



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRONİK OLARAK AYARLANABİLİR MİKROŞERİT İKİLEYİCİ
TASARIMI

ENGİN DOĞAN

Ocak 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRONİK OLARAK AYARLANABİLİR MİKROŞERİT İKİLEYİCİ
TASARIMI

ENGİN DOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Adnan GÖRÜR

Ocak 2019

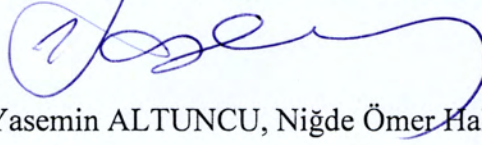
Engin DOĞAN tarafından **Prof. Dr. Adnan GÖRÜR** danışmanlığında hazırlanan **“ELEKTRONİK OLARAK AYARLANABİLİR MİKROŞERİT İKİLEYİCİ TASARIMI”** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU, Erciyes Üniversitesi



Üye : Prof. Dr. Adnan GÖRÜR, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Yasemin ALTUNCU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

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



Engin DOĞAN

ÖZET

ELEKTRONİK OLARAK AYARLANABİLİR MİKROŞERİT İKİLEYİCİ TASARIMI

DOĞAN, Engin

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman

: Prof. Dr. Adnan GÖRÜR

Ocak 2019, 58

Bu tez kapsamında, elektronik olarak ayarlanabilir mikroşerit ikileyici tasarımı sunulmaktadır. Tasarlanan ayarlanabilir ikileyicinin kanalları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmektedir. İlk olarak, ikileyiciye ait kanallar için arzu edilen merkez frekanslarda geçme bandları elde etmek amacıyla farklı elektriksel uzunlukta iki adet çift modlu kare halka rezonatör tasarlanmaktadır. Daha sonra, elde edilen geçme bandlarının merkez frekans ayarlanabilirlikleri incelenmektedir. Ayarlanabilirlik işlemi, değişken kapasitans karakteristiğine sahip varaktör diyotlar kullanılarak elektronik olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, varaktör diyotlardaki kapasitans değişimlerine bağlı olarak filtre karakteristiği kontrolü incelemeleri gösterilmektedir. Teorik sonuçlar, tasarlanan rezonatöre ait çift-tek mod eşdeğer devre modelleri ortaya konularak elde edilmektedir. Rezonatör tasarımlarından sonra, ayarlanabilir geçme bandına sahip iki filtrenin tek bir devrede birleştirilmesi suretiyle ikileyici tasarlanmaktadır. Simülasyon sonuçlarının geçerliliğinin ortaya konulabilmesi adına tasarlanan ayarlanabilir ikileyici imal edilmiş ve ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen ikileyiciye ait ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçları ile uyum içerisinde olduğu gösterilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Band geçiren filtre, ayarlanabilir ikileyici, çift modlu rezonatör, mikroşerit, varaktör diyot.

SUMMARY

ELECTRONICALLY TUNED MICROSTRIP DIPLEXER DESIGN

DOGAN, Engin

Nigde Omer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor : Professor Dr. Adnan GORUR

January 2019, 58

In this thesis, the electronically tunable microstrip diplexer design is presented. Designed tunable diplexer channels can be controlled with independently of each other. Firstly, two dual-mode square loop resonators with different electrical lengths are designed to obtain two separate passbands at the desired central frequencies for the channels of the diplexer. Then, the center frequencies tunability of obtained passbands is investigated. Tuning operation is realized electronically by using varactor diodes with variable capacitance characteristic. In addition, the filter characteristic control obtained depend on capacitance changes in varactor diodes is also shown. Theoretical results are obtained by introducing the even - odd mode equivalent circuit models of the designed resonator. After the resonator designs, the diplexer is designed by means of combining the configurations of the two filters with a tunable passband in a single circuit. The tunable diplexer is fabricated and measured to verify validity of simulation results. Measured results of the fabricated diplexer are illustrated to be in good agreement with simulation results.

Keywords: Bandpass filter, tunable diplexer, dual-mode filter, microstrip, variable capacitance, varactor diodes.

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, merkez frekansları birbirinden bağımsız bir şekilde ayarlanabilir mikroşerit ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiş ve üretilmiştir. Geleneksel çift modlu kare halka rezonatörler içerisine değişken kapasitans özelliğine sahip varaktör diyotlar yerleştirilmiş ve kapasitans değişimlerinin frekans cevabına olan etkileri incelenmiştir. Farklı elektriksel uzunluğa sahip iki adet kare halka rezonatörün uygun konfigürasyonu ile ikileyici tasarımı ortaya konulmuştur. İkileyiciye ait frekans cevabında görülen harmoniğin bastırılması ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerin sonrasında, kanalları arasında yüksek izolasyona sahip ve kanallarının merkez frekansları birbirinden bağımsız bir şekilde ayarlanabilir mikroşerit ikileyici tasarlanmıştır. Son olarak, tasarlanan ikileyici imal edilmiş ve deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Adnan GÖRÜR'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmam esnasında bilgi, tecrübe ve yardımlarına başvurduğum Prof. Dr. Ceyhan KARPUZ ve Dr. Öğr. Üyesi Ali Kürşad GÖRÜR'e müteşekkirdiğimi ifade etmek isterim. Bu tezin hazırlanması esnasında yardımlarına başvurduğum Dr. Öğr. Üyesi Elif GÜNTÜRKÜN ŞAHİN ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi meslektaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
1.2. Literatür Özeti	3
BÖLÜM II ÇİFT MODLU HALKA REZONATÖRLER	13
2.1. Geleneksel Çift Modlu Kare Halka Rezonatörler	13
2.2. Ayarlanabilir Çift-Modlu Halka Rezonatörler	18
BÖLÜM III AYARLANABİLİR İKİLEYİCİ TASARIMI	24
3.1. Çift Modlu Band Geçiren Filtre Tasarımı	24
3.2. İkileyici Tasarımı	29
3.2.1. Pertürbasyon ve referans elemanlarının kapasitans değerleri değişiminin incelenmesi	31
3.2.2. Filtre karakteristiğinin kontrolü	33
3.2.3. İkileyici kanallarına ait merkez frekans kontrolü	36
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
BÖLÜM V SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. İkileyiciye ait boyutlar	46
Çizelge 5.1. Tez Çalışması ile Literatürde Bulunan Bazı Çalışmalara Ait Karakteristik ve Fiziksel Özellikler	50



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yama elemanlı kıvrımlı kare halka rezonatör yapısı kullanılarak tasarlanan filtre yapısı (Hong ve Lancaster, 1995b).....	4
Şekil 1.2. Mikroşerit ikileyici yapısı (Guan vd., 2014)	5
Şekil 1.3. İki halka rezonatör kullanılarak tasarlanan ikileyici tasarımı (Chiang ve Peng, 2014).....	5
Şekil 2.1. Pertürbasyon elemanlı çift modlu mikroşerit kare halka rezonatörler ve frekans cevapları; bir iç köşesi kare kesim elemanlı (noktalı çizgi) (a), bir iç köşesi kare yama elemanlı (çizgi) (b), bir dış köşesi kare yama elemanlı (kesikli çizgi) (c) ve frekans cevabı (d).....	14
Şekil 2.2. Çift modlu kare yama elemanlı halka rezonatör.....	15
Şekil 2.3. Referans elemanlarının boyutu sabit iken yama pertürbasyon elemanı boyutunun değişiminin frekans cevabına olan etkisi ($d=2$ mm; kesikli çizgi: $p=2.45$ mm, çizgi: $p=1.45$).....	15
Şekil 2.4. Çift modlu rezonatörün p ve d boyutlarına bağlı yük yoğunlukları simülasyon sonuçları; $p=d$ (a), $p>d$ (b) ve $p<d$ (c)	16
Şekil 2.5. Çift modlu köşe kesim elemanlı halka rezonatör	17
Şekil 2.6. Referans elemanlarının boyutu sabit iken köşe kesim pertürbasyon elemanı boyutunun değişiminin frekans cevabına olan etkisi ($d=2$ mm; kesikli çizgi: $p=1.54$ mm, çizgi: $p=2.38$ mm).....	18
Şekil 2.7. Çift modlu rezonatör kullanılarak tasarlanmış bir band geçiren filtre konfigürasyonu (Gorur vd, 2017).....	19
Şekil 2.8. Önerilen çift modlu rezonatöre ait eşdeğer devre; çift mod (a) ve tek mod (b)	20
Şekil 2.9. Teorik analiz sonucunda elde edilen frekans cevabı; eliptik filtreleme ($C_r=1$ pF, $C_v: 1.5$ pF) (a), lineer faz ($C_r= 1$ pF, $C_v=0.85$ pF) (b) ve kesim durumu ($C_r=1$ pF, $C_v=1.04$ pF) (c)	23
Şekil 3.1. İkileyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtre.....	24
Şekil 3.2. İkileyicinin birinci kanalı için yama elemanlar kullanılarak tasarlanan filtre	25
Şekil 3.3. Yama elemanlarının frekans cevabı üzerindeki etkisi (kırmızı çizgi: yama elemansız, siyah çizgi: yama elemanlı).....	26

Şekil 3.4. W_s uzunluğunun frekans cevabı üzerindeki etkisi; geniş frekans aralığında gösterim (a) ve dar frekans aralığında gösterim (b)	27
Şekil 3.5. İkileyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtre	27
Şekil 3.6. İkileyicinin ikinci kanalı için yama elemanlar kullanılarak tasarlanan filtre .	28
Şekil 3.7. Yama elemanının frekans cevabı üzerindeki etkisi (kırmızı çizgi: yama elemansız siyah çizgi: yama elemanlı)	28
Şekil 3.8. Tasarlanan ayarlanabilir ikileyici	30
Şekil 3.9. C_{p1} varaktörlerinin kapasitans değişimlerinin frekans cevabına etkisi.....	31
Şekil 3.10. C_{r1} varaktörlerinin kapasitans değişimlerinin frekans cevabına etkisi	32
Şekil 3.11. Alt rezonatörde bulunan pertürbasyon ve referans varaktörlerinin kapasitans değeri değişimlerinin frekans cevabına etkisi; C_{p2} (a) ve C_{r2} (b).....	33
Şekil 3.12. İki kanalın eliptik filtreleme karakteristiğine sahip frekans cevabı.....	34
Şekil 3.13. İki kanalın birbirinden bağımsız bir şekilde sıfırlarının ve kutuplarının kontrolü; birinci kanalın C_{p1} varaktörü ile kontrolü (a), birinci kanalın C_{r1} varaktörü ile kontrolü (b), ikinci kanalın C_{p2} varaktörü ile kontrolü (c) ve ikinci kanalın C_{r2} varaktörü ile kontrolü (d).....	35
Şekil 3.14. Eliptik filtreleme karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları	37
Şekil 3.15. Lineer faz karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları.....	38
Şekil 3.16. Eliptik tip filtreleme karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları	39
Şekil 3.17. Lineer faz karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları.....	40
Şekil 4.1. Eliptik filtreleme karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları	42
Şekil 4.2. Lineer faz karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları	44
Şekil 4.3. Eliptik filtreleme karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları	45
Şekil 4.4. Lineer faz karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları	46

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 4.1. İmal edilen ikileyici; dikey boyut ölçümü (a) ve yatay boyut ölçümü (b)	47
Fotoğraf 4.2. Deneysel çalışmaya ait bir bağlantı ve örnek ölçüm sonucu	47



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

°

Derece

Ω

Ohm

ε

Dielektrik sabiti

ε_{eff}

Etkin dielektrik sabiti

θ

Elektriksel uzunluk

λ

Dalga boyu

v

Faz hızı

c

Işık hızı

f

Frekans

Y_0

Karakteristik admitans

Z_0

Karakteristik empedans

Kısaltmalar

Açıklama

mm

Milimetre

dB

Desibel

DC

Doğru Akım

IDC

Interdigital Capacitor

MHz

Mega Hertz

GHz

Giga Hertz

pF

Piko Farad

V

Volt

EM

Elektromanyetik

MEMs

Mikro Elektromekanik Sistemler

SIR

Basamak Empedanslı Rezonatörü

UHF

Ultra Yüksek Frekans

WCDMA

Geniş Bandlı Kod Bölümlü Çoklu Erişim

WIFI

Kablosuz Bağlantı

WIMAX

Mikrodalga Erişim için Dünya apında Birlikte
alıřabilirlik

WLAN

Kablosuz Yerel Aė Bağlantısı

GPS

Küresel Konumlama Sistemi



BÖLÜM I

GİRİŞ

Mikrodalga filtreler, uydu ve mobil haberleşme sistemlerinde, radar sistemlerinde, uzay haberleşme sistemlerinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Günümüzde gelişmekte olan teknoloji ile birlikte haberleşme sistemlerinde büyük yenilikler yaşanmaktadır. Yaşanan bu gelişmeler beraberinde yeni ihtiyaçlar ortaya çıkarmaktadır ve bu ihtiyaçların karşılanması için çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle çok fonksiyonlu haberleşme sistemlerinde yaşanan gelişmelerle birlikte duyulan ihtiyaçlara çok bandlı ve ayarlanabilir filtre yapıları çözüm getirmektedir. Filtre tasarımlarında kullanılan yöntemlerden bazıları; dalga kılavuzu, eş düzlemsel şerit hat ve mikroşerit hat yapılarıdır. Bunlardan mikroşerit hatlı yapılar, küçük boyutta kolay imal edilebilirlik, düşük maliyet, düşük kayıp özelliklerine sahip olmasından ötürü diğer yapılara göre üstünlükler sergilemektedir.

Mikroşerit hatlı filtre devrelerinde birçok rezonatör yapısı vardır. Açık halka rezonatörler (Open loop resonator), açık veya kısa devre sonlandırmalı yan hatlar kullanılarak gerçekleştirilen rezonatörler (Stub open-end, stub short-end resonators), kıvrım rezonatörler (Meander resonators) ve çift modlu halka rezonatörler (Dual-mode loop resonators) bu yapılardan bazılarıdır. Bu rezonatörler kullanılarak arzu edilen frekanslarda geçme bandı ve durdurma bandı sağlayan filtre tasarımları gerçekleştirilmektedir. Ayrıca birden fazla frekans sahasında çalışmayı sağlayan çok bandlı ve ayarlanabilir filtreler mikrodalga filtreler içerisinde oldukça önemli bir yere sahiptir.

İkileyiciler (Diplexers), bir giriş ve iki çıkış olmak üzere üç kapısı olan yapılardır. İkileyiciye ait her bir kanal birbirinden bağımsız ve farklı frekans sahasında çalışmaktadır. Bu sayede bir antenin, iki farklı alıcı ile kompakt bir devre üzerinden haberleşmesi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, ayarlanabilir ikileyiciler de her bir kanalın birden fazla frekans sahasında çalışmasına olanak sağlamaktadır. İkileyici yapılarında kanallar arasındaki izolasyon oldukça önemlidir. İzolasyon seviyesi mümkün olduğunca düşük değerde tutularak iki kanalın birbirine olan etkisi azaltılmakta ve iki kanal arası frekans sahası da temiz bir şekilde elde edilmektedir. Ayarlanabilir yapılarda iki kanalın

birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edilebilir olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca ayarlama işlemi boyunca izolasyonun devamlılığı sağlanmalıdır.

Mikroşerit yapılar da ayarlanabilirlik sağlayan varaktör diyot, pin diyot, MEMs (Microelectromechanical systems) teknolojileri gibi devre elemanları ayarlanabilir filtre çalışmaları için oldukça büyük bir öneme sahiptir. Özellikle varaktör diyotlar küçük boyut, kolay entegrasyon, geniş ayarlama aralığı sağlaması açısından ayarlanabilir devrelerde diğer ayarlama elemanlarına oranla daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca, mikroşerit hatlı yapılar ayarlanabilir devrelerin tasarımında da oldukça önemli bir yere sahiptir. Varaktör diyot ve pin diyot gibi ayarlama elemanları devre üzerine kolay entegre edilebildiğinden, en esnek, en uygun ayarlanabilir ve anahtarlanabilir filtreler mikroşerit hat kullanılarak tasarlanan filtrelerdir.

Bu tez kapsamında mikroşerit çift modlu kare halka rezonatör (Dual-mode square loop resonator) yapısı kullanılmaktadır. Ayarlama elemanı olarak kullanılan varaktör diyotların rezonatörler üzerine uygun noktalara yerleştirilmesiyle ayarlanabilir ikileyici tasarımı gerçekleştirilmektedir.

1.1. Amaç ve Kapsam

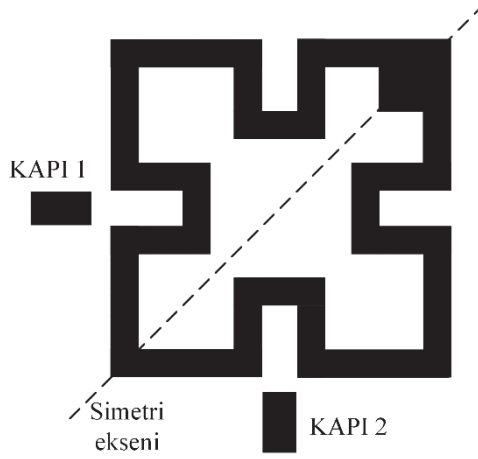
Tez kapsamında, son yıllarda haberleşme teknolojilerinde yaşanan gelişmeler sonucunda, birden fazla frekans sahasında çalışma imkanı sağlayan çok bandlı ayarlanabilir filtrelerle duyulan ihtiyacı karşılamak amacıyla az kayıplı, düşük maliyetli ve kanalları birbirinden bağımsız bir şekilde ayarlanabilir, yüksek izolasyona sahip mikroşerit ikileyici tasarımı gerçekleştirilmektedir. İlk olarak tasarıma ait teorik analizler gerçekleştirilerek, simülasyon çalışmaları ile desteklenecektir. Daha sonra, tasarlanan ikileyici üretilerek, deneysel sonuçların simülasyon sonuçları ile uyum içerisinde elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda, tez kapsamında tasarlanan ikileyicinin WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), WLAN (Wireless Local Area Network), WIFI (Wireless Fidelity) uygulamalarında, UHF (Ultra High Frequency, 300 MHz - 3 GHz), L (1 GHz- 2 GHz) ve S (2 GHz-4 GHz) bandlarında bulunan özel frekans sahaları içinde çalışması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, arzu edilen frekans sahasında geçme bandına sahip çift modlu kare halka rezonatör tasarlanmaktadır. Öncelikle, rezonatörde pertürbasyon elemanı olarak değişken kapasitans kullanılarak

dejenere modlara uyarım etkisi sağlamak ve hem pertürbasyon hem de referans eleman olarak kullanılan değişken kapasitansların yardımıyla da ayarlanabilir filtreler gerçekleştirmek hedeflenmektedir. Daha sonra, elde edilen filtrelerin uygun konfigürasyon yapısı ile birleştirilerek ayarlanabilir ikileyici tasarımını gerçekleştirmektedir. Ayrıca değişken kapasitanslar ile filtre karakteristiğinin de kontrol edilebilir olduğunu göstermek bir diğer amaçtır.

1.2. Literatür Özeti

Mikroşerit hatlar kullanılarak gerçekleştirilen filtreler küçük boyut, kolay imal edilebilirlik ve düşük kayıp özelliklerine sahip olmalarından dolayı mikrodalga literatüründe oldukça önemli bir yere sahiptir. Bir filtrenin karakteristik özellikleri, filtreye ait sıfırların ve kutupların sayısı ile bunlara ilişkin konum bilgileri verilerek tanımlanmaktadır. Filtreye ait bir çalışma bandı içerisindeki sıfır veya kutup sayısının artması filtrenin seçicilik özelliğini de artırmaktadır. Bu doğrultuda, seçiciliği yüksek filtreler elde etmek için çok sayıda çift modlu filtre tasarımı (Hong ve Lancaster, 1995a; Athukorala ve Budimir, 2009; Cheng vd., 2010; Zhou vd., 2011; Sun, 2011; Xu ve Xu, 2012; Gorur vd., 2017) gerçekleştirilmiştir.

Kıvrımlı halka rezonatör kullanılarak minyatürizasyon işlemi Hong ve Lancaster (1995b) tarafından yapılan çalışmada gösterilmiştir. Şekil 1.1'den görüldüğü üzere, kıvrımlı halka rezonatörün (meander loop resonator) iç tarafına simetri ekseninde olacak şekilde kare yama elemanı (square patch element) yerleştirilmiştir. Böylelikle, dejenere modların uyarımı sağlanmış ve rezonatöre çift mod özelliği kazandırılmıştır. Hong ve Lancaster, kullanılan kare yama elemanının boyutunun değişimine ilişkin etkiyi incelemiş ve boyutun 1.5 mm ile 2.5 mm uzunlukları arasında artırıldığında modların birbirinden uzaklaştığını göstermiştir. Yama elemanın boyutunun "0" olduğu durumda ise tek modun oluştuğu belirtilmiştir. Mod ayrışmasının gerçekleştirilebildiği ve dar bandlı yüksek seçiciliğe sahip yeni çift modlu kıvrımlı halka rezonatörün, kompakt ve yüksek performanslı mikrodalga band geçiren filtrelerin geliştirilmesinde önemli bir yere sahip olacağı öngörülmüştür.



Şekil 1.1. Yama elemanlı kıvrımlı kare halka rezonatör yapısı kullanılarak tasarlanan filtre yapısı (Hong ve Lancaster, 1995b)

Haberleşme sistemlerinde yaşanan gelişmeler sonucunda ihtiyaçları karşılamak, minyatürizasyon sağlamak için birden fazla frekans sahasında çalışma bandı bulunan çok bandlı filtre tasarımları geliştirilmiştir. Çok bandlı filtreler biri giriş ve diğeri çıkış olmak üzere iki kapılı yapılardır. Her bir bandın farklı çıkış kapılarından elde edildiği yapılara ise ikileyici denmektedir. İkileyiciler, tek bir devre ile iki farklı çıkış kapısına, farklı çalışma frekanslarında bulunan filtre kanalları sağlamaktadır.

Literatürde bulunan ikileyici çalışmaları incelendiğinde minyatürizasyonun, kanallar arası izolasyonun ve mod ayrışımalarının sağlanması için farklı tekniklerin, rezonatör tiplerinin kullanıldığı görülmektedir.

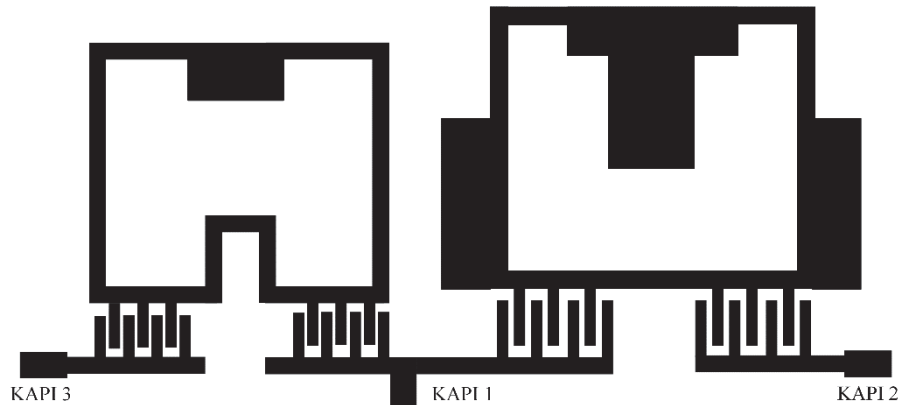
Guan vd. (2014) tarafından ortaya konulan çalışmada, çift modlu yan hat yüklemeli rezonatörler kullanılarak yüksek izolasyonlu ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada önerilen ikileyici yapısı Şekil 1.2’de gösterilmektedir. Tasarımda iki adet yan hat yüklü rezonatör, yan hat yüklü başka bir rezonatörden birlikte beslenmektedir. Ortak rezonatörde bulunan yan hat yükleme elemanı tasarlanan ikileyiciye bir iletim sıfırı sağlamaktadır. Ayrıca çalışmada yan hat yüklü rezonatörün, yan hatlarının uzunluk değişimleri incelenmiş ve uzunluğun arttıkça frekans ile dalga boyu arasındaki ilişkiden dolayı daha düşük merkez frekansta geçme bandının oluştuğu gözlenmiştir. Önerilen çalışmada, iletim sıfırının, kısa yan hat kullanılması durumunda kanalın sol tarafında uzun yan hat kullanılması durumunda ise kanalın sağ tarafında oluştuğu gözlenmiştir. Tüm bu incelemelerin sonrasında ortak rezonatördeki yan hattın uzunluğu ikileyici

kanalları arasında bir iletim sıfırı oluşturacak uzunlukta seçilmiştir. Bunun yanı sıra düşük frekanstaki filtrenin iletim sıfırı yüksek frekans tarafında, yüksek frekanstaki filtrenin iletim sıfırı ise düşük frekans tarafında olacak şekilde rezonatörlerdeki yan hat uzunlukları tasarlanmıştır. Böylelikle kanallar arası izolasyon seviyesi artırılmıştır.



Şekil 1.2. Mikroşerit ikileyici yapısı (Guan vd., 2014)

Chiang ve Peng (2014) tarafından sunulan çalışmada, basamak-empedanslı rezonatörler (Stepped-Impedance Resonator, SIR) kullanılarak tasarlanan ikileyici yapısı Şekil 1.3’de gösterilmektedir.



Şekil 1.3. İki halka rezonatör kullanılarak tasarlanan ikileyici tasarımı (Chiang ve Peng, 2014)

İstenilen frekans noktalarında iletim sıfırları elde etmek için uygun noktalara parmaklık kapasitörler (Interdigital capacitors, IDC) yerleştirilerek rezonatörlerin besleme hatları oluşturulmuştur. Giriş kapısına çeyrek dalga dönüştürücü eklenerek iki kanalın filtre özellikleri değiştirilmeden mikroşerit ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kullanılan çeyrek dalga boyu dönüştürücü ile empedans uyumlama işlemi sağlanmıştır.

Diğer bir çalışmada Peng ve Chyun (2015), yeni tipte halka rezonatörler kullanmışlar ve rezonatör içerisinde farklı bölgelere yerleştirdikleri besleme elemanları ile iletim sıfırlarının geçme bandının yakınında oluşmasını sağlamışlardır. Böylece iki kanal arasındaki ayırım bölgesinde izolasyonu sağlamışlardır. Giriş kapısında uyumlama işlemini gerçekleştirmek için ise giriş kapısına, açık devre sonlandırılmalı yan hat bağlanmıştır.

Halka rezonatör kullanılarak geçme bandları elde edilen ikileyici tasarımları da mikrodalga literatüründe sıkça karşılaşılan çalışmalardandır. Halka rezonatör kullanılan tasarımlarda mod ayrışmaları, rezonatörün besleme konumları dikkate alınarak simetri eksenini üzerinde bir noktaya kapasitif etki gösteren eleman yerleştirilerek sağlanmaktadır (Athukorala ve Budimir, 2009).

Duan vd. (2015) tarafından önerilen tasarımda kullanılan rezonatörlerde, yama eleman tekniği kullanarak mod ayrışımı gerçekleştirilmektedir. Çalışmada, iki adet ikinci dereceden band geçiren filtre T-jonksiyon yapısı kullanılarak ortak giriş hattına bağlanmıştır. T-jonksiyon kıvrımlı bir yapıda kullanılarak boyutu küçültülmüştür. Kullanılan kapasitans yüklü kıvrımlı kare rezonatörlerin boyut azaltma ve harmonik bastırma özellikleri göstereceği öngörülmüştür. Ayrıca empedans uyumlama işlemi için T-jonksiyon noktasındaki giriş empedansının gerekli şartları sağlaması gerektiği ve bu şartların, jonksiyonun her bir filtreye diğer kanalın çalışma frekansında açık devre sağlayacak şekilde bir mikroşerit hat bağlantısı ile gerçekleşebileceği belirtilmiştir.

Dhwaj vd., (2016a) tarafından, T-jonksiyon ve halka rezonatör kullanılarak ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışmada pertürbasyon etkisi, halka rezonatörlere yan hat elemanları eklenerek sağlanmıştır. Her bir rezonatör diğer geçme bandına çok yakın frekansta iletim sıfırına sahiptir. Böylelikle iki kanal arasında izolasyon seviyesi artırılmıştır. Tasarımda ortak olarak kullanılan ortak kapıdaki uyumlama işlemini

iyileştirmek için, kısa devre sonlandırılmış bir yan hat T jonksiyonuna bağlanmıştır. Ayrıca tasarımı, daha yüksek kalite faktörü elde edebilmek için rezonatörlerin beslemeleri, giriş ve çıkışlarında mikroşerit interdiijital hat tekniğı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Guan vd (2016), tarafından geniş band kod bölüşümlü çok erişimli sistemler (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) için ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen mikroşerit ikileyici tasarımı U şeklinde iki ayrı rezonatör ortak bir kare halka rezonatör ile kuplajlanmıştır. İki çıkış kapısının da giriş kapısı ile konumları göz önüne alınarak simetri ekseninde olacak şekilde kare halka rezonatör içerisine yama eleman yerleştirilmiştir. Kare halka rezonatörün ve yama elemanın boyutları ikileyicinin iki kanalına da bir mod kazandıracak şekilde tasarlanmıştır. Ardından U şeklinde farklı elektriksel uzunluğa sahip iki rezonatör tasarlanıp kare halka rezonatör ile kuplajlı hat tekniğı kullanılarak birleştirilmiştir. Ayrıca, ortak kare halka rezonatör ile U şeklindeki rezonatörler arasındaki kuplajı iyileştirmek için çalışma frekanslarında rezonansa sahip olmayan düz mikroşerit hatlar yerleştirilmiştir.

İkileyici tasarımları içerisinde incelediğimiz çalışmalarda kanallar arası iletim sıfırı oluşturularak izolasyon seviyesinin artırılmaya çalışıldığı görülmektedir. Bu kapsamda, iletim sıfırlarının ayarlanabilirliğinin sağlandığı çalışmalar ile izolasyon seviyesinin ve kalite faktörünün iyileştirilmesinde esneklik sağlanmaktadır.

Gorur vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen ikileyici çalışmasında, kare halka rezonatörler içerisine simetri ekseninde bulunacak şekilde varaktör diyot yerleştirilmiştir. Değişken kapasitans özelliğine sahip varaktör diyotların, bulundukları rezonatörün sağladığı kanala ait iletim sıfırlarını kontrol ettiği gösterilmiştir. Böylelikle kanalların band genişliğinin kontrolü sağlanmıştır. Ayrıca varaktör diyotun almış olduğu belli bir değerde kanalların kesime götürülebildiği de çalışma içerisinde gösterilmiştir.

Benzer bir çalışma, Dhvaj vd. (2016b) tarafından çember geometrisine sahip rezonatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dejenere modların uyarım etkisi ve kalite faktörü kontrolü, tasarımı kullanılan varaktör diyotlar ile sağlanmıştır.

Yang vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada iki çıkış kapısı da ortak bir rezonatörden beslenmektedir. Ortak rezonatör iki adet eş boyutlu basamak empedanslı rezonatör (SIR) içermektedir. Bu rezonatörler simetrik olacak şekilde varaktör diyot ile birbirine bağlanmaktadır. Uç kısımlarına da sonu kısa devre edilmiş varaktör diyotlar yerleştirilmektedir. Bu diyotlar ile çift ve tek modların (even - odd mode) rezonans frekanslarının birbirinden bağımsız olarak ayarlanması sağlanmaktadır. Bu şekilde çok bandlı işlemler için ayarlama işlemi sırasında esneklik sağlanmaktadır. Ayrıca devrede ortak rezonatörden farklı ve ilave olarak kullanılan çeyrek dalga boyundaki rezonatörler sayesinde yüksek mertebeden ayarlanabilir bandlar elde edilmiştir. 2 - kapısı için kuplajlı hat yapısı ve 3 - kapısı için interdigital kuplaj hattı yapısı kullanılırken, 1 - kapısı ise ortak rezonatör üzerinden devreye bağlanmıştır. 3 - kapısı yüksek frekanstaki kanalın, 2 - kapısı da alçak frekanstaki kanalın çıkış kapısıdır. Ortak rezonatör ile yüksek kanaldaki rezonatör arasındaki indüktif kuplaj alt kanaldaki banda iletim sıfırı sağlarken ortak rezonatör ile düşük kanaldaki rezonatör arasındaki kapasitif kuplaj üst kanaldaki banda iletim sıfırı sağlamaktadır.

Son yıllarda geliştirilen ikileyici tasarımlarına merkez frekans ayarlanabilirlik özelliği de kazandırılmıştır. Böylece iki kanalın birbirinden bağımsız bir şekilde merkez frekans kontrolü sağlanmıştır. Bu özellik, çıkış kapılarından başka bir devre elemanına aktarılan çalışma bandlarının merkez frekanslarının belirli bir frekans bölgesi içerisinde kontrolünün gerçekleşmesi işlemidir ve haberleşme sistemleri için oldukça önemlidir.

Djoumessi ve Wu (2010) tarafından yapılan çalışma elektronik olarak ayarlanabilir ikileyici çalışmalarına örnek olarak gösterilebilir. Önerilen ayarlanabilir ikileyici, IEEE802.16 standart tabanlı sistem uygulamaları için tasarlanmış ve deneysel çalışmalar ile de doğrulanmıştır. Rezonatöre kıvrımlı bir yapı kazandırılarak minyatürizasyon ve değişken kapasitans özelliğine sahip varaktör diyotlar kullanılarak da band ayarlanabilirliği sağlanmıştır. İki adet çift modlu band geçiren filtre, kıvrımlı rezonatörler içerisine simetri ekseninde yama elemanı yerleştirilerek elde edilmiş ve T-jonksiyon tekniği kullanılarak ortak giriş kapısından kuplajlı hatlar yardımı ile beslenmiştir. Halka rezonatöre bağlı kısa devre sonlandırılmış çeyrek dalga boyu kıvrımlı hattın elektriksel uzunluğu kendisine bağlı varaktör diyotun kapasitans değişimi ile ayarlanabilmektedir. Ayrıca hem bu varaktör hem de ikileyici kanalını oluşturan halka rezonatöre bağlı bulunan birbirine paralel iki varaktör diyotun kapasitans değişimleri ile birlikte ikileyici

kanalı merkez frekans kontrolü sağlanmaktadır. Merkez frekans kontrolünün yanı sıra besleme hattına ait uzunluk değişiminin band genişliğine etkide bulunduğu çalışma içerisinde gösterilmiştir.

Yang ve Rebeiz (2013), gerçekleştirdikleri çalışmada varaktör diyot kullanarak birbirinden bağımsız kanalları kontrol edilebilen ikileyici tasarımı sunmuşlardır. Önerilen tasarımda, kanalları oluşturan mikroşerit devreler ortak bir rezonatörden beslenmektedir. Bu ortak rezonatör, iki adet basamak empedanslı rezonatörün varaktör diyot ile birbirine bağlanmasıyla oluşturulmuş ayrıca diğer uçları da varaktör diyot bağlanarak kısa devre sonlandırılmıştır. Kanalları oluşturan rezonatörlerde bulunan varaktör diyotlar ile ortak rezonatörde bulunan varaktör diyotların kapasitans değerlerinin değişimi ile ikileyiciye ait kanallar birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edilmektedir.

Yang ve Rebeiz (2016b) tarafından yapılan çalışmada ise ilk olarak çift modlu kanallara sahip ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiş ardından aynı çalışma içerisinde dört modlu kanallara sahip ikileyici tasarımı geliştirilmiştir. Çift modlu band geçiren iki filtre, giriş kapısına tek bir iletim hattı üzerinden zayıf kapasitif kuplaj kullanılarak bağlanmıştır. Çalışmada önerilen ikileyiciye ait kanallar, çift modlu basamak empedanslı rezonatörler kullanılarak tasarlanan filtreler ile elde edilmektedir. Her bir kanal için iki adet eş boyutlu basamak empedanslı rezonatörü, varaktör diyot bağlı sonu kısa devre yapılmış hat yardımı ile birbirine bağlanmaktadır. Bir kanalı oluşturan basamak empedanslı rezonatör çiftini birbirine bağlayan varaktör diyotların kapasitans değerleri değişimi ile ilgili kanalın merkez frekans kontrolü sağlanmaktadır. Ayrıca, sunulan çalışmada çift modlu kanallar, tasarıma her kanal için aynı boyutta ve aynı teknik kullanılarak oluşturulan basamak empedanslı rezonatör çiftleri eklenerek dört modlu olarak elde edilmektedir.

Bir diğer çalışmada açık halka rezonatörler kullanılarak tasarlanan ikileyici çalışması gerçekleştirilmiştir (Feng vd., 2017). Bu çalışmada kullanılan rezonatör ve kuplaj yapısı Chen vd (2015) tarafından gerçekleştirilen ikileyici çalışmasında kullanılan rezonatör ve kuplaj yapısı ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada farklı olarak harmonik bastırma ve ayarlanabilirlik işlemleri için toplu devre elemanları kullanılmıştır. Temel frekansta oluşan harmonikleri bastırmak amacıyla rezonatöre toplu eleman olarak direnç ve kondansatör bağlanmıştır. Ayrıca ayarlama elemanı olarak rezonatörün açık ucuna varaktör diyot bağlanarak sonu kısa devre yapılmıştır. Yüksek izolasyon sağlamak

amacıyla rezonatörler besleme hatları boyunca en uygun pozisyonda yerleştirilmiştir. Sonuç olarak, kanalları birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edilebilen ikileyici tasarlanmıştır.

2014 yılında yapılan çalışmada çift modlu yan hat yüklü rezonatörler kullanılarak oldukça küçük boyutta ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir (Chen vd., 2014). Simetrik bir yapıya sahip ikileyici devresine çift-tek mod analizi uygulanabilmektedir. Açık devre yan hatların ucuna bağlanan sonu kısa devre yapılan varaktör diyotların üzerine uygulanan farklı DC gerilim değerlerinde gösterdikleri değişken kapasitans değeri sayesinde çift ve tek modların kontrolü sağlanmıştır. Giriş kapısına bağlı olan açık devre sonlandırılmış yan hattın sağlamış olduğu iletim sıfırı bandın yukarı kenarında gözlenmektedir ve asimetric bir band oluşumuna sebep olmaktadır.

Giriş kapısına bağlı bir yapı bulunduran bir diğer çalışma, Ko ve Rebeiz (2015) tarafından sunulan ikileyici tasarımında görülmektedir. Sunulan çalışmada üç kutuplu ayarlanabilir ikileyici, π –model uygulama devresi ile gerçekleştirilmektedir. Önerilen ikileyici tasarımı, iki filtrenin birbirine özel bir uygulama ağı ve 90 derecelik bir iletim hattı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkileyiciye ait kanalların her biri, birbirine kuplajlı üç adet mikroşerit hat ile oluşturulan yapı ile sağlanmaktadır. Kullanılan mikroşerit hatların bir ucu kısa devre yapılmış, diğer ucuna ise kondansatör ve kondansatöre seri olarak sonu kısa devre yapılmış varaktör diyot bağlanmıştır. Tasarımda kullanılan varaktör diyotlar ile ikileyici kanallarına ayarlanabilirlik kazandırılmıştır.

2016 yılında yapılan diğer bir ayarlanabilir ikileyici çalışmasında, girişten T bağlantı yapısı ile geçme bandlarını oluşturan rezonatörlere, yüksek kanal rezonatörüne kondansatör üzerinden olmak üzere ve alçak kanal rezonatörüne de boşluklu kuplaj hattı üzerinden, bağlantı gerçekleştirilmiştir (Huang vd., 2016). Varaktör diyot yüklü açık halka rezonatör kullanılarak geniş ayarlama aralığı sağlanmıştır.

İkileyici çalışmaları içerisinde çift modlu çift bandlı filtreler kullanılarak dört bandlı ikileyici tasarımları da yer almaktadır. Bu çalışmalara örnek olabilecek bazı çalışmalarda, ikileyici kanallarına ait frekanslarda oluşan harmonikleri ve sinyalleri bastırmak amacıyla basamak empedanslı rezonatörleri kullanılarak ikileyici tasarımları gerçekleştirilmiştir (Chan vd., 2015; Wu vd., 2013).

Dört kanala sahip bir diğer ikileyici tasarımı, yan hat yüklü rezonatörler kullanılarak Chen vd. (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir. Önerilen ikileyici tasarımında kullanılan çift bandlı filtreye ait birinci band üç modlu iken ikinci band iki modlu olarak elde edilmektedir. Birinci bandda oluşan bir modun frekansı, yan hatlar arası mesafe ile belirlenirken diğer iki mod rezonatöre simetri ekseninde bağlı olan sonu kısa devre yapılmış yan hattın rezonatör üzerindeki konumu ile sağlanmaktadır. İkinci bandda oluşan modlar ise rezonatöre bağlı açık devre sonlandırılmış yan hattın uygun uzunlukta seçilmesi ile elde edilmektedir. Bu tasarıma sahip farklı elektriksel uzunlukta olan iki adet çift bandlı filtrenin ortak bir iletim hattından kuplajlanması ile ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Chi vd. (2017a) tarafından yapılan çalışmada ise dört kanala sahip ikileyici tasarımında varaktör diyotlar kullanılarak ikileyiciye ait birinci, üçüncü ve dördüncü kanalın merkez frekans kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kuplajlı hat yapıları ile rezonatörlere enerji aktarımı sağlanarak yüksek izolasyon sağlanmıştır. Tasarımda ikileyiciye ait birinci ve ikinci kanal, açık uçları varaktör yüklü açık devre halka rezonatörler kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca açık devre halka rezonatörlere sonu varaktör diyot bağlı açık devre yan hat bağlanmış ve ilgili kanala merkez frekans ayarlanabilirliği kazandırılmıştır. İkileyicinin diğer iki kanalı için ise U şekilli rezonatörler kullanılmış ve her bir rezonatörün açık uçları varaktör diyot ve kondansatörler kullanılarak birbirine bağlanmıştır. Tasarlanan ikileyicinin, kompakt boyut ve ayarlanabilirlik özelliği sayesinde çok bandlı uygulamalar için oldukça kullanışlı olduğu öngörülmüştür.

Çok modlu kanallara sahip diğer bir ikileyici çalışması Ogbodo vd. (2016) tarafından sunulmuştur. İkileyicinin her bir kanalı için U şeklinde açık devre sonlandırılmış farklı elektriksel uzunlukta rezonatörler tasarlanmıştır. Bir kanal için aynı elektriksel uzunlukta olan iki adet rezonatör birbirine kuplajlanarak kullanılmıştır. Birbirine kuplajlı bu yapı kanala iki adet kutup sağlamaktadır. Giriş kapısından verilen enerji, çift modlu bir yama eleman kullanılarak rezonatörlere iletilmiştir. Çift modlu yama elemanın modları, tasarlanan ikileyiciye ait kanalların merkez frekanslarında rezonansa girecek şekilde tasarım gerçekleştirilmiş ve üç modlu ikileyici kanalları elde edilmiştir.

Choocadee vd (2017) tarafından simetrik yapıya sahip üç modlu kanallara sahip ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Üç modlu yan hat yüklü rezonatörler kullanılarak, ikileyici

kanalları elde edilmiştir. Her bir rezonatörde, ikisi simetrik olmak üzere üç adet yan hat kullanılmış ve uzunluklarının değişimi ile modların frekans kontrollerinin gerçekleştirildiği gösterilmiştir.

Ayrıca, literatürde üç kutba sahip kanallarının merkez frekansları kontrol edilebilir ikileyici çalışmaları da bulunmaktadır. Chi vd (2017b) tarafından farklı elektriksel uzunlukta olan ve simetri eksenlerinde sonu kısa devre edilmiş yan hat bulunan ve açık uçlarında varaktör yüklü U şekilli rezonatörler kullanılarak ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan varaktör diyotların değişken kapasitans değerleri yardımıyla ikileyici kanallarına merkez frekans kontrolü özelliği kazandırılmıştır.

Sonu varaktör diyot yüklü yan hatlar kullanılarak tasarlanan başka bir çalışma da 2018 yılında Gao. vd. tarafından literature kazandırılmıştır (Gao vd., 2018).

Çok kutuplu bir ikileyici tasarımı da Nwajana ve Yeo (2016) tarafından sunulmuştur. Önerilen tasarımda, ikileyiciye ait her bir kanal için kare açık devre halka rezonatörler birbirine kuplajlanmıştır. Giriş kapısından, çıkış kapılarına enerji aktarımı için tüm bağlantılar kuplaj hatları ile gerçekleştirilerek geleneksel tasarımlarda gerekli olan diğer tüm bağlantılara olan ihtiyaç ortadan kaldırılmıştır. Tasarımda kullanılan her bir rezonatör, ikileyici kanalı için bir kutup sağlamaktadır ve her kanalda beş adet kutup olmak üzere toplam on kutuplu bir ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, ikileyicinin yüksek izolasyona sahip olması da sağlanmıştır.

Bu tezin devamında da yapılması hedeflenen ayarlanabilir üçleyici çalışmasına ait bir literatür örneği Yang ve Rebeiz (2016a) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışmada, üç adet çift mod ikinci dereceden band geçiren filtre aynı hat üzerinden zayıf kapasitif kuplaj ile beslenmiştir. Her kanal için uyumlamanın sağlanabilmesi için minimum yükleme elemanı kullanılarak elemanlardan kaynaklı oluşabilecek kayıpların en düşük seviyede tutulması sağlanmıştır. Ortak olarak kullanılan kapının giriş empedansı, ikileyiciden farklı olarak, üç filtrenin giriş empedansının paralel kombinasyonu şeklinde hesaplanmaktadır. Ayrıca kanallara ait ayarlanabilirlik ise varaktör diyotlar ile sağlanmıştır.

BÖLÜM II

ÇİFT MODLU HALKA REZONATÖRLER

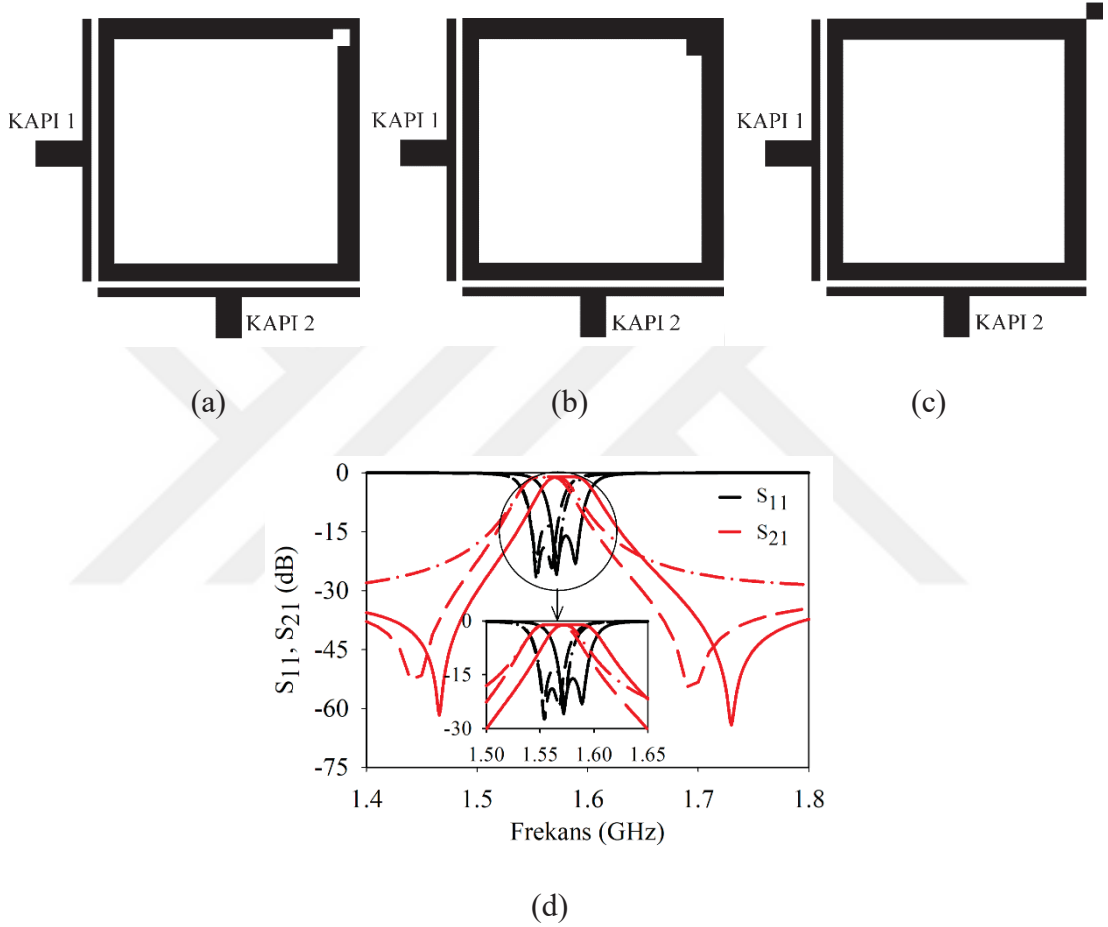
Mikroşerit filtre yapılarında kullanılan çift modlu halka rezonatörler mikrodalga literatüründe oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu konuda yapılan çalışmalarda farklı tipte rezonatörler kullanılmaktadır. Yama rezonatör (patch resonator), halka rezonatör (ring resonator), açık halka rezonatör (open-loop resonator) ve kıvrımlı halka rezonatör (meander loop resonator) yapıları mikroşerit hat kullanılarak tasarlanan rezonatörler için önemli birer örnektir. İki kutuplu filtre cevabının, iki rezonatör yerine bir adet rezonatör kullanılarak elde edilmesi devre boyutu açısından da oldukça avantaj sağlamaktadır.

Çift modlu rezonatör yapısı ilk defa Wolff (1972) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Wolff'un çalışmasında, tek bir rezonatör kullanılarak iki dejenere modun uyarılması sağlanmakta ve iki farklı rezonans frekansı elde edilmektedir (Wolff, 1972). Tek bir rezonatör kullanılarak iki kutuplu filtre tasarımı çalışmaları daha sonraki zamanlarda da literatürde oldukça önemli bir yer tutmuştur (Hong ve Lancaster, 1995b; Gorur, 2002; Gorur, 2004; Eryılmaz vd., 2008; Karpuz vd., 2008; Evangelista vd., 2009; Ma vd., 2010; Xiang vd., 2015). Bu çalışmalar incelendiğinde tek bir rezonatör kullanılarak iki kutuplu filtre cevabı elde etmek için tasarımlarda pertürbasyon elemanı kullanıldığı görülmektedir. Simetrik yapıya sahip filtre tasarımlarında simetri eksenini üzerinde bulunan pertürbasyon elemanının dejenere modları uyardığı ve bu modların ayrışmasını sağlayarak filtreler için çift mod özelliği kazandırdığı çalışmalar literatürde büyük önem arz etmektedir.

2.1. Geleneksel Çift Modlu Kare Halka Rezonatörler

Mikrodalga literatüründe bulunan çift modlu kare halka rezonatör çalışmalarında çift mod oluşumunun pertürbasyon elemanı kullanılarak elde edildiği görülmektedir. Bu konuda, Gorur (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, pertürbasyon elemanı olarak filtreye ait simetriyi bozmayacak şekilde küçük yama elemanı ve köşe kesim elemanı kullanılmaktadır. Kullanılan farklı pertürbasyon elemanlarının, filtre karakteristiğine ve frekans cevabına olan etkileri çalışma içerisinde açıkça belirtilmektedir. İlk olarak, rezonatörün iç tarafına ve dış tarafına yapının simetrisini bozmayacak şekilde

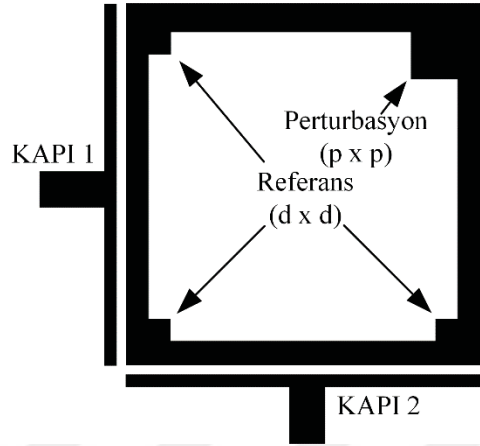
pertürbasyon elemanı olarak yama elemanı yerleştirilerek frekans cevabına olan etkisi incelenmektedir. Bu incelemelerde pertürbasyon elemanı olarak kullanılan yama elemanının band içerisindeki dejenere modlar arasında kapasitif kuplaj oluşturduğu görülmektedir. Çalışma içerisinde, kesim elemanı şeklinde kullanılan pertürbasyon elemanının da frekans cevabına olan etkisi incelenmekte ve dejenere modlar arasında indüktif kuplaj oluşturduğu gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Pertürbasyon elemanlı çift modlu mikroşerit kare halka rezonatörler ve frekans cevapları; bir iç köşesi kare kesim elemanlı (noktalı çizgi) (a), bir iç köşesi kare yama elemanlı (çizgi) (b), bir dış köşesi kare yama elemanlı (kesikli çizgi) (c) ve frekans cevabı (d)

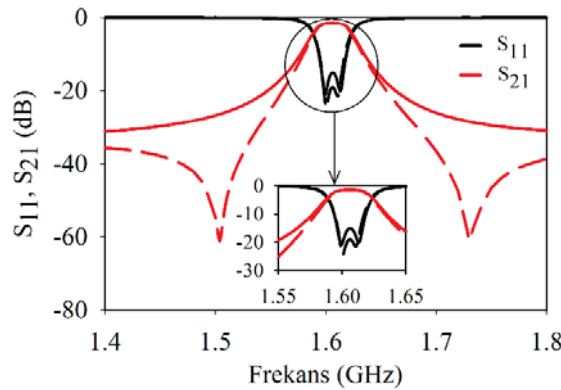
Köşe kesim ve yama elemanı olarak pertürbasyon elemanı yerleştirilmiş rezonatör yapıları sırasıyla Şekil 2.1.(a), Şekil 2.1.(b) ve Şekil 2.1.(c)'de gösterilmektedir. Şekil 2.1.(d)'den görüldüğü üzere pertürbasyon elemanının farklı tipte ve konumda olması filtrenin karakteristiğini değiştirmektedir. Pertürbasyon elemanının köşe kesim elemanı (indüktif kuplaj) olması durumunda iletim sıfırlarının imajiner frekanslara kaydığı ve

filtrenin lineer fazlı frekans cevabı verdiği gösterilmektedir. Ayrıca, yama şeklinde bir pertürbasyon elemanı kullanılması (kapasitif kuplaj) durumunda ise iletim sıfırlarının reel frekanslarda oluştuğu ve filtrenin bu durumda eliptik filtreleme karakteristiğine sahip bir frekans cevabı sergilediği görülmektedir.



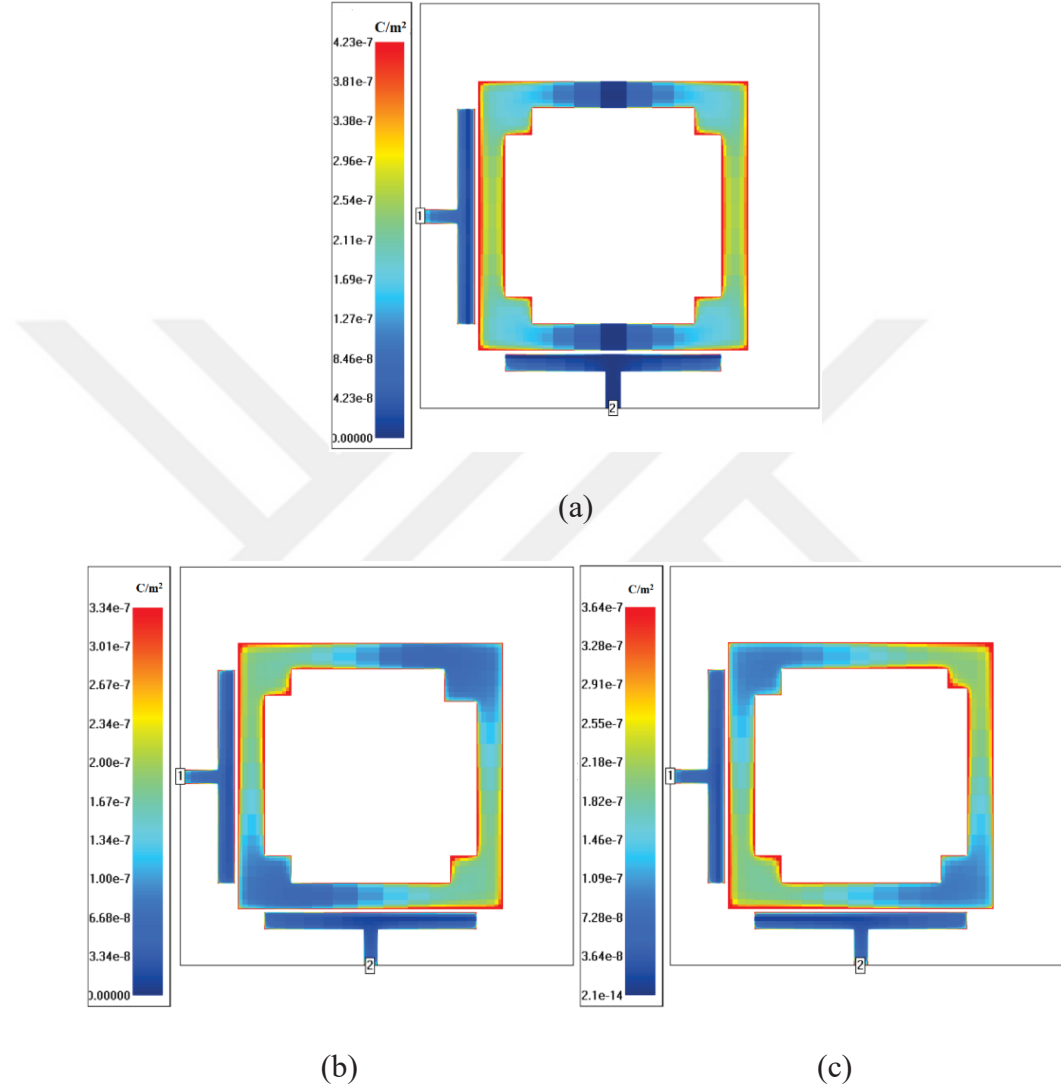
Şekil 2.2. Çift modlu kare yama elemanlı halka rezonatör

Filtrenin simetrisini bozmayacak şekilde tek bir köşeye yerleştirilen pertürbasyon elemanının frekans cevabı ve dejenere modlar üzerindeki etkileri incelendikten sonra, kare halka rezonatörün tüm iç köşelerine yama elemanları Şekil 2.2’de gösterildiği gibi yerleştirilmektedir.



Şekil 2.3. Referans elemanlarının boyutu sabit iken yama pertürbasyon elemanı boyutunun değişiminin frekans cevabına olan etkisi ($d=2$ mm; kesikli çizgi: $p=2.45$ mm, çizgi: $p=1.45$)

Pertürbasyon elemanı olan yama elemanının referans elemanı olan yama elemanlarına göre daha büyük boyutta ve daha küçük boyutta olduğunda, dejenere modlar ile iletim sıfırları üzerinde oluşturduğu etki incelenmektedir. Bu incelemelere ait frekans cevabı Şekil 2.3’de gösterilmektedir.



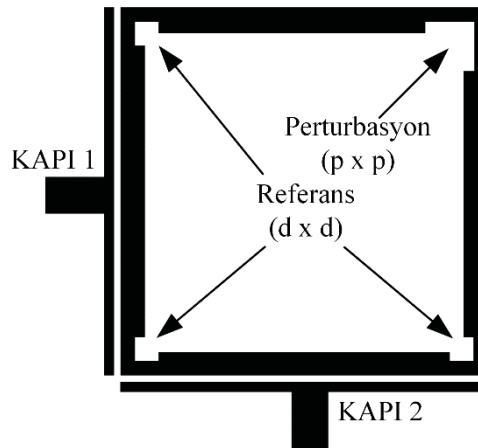
Şekil 2.4. Çift modlu rezonatörün p ve d boyutlarına bağlı yük yoğunlukları simülasyon sonuçları; $p=d$ (a), $p>d$ (b) ve $p<d$ (c)

Rezonatörün, giriş ve çıkış kapılarına simetrik bir konumda 135° (veya 45°) sağ üst (veya sol alt) köşesindeki kare yama elemanın boyutunun değiştirilmesiyle pertürbasyon etkisinin oluştuğu belirtilmektedir.

Şekil 2.2’den görüldüğü üzere rezonatör içerisinde sağ üst köşeye yerleştirilen kare yama eleman “ $p \times p$ ” boyutunda pertürbasyon elemanı olarak, diğer köşelerde bulunan kare

yama elemanlar ise “ $d \times d$ ” boyutunda referans elemanları olarak tanımlanmaktadır. Kare yama elemanlarının $p > d$ olması durumunda pertürbasyon elemanı, rezonatör üzerindeki kapasitif etkiyi artıracığından dolayı dejenere modlar arasında bir kapasitif kuplaj sağlarken, $p < d$ olması durumunda ise rezonatör üzerindeki indüktif etkiyi artıracığından dolayı dejenere modlar arasında indüktif kuplaj sağlar. Ayrıca, pertürbasyon ve referans elemanlarının boyutlarının, rezonatör üzerindeki yük yoğunluğu dağılımını nasıl etkilediği incelenmektedir. Şekil 2.4.(a)’da $p = d$ olduğunda yani pertürbasyon olmadığı durumda iki kutbun, rezonatörün sol ve sağ kenarlarında konumlandığı, sıfırlarının ise üst ve alt kenarlarında konumlandığı gösterilmektedir. Pertürbasyonun uygulandığı $p \neq d$ durumunda ise her bir kutbun ve sıfırın çift modlu rezonatörün birer köşesine taşındığı gözlemlenmektedir.

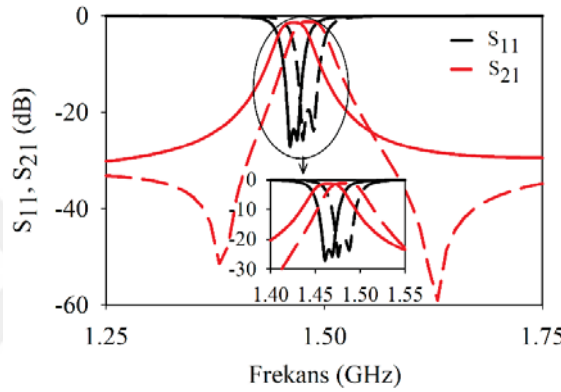
Şekil 2.4.(b) ile Şekil 2.4.(c)’deki yük yoğunlukları arasında 90° ’lik farkın olduğu yani, $p > d$ ile $p < d$ durumları için rezonatör üzerindeki yük yoğunlukları karşılaştırıldığında 90° ’lik bir farkın söz konusu olduğu gösterilmektedir. Pertürbasyon elemanının boyutunun referans elemanların boyutundan büyük olması durumunda Şekil 2.4.(a)’daki yük dağılımının saat yönünde 45° döndüğü, küçük olması durumunda ise saat yönünün tersinde 45° döndüğü gözlemlenmektedir.



Şekil 2.5. Çift modlu köşe kesim elemanlı halka rezonatör

Sonuç olarak, pertürbasyon elemanının sadece mod ayrışımını değil aynı zamanda çift modlu halka rezonatörün sıfırlarının ve kutuplarının konumunun kontrolünü sağladığı gösterilmektedir.

Çalışma içerisinde, çift modlu halka rezonatörün köşelerinin iç kısımlarında pertürbasyon ve referans elemanı olarak yama elemanı yerine köşe kesim elemanları kullanılarak benzer incelemeler gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.5’de gösterilen köşe kesim elemanlarının boyut analizlerine ait frekans cevabı Şekil 2.6’da gösterilmektedir. $p < d$ olması durumunda pertürbasyon elemanı kapasitif kuplaj elemanı olarak davranırken, $p > d$ olması durumunda indüktik kuplaj elemanı olarak davrandığı gözlenmektedir. Ayrıca Şekil 2.6’dan görüldüğü üzere $p < d$ iken iletim sıfırları reel frekanslarda oluşurken, $p > d$ olması durumunda iletim sıfırları imajiner frekanslara taşınmaktadır.



Şekil 2.6. Referans elemanlarının boyutu sabit iken köşe kesim pertürbasyon elemanı boyutunun değişiminin frekans cevabına olan etkisi ($d=2$ mm; kesikli çizgi: $p=1.54$ mm, çizgi: $p=2.38$ mm)

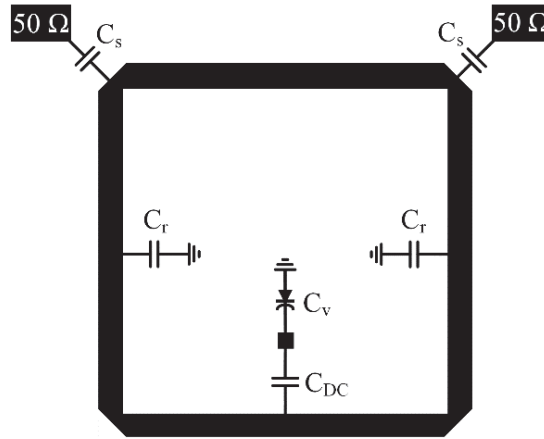
2.2. Ayarlanabilir Çift-Modlu Halka Rezonatörler

Literatürde bulunan çift modlu halka rezonatör çalışmalarında çift mod özelliğinin filtrenin simetri ekseninde bulunan bir pertürbasyon elemanı kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmalar doğrultusunda pertürbasyon elemanı olarak değişken kapasitans özelliğine sahip elemanlar kullanılarak ayarlanabilir çift modlu halka rezonatör çalışmaları da literatürde yer almaktadır. Ayarlanabilir çalışmalarda pin diyot, varaktör diyot ve MEMs teknolojileri entegrasyon kolaylığı, düşük maliyet, düşük kayıp avantajları sağlamalarından dolayı sıkça tercih edilmektedirler.

Gorur vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada birbirinden bağımsız olarak band genişlikleri ayarlanabilir ve filtre karakteristikleri kontrol edilebilir çift modlu çift bandlı band geçiren filtre tasarımı sunulmaktadır. Önerilen çalışmada iki adet farklı elektriksel

uzunluğu sahip çift modlu kare halka rezonatör iç içe olacak şekilde konfigürasyonu gerçekleştirilmektedir.

Çift modlu rezonatörlerde referans elemanı olarak yama elemanlar kullanılmakta ve rezonatörlerin yan kollarında konumlandırılmaktadırlar. Pertürbasyon elemanı olarak ise rezonatörlerde, filtrenin simetri ekseninde yama eleman veya köşe kesim elemanı yerine varaktör diyot kullanılmaktadır. Çift modlu rezonatörlerde dejenere modların uyarımı birbirinden bağımsız bir şekilde varaktör diyotların kapasitans değişimleriyle sağlanmaktadır. Ayrıca, birinci geçme bandına ait harmoniği bastırmak amacıyla çift modlu rezonatörlere yan hat olarak yüklü besleme hatları kuplajlanmaktadır. Varaktör diyotun kapasitans değişimiyle indüktif veya kapasitif kuplaj sağlanmaktadır. Bu sayede kanallar, lineer faz ve eliptik filtreleme karakteristiklerine sahip olacak şekilde elde edilmektedir. Çift modlu rezonatör kullanılarak tasarlanan filtre yapısı Şekil 2.7’ de gösterilmektedir.



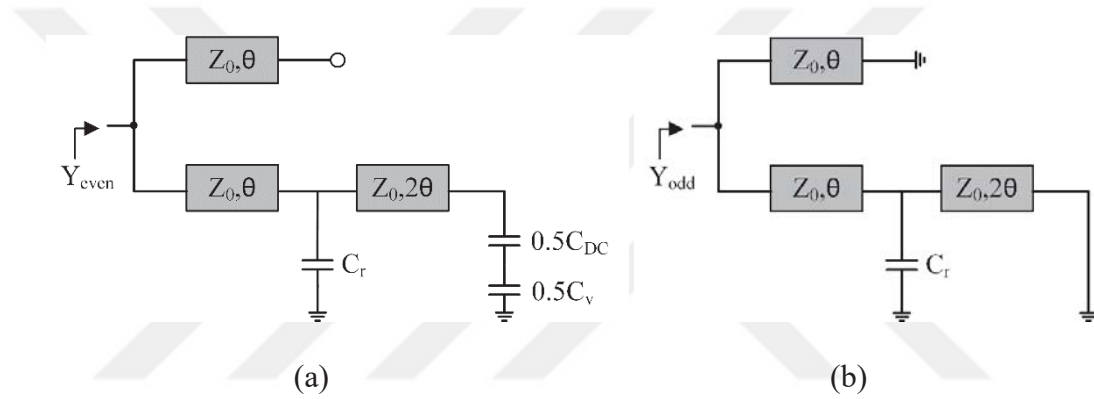
Şekil 2.7. Çift modlu rezonatör kullanılarak tasarlanmış bir band geçiren filtre konfigürasyonu (Gorur vd, 2017)

Önerilen çift modlu rezonatörün teorik çalışmalarını gerçekleştirmek için çift - tek mod analizleri yapılmaktadır. Çift - tek mod empedans analizi yapılırken ilk olarak filtreye ait çift ve tek mod eşdeğer devre modelleri belirlenir. Daha sonra giriş kapısı dikkate alınarak çift ve tek mod empedans formülleri bulunur. Çift ve tek mod empedans formülleri,

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \theta}{Z_0 + jZ_L \tan \theta} \quad (2.1a)$$

$$Y_{in} = Y_0 \frac{Y_L + jY_0 \tan \theta}{Y_0 + jY_L \tan \theta} \quad (2.1b)$$

eşitlikleri ile verilen iletim hatlarının giriş empedans ve admitans formülleri yardımıyla elde edilir (Hong ve Lancaster, 2001). Denklem (2.1a) ve Denklem (2.1b)' deki Z_L yük empedansını temsil ederken, Y_L yük admitansını temsil etmektedir. Daha sonra, elde edilen çift - tek mod empedans formülleri kullanılarak filtreye ait frekans cevabı bulunur. Şekil 2.7' den görüldüğü üzere simetri ekseninde pertürbasyon elemanı ve rezonatörün yan kenarlarında referans elemanları bulunmaktadır. Ayrıca rezonatöre ait çift/tek mod eşdeğer devre modelleri de sırasıyla Şekil 2.8.(a) ve Şekil 2.8.(b)'de verilmektedir.



Şekil 2.8. Önerilen çift modlu rezonatöre ait eşdeğer devre; çift mod (a) ve tek mod (b)

Şekil 2.7'den görüldüğü üzere pertürbasyon elemanı, seri bağlı C_{DC} kapasitesi ile C_V kapasitelerinin eşdeğer kapasitans değerinden oluşmaktadır. Çift mod eşdeğer devre analizinde C_p kapasitans değeri ile ifade edilen pertürbasyon kapasitansı, C_{DC} ve C_V kapasitanslarının yarılarının seri bağlı eşdeğeri olarak hesaplanmaktadır. Yapılan çalışmada taban malzemesi olarak bağıl dielektrik sabiti (ϵ_r) 6.15, dielektrik kalınlığı 1.27 mm olan ROGERS 4003C malzeme kullanılmaktadır. Kuplaj kapasitörü (C_s) 0.6 pF, DC blok kapasitör (C_{DC}) 4.7 pF olarak seçilmektedir.

Giriş ve çıkış kaplarına uyumlu bağlantı gerçekleştirmek için hat kalınlığı “w” olmak üzere; kapılar $w = 1.9$ mm genişliğindeki 50Ω 'luk karakteristik empedansa sahip iletim hatlarına bağlanmaktadır. Teorik analize iletim hattının karakteristik empedans (Z_0) ve etkin dielektrik sabiti (ϵ_{eff}) hesaplamaları ile başlanmaktadır. Böylece, mikroşerit iletim hattının karakteristik empedansı, etkin dielektrik sabiti ve elektriksel uzunluğu için verilen

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}(\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln(\frac{w}{h} + 1.444))} \Rightarrow \frac{w}{h} > 1 \\ \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln(8\frac{w}{h} + \frac{w}{4h}) \Rightarrow \frac{w}{h} < 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \quad (2.3)$$

$$\theta = \frac{2\pi f \sqrt{\epsilon_{eff}} d}{c} \quad (2.4)$$

eşitliklerinden sırasıyla $Z_0 = 50 \Omega$ ve $\epsilon_{eff} = 4.432$ olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, hattın karakteristik admitansı “ Y_0 ” olarak gösterilmektedir. Şekil 2.8a’ da θ elektriksel uzunluğuna sahip hattın fiziksel uzunluğu “ d ” ile temsil edilmekte ve 7.1 mm’dir. Hatta ait elektriksel uzunluk Denklem (2.4) ile hesaplanmaktadır.

Elektriksel uzunluğun 2θ olduğu hattın fiziksel uzunluğu ise, θ elektriksel uzunluğuna sahip hattın fiziksel uzunluğunun iki katıdır.

Şekil 8.(a) ve Şekil 8.(b)’deki çift-tek mod eşdeğer devre modelleri kullanılarak rezonatörün çift ve tek mod admitans değerleri,

$$Y_{even} = jY_0 \frac{(1 - \tan \theta(f)^2)(b_r(f) + b_p(f) + Y_0 \tan 2\theta(f) - \frac{b_r(f) + b_p(f) + \tan 2\theta(f)}{Y_0}) + 2 \tan \theta(f)(Y_0 - b_p(f) \tan 2\theta(f))}{Y_0 - b_p(f) \tan 2\theta(f) - b_p(f) \tan \theta(f) - Y_0 \tan \theta(f) \tan 2\theta(f) - b_r(f) \tan \theta(f) + b_r(f) b_p(f) \tan \theta(f) \tan 2\theta(f)} \quad (2.5)$$

$$Y_{odd} = jY_0 \frac{2b_r(f) - 2Y_0 \cot 2\theta(f) + Y_0 \tan \theta(f) - Y_0 \cot \theta(f)}{Y_0 - b_r(f) \tan \theta(f) + Y_0 \tan \theta(f) \cot 2\theta(f)} \quad (2.6)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu denklemlerde kullanılan b_r ve b_p ifadeleri sırasıyla $2\pi f C_r$ ve $2\pi f C_p$ şeklindedir.

Filtreye ait frekans cevabını incelemek için saçılma parametrelerini hesaplamak gerekmektedir. İlk olarak, Denklem (2.5) ve Denklem (2.6)' da türetilen çift - tek mod admitans formülleri ve kuplaj kapasitörünün empedans ifadesinden çift - tek mod empedans formülleri,

$$Z_{even} = \frac{1}{Y_{even}} + \frac{1}{j\omega C_s} \quad (2.7a)$$

$$Z_{odd} = \frac{1}{Y_{odd}} + \frac{1}{j\omega C_s} \quad (2.7b)$$

şeklinde elde edilir. Böylece filtreye ilişkin saçılma parametreleri,

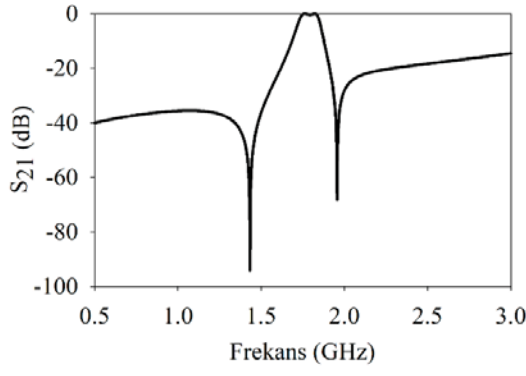
$$S_{11} = \frac{Z_{even}Z_{odd} - Z_0^2}{(Z_0 + Z_{even})(Z_0 + Z_{odd})} \quad (2.8a)$$

$$S_{21} = \frac{Z_0Z_{even} - Z_0Z_{odd}}{(Z_0 + Z_{even})(Z_0 + Z_{odd})} \quad (2.8b)$$

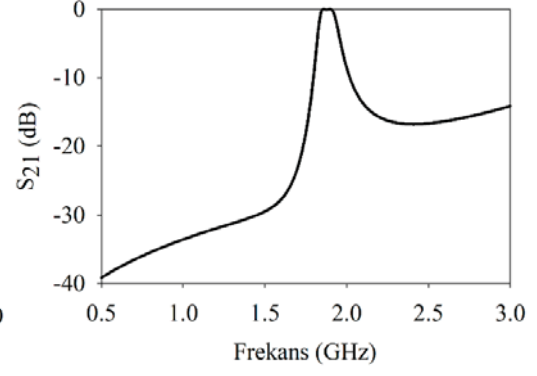
şeklinde verilir.

Denklem (2.8a) ve Denklem (2.8b) ile verilen saçılma parametreleri kullanılarak filtreye ait frekans cevabı Şekil 2.9'da gösterildiği gibi teorik olarak elde edilmektedir.

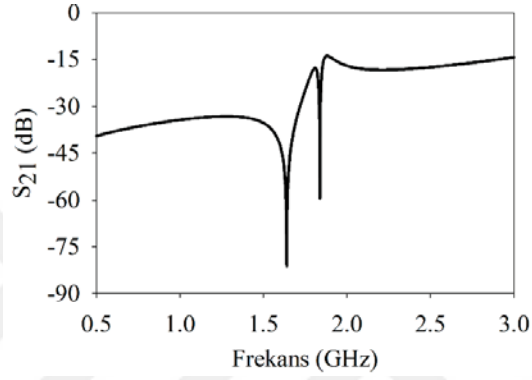
Şekil 2.9'da pertürbasyon kapasitansının filtre karakteristiğine olan etkisi gösterilmektedir. Pertürbasyon elemanının farklı kapasitans değerlerinde iken frekans cevabının “eliptik, lineer faz ve kesim durumu karakteristiğine” sahip olduğu durumlar sırasıyla Şekil 2.9.(a), Şekil 2.9.(b) ve Şekil 2.9.(c)'de gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

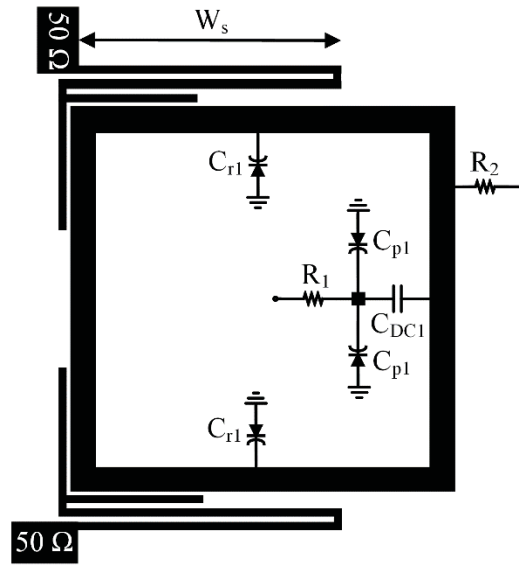
Şekil 2.9. Teorik analiz sonucunda elde edilen frekans cevabı; eliptik filtreleme ($C_r=1$ pF, $C_v: 1.5$ pF) (a), lineer faz ($C_r= 1$ pF, $C_v=0.85$ pF) (b) ve kesim durumu ($C_r=1$ pF, $C_v=1.04$ pF) (c)

BÖLÜM III

AYARLANABİLİR İKİLEYİCİ TASARIMI

3.1. Çift Modlu Band Geçiren Filtre Tasarımı

Bu tez çalışmasında, ilk olarak ayarlanabilir ikileyici tasarımında kullanılacak olan çift modlu rezonatörlere ait incelemeler gerçekleştirilmektedir. Öncelikle ayarlanabilir ikileyiciye ait kanalların hangi frekanslarda geçme bandları oluşturacağı tayin edilmektedir. İkileyici kanallarının haberleşme sistemlerinde sıkça kullanılan UHF, L ve S bandlarında kullanılmasına karar verildikten sonra arzu edilen frekanslarda geçme bandı sağlayan ayarlanabilir çift modlu filtre tasarımları gerçekleştirilmektedir. İkileyici tasarımında öncelikle, arzu edilen iki farklı frekansta çalışan kanal için iki adet farklı elektriksel uzunluğa sahip çift modlu rezonatör tasarlanmaktadır.

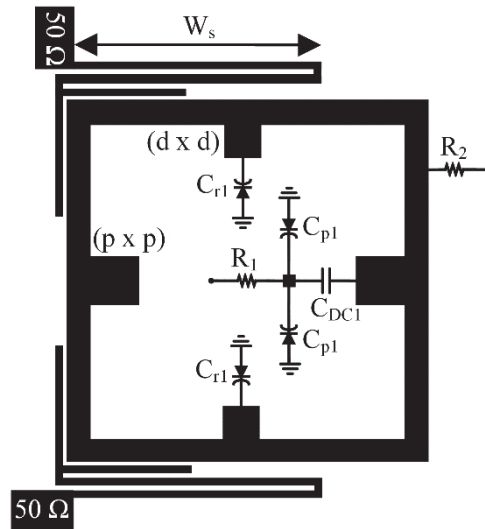


Şekil 3.1. İkileyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtre

Tasarlanan rezonatörlerde dejenere modların uyarılması ve geçme bandlarının kontrol edilebilir olması için pertürbasyon ve referans elemanları kullanılmaktadır. İlk olarak ikileyici tasarımında birinci kanalı sağlayacak olan rezonatörün tasarımı oluşturulmaktadır. Rezonatöre ait bir kenar uzunluğu 23.2 mm olarak seçilmiştir. Bu uzunluk, ikileyicinin birinci kanalı için arzu edilen merkez frekans değeri dikkate alınarak

$\lambda = c / f \sqrt{\epsilon_{eff}}$ formülü ile yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Ancak, rezonatöre bağlı bulunan varaktör diyot ve kondansatör elemanlarının kapasitans değerlerinin de kanalın merkez frekansına olan etkilerinden dolayı hesaplanan rezonatör uzunluğu kısaltılmıştır.

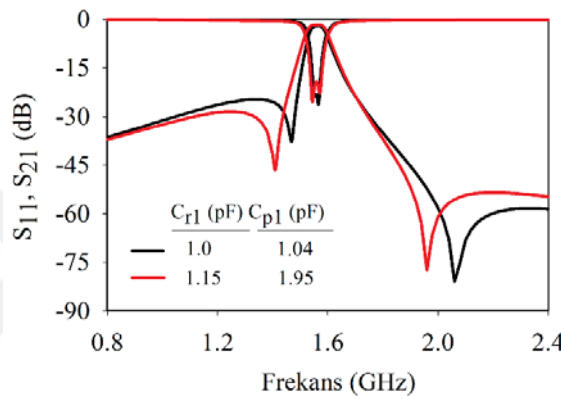
Şekil 3.1'den görüldüğü gibi pertürbasyon elemanları birbirine paralel olacak şekilde, rezonatörün sağ kenarında bulunan kapasitöre bağlı şekilde konumlandırılmaktadır. Referans elemanı olarak kullanılan elemanlar da rezonatörün üst ve alt kenarların orta noktalarına bağlı olacak şekilde konumlandırılmaktadır. Ayrıca, yine Şekil 3.1'den görüleceği üzere rezonatör içerisinde pertürbasyon ve referans elemanı olarak varaktör diyotlar (C_{p1} ve C_{r1}), DC ön gerilim dirençleri (R_1 ve R_2) ve pertürbasyon ile referans varaktör diyotlarına uygulanan DC gerilimden kaynaklı DC akım sızıntısını önlemek amaçlı DC blok kapasitör (C_{DC1}) bağlı bulunmaktadır. Kullanılan varaktör diyotların, DC gerilim ile beslendiklerinde sağladıkları değişken kapasitans özelliği sayesinde geçme bandına ait merkez frekans kontrolü, filtre karakteristiği ve dar bir band aralığında band genişliği kontrolü gerçekleştirilmektedir. Varaktör diyotun kapasitans değeri kendisine uygulanan DC gerilim değeri ile ters orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 3.2. İkileyicinin birinci kanalı için yama elemanlar kullanılarak tasarlanan filtre

Varaktör diyotun yüksek kapasitans değerine sahip olduğu durumlarda kayıpların artması literatürdeki birçok çalışmada da karşılaşılan bir problemdir. Bu sebeple rezonatör içerisinde her kenarda kare yama eleman kullanılarak referans ve pertürbasyon elemanlarının bulunduğu konumlarda hattın kapasitif etkisi artırılmaktadır.

Böylece varaktör diyotların ayarlanabilirlik için gerekli olan yüksek kapasitans değerleri, varaktör diyotun daha düşük kapasitans değerine sahip olduğu durum ile sağlanmaktadır. Şekil 3.2’de yama elemanlı çift modlu rezonatör yapısı gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere simetri ekseninde bulunan kare yama elemanların boyutu, referans elemanlarının bağlı olduğu kare yama elemanların boyutundan daha büyüktür. Bunun sebebi ise ayarlanabilirlik çalışmalarında pertürbasyon elemanı olarak kullanılan varaktör diyotun referans elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlardan daha büyük kapasitans değerine sahip olmasıdır.



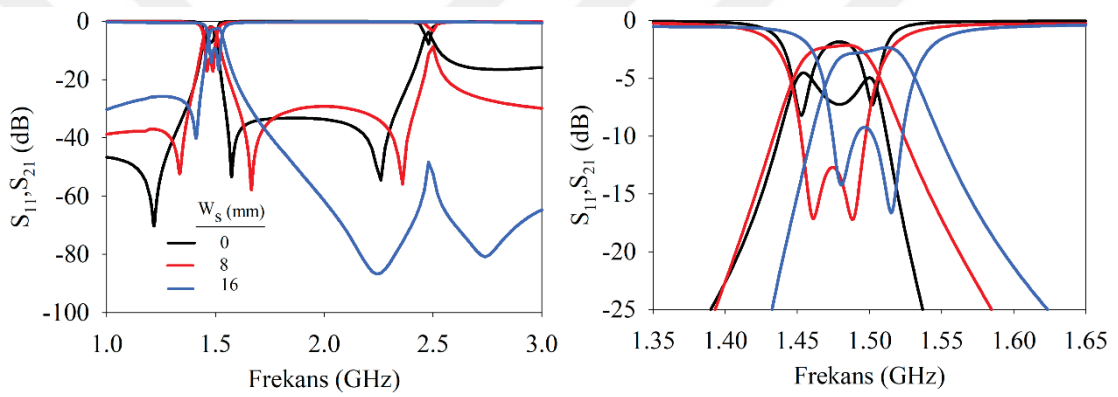
Şekil 3.3. Yama elemanlarının frekans cevabı üzerindeki etkisi (kırmızı çizgi: yama elemansız, siyah çizgi: yama elemanlı)

İkileyicinin birinci kanalı için tasarlanan filtre yapısında, ikileyici tasarımında kolaylık sağlaması açısından giriş kapısı ve çıkış kapısı birbirine 90°’lik açı ile bağlanmaktadır. Arzu edilen frekans sahasında elde edilen birinci bandın, ikileyicinin ikinci kanalı için arzu edilen frekans sahasında harmonik oluşturduğu gözlenmektedir. Bu harmoniği bastırmak için açık devre sonlandırılmış yan hatlara sahip besleme hatları kullanılmaktadır. İki adet açık devre sonlandırılmış yan hat tasarlanan rezonatörün giriş ve çıkış besleme hatlarına bağlanmaktadır.

Şekil 3.3’den, rezonatör içerisinde kullanılan yama elemanı sayesinde daha düşük kapasitans değerine sahip varaktör diyotlar ile aynı merkez frekansta ve karakteristikte geçme bandı elde edildiği görülmektedir. Böylelikle, deneysel çalışmalarda varaktör

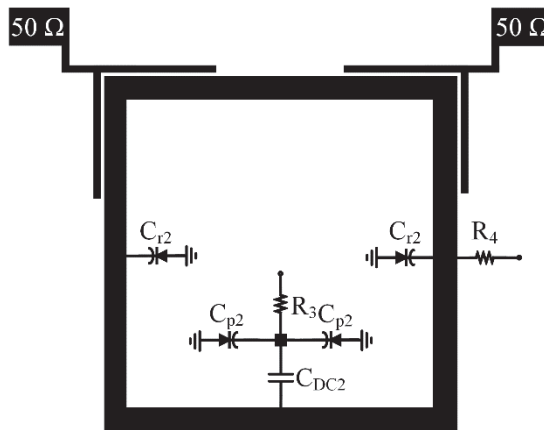
diyotun yüksek kapasitans değerine sahip olduğu durumda meydana gelen kayıpların azalacağı öngörülmektedir.

Şekil 3.2'deki çift modlu ayarlanabilir band geçiren filtre devresinden görülmektedir ki; kıvrımlı bir yapı kullanılarak yan hat oluşturulmakta ve bu sayede minyatürizasyon sağlanmaktadır. Bu aşamada kullanılan yan hatların uzunluk değişimleri incelenmekte ve Şekil 3.4.(a) ve Şekil 3.4.(b)'de, yan hat uzunluk değişiminin frekans cevabına olan etkisi sırasıyla geniş frekans aralığında ve dar frekans aralığında gösterilmektedir. Görüldüğü üzere kıvrımlı açık devre yan hattın uzunluğunun artması yaklaşık 2.5 GHz'de meydana gelen birinci banda ait harmoniği bastırmaktadır.



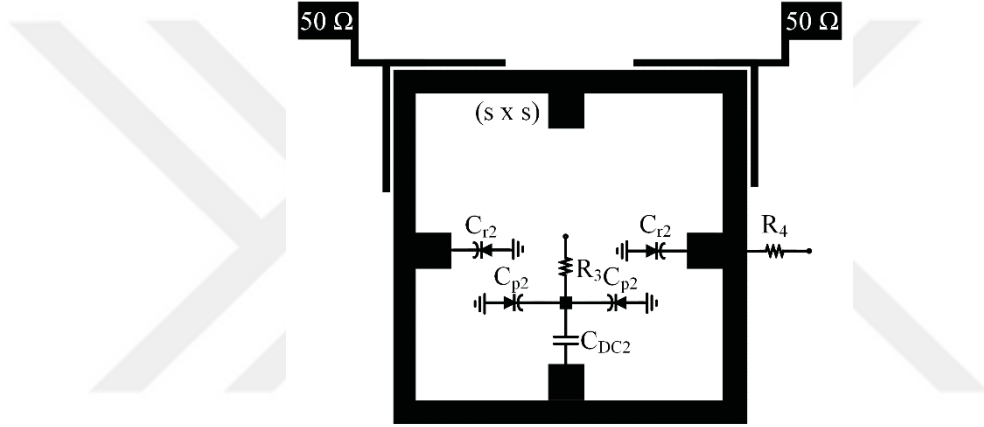
Şekil 3.4. W_s uzunluğunun frekans cevabı üzerindeki etkisi; geniş frekans aralığında gösterim (a) ve dar frekans aralığında gösterim (b)

Kullanılan kıvrımlı açık devre sonlandırılmış yan hattın harmoniği bastırabilecek şekilde uzunluğu tayin edilmiştir.



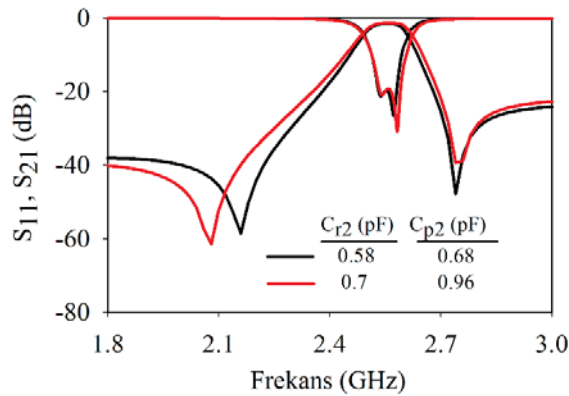
Şekil 3.5. İkileyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtre

İkileyicinin ikinci kanalı için tasarlanan filtre yapısı Şekil 3.5’de gösterilmektedir. İkileyicinin ikinci kanalı için arzu edilen frekans sahasında çalışacak olan filtrede kullanılan rezonatöre ait uzunluk $\lambda = c / f \sqrt{\epsilon_{eff}}$ formülünden yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Ancak, birinci kanalı oluşturmak için tasarlanan filtrede kullanılan rezonatör boyunun tayininde karşılaşılan durum ikinci kanalı oluşturmak için tasarlanan filtrede kullanılan rezonatörün boyunun tayininde de ortaya çıkmaktadır. Benzer olarak, rezonatör içerisinde bulunan devre elemanlarının kanalın merkez frekansına olan etkileri göz önünde bulundurularak hesaplanan rezonatör uzunluğu kısaltılmış ve bir kenarının uzunluğu 14.2 mm olarak tayin edilmiştir.



Şekil 3.6. İkileyicinin ikinci kanalı için yama elemanlar kullanılarak tasarlanan filtre

İkinci kanal için tasarlanan filtrede, giriş ve çıkış kapısı birbirine 180°’lik açıyla karşılıklı olarak bağlanmaktadır.



Şekil 3.7. Yama elemanının frekans cevabı üzerindeki etkisi (kırmızı çizgi: yama elemansız siyah çizgi: yama elemanlı)

Birinci kanal için tasarlanan filtre yapısında kullanılan kare yama elemanlara ait incelemelere benzer olarak, ikinci kanal içerisinde yer alan kare yama elemanların etkileri tasarlanan filtre tasarımında incelenmektedir. Şekil 3.6'da ikinci kanal için, yama elemanlı rezonatör yapısı kullanılarak tasarlanan filtre yapısı gösterilmektedir. Rezonatör boyutunun küçük olması nedeniyle kare halka rezonatör içerisinde daha küçük ve aynı boyutta kare yama elemanlar kullanılmaktadır. Şekil 3.7'den, aynı merkez frekansta geçme bandı sağlamak için yama elemanı kullanılan filtrede varaktör diyotların daha küçük kapasitans değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sayede, ikinci bandın kontrolü için gerekli olan yüksek kapasitans değerinin daha küçük değerlere düşürülerek, kayıpların azalacağı öngörülmektedir.

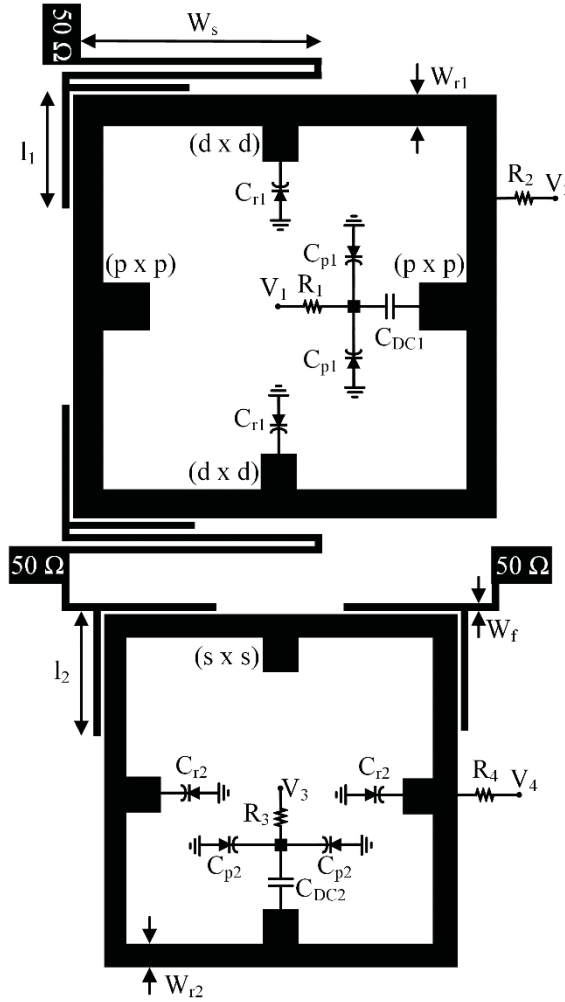
3.2. İkileyici Tasarımı

Tezin bu bölümünde, ikileyiciye ait tasarım çalışmaları gerçekleştirilmektedir. İkileyici tasarımı, tezin önceki bölümlerinde tasarlanan ve analizleri gerçekleştirilen band geçiren filtrelerin uygun konfigürasyon yapısı ile sağlanmaktadır. Şekil 3.8'de tasarlanan ikileyici yapısı gösterilmektedir.

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi kare yama elemanlı kare halka rezonatörler kullanılarak ikileyici tasarımı gerçekleştirilmektedir. Ayarlama elemanı olarak varaktör diyotlar kullanılmaktadır. Ayrıca, ayarlama işlemi için geniş aralıkta değişen kapasitans değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da, varaktör diyotların yüksek kapasitans değerine sahip olmaları gerektiği anlamına gelmektedir. Ancak tezin ikinci bölümünde de belirtildiği gibi yüksek kapasitans değerine sahip varaktör diyotlar devrenin kayıplarını artırmaktadır. Bu yüzden, ikileyici tasarımında her iki rezonatör içerisine de pertürbasyon elemanı olarak iki adet varaktör diyot paralel olarak bağlanmaktadır. Paralel bağlı varaktör diyotların eşdeğer kapasitansının, devre analizi yöntemi ile iki varaktörün kapasitansının değerleri toplamı olduğu bilinmektedir. Böylece pertürbasyon elemanı olarak kullanılan varaktör diyot için gerekli kapasitans değeri, bu değerin yarısı kapasitansa sahip iki varaktör diyot ile sağlanmaktadır.

Bilindiği üzere varaktör diyotlara ters DC besleme gerilimi uygulandığında diyot üzerinde belirli bir kapasitans değeri oluşur ve kondansatör gibi davranır. Varaktör diyotların kapasitans değerleri uygulanan DC gerilimin değerine bağlı olarak değişim

gösterir. Bu sayede referans ve pertürbasyon elemanı olarak kullanılan varaktör diyotların kapasitans değerleri kontrol edilerek ikileycinin ayarlanabilir özellikte olması sağlanmaktadır. İkileyciyi oluşturan filtrelerin simetri eksenleri, her bir filtreye ait giriş ve çıkış kapısının konumları dikkate alınarak belirlenmektedir.



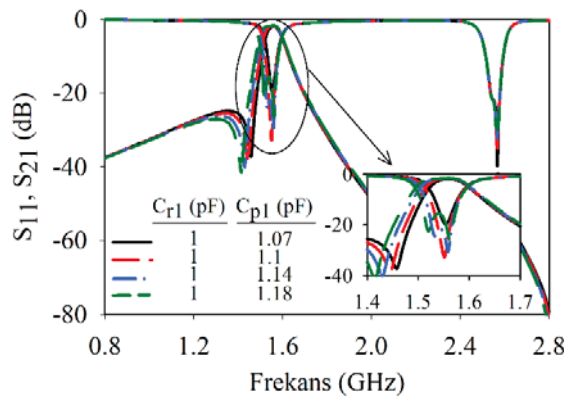
Şekil 3.8. Tasarlanan ayarlanabilir ikileyci

Üst rezonatör içerisinde simetri eksenini doğrultusunda rezonatörün sağ kenarında olan kare yama elemanına pertürbasyon elemanı olarak C_{p1} varaktör diyotları paralel olarak bağlanmaktadır. Karşılıklı üst ve alt kenarlarında bulunan kare yama elemanlarına da referans elemanı olarak C_{r1} varaktör diyotları bağlanmaktadır. Alt rezonatör için ise simetri eksenini, üst rezonatöre göre farklılık gösterdiğinden dolayı rezonatör içerisinde C_{p2} pertürbasyon ve C_{r2} referans elemanlarının yerleri de değişim göstermektedir.

Alt rezonatörde simetri ekseninin dikey doğrultuda olduğu Şekil 3.8’den görülmektedir. Bu yüzden alt rezonatör içerisinde bulunan ve pertürbasyon elemanı olarak kullanılan C_{p2} varaktör diyotları rezonatörün alt kenarında bulunan kare yama elemanına paralel olarak bağlı olarak bulunurken referans elemanı olarak kullanılan C_{r2} varaktör diyotları ise sol ve sağ kenarlardaki kare yama elemanlara bağlı bulunmaktadır. Ayrıca, üst rezonatöre ait simetri ekseninde bulunan kare yama elemanların boyutu yan kollardaki kare yama elemanların boyutundan büyük seçilirken alt rezonatörde kullanılan tüm kare yama elemanların boyutu eşit olarak seçilmiştir.

3.2.1. Pertürbasyon ve referans elemanlarının kapasitans değerleri değişiminin incelenmesi

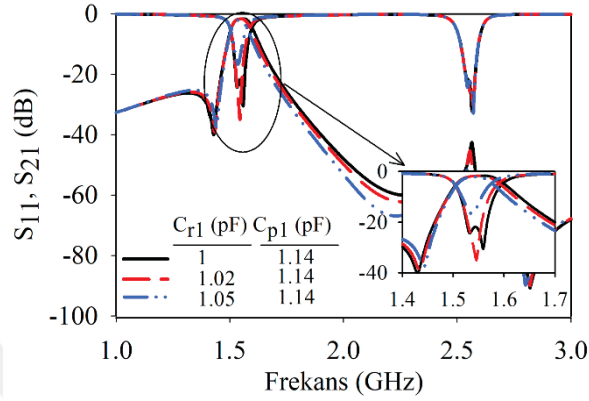
C_{r1} varaktörlerinin kapasitans değerleri sabit iken C_{p1} varaktörlerinin kapasitans değeri değişimlerinin etkisi Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Rezonatör içerisinde pertürbasyon elemanı olarak kullanılan C_{p1} varaktörlerinin kapasitans değerlerinin belli bir değer aralığında artması dejenere modların uyarımını sağlamakta ve band içerisinde mod ayrışımını net bir şekilde göstermektedir. Şekil 3.9’dan görüldüğü gibi, sadece pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerlerinin değişimi ile sol yansıma kutbu ve sol iletim sıfırı kontrol edilmektedir. Böylece dar bir aralıkta band genişliği kontrolü de sağlanmaktadır.



Şekil 3.9. C_{p1} varaktörlerinin kapasitans değişimlerinin frekans cevabına etkisi

Şekil 3.10’da C_{p1} varaktörleri 1.14 pF değerinde sabit iken, C_{r1} varaktörlerinin kapasitans değerleri değişiminin frekans cevabına etkisi incelenmektedir. C_{r1} varaktörlerinin kapasitans değeri değişimi ile birinci kanala ait geçme bandının sağ yansıma kutbununun

kontrol edildiği Şekil 3.10’da görülmektedir. Ayrıca, C_{r1} varaktörlerinin kapasitans değerleri, C_{p1} varaktörlerinin kapasitans değerlerine göre ne kadar küçük seçilirse dejenere modların uyarımı da bir o kadar yüksek seviyede gerçekleşmektedir. Ancak, band içi geri dönüş kaybı (return loss) seviyesi de dikkate alınarak kontrol sağlanmaktadır.



Şekil 3.10. C_{r1} varaktörlerinin kapasitans değişimlerinin frekans cevabına etkisi

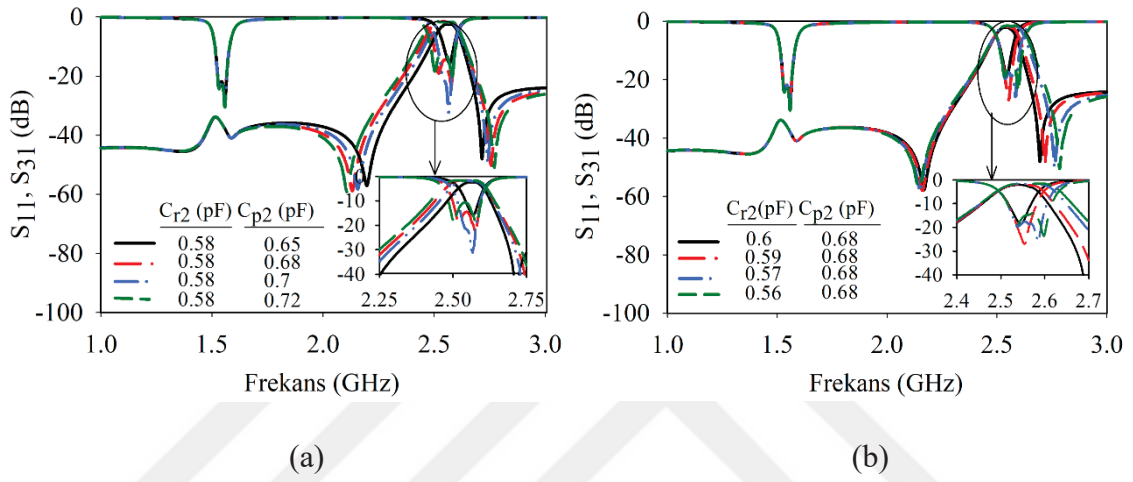
Ayrıca, üst rezonatörde bulunan referans ve pertürbasyon elemanlarının frekans cevabına olan etkileri incelenirken alt rezonatörde bulunan referans ve pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri sabit tutulmaktadır. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’dan görüldüğü gibi üst rezonatördeki varaktör diyotların kapasitans değerlerinin değişimi sırasında ikinci kanalda herhangi bir değişim meydana gelmemektedir.

Üst rezonatörde bulunan referans ve pertürbasyon elemanlarının değişimlerinin etkileri incelendikten sonra alt rezonatördeki referans ve pertürbasyon elemanlarındaki değişimlerin etkileri de incelenmiştir.

Şekil 3.11.(a)’da ve Şekil 3.11.(b)’de sırasıyla C_{p2} ve C_{r2} varaktörlerinin değişimlerinin frekans cevabına olan etkileri gösterilmektedir. Pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerindeki değişimlerin etkileri incelenirken referans elemanlarının kapasitans değerleri sabit, referans elemanlarının kapasitans değerlerindeki değişimlerin etkileri incelenirken pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri sabit tutulmaktadır.

Şekil 3.11.(a)’dan görüldüğü üzere alt rezonatörde bulunan pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerlerinin değişimi ile ikinci kanala ait sol iletim sıfırı ve sol yansıma kutbu

kontrol edilirken, Şekil 3.11.(b)'den görüldüğü üzere alt rezonatördeki referans elemanlarının kapasitans değeri değişimleri ile de ikinci kanala ait sağ iletim sıfırı ve sağ yansıma kutbu kontrol edilmektedir. Pertürbasyon elemanlarının kapasitans değeri sabit iken referans elemanlarının kapasitans değeri azaltıldığında ve referans elemanlarının kapasitans değerleri sabit tutulurken pertürbasyon elemanlarının kapasitans değeri artırıldığında dejenere modların uyarım sağlanarak mod ayrışımının gerçekleştiği Şekil 3.11.(a) ve Şekil 3.11.(b)'den net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.11. Alt rezonatörde bulunan pertürbasyon ve referans varaktörlerinin kapasitans değeri değişimlerinin frekans cevabına etkisi; C_{p2} (a) ve C_{r2} (b)

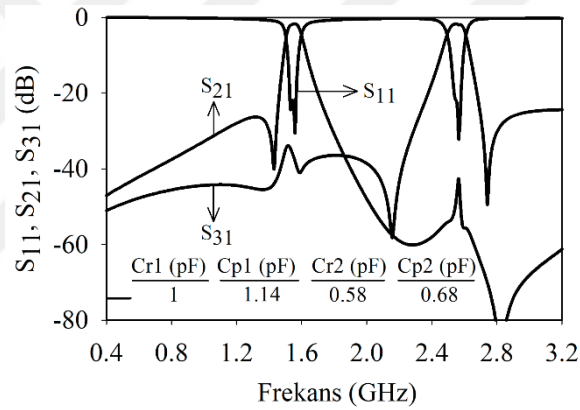
Aynı zamanda referans elemanlarının kapasitans değeri değişimiyle dar bir aralıkta band genişliği kontrolünün sağlandığı gözlenmektedir. Ayrıca, bu incelemeler sırasında üst rezonatörde bulunan varaktörlerin kapasitans değerleri sabit tutulmakta ve birinci kanalda hiçbir değişim olmadığı gözlenmektedir.

3.2.2. Filtre karakteristiğinin kontrolü

Tasarlanan ikileyiciye ait frekans cevabı incelendiğinde iki ayrı merkez frekansta geçme bantları bulunmaktadır. Her bir kanal birbirinden bağımsız olarak lineer faz veya eliptik filtreleme karakteristiğine sahip olarak elde edilmektedir. Bu işlem, referans ve pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri ile kontrol edilmektedir. Şekil 3.12'de her iki kanalın da eliptik filtreleme karakteristiğine sahip olduğu frekans cevabı gösterilmektedir. Şekil 3.12'den görüldüğü üzere iki rezonatör içerisindeki pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri, kendileriyle aynı rezonatörde bulunan referans

elemanlarının kapasitans değerlerinden büyük olması durumunda, iki kanal da eliptik filtreleme karakteristiğine sahip olmaktadır. Böylelikle, seçiciliği yüksek iki kanal elde edilmektedir. Ayrıca, eliptik filtreleme karakteristiğine sahip olan ikinci kanalın sol tarafında oluşan iletim sıfırı sayesinde kanallar arasındaki izolasyon seviyesi yüksek tutulmaktadır.

Üst rezonatör içerisinde bulunan referans ve pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerlerinin değişimiyle birinci kanala ait filtre karakteristiği kontrol edilmektedir. Aynı şekilde alt rezonatörde bulunan referans ve pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerlerinin değişimi ile de ikinci kanala ait filtre karakteristiği kontrol edilmektedir. Ayrıca tasarlanan ikileyici, her iki kanalın filtre karakteristiği kontrolünün birbirinden bağımsız bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

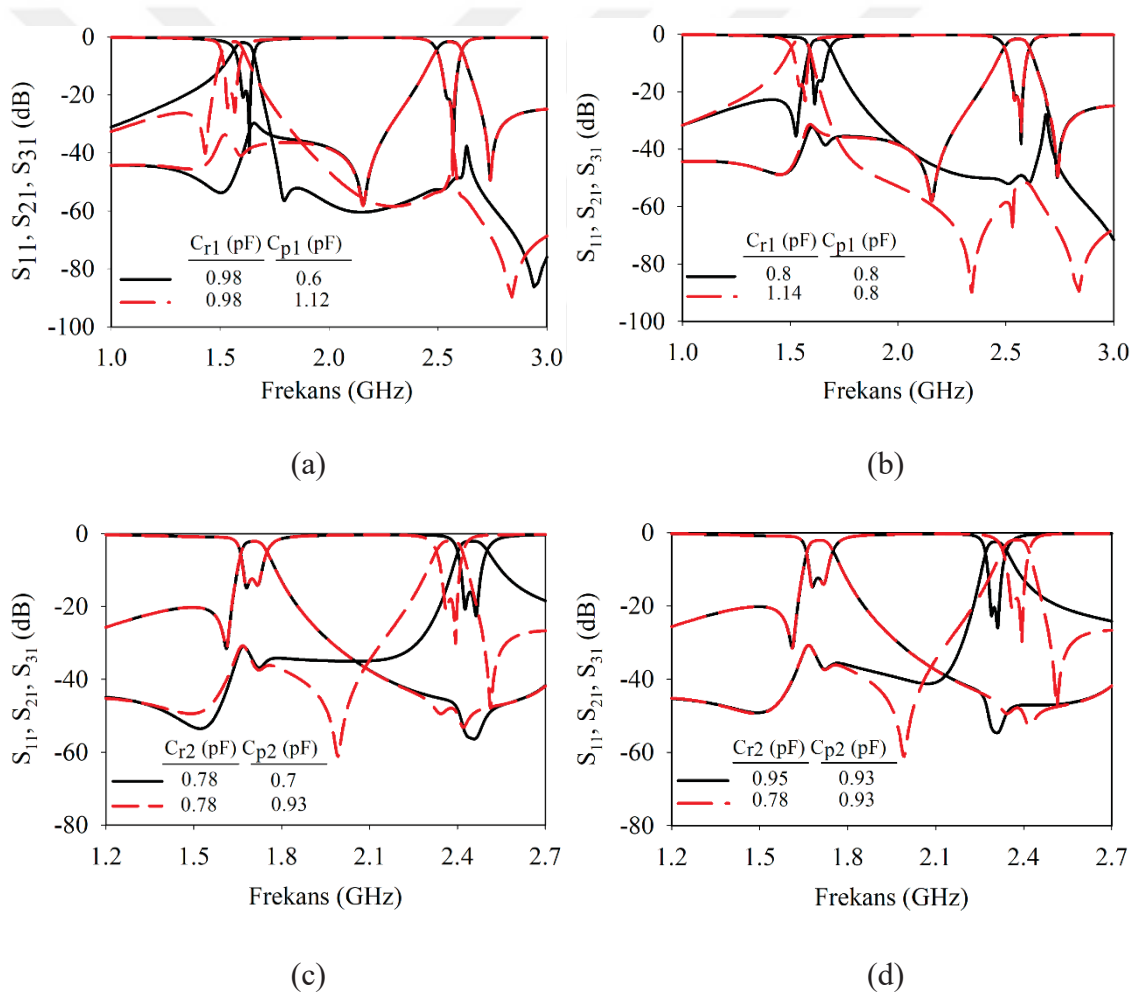


Şekil 3.12. İki kanalın eliptik filtreleme karakteristiğine sahip frekans cevabı

Şekil 3.13.(a)'da görüldüğü gibi, üst rezonatörde bulunan pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri yine üst rezonatörde bulunan referans elemanların kapasitans değerlerinden büyük seçilirse, birinci kanala ait iletim sıfırı bandın sağ tarafından sol tarafına kaymaktadır. Bu işlemler sırasında üst rezonatörde bulunan referans elemanlarının kapasite değerleri sabit tutulup sadece pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerindeki değişimlerin etkileri incelenmektedir. Şekil 3.13.(b)'de görüldüğü gibi, üst rezonatörde bulunan pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri sabit tutulup referans elemanlarının kapasitans değerlerinin değişimi sağlanarak birinci kanala ait iletim sıfırının kontrolü sağlanmaktadır.

Benzer incelemeler ikinci kanal için de gerçekleştirilmiştir. Alt rezonatörde bulunan sadece pertürbasyon ve sadece referans elemanlarının kapasitans değerleri değişimi ile ikinci kanalın filtre karakteristiğinin kontrol edilebilirliği sırasıyla Şekil 3.13.(c) ve Şekil 3.13.(d)'de gösterilmektedir.

Şekil 3.13.(c)'de referans elemanlarının kapasitans değerleri sabit tutulup pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri değiştirilerek, Şekil 3.13.(d)'de ise pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri sabit tutulup referans elemanlarının kapasitans değerleri değiştirilerek, ikinci kanala ait filtre karakteristiği kontrolünün sağlandığı gösterilmektedir.



Şekil 3.13. İki kanalın birbirinden bağımsız bir şekilde sıfırlarının ve kutuplarının kontrolü; birinci kanalın C_{p1} varaktörü ile kontrolü (a), birinci kanalın C_{r1} varaktörü ile kontrolü (b), ikinci kanalın C_{p2} varaktörü ile kontrolü (c) ve ikinci kanalın C_{r2} varaktörü ile kontrolü (d)

Şekil 3.13.(c) ve Şekil 3.13.(d)'de, alt rezonatörde bulunan pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerinin alt rezonatörde bulunan referans elemanların kapasitans değerlerine göre büyük ya da küçük değerde olmasının etkileri gösterilmektedir. Pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerlerinin referans elemanların kapasitans değerlerine göre daha büyük değere sahip olduğu durumlarda ikinci kanalın eliptik filtreleme, daha küçük değere sahip olduğu durumlarda ise lineer faz karakteristiğinde elde edildiği sırasıyla Şekil 3.13.(c) ve Şekil 3.13.(d)'den görülmektedir. Bu işlemler sırasında üst rezonatörde bulunan varaktör diyotların kapasitans değerleri sabit tutulmaktadır.

Tüm filtre karakteristiği kontrolü çalışmalarında görülmektedir ki, sadece referans elemanlarının ya da sadece pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerleri ayarlanarak iki kanala ait iletim sıfırlarının, yansıma kutuplarının ve filtre karakteristiklerinin birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edildiği görülmektedir.

3.2.3. İkileyici kanallarına ait merkez frekans kontrolü

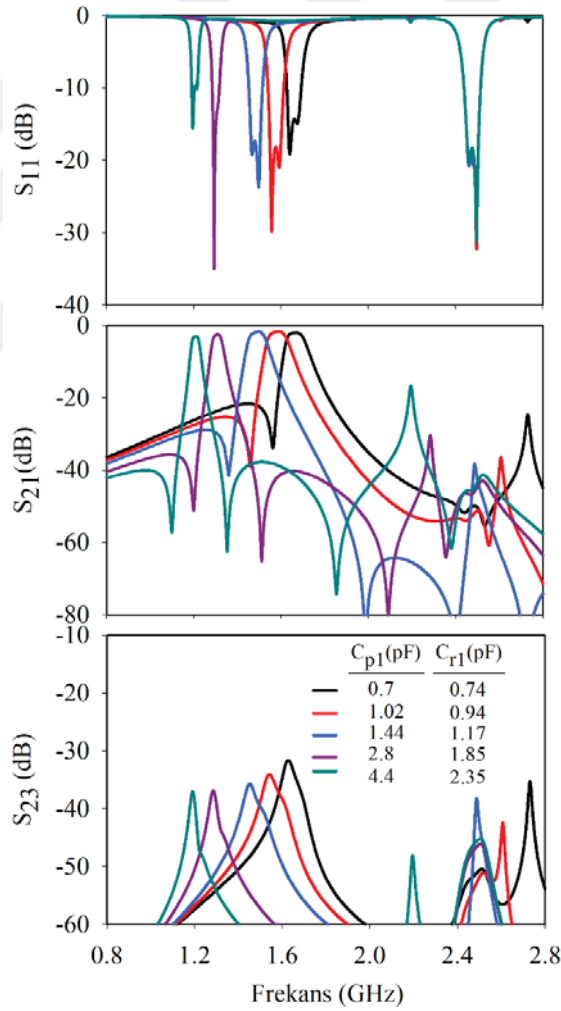
Bu tez çalışmasında asıl amaç, ikileyiciye ait kanalların merkez frekanslarının birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edilebilir olmasını sağlamaktır. Önerilen ikileyici tasarımında kanallara ait filtre karakteristiklerinin, her kanaldaki dejenere modların uyarımı ve kontrollerinin birbirinden bağımsız bir şekilde gerçekleştirildiği tezin daha önceki bölümlerinde gösterilmektedir. Bu bölümde, her iki kanalın merkez frekans kontrolünün birbirinden bağımsız bir şekilde ayarlanabilirliği ele alınmaktadır.

Şekil 3.14'de birinci kanala ait merkez frekans kontrolünün ikinci kanaldan bağımsız bir şekilde ayarlanabildiği görülmektedir. Sadece üst rezonatörde bulunan referans ve pertürbasyon varaktörlerinin kapasitans değerlerinin değişimi ile birinci kanalın merkez frekansı ayarlanmaktadır. Ayarlama sırasındaki tüm durumlarda üst rezonatörde bulunan ve referans elemanı olarak kullanılan varaktörlerin kapasitans değerleri aynı değerde olacak şekilde değişirken, pertürbasyon elemanı olan varaktörlerin kapasitans değerleri de aynı değerde olacak şekilde değişim göstermektedir. Ayrıca, ikinci kanal merkez frekansı 2.48 GHz'de sabit tutulmaktadır.

Birinci kanala ait merkez frekans kontrolü 1.2 GHz ile 1.66 GHz frekansları arasında sağlanmaktadır. Ayarlama işlemi sırasında birinci kanala ait geri dönüş kaybı seviyesi

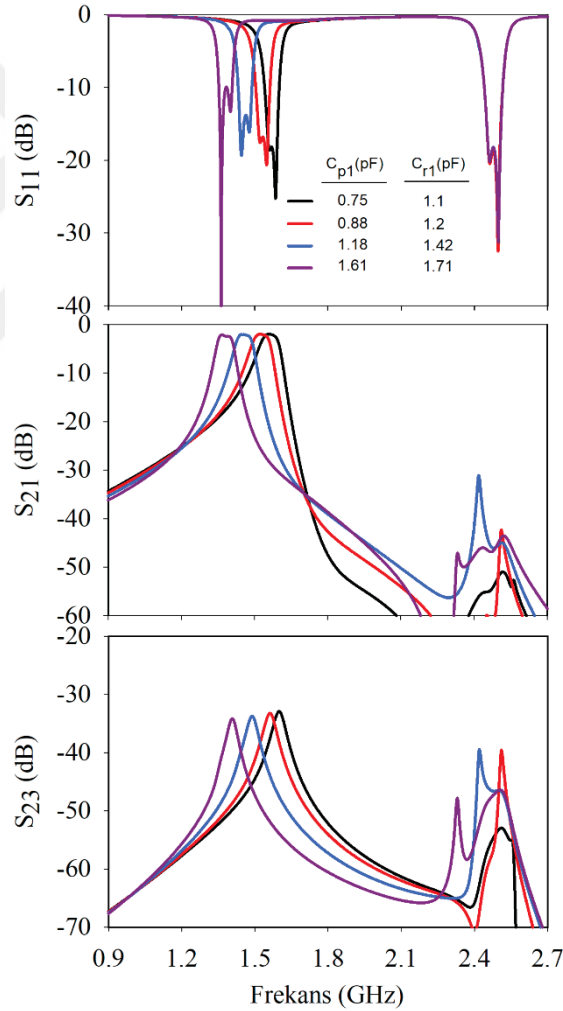
9.7-18.5 dB aralığında değişirken araya girme kaybı (insertion loss) seviyesi 1.67-3.02 dB aralığında elde edilmektedir. İkileyici çalışmalarında oldukça önem arz eden bir diğer parametre ise iki kanal arası izolasyon seviyesidir ki Şekil 3.14'den görüldüğü üzere iki kanal arası izolasyon 30 dB seviyesinin altında tutularak iyi bir izolasyon sağlanmaktadır.

Sonuç olarak izolasyon, ikileyici çalışması için iyi bir seviyede elde edilmektedir. Birinci kanala ait tüm ayarlama işlemleri sırasında ikinci kanalın değişmediği görülmektedir. Birinci kanala ait merkez frekans kontrolü sırasında unutulmaması gereken en önemli nokta pertürbasyon elemanı olarak kullanılan C_{p1} varaktörlerinin DC blok kapasitör ile seri bağlantısı sonucunda eş değer bir kapasitans etkisi gösteriyor olmasıdır.



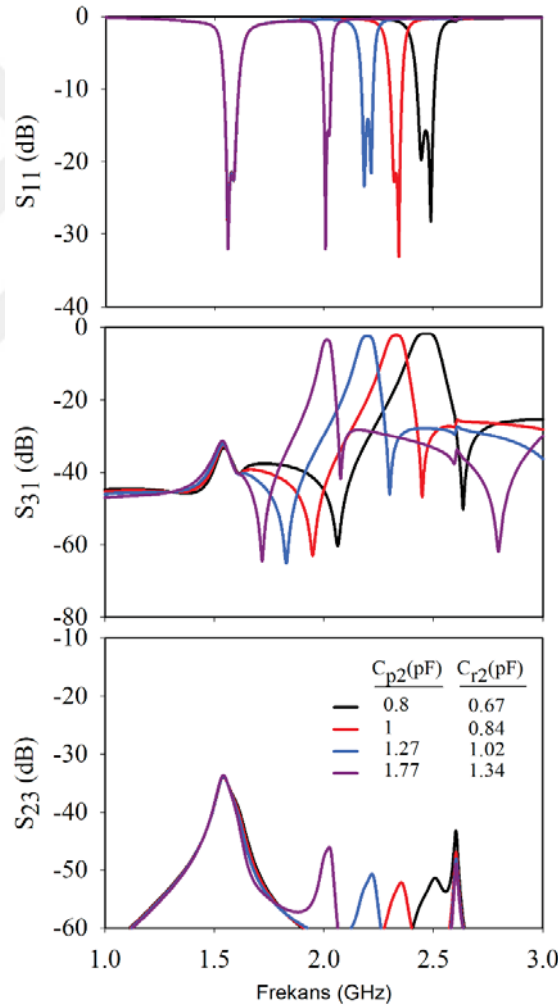
Şekil 3.14. Eliptik filtreleme karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları

Şekil 3.15’de birinci kanalın lineer faz karakteristiğine sahip olarak elde edildiği durumdaki merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları gösterilmektedir. Lineer faz karakteristiğindeki birinci kanalın merkez frekans kontrolü 1.38-1.57 GHz frekansları arasında kontrol edilmektedir. Bu kontrol sırasında araya girme kaybı 1.95-2.43 dB değerleri arasında değişirken geri dönüş kaybı 9.9-18.5 dB değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca iki kanal arasındaki izolasyon seviyesi 30 dB seviyesinin altında elde edilmektedir. Ayrıca Şekil 3.15’den görüldüğü üzere varaktör diyotların almış olduğu kısıtlı kapasitans değerlerinden dolayı ikileyici kanalının merkez frekans kontrolü, lineer faz karakteristiğine sahip olduğu durumlarda daha dar bir frekans sahasında gerçekleşmektedir.



Şekil 3.15. Lineer faz karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları

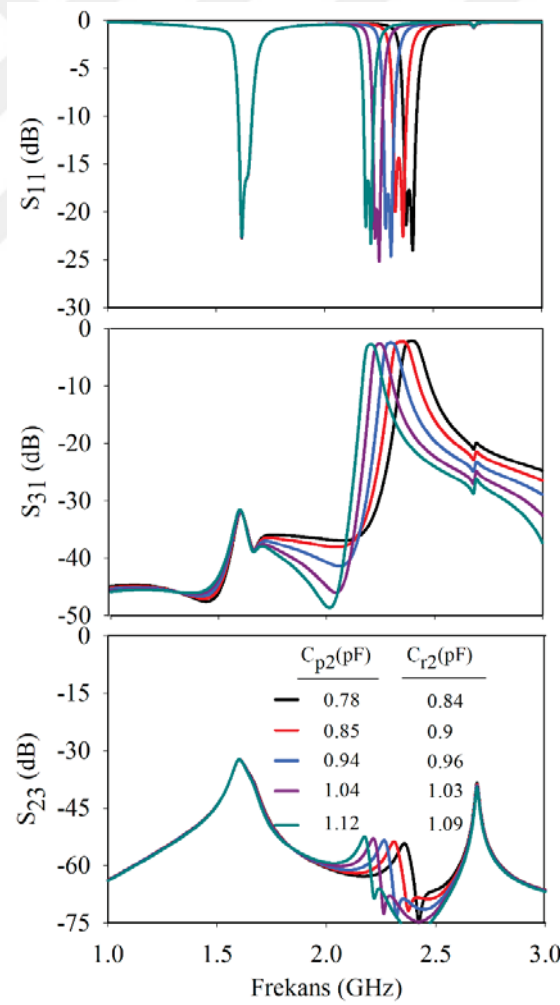
İkileyici'nin eliptik tip filtreleme karakteristiğine sahip ikinci kanalına ait merkez frekans kontrolü Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Şekil 3.16'da görüldüğü gibi birinci kanal 1.57 GHz merkez frekansta sabit tutulurken ikinci kanal 2.015 - 2.47 GHz merkez frekans aralığında kontrol edilmektedir. İkinci kanalın eliptik filtreleme karakteristiğine sahip olduğu durumda merkez frekans kontrolü sırasında ikinci kanala ait araya girme kaybı seviyesi 2.45-3.45 dB aralığında elde edilirken geri dönüş kaybı seviyesi 15.78-21.63 dB aralığında elde edilmektedir. İkinci kanala ait merkez frekans kontrolü sırasında birinci kanalda herhangi bir değişikliğin olmadığı Şekil 3.16'dan net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.16'dan görüldüğü üzere iki kanal arası izolasyon, ikinci kanala ait tüm merkez frekans ayarlama işlemleri gerçekleştirilirken 30 dB'in altında tutulmaktadır.



Şekil 3.16. Eliptik tip filtreleme karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları

Ayarlama işlemleri sırasında değişken pertürbasyon etkisinin, iki adet paralel bağlı pertürbasyon varaktör diyot elemanı ile onlara seri bağlı sabit DC blok kapasitör elemanının kapasitans değerlerinin eşdeğer kapasitansı ile oluştuğu unutulmamalıdır.

İkinci kanalın lineer faz karakteristiğine sahip olduğu durumda iken merkez frekans kontrolü Şekil 3.17’de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere merkez frekans kontrolü boyunca geri dönüş kaybı seviyesi 14.34-19.7 dB seviyeleri aralığında değişirken, araya girme kaybı seviyesi 2.2-2.77 dB seviyeleri arasında değişmektedir. Ayrıca ikinci kanalın merkez frekans kontrol sahası, lineer faz filtreleme karakteristiğine sahip olduğu durumda 2.2-2.39 GHz frekansları arasındadır. İzolasyon seviyesi lineer faz karakteristikte elde edilen ayarlama işlemleri boyunca 30 dB seviyesinin altında elde edilmektedir.



Şekil 3.17. Lineer faz karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait simülasyon sonuçları

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

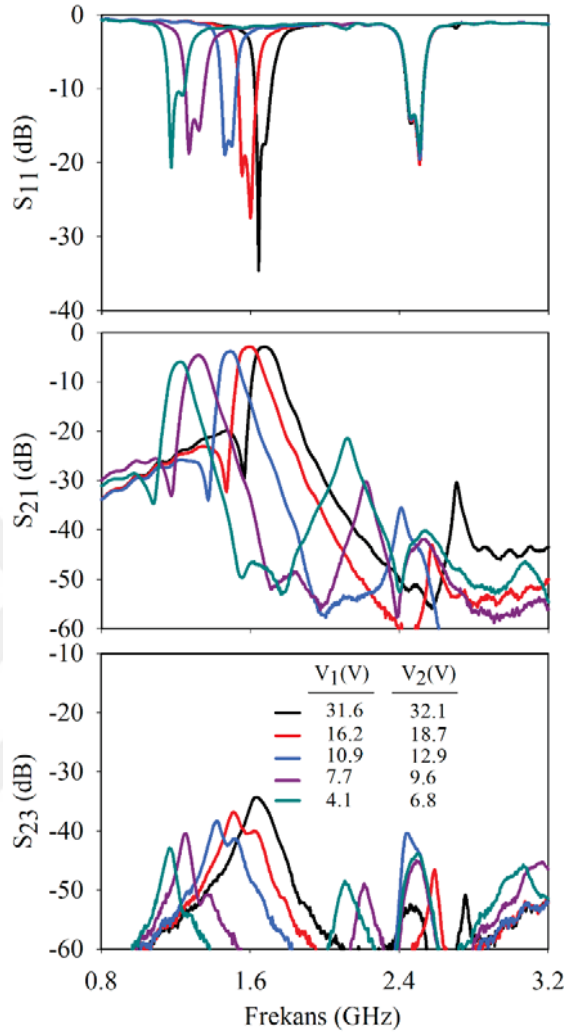
Tez çalışması kapsamında, çift modlu ayarlanabilir ikileyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarında elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla, tasarlanan ikileyici baskı devre kazıma cihazı LPKF D104 kullanılarak imal edilmiştir. İmal edilen devrede bağıl dielektrik sabiti 3.38 ve kalınlığı 0.813 mm olan Rogers4003C malzeme kullanılmıştır. Ayarlanabilir ikileyici tasarımına ait simülasyon çalışmaları Tam-Dalga EM Simülatör (Sonnet User's Manual, 2011) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Devrede ayarlama elemanı olarak Infineon BB857 tip varaktör diyotlar kullanılmıştır. İmal edilen ayarlanabilir ikileyiciye ait ölçüm sonuçları ise Agilent PNA N5222A Network Analyser kullanılarak elde edilmiştir.

İmal edilen ikileyici yapısında üst rezonatörü besleyen kuplaj hattına bağlı açık devre yan hat sayesinde birinci kanala ait, ikinci kanal frekans sahasında meydana gelen harmonik bastırılmıştır. Bilindiği üzere varaktör diyota ters DC gerilim uygulandığında diyot belirli bir kapasitans değerine sahip olmaktadır. Bu yüzden deneysel çalışmalarda kullanılan tüm varaktör diyotlar devreye ters şekilde bağlıdır. Varaktör diyotların değişken kapasitans değerlerine sahip olmaları amacıyla 0-30 V ayarlanabilir MCP M10-QR303 DC gerilim kaynakları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, her bir rezonatörde referans ve pertürbasyon elemanları olarak kullanılan varaktör diyotların farklı kapasitans değerlerinde elde edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden dört adet ayarlanabilir DC gerilim kaynağı kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda iki kanala ait merkez frekansın birbirinden bağımsız bir şekilde ayarlanabildiği gösterilmiştir. Ayrıca kanallara ait filtre karakteristiklerinin kontrol edilebilir olduğu da gözlenmiştir.

İmal edilen ikileyicide üst rezonatörde bulunan, pertürbasyon elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlar V_1 gerilimi ile beslenmekte ve referans elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlar V_2 gerilimi ile beslenmektedir. Alt rezonatörde bulunan, pertürbasyon elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlar V_3 gerilimi ile beslenirken referans elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlar V_4 gerilimi ile beslenmektedir.

Şekil 4.1’de ölçüm sonuçlarında elde edilen birinci kanala ait merkez frekans ayarlanabilirliği gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Eliptik filtreleme karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları

Deneyisel çalışmalar sırasında eliptik filtreleme karakteristiğine sahip birinci kanala ait merkez frekansın 1.2-1.67 GHz aralığında kontrolü sağlanmıştır. Varaktör diyotlar, uygulanan ters DC gerilimin değeri ile ters orantılı bir kapasitans değeri göstermektedirler. Bu bilgi doğrultusunda uygulanan DC gerilimin simülasyon sonuçlarındaki kapasitans değerlerini doğruladığı görülmüştür. Kullanılan BB857 tip varaktör diyotların katalog bilgileri dikkate alınarak, varaktör diyotlara uygulanması gereken DC besleme geriliminin değer aralığı belirlenmiştir. Ancak, ortamdan ve malzemenin toleransından kaynaklı olarak uygulanan gerilim değeri ile elde edilen

kapasitans değeri, simülasyon çalışmasında ayarlanan kapasitans değerinin yaklaşık bir değeri olarak elde edilmiştir. Birinci kanala ait merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçlarında tüm ayarlama işlemleri boyunca araya girme kaybı seviyesi 2.66-5.79 dB aralığında değişirken geri dönüş kaybı seviyesi 10.36-19 dB seviyeleri arasında değişmektedir.

Birinci kanalın tüm merkez frekans ayarlama işlemleri boyunca alt rezonatörde bulunan referans ve pertürbasyon varaktörlerine uygulanan gerilim sabit tutulmuştur. Şekil 4.1'den görüldüğü gibi birinci kanal merkez frekansı ikinci kanaldan bağımsız bir şekilde kontrol edilmiştir. Ayarlama işlemi gerçekleştirilirken iki kanal arası izolasyon seviyesi Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi 30 dB'in altında elde edilmiştir.

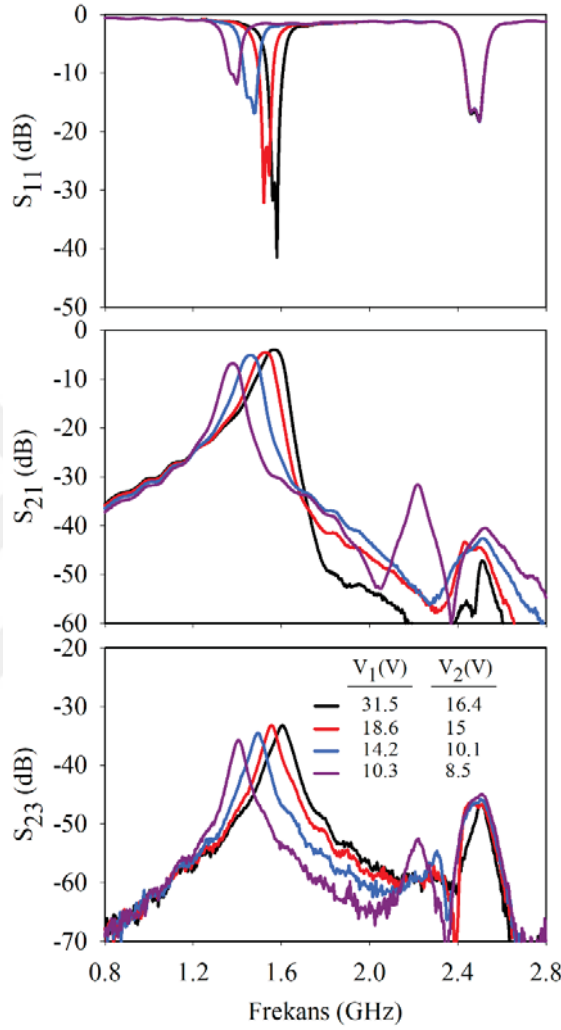
Birinci kanalın lineer faz karakteristiğine sahip olduğu durumda merkez frekans ayarlanabilirliği Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Simülasyon çalışmalarında yapılan incelemelerde, aynı rezonatörde bulunan referans elemanlarının kapasitans değerleri, pertürbasyon elemanlarının kapasitans değerlerinden büyük olması durumunda lineer faz karakteristikli geçme bandı elde edilmiştir.

Deneyisel çalışmalar sırasında üst rezonatörde bulunan referans elemanlarına, pertürbasyon elemanlarına uygulanan DC gerilimin değerinden daha düşük bir gerilim uygulanarak pertürbasyon elemanlarına göre daha yüksek kapasitans değere sahip olmaları sağlanmıştır. Böylelikle birinci kanal, lineer faz karakteristiğinde elde edilmiştir. Bu doğrultuda uygulanan gerilim değerlerinin ayarlanması ile lineer faz karakteristiğine sahip birinci kanalın merkez frekans kontrolü sağlanmıştır.

Şekil 4.2'den görüleceği üzere merkez frekans ayarlanabilirliği 1.38-1.57 GHz aralığında elde edilmiştir. Ayarlama işlemi sırasında araya girme kaybı seviyesi 3.75-6.65 dB seviyeleri arasında değişirken, geri dönüş kaybı seviyesi 10.5-28.7 dB seviyeleri arasında değişmektedir.

Şekil 4.3'de ikinci kanalın merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları gösterilmektedir. Şekilde araya girme kaybı, geri dönüş kaybı ve iki kanal arası izolasyon seviyesi alt alta verilmiştir. İkinci kanalın merkez frekans kontrolü sadece alt rezonatörde bulunan referans ve pertürbasyon elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlara uygulanan

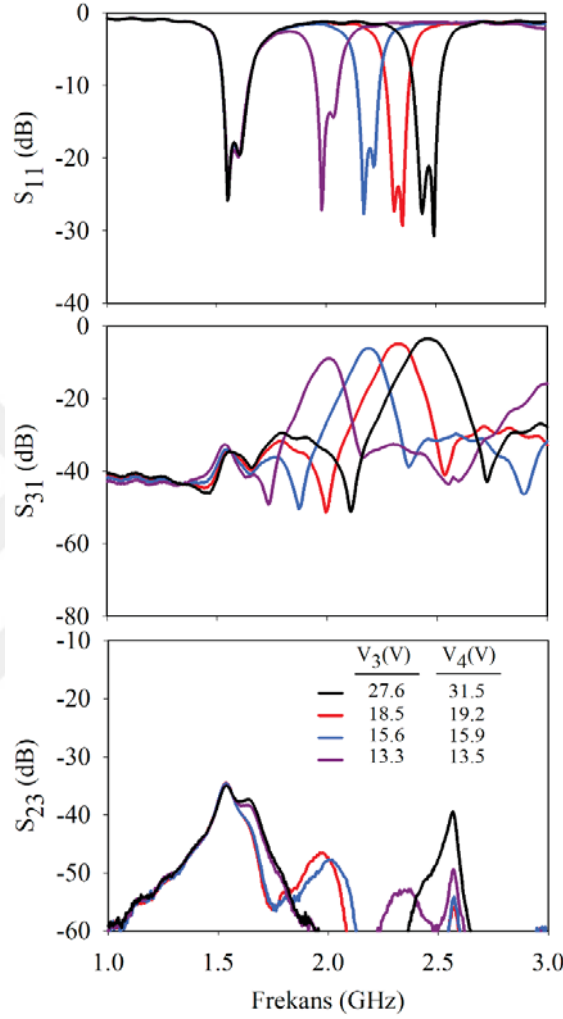
gerilim değerlerinin değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Burada, pertürbasyon elemanları V_3 , referans elemanları V_4 gerilimi ile beslenmiştir. Bu işlemler sırasında birinci kanal 1.58 GHz merkez frekansta sabit tutulmaktadır. Şekil 4.3’den görüldüğü üzere ikinci kanalın merkez frekans kontrolü 2.02-2.47 GHz frekansları arasında elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Lineer faz karakteristiğine sahip birinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları

Tüm ayarlama işlemleri sırasında ikinci kanala ait araya girme kaybı seviyesi 3.17-8.75 dB seviyeleri arasında değişirken geri dönüş kaybı seviyesi 13.58-24 dB seviyeleri arasında değişmektedir. Şekil 4.3’den net bir şekilde görülmektedir ki, tüm ayarlama işlemleri sırasında birinci kanalda herhangi bir değişim söz konusu değildir ve 1.58 GHz merkez frekansa sahip bir şekilde sabit tutulmaktadır. Şekil 4.3’den görüldüğü üzere ikinci kanala ait merkez frekans kontrolü sırasında iki kanal arası izolasyon seviyesi 30

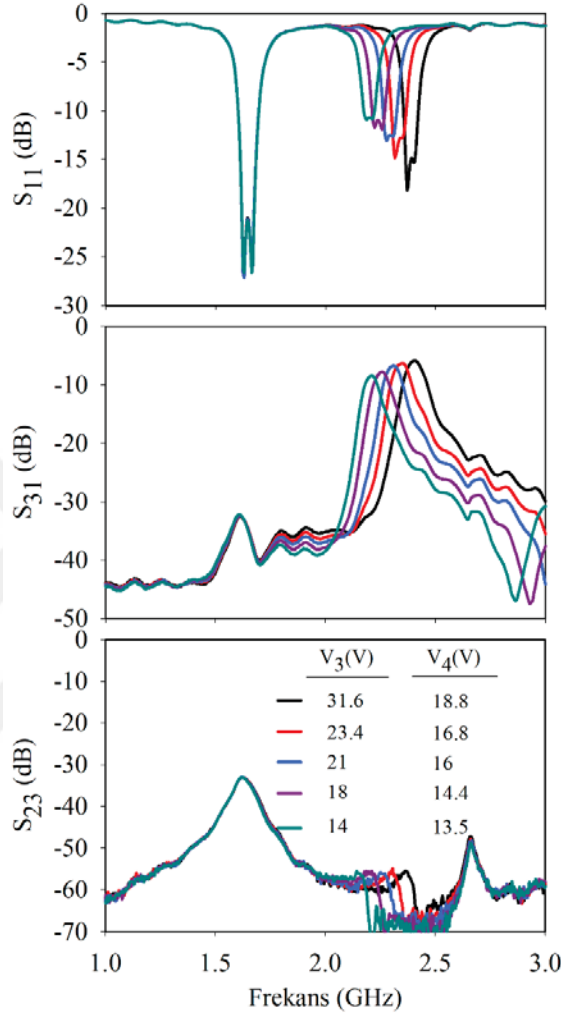
dB'den daha düşük seviyede elde edilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.3 içerisinde ayarlama işlemleri sırasında uygulanan gerilim değerleri verilmiştir. Uygulanan gerilimler, simülasyon çalışmaları sırasında varaktör diyotların aldığı kapasitans değerlerini sağlayacak değerlerdedir.



Şekil 4.3. Eliptik filtreleme karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları

Şekil 4.4’de ikinci kanalın lineer faz karakteristiğine sahip olduğu durumdaki merkez frekans kontrolü gösterilmektedir. Şekil 4.4’den görüldüğü gibi, merkez frekans kontrol aralığı 2.2-2.49 GHz frekansları arasında elde edilirken, kanallar arası izolasyon 30 dB seviyesinin altında elde edilmiştir. Ayrıca, merkez frekans kontrol işlemi sırasında araya girme kaybı 5.7-8.2 dB aralığında ve geri dönüş kaybı da 10.6-15 dB aralığında elde edilmiştir. İkinci kanala ait merkez frekans kontrol işlemleri sırasında birinci kanal 1.64 GHz merkez frekansta sabit tutulmuştur. Uygulanan gerilim değerleri Şekil 4.4 içerisinde

verilmiştir. Görüldüğü üzere pertürbasyon elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlara, referans elemanı olarak kullanılan varaktör diyotlara göre daha yüksek gerilim değeri uygulanarak daha küçük kapasitans değerine sahip olmaları sağlanmıştır.



Şekil 4.4. Lineer faz karakteristiğine sahip ikinci kanal merkez frekans kontrolüne ait ölçüm sonuçları

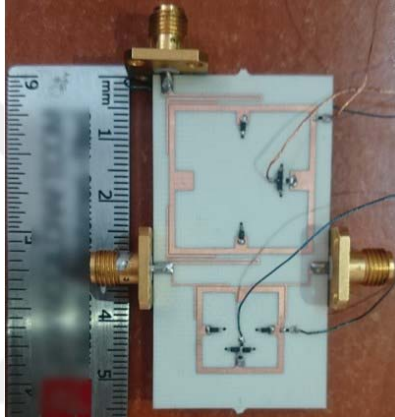
Çizelge 4.1. İkileyiciye ait boyutlar

	l_1	l_2	w_{r1}	w_{r2}	w_f	w_s	p	d	s
Uzunluk (mm)	7.6	5.5	0.9	0.9	0.3	14	3	2	1.6

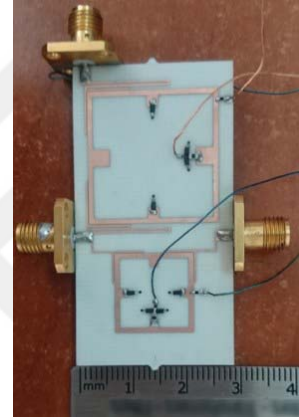
Tasarlanan ikileyiciye ilişkin geometrik boyut bilgileri Çizelge 4.1’de verilmiştir. İmal edilen ikileyici tasarımında üst kare halka rezonatörün bir kenar uzunluğu 23.2 mm iken alt kare halka rezonatörün bir kenar uzunluğu 14.2 mm’dir. İkinci kanala ait frekans

sahasında oluşan harmoniği bastırmak için kullanılan yan hat uzunluğu ise 14 mm'dir. Devrenin toplam boyutu ise dalga boyu cinsinden $0.18\lambda_g \times 0.3\lambda_g$ 'dir. Burada " λ_g " birinci kanalın en düşük merkez frekansta olduğu durumdaki dalga boyudur. İki rezonatörün de kuplaj hatları ile arasındaki mesafe 0.15 mm.'dir.

İmal edilen ikilyeciye ait dikey boyut gösterimi ve yatay boyut gösterimi sırasıyla Fotoğraf 4.1.(a) ve Fotoğraf 4.1.(b)'de gösterilmiştir. Ayrıca Fotoğraf 4.2'de deneysel çalışmalar sırasında kapı bağlantıları ile Network Analizör'den alınan bir sonucun örneği gösterilmiştir.

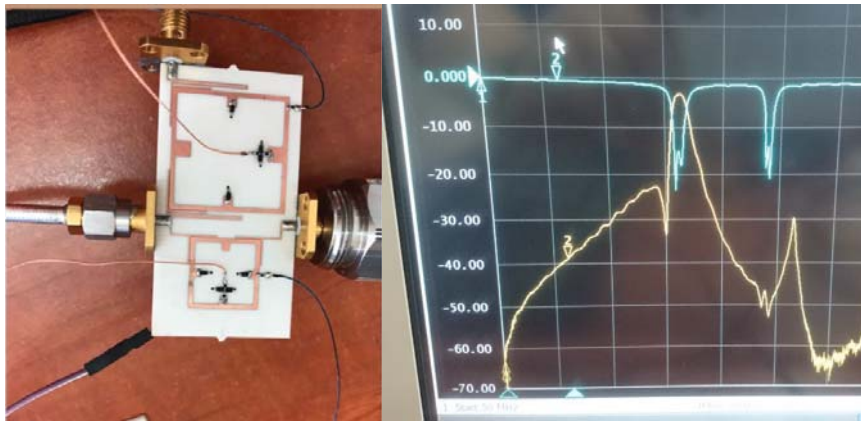


(a)



(b)

Fotoğraf 4.1. İmal edilen ikilyeci; dikey boyut ölçümü (a) ve yatay boyut ölçümü (b)



Fotoğraf 4.2. Deneysel çalışmaya ait bir bağlantı ve örnek ölçüm sonucu

BÖLÜM V

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çoklu haberleşme sistemlerinde yaşanan gelişmeler çok bandlı ayarlanabilir filtrelere olan ihtiyacı artırmıştır. Tez çalışması kapsamında, haberleşme sistemlerinde ortaya çıkan bu ihtiyaçlara alternatif bir çözüm sunmak amacıyla merkez frekansları birbirinden bağımsız bir şekilde ayarlanabilir ikileyici tasarımı sunulmuştur. Tasarlanan ikileyicinin birinci kanalının GPS ve askeri havacılık telemetri sistemleri frekanslarında çalışması sağlanırken ikinci kanalının WLAN, WIMAX, WIFI frekanslarında çalışması sağlanmıştır. Kanalları birbirinden bağımsız bir şekilde ayarlanabilir ikileyici tasarımı tez kapsamında birçok parametrenin sırasıyla incelenmesi sonucunda gerçekleştirilmiştir. İlk olarak ikileyici kanalları için arzu edilen frekanslarda geçme bandı oluşturan farklı elektriksel uzunluğa sahip iki adet çift modlu kare halka rezonatör tasarlanmıştır. Bu rezonatörler kullanılarak iki adet band geçiren filtre elde edilmiştir. Filtrelerin tasarımında rezonatörler için aynı tip besleme hattı kullanılmıştır. Giriş ve çıkış kapılarının konumuna bağlı olarak kuplajlı hatlar yardımıyla rezonatörlerin beslemeleri gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan band geçiren filtrelerin simetri eksenleri belirlenmiş ve rezonatör içerisinde simetri ekseninde bulunan rezonatörün bir kenarına pertürbasyon elemanı, simetri ekseninde olmayan karşılıklı kenarlara da birer tane referans elemanı bağlanarak çift modlu kare halka rezonatör yapısı elde edilmiştir. Pertürbasyon ve referans elemanı olarak değişken kapasitans özelliğine sahip varaktör diyot kullanılmıştır. Yüksek kapasitans değerine sahip malzemelerin deneysel çalışmalarda kaybı artırdığı bilgisi göz önüne alınarak kare halka rezonatörlerin iç tarafında olmak üzere her kenarın merkezine kare yama elemanlar yerleştirilerek hattın bu noktalarındaki kapasitif etkisi artırılmıştır. Kare yama eleman kullanıldığında aynı merkez frekansta geçme bandı elde etmek için pertürbasyon ve referans elemanlarının daha küçük kapasitans değerlerinde olmaları yeterli olmuştur.

Ayrıca, ayarlama işlemleri sırasında her bir rezonatördeki referans ve pertürbasyon elemanları farklı kapasitans değerlerine sahip oldukları için farklı DC gerilim kaynakları ile beslenmişlerdir. Varaktör diyotlara uygulanan DC gerilim kaynaklı oluşan DC akım

sızıntısını önlemek amacıyla iki rezonatörde de pertürbasyon elemanı ile rezonatör arasında 8.2 pF değerinde blok kapasitör kullanılmıştır. Her iki rezonatör için referans, pertürbasyon ve kare yama elemanı parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca, sadece birinci kanalı oluşturan filtreden kaynaklı harmoniği bastırmak için kullanılan yan hatta ilişkin incelemeler de gerçekleştirilmiştir.

İkileyici kanalları için arzu edilen frekans sahalarında geçme bandları sağlayan filtreler tasarlandıktan sonra ikileyici tasarımı için uygun konfigürasyon yapısı sağlanmıştır. İkileyici tasarımında daha geniş frekans sahasında ayarlanabilirlik sağlamak için pertürbasyon elemanlarının yüksek kapasitans değerlerinde olması gerekmektedir. Bu da deneysel çalışmalarda kaybı artıracığından dolayı, her rezonatörde pertürbasyon elemanı olarak iki adet varaktör diyot paralel olarak bağlanmıştır. Böylelikle düşük kapasitans değerine sahip iki varaktörün eş değer kapasitansı ile yüksek kapasitans değerine sahip pertürbasyon etkisi sağlanmıştır.

İkileyicinin her bir kanalına ait merkez frekans kontrolünün birbirinden bağımsız bir şekilde elde edildiği tez çalışması içerisinde simülasyon ve ölçüm sonuçları ile desteklenerek sunulmuştur. Ayrıca, ikileyici kanallarının filtre karakteristikleri birbirinden bağımsız bir şekilde lineer faz ve eliptik filtreleme karakteristiğine sahip olarak elde edilmiştir. Kanalların merkez frekanslarına ait ayarlama işlemi gerçekleştirilirken iki kanal arası izolasyon 30 dB seviyesinin altında tutulmuştur. Son olarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve alınan ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçları ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Ayrıca, simetrik yapıda çift modlu kare halka rezonatör kullanılarak yapılan band geçiren filtreye ait çift - tek mod analizleri yapılmış teorik açıdan da çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında tasarlanan ayarlanabilir ikileyici, literatürde bulunan diğer ayarlanabilir ikileyici çalışmaları ile kıyaslandığında kabul edilebilir bir boyuta sahiptir. Kanallar arası izolasyon ve kanallara ait geri dönüş kaybı seviyeleri açısından da birçok çalışmadan daha iyi sonuçlar sunmaktadır. Ayrıca, tez içerisinde önerilen çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalara göre en üstün ve ayırt edici özelliği, her bir kanalının birbirinden bağımsız şekilde hem lineer faz hem eliptik tip filtreleme karakteristiğinde elde edilebiliyor ve her iki filtreleme karakteristiğinde de merkez frekans kontrollerinin sağlanabiliyor olmasıdır.

Geniş band ayarlama sahası ve ayarlama elemanı olarak kullanılan teknoloji açısından ileride yapılması hedeflenen ayarlanabilir üçleyici, dörtleyici çalışmaları için yol gösterici niteliktedir. Kanallardaki dejenere modların mod uyarımı ve merkez frekans ayarlama işlemi başka bir pertürbasyon elemanına gerek duymadan sadece devrede bulunan varaktör diyotlar ile sağlanmıştır. Kullanılan pertürbasyon ve referans elemanları ile küçük boyutlarda filtre tasarımları gerçekleştirmek, ilerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalarda büyük avantaj sağlayacaktır. Bu doğrultuda ileride ayarlanabilir ikileyiciye ait band dışı bölgede harmonik bastırma çalışmaları, ayarlanabilir üçleyici ve dörtleyici çalışmaları yapılması, bu çalışmaların literatüre kazandırılması hedeflenmektedir.

Çizelge 5.1. Tez Çalışması ile Literatürde Bulunan Bazı Çalışmalara Ait Karakteristik ve Fiziksel Özellikler

	Birinci Kanal			İkinci Kanal			İzolasyon (dB)	Boyut (λ_g^2)	Lineer Faz & Eliptik Tip Filtreleme Karakteristiği
	Araya Girme Kaybı (dB)	Geri Dönme Kaybı (dB)	Ayar Aralığı (GHz)	Araya Girme Kaybı (dB)	Geri Dönme Kaybı (dB)	Ayar Aralığı (GHz)			
Djoumes si ve Wu, 2010.	2.89 -5.3	>7	2.26-2.8	3.7-5.2	>14	2.62-3.3	>40	0.31	-
Xu, 2016.	2.3-8.2	>10	1.16-1.46	2.5-8	>10	1.42-1.62	>25	0.031165	-
Chen vd., 2014.	1.5 - 3.2	>15	0.74-0.94	1.6 - 3.5	>15	1.03-1.21	>22	0.021	-
Feng vd., 2017.	1.4 - 7.02	>15	0.88-1.05	3.42 - 6.7	>20	1.66-1.87	>45	0.1536	-
Ko ve Rebeiz, 2015.	6-7.7	>8	1.42-2.07	5 - 7.68	>10	1.53-2.27	>17	0.04965	-
Yang ve Rebeiz, 2013.	2-2.8	>10	1.28-1.78	4.4-6.7	>10	2-2.3	>35	0.247	-
Yang ve Rebeiz, 2016b.	3.5-6.3	>10	1.9-2.7	3.5-6.3	>9	2.5-3.4	>25	0.043	-
Önerilen İkileyici	2.66-5.79	>10.36	1.2-1.67	3.17-8.75	>13.58	2.02-2.47	>30	0.054	+

Tez çalışmasında önerilen ayarlanabilir ikileyici ile literatürde bulunan bazı ayarlanabilir ikileyicilere ait filtre karakteristiği ve fiziksel özelliklere ilişkin bilgiler Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi, tez çalışmasında önerilen ikileyici, literatürde bulunan çalışmalar arasında kabul edilebilir boyuta sahiptir. Ayrıca, izolasyon ve geri dönme kaybı seviyeleri açısından da literatürdeki birçok çalışmadan daha iyi bir performans göstermektedir. Çizelgede verilen ikileyici kanallarına ilişkin değerler,

kanalların eliptik tip filtreleme karakteristiği sergilediği durumlarda elde edilen deđerlerdir.

Tez çalışmasında önerilen ikileyiciye ait kanalların birbirinden bağımsız şekilde hem merkez frekans hem de filtreleme karakteristiği kontrolü gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, kanalların her iki filtreleme karakteristiğinde de merkez frekans kontrolleri sağlanmaktadır. Önerilen ikileyici, göstermiş olduğu bu özellik sayesinde literatürdeki diğer çalışmalara göre üstünlük sergilemektedir. Böylece, tez çalışmasında önerilen ve üretilen ayarlanabilir ikileyici, mikroşerit hat kullanılarak tasarlanan ayarlanabilir ikileyici çalışmalarına yeni bir özellik kazandırmıştır.



KAYNAKLAR

Athukorala, L. and Budimir, D., “Compact Dual-Mode Open Loop Microstrip Resonators and Filters”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 19(11), 698-700, 2009.

Chan, H., Lee, C. and Hsu, C. G., “Balanced dual-band diplexer design using microstrip and slot-line resonators”, *In 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Nanjing, China, s.1-3, 6-9 December, 2015.

Chen, C., Chang, S., Yang, C. and Chen, C., “A Simple and Effective Method for Designing Frequency Adjustable Balun Diplexer With High Common-Mode Suppression”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 25(7), s.433-435, 2015.

Chen, C., Lin, C.-Y., Tseng, B.-H. and Chang, S.-F., “A compact tunable microstrip diplexer using varactor-tuned dual-mode stub-loaded resonators”, *In 2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)*, Tampa, Florida, USA s.1-3, 1-6 June, 2014.

Chen, C., Wang, G. and Li, J., “Compact microstrip dual-band bandpass filter and quad-channel diplexer based on quint-mode stub-loaded resonators”, *Antennas Propagation IET Microwaves* 12(12), 1913-1919, 2018.

Cheng, X., Xu, J. and Zhang, M., “Miniature dual-mode bandpass filters using hexagonal open-loop resonators with E-shaped stubs loading”, *In 2010 International Symposium on Signals, Systems and Electronics* C. 1, 1-3, 2010.

Chi, P. and Yan, Y., “Reconfigurable 1.2–3.16-GHz quad-channel diplexer with compact size, constant absolute bandwidth, and high isolation”, *In 2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, Honolulu, Hawaii, USA, s.933-935, 4-9 June, 2017a.

Chi, P. and Yang, T., “Three-Pole Reconfigurable 0.94–1.91-GHz Diplexer With Bandwidth and Transmission Zero Control”. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 65(1), 96-108, 2017b.

Chiang, Y.-C. and Peng, H., “Design of microstrip diplexer constructed with step impedance resonance ring structures”, *In 2014 International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE)*, s.1-3, 2014.

Choocadee, S., Intarawiset, N. and Tantivivat, S. “Compact microstrip diplexer using triple-mode stub loaded resonators”, *In 2017 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM)*, Nagoya, Aichi, Japan, s.9-12, 19-21 March, 2017.

Dhwaj, K., Jiang, L. J. and Itoh, T., “Microstrip diplexer with low channel-frequency ratio”, *In 2016 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, New Delhi, India, s.1-4, 5-9 December, 2016a.

Dhwaj, K., Qin, S., Jiang, L.-J. and Itoh, T., “Tunable transmission zeroes bandpass filter with external quality factor control”, *In 2016 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, New Delhi, India, s.1-4, 5-9 December, 2016b.

Djoumessi, E.-E. and Wu, K., “Electronically tunable diplexer for frequency-agile transceiver front-end”, *In 2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Anaheim, California, USA, s.1472-1475, 23-28 May, 2010.

Duan, Q., Song, K., Chen, F. and Fan, Y., “Compact wide-stopband diplexer using dual mode resonators”, *Electronics Letters* 51(14), 1085-1087, 2015.

Eryilmaz, G.-M., Gunturkun, E., Gorur, A. and Karpuz, C. “Dual-mode microstrip bandstop filters”, *In 2008 Asia-Pacific Microwave Conference*, Hong Kong, China, s.1-4, 16-20 December, 2008.

Evangelista, C., Abdalla, H., Soares, A.-J.-M. and Romani, I.-N.-A., “Microwave filters with dual-mode ring resonators on microstrip technology”. *In 2009 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Belem, Brazil, s.204-207, 3-6 November, 2009.

Feng, W., Zhang, Y. and 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), 1047-1051, 2017.

Gao, L., Lin, T. and Rebeiz, G.-M., “Tunable Three-Pole Diplexer with High Selectivity and Isolation”. *In 2018 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, Philadelphia, Pennsylvania, USA, s. 1378-1380, 10-15 June, 2018.

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), 386-388, 2002.

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), 671-677, 2004.

Gorur, A.-K., Karpuz, C. and Gorur, A., “Design of dual-mode dual-band bandpass filter with independently tunable bandwidths and reconfigurable filtering characteristics”, *In 2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, Honolulu, Hawaii, USA, s. 922-925, 4-9 June 2017.

Guan, X. H., , W., Liu, H., Wen, P., Chen, Q., Ouyang, A. and Liu, Y., “A novel microstrip diplexer with a common square ring resonator for WCDMA”, *In 2016 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM)*, s.1-3, 2016.

Guan, X., Yang, F., Liu, H. and Zhu, L., “Compact and High-Isolation Diplexer Using Dual-Mode Stub-Loaded Resonators”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 24(6), 385-387, 2014.

Hong, J.-S. and Lancaster, M.-J., “Bandpass characteristics of new dual-mode microstrip square loop resonators”, *Electronics Letters* 31(11), 891-892, 1995a.

Hong, J.-S. and Lancaster, M.-J., “Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a novel meander loop resonator”, *IEEE Microwave and Guided Wave Letters* 5(11), 371-372, 1995b.

Huang, X., Zhang, J.-Q., Lin, Y.-Q. and Xiang, Q.-Y., “Electronic tunable diplexer with wide tuning range”. *In 2016 Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*, Shanghai, China, s.3511-3514, 8-11 August, 2016.

Karpuz, C., Eryilmaz, G. M. and Gorur, A., “Compact Dual-Mode Microstrip Quasi-Meander Loop Resonator for Filter Applications”. *In 2008 38th European Microwave Conference*, Amsterdam, Netherlands, s.630-633, 27-31 October, 2008.

Ko, C. and Rebeiz, G.-M., “A 1.4–2.3-GHz Tunable Diplexer Based on Reconfigurable Matching Networks”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 63(5), 1595-1602, 2015.

Ma, Z., Sasaki, H., Chen, C., Anada, T. and Kobayashi, Y., “Design of a wideband bandpass filter using microstrip parallel-coupled dual-mode ring resonator”, *In 2010 Asia-Pacific Microwave Conference*, Yokohama, Japan, s.21-24, 7-10 December, 2010.

Hong, J.-S. and Lancaster, M. J., *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, Wiley, New York, 2001.

Nwajana, A. O. and Yeo, K. S. K., “Multi-coupled resonator microwave diplexer with high isolation”, *In 2016 46th European Microwave Conference (EuMC)*, London, UK, s.1167-1170, 4-6 October, 2016.

Ogbodo, E.-A., Wu, Y. and Wang, Y., “Microstrip diplexers with dual-mode patch resonant junctions”, *In 2016 46th European Microwave Conference (EuMC)*, London, UK, s.1155-1158, 4-6 October, 2016.

Peng, H. and Chiang, Y.-C., “Microstrip Diplexer Constructed With New Types of Dual-Mode Ring Filters”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 25(1), 7-9, 2015.

Sonnet User’s Manual, Version 14, *Sonnet Software*, North Syracuse, NY, June 2011.

Sun, S., “A Dual-Band Bandpass Filter Using a Single Dual-Mode Ring Resonator”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 21(6), 298-300, 2011.

Wolff, I., “Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a microstrip ring resonator”, *Electronics Letters* 8(12), 302-303, 1972.

Wu, H., Huang, S. and Chen, Y., “Design of New Quad-Channel Diplexer With Compact Circuit Size”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 23(5), 240-242, 2013.

Xiang, T.-Y., Lei, T. and Peng, M., “Miniature dual-mode bandpass filter based on meander loop resonator with source-load coupling”, *In 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Nanjing, China, s.1-3, 6-9 December, 2015.

Xu, J., “A tunable diplexer based on mixed coupling varactor-tuned stepped-impedance resonators”, *Microwave and Optical Technology Letters* 58(6), 1469-1473, June, 2016.

Xu, Z. and Xu, J., “Design of dual-mode filters using stepped impedance resonators with stub loading”, *In 2012 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, Shenzhen, China, s. 1-3, 5-8 May, 2012.

Yang, T. and Rebeiz, G.-M., “Three-Pole 1.3–2.4-GHz Diplexer and 1.1–2.45-GHz Dual-Band Filter With Common Resonator Topology and Flexible Tuning Capabilities”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 61(10), 3613-3624, 2013.

Yang, T. and Rebeiz, G.-M., “A 1.26-3.3 GHz Tunable Triplexer with Compact Size and Constant Bandwidth”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 26(10), 786-788, 2016a.

Yang, T. and Rebeiz, G.-M., “A Simple and Effective Method for 1.9–3.4-GHz Tunable Diplexer with Compact Size and Constant Fractional Bandwidth”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 64(2), 436-449, 2016b.

Zhou, C., Guo, Y. and Yan, S., “A compact dual-band filter based on dual-mode resonators”, *In Asia-Pacific Microwave Conference 2011*, Melbourne, Australia, s. 1278-1281, 5-8 December, 2011.



ÖZGEÇMİŞ

Engin DOĞAN 22.09.1993 tarihinde Nazilli’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Nazilli’de tamamladı. 2011 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Hazırlık ve birinci sınıf eğitimini burada aldıktan sonra 2013 yılında Pamukkale Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yaptı. 24.06.2016 tarihinde lisans eğitimini tamamladı. 2016 yılında Pamukkale Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans Öğrenimine başladı. Daha sonra yatay geçiş yoluyla Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi’ne geçiş yaparak öğrenimine burada devam etti. 2018 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektronik Anabilim Dalı’na araştırma görevlisi olarak atandı. Halen aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Anabilim dalındaki çalışma alanı elektronik olarak ayarlanabilir mikroşerit hat kullanılarak tasarlanan mikrodalga filtre yapıları üzerinedir.

