu, L., "Compact and High-Isolation Diplexer Using Dual-Mode Stub-Loaded Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 24 (6), s. 385-387, 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

Alper TÜRKELİ 07.08.1992 tarihinde Niğde’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Niğde’de tamamladı. 2010 yılında lisans öğrenimine başladığı Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Niğde Üniversitesi Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisansa başladı. 2017 yılında araştırma görevlisi olarak Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde göreve başladı. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi’ne yatay geçiş yaparak yüksek lisans öğrenimine burada devam etti. Evli olup halen burada araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

Adres: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü No:113

50300 - Nevşehir

Telefon: 0 384 228 10 00 - 15054

e-posta : alperturkeli@nevsehir.edu.tr

### **Yayımlar:**

1. Turkeli, A., Gorur, A.K., Gunturkun Sahin, E., Gorur, A., “Design of dual wideband bandpass filter using stub loaded multi-mode resonators”, *Microwave and Optical Technology Letters*, 60 (10), 2370–2374, 2018.

