

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYO FREKANSI ENERJİSİ HASATLAYICI DEVRELERİN BİLGİSAYAR  
DESTEKLİ MODELLENMESİ**

**ÜMİT BİNİCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. AHMET KIZILAY**

**İSTANBUL, 2018**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYO FREKANSI ENERJİSİ HASATLAYICI DEVRELERİN BİLGİSAYAR  
DESTEKLİ MODELLENMESİ**

Ümit BİNİCİ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.03.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

Doktora Öğretim Üyesi Mehmet Ali BELEN  
Artvin Çoruh Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hamid TORPİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emre AYDEMİR  
İstanbul Gelişim Üniversitesi

---

---

---

## ÖNSÖZ

---

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği anabilim dalı Haberleşme programında yüksek lisans bitirme tezi olarak hazırlanmıştır.

Bitirme tezi boyunca göstermiş olduğu özveri ve desteklerinden dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Ahmet KIZILAY'a, proje sürecinde vermiş olduğu bilgi ve destek için eş danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali BELEN'e, desteklerinden dolayı Dr. Peyman MAHOUTİ'ye ve daima yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mart, 2018

Ümit BİNİCİ

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT.....	xiii
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ .....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	3
1.3    Hipotez .....	4
<b>BÖLÜM 2</b>	
ANTENLER.....	5
2.1    Anten Parametreleri .....	5
2.1.1    Giriş İmpedansı.....	5
2.1.2    Anten Etkin Yüzeyi.....	7
2.1.3    Duran Dalga Oranı (VSWR).....	8
2.1.4    Işıma Gücü ve Direnci.....	9
2.1.5    Polarizasyon .....	9
2.1.6    Işıma Diyagramı.....	10
2.1.7    Yakın Alan Uzak Alan .....	11
2.1.8    Anten Verimi .....	11
2.1.9    Anten Yönlendiriciliği ve Kazancı.....	11
2.1.10    Demet Genişliği .....	12
2.2    Anten Çeşitleri .....	12

2.2.1	Hertz Anten .....	12	
2.2.2	Markoni Anten .....	13	
2.2.3	Rombik Anten .....	13	
2.2.4	Çerçeve Anten .....	14	
2.2.5	VHF-UHF Anten .....	14	
2.2.6	Dipol Anten.....	15	
2.2.7	Monopol Anten .....	16	
2.2.8	Parabolik Reflektör Anten (Çanak Anten) .....	16	
2.2.9	Log-Periyodik Anten .....	16	
2.2.10	Horn Anten .....	18	
2.2.11	Kablosuz Anten.....	18	
2.2.12	Mikroşerit Anten .....	19	
<b>BÖLÜM 3</b>			
<b>MİKROŞERİT ANTENLER .....</b>			<b>20</b>
3.1	Mikroşerit Antenin Avantajları .....	21	
3.2	Mikroşerit Antenlerin Bant Genişliği .....	21	
3.2.1	Mikroşerit Antenlerde Bant Genişliğini Artırma Yöntemleri.....	22	
3.3	Mikroşerit Anten Çeşitleri .....	22	
3.3.1	Mikroşerit Yama Antenler .....	22	
3.3.2	Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenler.....	23	
3.3.3	Mikroşerit Yarık Antenler .....	23	
3.4	Mikroşerit Yama Antenin Temel Özellikleri.....	24	
3.5	Mikroşerit Yama Antenleri Besleme Teknikleri.....	25	
3.5.1	Mikroşerit Hat İle Besleme.....	25	
3.5.2	Koaksiyel Hat İle Besleme.....	26	
3.5.3	Açıklık Kuplajlı Besleme .....	26	
3.5.4	Yaklaşım Kuplajlı Besleme .....	27	
3.6	Mikroşerit Antenlerde Uzunlukların Hesaplanması .....	27	
3.6.1	Toprak Düzleminin Boyutları .....	30	
<b>BÖLÜM 4</b>			
<b>ANTEN SİMÜLASYON SONUÇLARI .....</b>			<b>31</b>
<b>BÖLÜM 5</b>			
<b>DOĞRULTUCU DEVRELERİ .....</b>			<b>37</b>
5.1	Doğrultucu Devrelerinin Kullanım Alanları.....	38	
5.2	Doğrultucu Çeşitleri .....	38	
5.2.1	Yarım Dalga Doğrultucular .....	38	
5.2.2	Tam Dalga Doğrultucular.....	40	
5.2.3	Köprü Tipi Doğrultucular .....	41	
<b>BÖLÜM 6</b>			
<b>SCHOTTKY DİYOTLU DOĞRULTUCU DEVRELER .....</b>			<b>43</b>

6.1	Schottky Diyotun Yapısı .....	44
6.2	Schottky Diyot Uygulamaları ve Kullanım Alanları .....	45

## BÖLÜM 7

SCHOTTKY DİYOT DOĞRULTUCU DEVRELERİNİN TASARIMI VE SİMÜLASYON SONUÇLARI .....	46
-------------------------------------------------------------------------------	----

## BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR .....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	57



## SİMGE LİSTESİ

---

$P_t$	Işıma gücü
$\Gamma$	Yansıma katsayısı
$e$	Işıma verimi
$Z_0$	Hattın karakteristik empedansı
$Z_k$	Kaynak empedansı
$R_L$	Yük direnci
$R_r$	Işıma direnci
$Z_A$	Giriş empedansı
$A_e$	Anten açıklığı
$G_t$	Alıcı anten kazancı
$D$	Anten yönlendiricilik kazancı
dB	Desibel
$\epsilon$	Dielektrik katsayısı
$\epsilon_{ref}$	Efektif Dielektrik Sabiti
$\Lambda$	Dalga boyu
$\lambda_0$	Boşluğun dalga boyu
$S_{11}$	Yansıma katsayısı
$k_0$	Dalga sayısı
$f_r$	Merkez frekans
$W$	Yamanın genişliği
$L$	Yamanın uzunluğu
$W_g$	Yansıtıcı düzlemin genişliği
$L_g$	Yansıtıcı düzlemin uzunluğu
$C$	Işık hızı
$\mu_0$	Boşluğun geçirgenlik değeri

h

Yükseklik





## KISALTMA LİSTESİ

---

FET	Alan Etkili Transistör
GPS	Küresel Konulama Sistemi
GSM	Groupe Spécial Mobile
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Serbest Frekans
PTFE	Politetrafloroetilen
RCS	Radar Cross Section
RF	Radyo Frekansı
RFID	Radio Frequency Identification
TEM	Enine elektromagnetik
UHF	Ultra Yüksek Frekans
VHF	Çok Yüksek Frekans
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio(Gerilim Duran Dalga Oranı)

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Alıcı antene ait eşdeğer devrenin görünümü [3] .....	6
Şekil 2.2 Alıcı antene ait eşdeğer devrenin şeması [3] .....	7
Şekil 2.3 Anten ışıma paterni [3] .....	10
Şekil 2.4 Hertz anten [7] .....	13
Şekil 2.5 Markoni anten [7] .....	13
Şekil 2.6 Rombik anten [7].....	14
Şekil 2.7 Çerçeve anten [7].....	14
Şekil 2.8 VHF-UHF anten[7] .....	15
Şekil 2.9 Dipol anten[7] .....	15
Şekil 2.10 Çanak anten [7].....	16
Şekil 2.11 Log-Periyodik anten[7].....	17
Şekil 3.1 Mikroşerit yama antenler[13] .....	22
Şekil 3.2 Mikroşerit yürüyen dalga antenler[13].....	22
Şekil 3.3 Mikroşerit yarık antenler[13].....	23
Şekil 3.4 Mikroşerit yama antenin basit görünüşü[11] .....	23
Şekil 3.5 Mikroşerit hat ile besleme[14].....	25
Şekil 3.6 Koaksiyel hat ile besleme[14] .....	25
Şekil 3.7 Açıklık kuplajlı besleme[9].....	26
Şekil 3.8 Yaklaşım kublajlı besleme[9].....	26
Şekil 3.9 Etkin Dielektrik Sabiti Geometrisi[9] .....	27
Şekil 3.10 Anten uzunluğu boyunca voltaj ve akımın değişimi[9].....	28
Şekil 3.11 Mikroşerit antenin etkin boyutları[9].....	28
Şekil 4.1 Tasarlanan çift bantlı antenin iki yüzden parametrik uzunluklarının Gösterildiği şeması .....	31
Şekil 4.2 Anten geometrisinin üç boyutlu görünümü (a) Reflektörsüz, (b) Reflektörlü. .....	32
Şekil 4.3 (a) $L_{m1}$ , (b) $L_{m2}$ , (c) $L_s$ Uzunluklarının $S_{11}$ üzerindeki değişimleri. ....	32
Şekil 4.4 Anten tasarımında (a) Reflektörün, (b) Reflektörün antene olan uzaklığının $S_{11}$ performansına olan etkisi.....	33
Şekil 4.5 Anten kazanç performansının simülasyonu @ (a) 1.8 GHz, (b) 2.4 GHz..	33
Şekil 4.6 Prototip Anten Modeli .....	34
Şekil 4.7 Maksimum uzak alan kazancı için ölçüm çalışması.....	34
Şekil 4.8 Tasarlanan antende ölçülen (a) $S_{11}$ ve (b) $S_{21}$ sonuçları.....	34

Şekil 4.9	Tasarlanan antende ölçülen kazanç performansı @ (a) 1800 MHz, (b) 2400 MHz .....	35
Şekil 5.1	Yarım dalga doğrultucu .....	37
Şekil 5.2	Yarım dalga doğrultucunun çıkışındaki yüke paralel bir kondansatör bağlanması ve bağlanmaması durumunda görülen işaretler.[8] .....	38
Şekil 5.3	Yarım dalga doğrultucu çıkışındaki yüke paralel bağlanan kondansatör değerlerinin değişiminin yükün üzerinde oluşan gerilime etkisi.[15] .....	39
Şekil 5.4	Tam dalga doğrultucu şematik gösterimi, giriş ve çıkış işaretleri[17] .....	40
Şekil 5.5	Köprü tipi doğrultucunun şematik gösterimi ve giriş çıkış işaretlerinin görünümü[18] .....	41
Şekil 6.1	Schottky diyotun fiziksel yapısı ve şematik gösterimi[19] .....	43
Şekil 6.2	Seçilen HSMS-2850 SOT-23 kılıf Schottky diyotun görüntüsü[20] .....	44
Şekil 7.1	Greinacher tek katlı tam dalga doğrultucu .....	46
Şekil 7.2	Uyumlandırılmış doğrultucunun baskı devresi .....	47
Şekil 7.3	1.8 GHz uyumlandırma katı, 2.4 GHz uyumlandırma katı .....	48
Şekil 7.4	Uyumlandırılmış tek katlı devrenin geri dönüş kaybı .....	48
Şekil 7.5	1.85GHz frekans, 10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	49
Şekil 7.6	1.85GHz frekans, 0 dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	49
Şekil 7.7	1.85GHz frekans, -10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	50
Şekil 7.8	1.85GHz frekans, -20dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	50
Şekil 7.9	2.45GHz frekans, 10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	50
Şekil 7.10	2.45GHz frekans, 0dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	51
Şekil 7.11	2.45GHz frekans, -10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	51
Şekil 7.12	2.45GHz frekans, -20dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri. ....	51

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 4.1 Anten Parametreleri (mm).....	31
Çizelge 4.2 Antenin Simülasyon Performans Sonuçları.....	33

## RADYO FREKANSI ENERJİSİ HASATLAYICI DEVRELERİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLENMESİ

Ümit BİNİCİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Eş Danışman: Doktora Öğretim Üyesi Mehmet Ali BELEN

Bu çalışmada, ortamda mevcut olan ya da bilinen bir kaynaktan ışılan radyo frekansı (RF) enerjisinin kazancı yüksek olan mikroşerit anten vasıtası ile alınarak, devamında tasarlanan radyo frekansı enerjisini DC enerjiye dönüştürecek doğrultucu devre ile oluşturulan güç ile düşük güçte çalışan çeşitli cihazları kablosuz olarak beslemek hedeflenmiştir. DC Güce çevrilip kullanılabilen elektromanyetik enerji ile düşük güçle çalışan sensör ağları, RFID etiketleri, tümleşik elektronik ve haberleşme devreleri, uzaktan izleme ve kontrol sistemleri, mobil cihazlar, akıllı alanlar, akıllı enerji yönetimi, güvenlik ve savunma sistemlerinde işletim kolaylığı sağlanacaktır.

Son yıllarda dünyada gittikçe önem kazanan RF enerji hasatlama teknolojilerini yakalayıp, uluslararası ölçekte bir ürün olması hedeflenen bu projede temel olarak iki modül geliştirilmiştir: RF enerji toplayıcı anten ile alınan RF enerjiyi DC enerjiye çevirecek doğrultucu devresi. RF enerji hasatlayıcı ünite, bağımsız olarak ortamda mevcut Wi-fi veya GSM gibi radyo frekanslarını kullanacağı gibi, kablosuz enerji transferi için de kullanılabilir ve ISM bandında tasarlanacak olan RF güç verici ünitesinden de beslenebilecektir. Projenin sonunda, kablosuz RF enerji ile beslenebilen ve pilden bağımsız çalışabilen bir sistem tasarlanacaktır. Bu sistem ile düşük güçte çalışabilen sensör ve benzeri sistemler dışarıdan bir güç kaynağı gerektirmeksizin çalıştırılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** RF Enerji hasatlayıcı, kablosuz güç transferi, mikrodalga devreler, antenler, mikrodalga elektronığı.



**COMPUTER BASED MODELLING OF RADIO FREQUENCY ENERGY  
HARVESTING CIRCUITS**

Ümit BİNİCİ

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Co-Adviser: Ass. Prof. Dr. Mehmet Ali BELEN

This work involves developing a system that includes radio frequency (RF) energy that is to be transferred from a specific source at a long distance or that contains high efficiency microwave electronics and antenna equipment for use in a variety of low-power electronic applications, such as by turning the radio frequency (RF) energy available in the environment. It will provide ease of operation in low-power sensor networks, RFID tags, integrated electronics and communication circuits, remote monitoring and control systems, mobile devices, intelligent fields, intelligent energy management, security and defense systems with electromagnetic energy that can be turned and used DC power.

In recent years, it has been developed two modules in this project which aimed to be a product of international scale by catching increasingly important RF energy harvesting technology in the world: Rectifier circuit which converts RF energy to DC energy received by RF energy collector antenna. The RF energy harvester unit will independently utilize radio frequencies such as Wi-fi or GSM available in the environment, as well as from the RF power transmitter unit, which will be identified for wireless energy transfer and designed in the ISM band. At the end of the project, a system that can be powered by wireless RF energy and can operate independently from the batteries will be designed. With this system, low-power sensors and similar systems can be operated without

requiring an external power source.

**Keywords:** RF Energy harvesting, Wireless Power Transmission, Microwave Circuits, Antennas, Microwave Electronic.





#### 1.1 Literatür Özeti

RF enerjisi şu anda dünya çapında milyarlarca radyo vericisinden, cep telefonları, el telsizleri, mobil baz istasyonları ve televizyon / radyo yayın istasyonları dahil olmak üzere yayınlanmaktadır. RF enerjisini ortam veya özel kaynaklardan toplayabilme yeteneği, düşük güçlü cihazların kablosuz olarak şarj edilmesini sağlar ve ürün tasarımı, kullanılabilirlik ve güvenilirlik açısından faydalar sağlar. Pil tabanlı sistemler pil değiştirmeyi ortadan kaldırmak veya tek kullanımlık pil kullanan sistemlerin çalışma ömrünü uzatmak için şarj edilebilir. Aküden arındırılmış cihazlar, talep üzerine veya yeterli şarj biriktirildiğinde çalışacak şekilde tasarlanabilir. Her iki durumda da, bu cihazlar konektörler, kablolar ve batarya erişim panellerinden arınmış olabilir ve şarj etme ve kullanma sırasında yerleştirme ve hareket etme özgürlüğüne sahiptir.[1]

Ortam RF enerjisinin toplanmasının en çekici tarafı, aslında “serbest” enerjidir. Özellikle mobil baz istasyonları ve el cihazları için radyo vericilerinin sayısı artmaya devam ediyor. ABI Research ve iSupply, son zamanlarda cep telefonu aboneliklerinin sayısının 5 milyarı aştığını ve ITU'nun mobil geniş bant için 1 milyardan fazla abonelik olduğunu tahmin ettiğini söylüyor. Cep telefonları, RF enerjisinin toplanacağı büyük bir vericiyi temsil eder ve kullanıcıların çeşitli yakın mesafe algılama uygulamaları için talep üzerine güç sağlamalarını sağlar. Ayrıca, WiFi yönlendiricileri ve dizüstü bilgisayarlar gibi kablosuz son cihazların sayısını göz önünde bulundurmak gerekir. Bazı kentsel ortamlarda, yüzlerce WiFi erişim noktasını tek bir konumdan tam anlamıyla tespit etmek mümkündür. Aynı odada olduğu gibi, kısa menzilde, 50 ila 100 mW'lık bir güç seviyesinde

iletim yapan tipik bir kablosuz yönlendiriciden az miktarda enerji toplamak mümkündür. Daha uzun menzilli kullanım için, mobil baz istasyonlarından ve radyo kulelerinden yayın yapan RF enerjisinin pratik olarak toplanması için daha yüksek kazançlı büyük antenlere ihtiyaç vardır.[2]

RF enerjisi çok çeşitli düşük güçlü cihazları şarj etmek veya çalıştırmak için kullanılabilir. Düşük enerjili bir vericiye yakın mesafede, bu enerji, GPS veya RLTS izleme etiketleri, giyilebilir tıbbi sensörler ve e-kitap okuyucular ve kulaklıklar gibi tüketici elektroniği gibi bir dizi cihazı şarj etmek için kullanılabilir. Daha uzun menzillerde güç, HVAC kontrolü ve bina otomasyonu, yapısal izleme ve endüstriyel kontrol için batarya tabanlı veya bataryasız uzaktan sensörler için kullanılabilir. Güç gereksinimlerine ve sistem çalışmasına bağlı olarak, güç, planlı veya isteğe bağlı olarak sürekli olarak gönderilebilir. Büyük ölçekli sensör dağıtımlarında, pilleri değiştirmek için gelecekteki bakım çalışmalarını ortadan kaldırarak önemli işçilik maliyetlerinden kaçınma mümkündür.[3]

Ortam radyo dalgaları, özellikle yoğun nüfuslu kentsel alanlarda giderek artan bir frekans ve güç seviyesinde evrensel olarak mevcuttur. Bu radyo dalgaları, etkili ve verimli bir şekilde toplanabiliyorsa, benzersiz ve yaygın bir enerji kaynağıdır. Kablosuz vericilerin artan sayısı doğal olarak artan RF güç yoğunluğu ve kullanılabilirliği ile sonuçlanmaktadır. Özel güç vericileri ayrıca tasarlanmış ve öngörülebilir kablosuz güç çözümlerini mümkün kılar. Elektronik bileşenlerin güç tüketiminde sürekli düşüşler, RF hasadı için pasif alıcıların artan hassasiyeti ve düşük kaçak enerji depolama cihazlarının performansının artması ile RF tabanlı kablosuz güç ve enerji hasadıyla telsiz şarj uygulamaları büyümeye devam etmektedir. [1]

Çevremizde yoğun olarak bulunan RF enerji kaynakları ;

- FM (Frequency Modulation) Bandı : 87.5 MHz – 108 MHz
- Telsiz Haberleşme Bandı : 370 MHz – 450 MHz
- VHF (Very High Frequency) Bandı : 174 MHz – 230 MHz
- UHF (Ultra High Frequency) Bandı : 470 MHz – 854 MHz
- GSM (Global System for Mobil Communucation) 900 Bandı : 935 MHz – 960 MHz
- GSM (Global System for Mobil Communucation) 1800 Bandı : 1805 MHz – 1880 MHz

- Wi – Fi (Wireless Fidelity) : 2400 MHz – 2483.5 MHz
- 3G (Third Generation of Mobile Telephony) : 2110 MHz – 2200 MHz
- Wi – Max (Worldwide Interoperability  
for Microwave Access) : 2500 MHz – 2690 MHz  
3400 MHz – 3600 MHz

Birçok önde gelen kablosuz iletişim ürünleri tedarikçisi, kullanıcılar bu cihazlara daha fazla bağımlı hale geldikçe, pil gücünün korunmasının nihai gereksiniminin farkındadır. Cep telefonunun kişisel mesajlaşma ve eğlence merkezine dönüşmesi, bu portatif radyoların daha fazlasını yapabileceği anlamına geliyor, aynı zamanda daha fazla güç gerektiriyor. Güç kaynakları olarak bataryalarla sınırlıysa, eklenen işlevsellikteki artan akım boşalması batarya şarjı başına daha az çalışma süresine (ve servis sağlayıcılar için daha az faturalandırılabilir saatler) neden olur.

Bir süredir, mobil iletişim cihazlarının geliştiricileri, bu cihazlardaki pillerin yükünü, bir çeşit enerji geri kazanım sistemi aracılığıyla hafifletmeyi amaçlamaktadır. Elektronik cihazların otomatik uzaktan kumandası için Nesnelerin İnterneti (IoT) ve makineden makineye (M2M) cihazların artan popüleritesi ile IoT uygulamaları, potansiyel olarak bir tetikleme beklediği için yıllarca sürdürebilecek evler ve fabrikalar için tasarlanmaktadır. Enerji hasadıyla, bu tür cihazlar kendi bataryalarını yeniden şarj etmek için enerjiyi havanın dışına çekebilir veya enerji için bir batarya gerekmeyecek şekilde ortamdan yeterince enerji toplayabilir.

## 1.2 Tezin Amacı

Çalışmanın ilk kısmında, RF enerjileri toplamak için bu sinyalleri alan mikroşerit yama antenler hakkında teorik bilgiler verilmiş olup hesaplamalar yapılmıştır ve bu hesaplamalar sonucu elde edilen değerler simülasyonlar yardımıyla incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise alternatif veya doğru gerilimi yükselterek kararlı doğru gerilimine dönüştüren schottky doğrultucu devreleri tasarlanmıştır.

Çalışmadaki anten ve doğrultucu devrelerin empedansları aynı olduğundan dolayı (50Ω) empedans uygunlaştırma devresine gerek kalmamıştır.

### 1.3 Hipotez

Tasarlanacak bu anten ve doğrultucu devresinden oluşan sistem ile dūřuk gūç ile çalışabilecek özellikle mobil cihazlar kablosuz olarak beslenebilir ve üzerinde bir pil veya batarya bulunan yine mobil cihazların taşıdıkları pilin kablosuz olarak řarj edilmesi sağlanarak pil ömrünün arttırılması sağlanabileceği bir modül tasarımı yapılacaktır.



## BÖLÜM 2

---

### ANTENLER

1890'larda dünyada sadece birkaç çeşit anten vardı. Bu ilkel cihazlar, öncelikle elektromanyetik dalgaların iletimini gösteren deneylerin bir parçasıydı. II. Dünya Savaşı'na gelindiğinde antenler, kullanımlarının radyo ve televizyon yayınları aracılığıyla ortalama bir kişinin hayatını döndürdüğü kadar yaygın hale gelmişti. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki antenlerin sayısı, aynı dönemde otomobil endüstrisine rakip olacak şekilde büyümeyi temsil eden, nerdeyse hane başına bir tane olacak sayıda üretiliyordu.

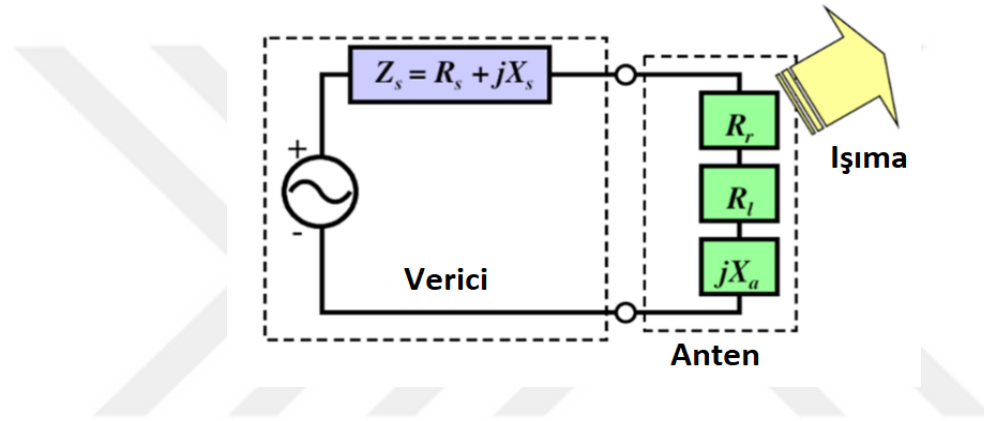
21. yüzyılın başlarına gelindiğinde, cep telefonlarına çok fazla rağbet olduğundan bu sektör anten söktürünü de çok canlandırdı, ortalama olarak her bir kişi gittiği her yerde bir veya daha fazla anteni taşır yanında taşır hale gelmiştir (örneğin, cep telefonu içerisinde bulunan GSM ve GPS anteni gibi, çok sayıda antene sahip olabilir). Kablosuz iletişim sistemleri günlük yaşamın daha büyük bir parçası haline geldiğinden bu önemli büyüme oranı yavaşlamamaktadır. Buna ek olarak, RFID cihazlarındaki güçlü büyüme, kullanımdaki anten sayısının dünyadaki (ürün, konteyner, evcil hayvan, muz, oyuncak, cd, vb.) nesne başına bir anten düşecek şekilde artabileceğini göstermektedir. Bu sayı, bugün kullanılan antenlerin sayısından çok azdı yine de.

#### 2.1 Anten Parametreleri

Antenin tasarlanırken çeşitli parametrelere dikkat etmek gerekir. Bu parametreler: giriş empedansı, duran dalga oranı, anten etkin yüzeyi, ışınma gücü ve direnci, yakın alan uzak alan, anten yönlendiriciliği ve kazancı, anten verimi, polarizasyon ve ışınma diyagramıdır.

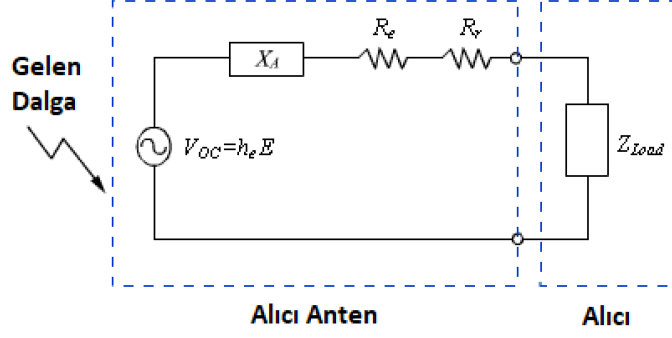
### 2.1.1 Giriş Empedansı

Besleme tarafında bir anten iki kapılı bir devrenin giriş kapısı rolü oynar. Bu noktada, gerilim kaynağının bağlanacağı uçlar arasında bir empedans değeri oluşur. Bu empedans değerine giriş empedansı denir. Yayılım yaparken besleme uçlarındaki gerilim değerinin akım değerine oranı, o frekanstaki empedans değeri olarak tanımlanabilir. Giriş empedansı kaynaktan çekilen ve antene gönderilecek güçler için çok önemlidir. Şekil 2.1’de karakteristik empedansı  $Z_0$  olan bir hat üzerinden empedans değeri  $Z_s$  olan bir kaynak antene güç vermektedir. Empedans değeri  $Z_A = R_r + R_L + j X_A$  olan antende,  $R_r$  ışıyan gücü,  $X_A$  depolanan enerjiyi ve  $R_L$  kayıpları ifade etmektedir.[3]



Şekil 2.1 Alıcı antene ait eşdeğer devrenin görünümü [3]

Güç birikimi sorunu yaşamamak için devrede antenin giriş empedansının sanal kısmı ile kaynak empedansının sanal kısmı birbirini sıfırlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Harici olarak kayıpların minimuma indirilmesi ile,  $R_L$  sıfır kabul edildiği takdirde kaynaktan antene aktarılan gücün neredeyse hepsi ışıyacak güç olacaktır, ideal durumda da hedeflenen budur. Mikrodalga devrelerinde iletim empedansı  $50\Omega$  olarak seçilir. Anten tasarımında da kaynağın empedansı ve antenin besleme girişi empedansı  $50\Omega$  olarak tasarlanır.



Şekil 2.2 Alıcı antene ait eşdeğer devrenin şeması [3]

Boşluktan topladığı elektromanyetik enerjiyi çıkışına genliği  $V_A$  olan AC gerilim olarak aktaran anten bu AC enerjiyi devamında gelen elektronik bir cihaz gibi düşünülen bir  $Z_{Load}$  empedansı üzerine boşaltmaktadır.  $Z_{Load}$  yükünün gördüğü anten empedansı değeri  $Z_A = (R_l + R_r) + jX_A$  şeklinde tanımlanır. İletim hattı, anten ve yükün empedansları arasında bir empedans yapılması durumunda, antenden alınan elektromanyetik enerjinin tamamı devamında gelen devreye aktarılabilir. Antenin sahip olduğu etkin yüzeyi ne kadar yüksek de olsa, uzaydan topladığı elektromanyetik enerjinin hepsini devamında gelen elektronik devreye iletmesi için empedans uyumlama olmazsa olmazdır. İdealde tasarımı yapılan tüm mikrodalga güç ve bilgi transferi yapılan hatların karakteristik empedansları  $50 \Omega$  olması düşünülerek ilerlenir.[3]

### 2.1.2 Anten Etkin Yüzeyi

Tabii ki, antenler ışıma yaptığında, bunu belirli bir şiddette yaparlar. Antenin yaydığı bu ışımanın şiddeti, ortama yaydığı güç ile doğru orantılıdır. Göremediğimiz, elektromanyetik dalgaları yansıtan veya içinde sönümleyen birçok çeşit atom, parçacık ve molokül vardır. Bunlar ortama yayılmış olan elektromanyetik dalganın bozulmasına ve gücünün düşmesine yol açarlar. Farklı yüzeylere sahip antenler, ortamda gücü azalan elektromanyetik dalgaları almak için geliştirilmiştir. Çok uzun mesafelerden gelen elektromanyetik dalgaları toplayabilmek için anten üzerinde elektromanyetik dalganın alındığı yüzeyin etkinliği güçlendirilmeli, böylece mesafeden dolayı kayıplı olan güç daha iyi alınabilir. Bu yüzden yüzeylerinin daha büyük olduğu antenler inşa edildi.

İzotropik bir anten düşünelim. Bu antenin ışınım gücü  $P_t$  olsun. Her yöne ışınım yapabilen bu antenden R mesafesi kadar uzaklıkta oluşan gücün yoğunluğu toplam ışınım gücünün o uzaklıkta oluşturduğu şeklin yüzey alanına oranıdır, yani  $P_t / (4\pi R^2)$  dir. Güç yoğunluğunun birimi Watt/m<sup>2</sup> dir. Ters olarak düşünülendiğinde de güç yoğunluğu R mesafesi kadar uzaklıkta oluşan bir küre yüzeyindeki güçtür ve bu değer  $(4\pi R^2)$  ile çarpıldığında antenden ışınım toplam gücü vermektedir. Ortamda çeşitli kayıplar (yani ortamın sahip olduğu iletkenlik sabiti sıfırdan farklı) olduğunda ise elektromanyetik dalgalar yayılırken çevresel kayıplardan dolayı engellenecek ve gücü azalacaktır. Bu nedenden dolayı antenin ışınım gücü belirli bir mesafede alınan gücün ve kayıplardan dolayı yutulan gücün toplamı şeklinde tanımlanabilir. Antenin etrafındaki güç hesaplanacak olursa var olan güç yoğunluğu ile yüzey alanı metrekare birimde çarpılarak hesaplanabilir. Basit ve düşük kazançlı antenlerde, etkin yüzeyi  $A_e = G_t \pi^2 / 4\pi$  şeklinde hesaplanmaktadır.[3]

### 2.1.3 Duran Dalga Oranı (VSWR)

Bir antene güç sağlamak için bir radyo (verici veya alıcı) için, radyo ve iletim hattının empedansı antenin empedansı ile iyi eşleşmelidir. VSWR parametresi, antenin, bağlı olduğu telsiz veya iletim hattına ne kadar iyi uyumu olduğunu sayısal olarak açıklayan bir ölçüdür.

VSWR, Voltaj Duran Dalga Oranı anlamına gelir ve ayrıca Duran Dalga Oranı (SWR) olarak adlandırılır. VSWR, antenden yansıyan gücü açıklayan yansıma katsayısının bir fonksiyonudur. Yansıma katsayısı  $s_{11}$  veya yansıma katsayısı veya geri dönüş kaybı ile verilirse, VSWR aşağıdaki formülle tanımlanır: [4]

Duran dalga oranı:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.1)$$

### 2.1.4 Işınım Gücü ve Direnci

İdealde hiç kayıpsız bir ortamda antenden belli bir mesafeden alınan elektromanyetik gücün o mesafede oluşturduğu yüzey alanı ile çarpılarak bulunur. Işınım gücü  $P_t$  ile gösterilir. Antenden ışınım bu gücün, anten üzerinde oluşan akıma göre hesaplanan bir



direnç değeri ortaya çıkar. Bu direnç değerine de ışıma direnci denir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir. [3 ]

$$P_t = I^2 r \quad (2.2)$$

### 2.1.5 Polarizasyon

Elektromanyetik dalga için polarizasyon etkili bir şekilde elektrik dalgasının titreştiği düzlemdir. Polarizasyon, antenler için önemlidir çünkü polarizasyona duyarlıdır ve genellikle sadece belirli bir polarizasyona sahip bir sinyal alırlar veya iletirler.

Çoğu anten için polarizasyonu belirlemek çok kolaydır. Sadece antenin elemanları ile aynı düzlemedir. Böylece dikey bir anten (yani dikey elemanlara sahip olan) en iyi şekilde dikey olarak polarize edilmiş sinyaller alacak ve benzer şekilde yatay bir anten yatay olarak polarize edilmiş sinyalleri alacaktır.

RF antenin polarizasyonunu gelen sinyalinle eşleştirmek önemlidir. Bu şekilde maksimum sinyal elde edilir. RF anten polarizasyonu gelen sinyal ile uyuşmazsa, alınan sinyalin seviyesinde buna karşılık gelen bir azalma olur. Polarizasyon, RF antenin ve sinyalin polarizasyonu arasındaki açının bir kosinüs faktörü ile azalır.

Buna göre, serbest uzayda bulunan antenlerin polarizasyonu çok önemlidir ve açık bir şekilde en uygun sinyali sağlamak için aynı düzlemde olmalıdırlar. Eğer birbirlerine dik açı yapmışlarsa (yani çapraz polarize olmuşlarsa), teoride hiçbir sinyal alınamayacaktır.

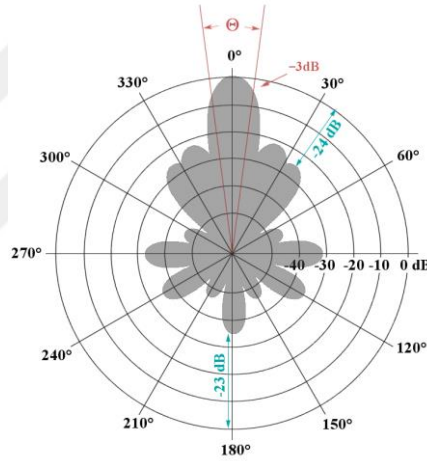
Karasal radyo iletişim uygulamaları için, bir sinyal iletildikten sonra polarizasyonunun geniş ölçüde aynı kalacağı bulunmuştur. Ancak aradaki nesnelere yansımalar kutuplaşmayı değiştirebilir. Alınan sinyal, doğrudan sinyalin artı bir dizi yansıyan sinyalin toplamı olduğundan, sinyalin genel polarizasyonu, geniş ölçüde aynı kalmasına rağmen biraz değişebilir. [5]

### 2.1.6 Işıma Diyagramı

Anten tasarımı alanında radyasyon paterni (veya anten paterni veya uzak alan paterni) terimi, radyo dalgalarının gücünün antenden veya başka bir kaynaktan gelen yönelimli (açısal) bağımlılığını ifade eder. [6]

Özellikle fiber optikler, lazerler ve entegre optikler alanlarında, radyasyon kalıbı terimi yakın alan modeli veya Fresnel modeli için eşanlamlı olarak da kullanılabilir. [7] Bu, elektromanyetik alanın kaynağa yakın alandaki veya Fresnel bölgesindeki konumsal bağımlılığını ifade eder. Yakın alan paterni çoğunlukla kaynağın önüne yerleştirilmiş bir düzlem üzerinde veya onu çevreleyen silindirik veya küresel bir yüzey üzerinde tanımlanır. [6]

Bir antenin uzak alan modeli deneysel olarak alıcı bir anten aralığında belirlenebilir veya alternatif olarak yakın alan modeli yakın alanlı bir tarayıcı ve hesaplamayla hesaplanan ışınma paterni kullanılarak bulunabilir. [6] Uzak alan radyasyon modeli, NEC gibi bilgisayar programları ile anten şeklinden de hesaplanabilir. HFSS gibi diğer yazılımlar da yakın alanı hesaplayabilir.



Şekil 2.3 Anten ışınma paterni [3]

Işınma diyagramı üç boyutta da çıkarılabilir, fakat genellikle yaşadığımız kullandığımız cihazlar göz önünde bulundurulduğunda yatay ve düşey paternler bizim en çok ilgilendiklerimizdir.

### 2.1.7 Yakın Alan Uzak Alan

Yakın alan ve uzak alan (Yakın Bölge ve Uzak bölgede denebilir) parametreleri bir elektromanyetik dalga kaynağının yani antenin etrafındaki bölgeyi ifade eder. Yakın alan, manyetik ile elektrik alanların yatay ve düşey bileşenlerinin düzlem dalga şeklinde

görülmedikleri bölgelerdir. Düzlem dalga yaklaşımı yapılabildiği bölge ise uzak alan olarak adlandırılır.[6]

### 2.1.8 Anten Verimi

Bir antenin verimi, antene iletilen gücün antenden ışınan güce oranıdır. Yüksek verimli bir anten, antenin girişindeki mevcut gücün çoğunu yayıyor. Düşük verimli bir anten, antenin içindeki kayıplar olarak emilen gücün çoğuna sahiptir veya empedans uyumsuzluğu nedeniyle uzaklaşmıştır.

Antenlerin güzel bir özelliği, anteni bir alıcı veya verici olarak kullanıyor olsak da verimin aynı olması. Bu nedenle, anten verimliliğini "tüm olası açılardan alınan potansiyel güç" oranı olarak tanımlayabiliriz, ancak bu daha karmaşıktır. Sadece verici ve alıcı antenin verimliliğinin aynı olduğunu ve verilen güç ile alınan güç açısından verimliliği anlamak daha kolay olduğundan, sadece bu tanımları kullanırız. Antenlerin bu özelliği anten eşdeğerliliği olarak bilinir. [3]

### 2.1.9 Anten Yönlendiriciliği ve Kazancı

Kazancı bilinen izotropik bir referans anten alınarak, bu antene göre tasarlanan antenin iki önemli özelliği olan yönlendiriciliği ve kazancı hesaplanabilir. İzotropik antenin özelliği her yöne eşit güçte ışın yapmasıdır. Referans alınan izotropik anten noktasal bir kaynak gibi davranır ve tüm yönlere sabit güçte bir yayını gerçekleştirir. İzotropik antenin tüm yönlere aynı güçte yaptığı ışınımı, belli bir açıda belli bir yöne yapan antenlere yönlendirilmiş anten denir. İzotropik antene göre yarım dalga dipolün yönlendiriciliği 1.64 (2.15 dB), kısa dipol antenin yönlendiriciliği ise 1.5 (1.75 dB) dir. Anten yönlendiricilik kazancının formülü şu şekildedir:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi F(\theta, \varphi)}{\iint F(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} \quad (2.3)$$

Kayıpsız antenlerde yönlendiricilik anten kazancı olarak da adlandırılabilir. Kazanç ise antenin yönlendiriciliği ile veriminin çarpımı ile hesaplanabilir. Anten kazancının teorik olarak hesaplanması güçtür, referans bir anten alınara pratikte yapılan ölçümler ile hesaplanabilir, yönlendiricilik ise teorik olarak hesaplanabilir. Anten etki yüzeyi daha

önce de söylendiği gibi antenin kazancını doğrudan etkilemektedir. Uzaydaki elektrik alanlardan antenin uçlarına güç aktarabilme özelliğine, anten etkin yüzeyi denir.[3]

$$G(\theta, \varphi) = e \cdot D(\theta, \varphi) \quad (2.4)$$

### 2.1.10 Demet Genişliği

Bir antenin radyasyon modelinde, ana lob antenin yaydığı maksimum ve sabit enerjinin aktığı ana antendir.

Demet genişliği, gücün çoğunun yayıldığı yer olan açıklık açısıdır.

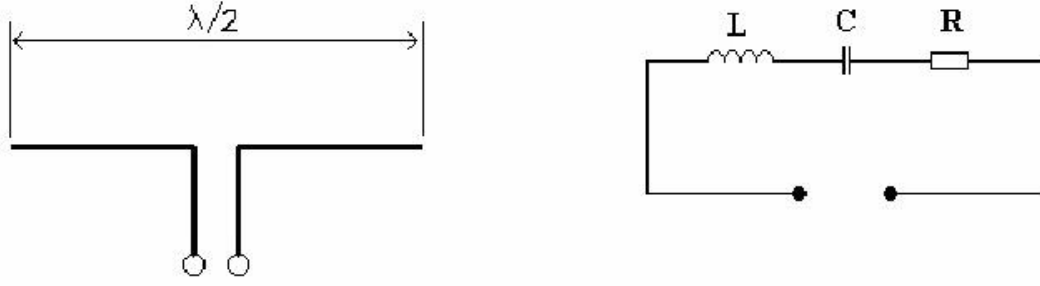
Anten ışınım demeti, antenin ışınım yaptığı paternine göre en fazla yayılım yaptığı yöndeki, gönderilen gücün yarı değerine(3 dB) düştüğü (yatay veya düşey paternde) açısal değerdir.[3]

## 2.2 Anten Çeşitleri

Antenler çeşitli gruplara ayrılmaktadır. [7]

### 2.2.1 Hertz Anten

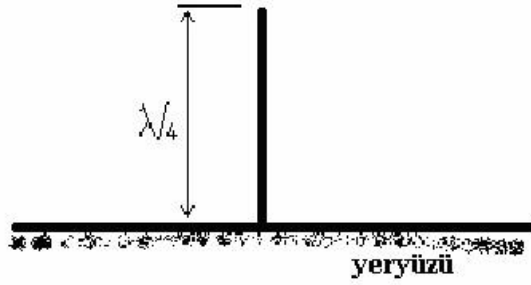
Radyo ve telekomünikasyonda bir dipol anteni veya dubleti en basit ve en yaygın kullanılan anten sınıfıdır. İdeal olarak, dipol anten dengeli ve paralel yollu bir RF iletim hattı ile beslenir. Ancak, bu tür bir hat çok yaygın değildir. Koaksiyel kablo gibi dengesiz bir besleme hattı kullanılabilir, ancak anten elemanında ve besleme hattında optimum RF akım dağılımı sağlamak için, besleme hattının antene girdiği yere yakın balun adı verilen bir RF dönüştürücü ("dengeli" ve "dengesiz" kelimelerinin birleştirilmesi) yerleştirilmelidir. En iyi performans için, dipol anten yerden yarım dalga boyunda yerden yüksekte olmalı, bir su kütlesinin yüzeyinde veya sac metal çatı gibi diğer yatay iletken ortamlarda olmalıdır. Eleman, destek kuleleri, elektrik telleri, erkek telleri ve diğer antenler gibi elektrik ileten engellerden en az birkaç dalga boyu uzakta olmalıdır.



Şekil 2.4 Hertz anten [7]

### 2.2.2 Markoni Anten

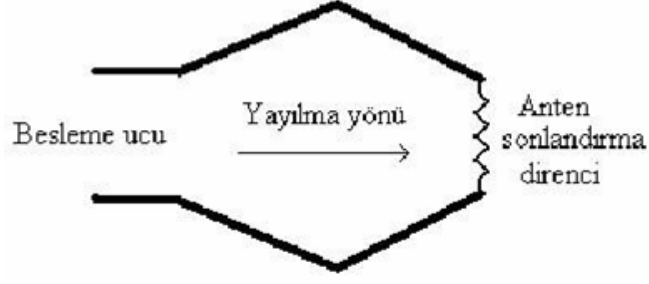
Marconi antenleri genellikle  $1/4$  dalgaboyu uzunluğundadır ve toprağa bağlanmayı gerektirir. Yer düzleminin kendisi, enerjinin bir reflektörü olarak hareket eder ve genel radyasyon modelini oluşturmak için doğrudan yayılan dalga ile birleşir. Toprak kuru veya başka bir şekilde zayıf bir iletkenise, genellikle toprak da bir bakır ızgara gibi davranır.



Şekil 2.5 Markoni anten [7]

### 2.2.3 Rombik Anten

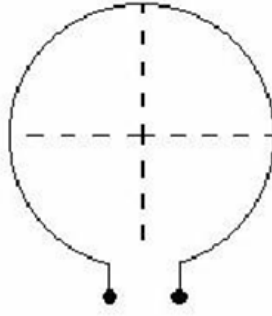
Eşkenar dörtgen antenleri, aynı yükseklikte olan antenlerle birlikte standart bir dipol referans anteniyle karşılaştırdığımızda "çok yüksek kazançlı antenler" olarak görülmektedirler. Rombik antenlerin avantajları vardır, ancak kazancı çok yüksek diye yanlış anlamayı yaygınlaştıran yaygın bir eğilim vardır. Bu düşünce yanlıştır, diğer antenler gibi rombik antenin de ulaşabileceği kazanç sınırlıdır.



Şekil 2.6 Rombik anten [7]

#### 2.2.4 Çerçeve Anten

Çerçeve anteni kapalı bir döngüdür. Bu antenler düşük bir radyasyon direncine ve yüksek reaktansa sahiptir, böylece empedanslarının bir vericiye uyması zordur. Sonuç olarak, bu antenler çoğunlukla empedans uyumsuzluğunun tolere edilebileceği alıcı antenler olarak kullanılır.



Şekil 2.7 Çerçeve anten [7]

#### 2.2.5 VHF-UHF Anten

Bu bölümdeki antenler temel olarak üç parçadan oluşurlar. Bu parçalar; reflektör, dipol ve direktördür.

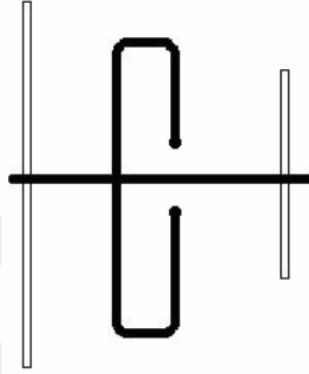
Bir anten reflektörü, elektromanyetik dalgaları yansıtan bir elemandır. Anten reflektörleri, radyo frekansı (RF) enerjisini yeniden yönlendirmek için bağımsız bir parça olarak mevcut olabilir veya bir anten düzeneğinin bir parçası olarak sisteme entegre edilebilir.

Dipol; ortamda bulunan radyo frekans dalgalarını üzerinde toplayan temel unsurdur. Daha açık ifade ile dipol antendir diyebiliriz. Dipol antenin çıkışında oluşan empedans

değeri ile çıkışa bağlanacak herhangi bir cihazın giriş empedansı birbiri ile uyumlandırılmış olmalıdır.

Direktör; dipolden önce konumlandırılan dalga boyunun 1/8'i kadar uzağa konumlandırılan iletken boru şeklindeki yapılardır. Direktörün anten kazancına faydası çoktur. Anten kazancını da anteni yönlendirerek sağladığından, anteni yönlere bağımlı hale getirir.

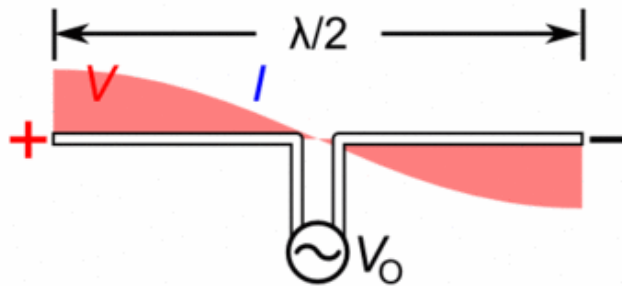
Reflektör Dipol Direktör



Şekil 2.8 VHF-UHF anten[7]

### 2.2.6 Dipol Anten

Çoğunlukla dipol anten yarım dalga dipol olarak da adlandırılır. Dipol anteni, bir sinyal kaynağı veya bir alıcıdan alınan besleme enerjisi ile beslenen metal teller veya çubuklar gibi iki iletken elemandan oluşur. Enerji, dipol antenine doğrudan veya doğrudan elektronik aletlerden birisine aktarılabilir veya bir besleyici kullanılarak belli bir mesafeye aktarılabilir. Bu, çeşitli farklı anten formatları için önemli bir yer bırakır. Bu yarım dalga uzunluğu çoğunlukla dipol uzunluğu olarak kullanılır.



Şekil 2.9 Dipol anten[7]

### 2.2.7 Monopol Anten

Bu anten türü dipol anten ile benzerlik gösterir, farklı olarak dipol antenin yarısı kesilerek bu kısma toprak tabakası eklenerek oluşturulan anten modelidir. Yarısına eklenen bu toprak tabakası eğer çok büyükse ortaya çıkan tasarım dipol anten yayılım yapabilir.

### 2.2.8 Parabolik Reflektör Anten (Çanak Anten)

Parabolik bir anten, bir parabolik reflektör, radyo dalgalarını yönlendirmek için bir parabolün kesitsel şekline sahip kavisli bir yüzey kullanan bir antendir. En yaygın biçimi bir tabak şeklindedir ve yaygın olarak çanak anten veya parabolik çanak denir. Bir parabolik antenin ana avantajı, yüksek yönlendiriciliğe sahip olmasıdır. Radyo dalgalarını dar bir açıyla yönlendirmek veya sadece belirli bir yönden radyo dalgalarını almak için bir lamba reflektörüne veya el feneri reflektörüne benzer şekilde çalışır. Parabolik antenlerin çok yüksek kazançları vardır, bu da herhangi bir anten tipinin en dar ışın genişliklerini üretebilecekleri anlamına gelir. [8] Dar bant genişliği elde etmek için parabolik reflektör, kullanılan radyo dalgalarının dalga boyundan çok daha büyük olmalıdır, [9] radyo spektrumunun yüksek frekanslı kısmında, UHF ve mikrodalga (SHF) frekanslarında dalga boylarına uygun boyuttaki reflektörlerin kullanılabilmesi kadar küçük olduğu parabolik antenler kullanılır.



Şekil 2.10 Çanak anten [7]

### 2.2.9 Log-Periyodik Anten

Bir log periyodik dizi veya log-periyodik açıklık olarak da bilinen bir log-periyodik anten (LP), geniş bir frekans aralığında çalışacak şekilde tasarlanmış çok elemanlı, yönlü bir

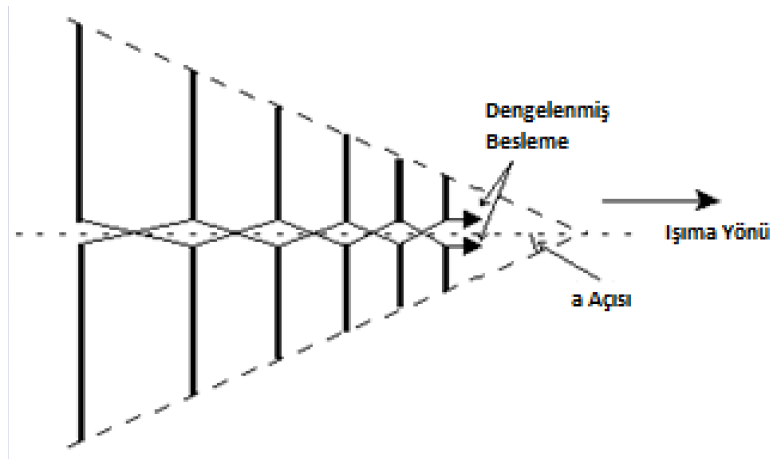


antendir. 1958'de Illinois Üniversitesi'nde Dwight Isbell ve Raymond DuHamel tarafından icat edildi.

Log-periyodik antenin en yaygın biçimi log-periyodik dipol dizisi veya LPDA'dır. LPDA, her biri bir çift metal çubuktan oluşan, kademeli olarak artan uzunluğa sahip yarım dalga dipol elemanlardan oluşur. Dipoller, sıralı faz ile besleme hattına paralel olarak bağlı bir hatta birbirine yakın monte edilir. Elektriksel olarak, birbirine bağlı iki ya da üç elementli Yagi antenlerinin bir dizisini simüle eder, her bir set farklı bir frekansa ayarlanmıştır.

LPDA antenleri Yagi antenlerine biraz benzerler, çünkü her ikisi de uzunca bir destek elemanı boyunca bir hatta monte edilmiş dipol çubuk elemanlarından oluşur, ancak çok farklı hatlarda çalışırlar. Bir Yagi'ya eleman eklemek yönlülüğünü artırır veya kazancını artırır, bir LPDA'ya eleman eklemek frekans cevabını veya bant genişliğini artırır.

LPDA'ların en yaygın olarak kullanıldığı yer çatı üstü karasal televizyon antenleridir, çünkü VHF'de 54-88 MHz ve 174-216 MHz geniş televizyon bantlarını ve UHF'de 470-890 MHz geniş frekans bantlarını kapsamak için geniş bant genişliğine sahip olmalıdırlar. Televizyon alıcı anteni için yaygın olarak kullanılan bir tasarım, VHF için daha geniş bir LPDA'nın önünde bir UHF alımı için bir Yagi anten ile birleştirerek sağlanabilir.



Şekil 2.11 Log-Periyodik anten[7]

### 2.2.10 Horn Anten

Bir horn anten veya mikrodalga horn, bir ışın demetindeki radyo dalgalarını yönlendirmek için bir boynuz gibi şekillendirilmiş ışın yapan metal dalga kılavuzundan oluşan bir antendir. Horn antenler, 300 MHz'nin üzerinde UHF ve mikrodalga

frekanslarında antenler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Parabolik antenler gibi daha büyük anten yapıları için besleme antenleri olarak kullanılırlar, diğer antenlerin kazançlarını ölçmek için standart kalibrasyon antenleri ve radar tabancaları, otomatik kapı açıcılar ve mikrodalga radyometre gibi cihazlar için referans anten olarak kullanılırlar. Avantajları ayarlanabilir yönlendiricilik, düşük duran dalga oranı (SWR), geniş bant genişlikleri, basit yapılar ve kolay ayarlanabilir olmasıdır. [3]

### **2.2.11 Kablosuz Anten**

Çok yönlü antenler: Yönlü bir anten veya demet anteni, artan performansa ve istenmeyen kaynaklardan gelen parazitlenmeye izin veren belirli yönlerde daha fazla güç yayan veya alan bir antendir. Yönlü antenler, genelde belirli bir yönde daha fazla ışıma gücü istendiğinde, dipol antenleri veya çok yönlü antenlerden daha yüksek performans sağlarlar.

Yüksek Kazançlı Antenler(High Gain Antenna (HGA)): Yüksek kazançlı bir anten (HGA), odaklanmış, dar bir demet genişliği olan yönlü bir antendir. Bu dar ışıma demet genişliği, radyo sinyallerinin daha hassas bir şekilde odaklanmasını sağlar. En çok uzaya ışıma yapılan sistemlerde tercih edilen bu antenler, dünyanın her yerinde, özellikle dağlık alanların çok olmadığı radyo frekanslarınının yeryüzü şekilleri yüzünden engellenmediği haberleşme mesafelerinde en başarılı şekilde kullanılmaktadır. Tersine, düşük kazançlı bir anten (LGA), geniş bir radyo dalgası ışın demet genişliğine sahip, dağınık bölgelerde bile sinyalin makul ölçüde iyi yayılmasına izin veren ve böylece araziden bağımsız olarak daha güvenilir olan çok yönlü bir antendir. Düşük kazançlı antenler genellikle uzay aracında çok daha dar bir demet genişliğine sahip olan ve dolayısıyla sinyal kaybına duyarlı olan yüksek kazançlı antenin bir yedeği olarak kullanılır. [10]

### **2.2.12 Mikroşerit Anten**

Mikroşerit antenler (yama) proje konusu olduğu için ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır.

### MİKROŞERİT ANTENLER

Temel olarak mikroşerit antenler incelendiğinde üst katmanda bir elektriksel iletken parça, alt katmanda yansıtıcı bir iletken levha (groundplane) ve ortada bulunan dielektrik bir tabakadan meydana gelir.

Telekomünikasyonda, bir mikroşerit anteni (basılı anten olarak da bilinir) genellikle baskılı devre kartı (PCB) üzerinde mikroşerit teknikleri kullanılarak üretilen bir anten anlamına gelir. [11] Çoğunlukla mikrodalga frekanslarında kullanılırlar. Tek bir mikroşerit anteni, bir PCB'nin yüzeyindeki çeşitli şekillerde (bir yama anteni) bir metal bakır yamalardan oluşur ve kartın diğer tarafında metal bir bakır zemin düzlemi bulunur. Çoğu mikroşerit anteni, iki boyutlu bir dizide çoklu yamalar içerir. Anten genellikle verici veya alıcıya bakır mikroşerit iletim hatları ile bağlanır. Radyo frekansı akımı anten ve zemin düzlemi arasında (veya alınan sinyallerin alıcı antenlerin üzerinde) uygulanır. Mikroşerit antenler, tüketici ürünleri, uçak ve füze yüzeylerine dahil edilebilecek ince düzlemsel profilleri nedeniyle son yıllarda çok popüler hale gelmiştir; baskılı devre teknikleri kullanarak imalat kolaylığı; Antenin, devre kartı ile aynı pcb üzerine entegre edilmesinin ve aktif antenlerin yapılması için antenlere mikrodalga entegre devreler gibi aktif cihazların eklenmesi olasılığı kullanımını artırmıştır. [8]

Mikroşerit antenin ışınım yönü, antenin konumlandırıldığı yüzeye dik yöndedir. Ebatlarının ve özellikle kapladığı alanın az olmasından dolayı, hava araçlarında yüzeye sabitlenmiş şekilde kullanılmaktadır. Antenin kazancını yükseltmek için birden fazla sayıda mikroşerit anten aynı tasarıma eklenerek bir anten dizisi tasarlanabilir. Mikroşerit

dizi antenler, faz öteleyici ve farklı elektronik devrelerin dahil olmasıyla radar ve elektronik tarama sistemde tercih edilmektedir.[9]

### **3.1 Mikroşerit Antenin Avantajları**

Mikroşerit antenler, basit 2 boyutlu fiziksel geometrisi nedeniyle üretim ve tasarım için nispeten ucuzdurlar. Genellikle UHF ve daha yüksek frekanslarda kullanılırlar çünkü antenin boyutu rezonans frekansında doğrudan dalga boyuna bağlıdır. Tek bir yama anteni, yaklaşık 6-9 dBi'lik bir maksimum yönlendirme kazancı sağlar. Litografik teknikleri kullanarak tek bir (geniş) alt tabaka üzerinde bir dizi yama anten baskılamak nispeten kolaydır. Yama dizileri, küçük bir ek maliyetle tek bir yamadan çok daha yüksek kazançlar sağlayabilir; emepans uyumlama ve faz ayarlaması, basılan mikroşerit besleme yapıları ile yayını yapan anten yüzeyleri arasında gerçekleştirilebilir. Düşük profilli bir antende yüksek kazançlı diziler yaratma yeteneği, yama dizilerinin uçaklarda ve diğer askeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasının bir nedenidir.

Böyle bir dizi anten anteni, dinamik huzme şekillendirme kabiliyetine sahip fazlı bir antenler dizisi yapmak için kolay bir yoldur. [2]

Yama antenlerine özgü bir avantaj, kutuplaşma çeşitliliğine sahip olma yeteneğidir. Yama antenleri, dikey, yatay, sağ el dairesel (RHCP) veya sol el dairesel (LHCP) polarizasyonlar, çoklu besleme noktaları veya asimetric yama yapılarına sahip tek bir besleme noktası kullanılarak kolayca tasarlanabilir. [3] Bu benzersiz özellik, yama antenlerinin çeşitli gereksinimlere sahip olabilecek birçok iletişim bağlantısı türünde kullanılmasına izin vermektedir.

### **3.2 Mikroşerit Antenlerin Bant Genişliği**

Microstrip anten, geleneksel antenler gibi çeşitli avantajlara sahip olduğu için çeşitli uygulamalarda kullanılırlar. Fakat en büyük dezavantajları, çok dar bant genişliğine ve düşük kazançlara sahip olmasıdır ve bu dezavantajlar yeni bir araştırmaya konu olan ve aynı zamanda, çeşitli mobil cihazlar için küçük boyutlu antenin gerekliliği olmuştur.

Mikroşerit yama antenlerinin bant genişliğini arttırmak için çeşitli yöntemler vardır. Örneğin, yamanın Q-faktörünün azaltılması ve substrat yüksekliğinin arttırılması ve

dielektrik sabitinin düşürülmesi ile mikroşerit yama antenlerinin bant genişliği arttırılabilir.

Başka bir yol, bir düzlemde bulunan çoklu rezonatörlerin kullanılması olabilir. Çok katmanlı yapılandırmaları, dikey olarak yığılmış çoklu rezonatörlerle de kullanabiliriz. Ve son olarak mikrostrip anteninin bant genişliğini arttırmanın çok etkili bir yolu, empedans uyumlu ağların kullanılmasıdır. [12]

### **3.2.1 Mikroşerit Antenlerde Bant Genişliğini Artırma Yöntemleri**

Band genişliği, mikroşerit anten endüstrisinin geniş uygulama alanları için en ciddi limitlerden birisini oluşturmaktadır.

Mikroşerit antenlerde band genişliğini arttıracak yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

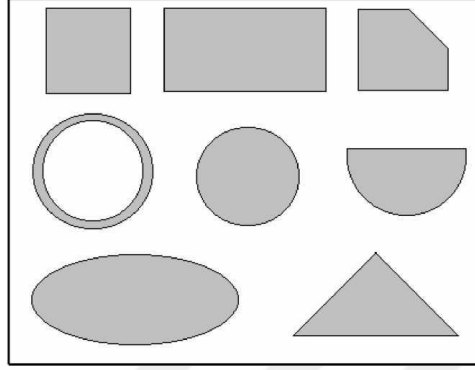
- Bant genişliği, yalnızca giriş empedansının rezonansındaki durumuyla ilgilidir ve bant içerisinde ışınım paterni ve kazanç değişimleri ihmal edilebilir değişkenlerdir. Bu yüzden geniş bant empedans uyumlama tekniği, band genişliği arttırmada avantajlı bir çözüm olarak görülmektedir. Sistem üzerinde ve sistem dışında uyumlandırma sistemleri kullanılarak %10-30 civarında band genişlikleri elde edilmektedir.
- Beslemelerde aktif ya da pasif elemanlar kullanılarak band genişlikleri arttırılmaktadır.

### **3.3 Mikroşerit Anten Çeşitleri**

Mikroşerit antenler çeşitli şekil ve ölçülerde olabilirler. Buna istinaden, yayılım yapan iletken yamanın geometrik şekline bağlı olarak üç alt gruba ayırabiliriz; mikroşerit yarık antenler, mikroşerit yürüyen dalgalı antenler ve mikroşerit yama antenlerdir.

### 3.3.1 Mikroşerit Yama Antenler

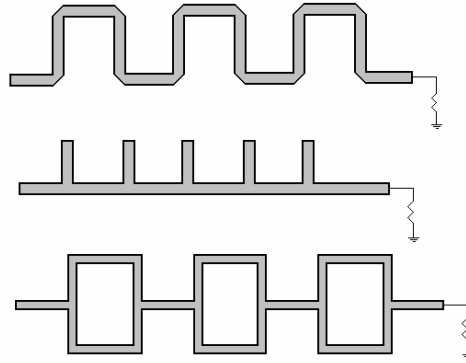
Bu anten türünde dielektrik tabanın bir tarafı toprak düzlemiyle örtülmüş, diğer tarafı ise belirlenmiş özel bir geometrik ölçüde tasarlanmış iletken bir düzlemsel yüzeyden oluşmaktadır. Şekilde literatürde sıklıkla rastlanan yama anten çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Mikroşerit yama antenler[13]

### 3.3.2 Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenler

Mikroşerit antenlerin bu türünde yayılım elemanı, zincir şeklinde tekrar eden iletken parçalardan ya da mikroşerit hattın açık bırakılan ucu bir sonlandırma direnci yardımıyla sonlandırılarak oluşturulur. Anten yapısındaki yapılcak çeşitli tasarım değişiklikleri ile ana hüzme açısı yatay veya dikey olarak istenilen bir açı değerine yönlendirilebilir.

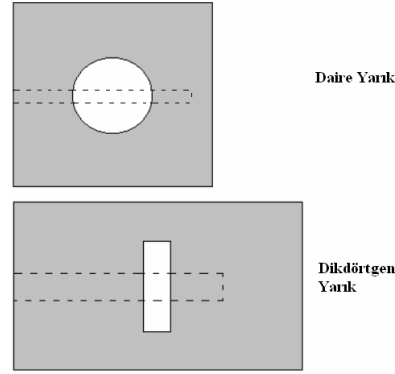


Şekil 3.2 Mikroşerit yürüyen dalga antenler[13]

### 3.3.3 Mikroşerit Yarık Antenler

Mikroşerit yarık antenler bir şerit çizgiden uyarlanmış açıklık anteninden geliştirilmiştir. Geleceğe yönelik çok fazla umut vermelerine rağmen toprak düzlemi ile ışımaya yapan

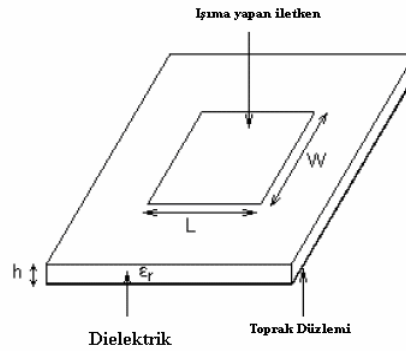
paralel yüzeyler arasında oluşan istenmeyen modların oluşmasından dolayı tercih edilemiyorlar.[13]



Şekil 3.3 Mikroşerit yarık antenler[13]

### 3.4 Mikroşerit Yama Antenin Temel Özellikleri

Bir mikroşerit yama antenin temel olarak tasarımı, üst yüzeyinde bulunan ışımaya yarayan iletken bir parça, alt tabakada bulunan yine iletken bir malzemeden oluşan toprak yüzeyi ve bu iki yüzey arasında lamine edilmiş belirli bir dielektrik katsayısına sahip iletken olmayan malzemeden oluşmaktadır. Mikroşerit antenin üzerinde bulunan iletken yama, bu antenin ışımaya yarayan bir elemanı olarak isimlendirilebilir. Non-TEM (Enine elektromagnetik) dalgaların ışınması bu hatlar vasıtasıyla yapılabilir.



Şekil 3.4 Mikroşerit yama antenin basit görünüşü[11]

Genelde anten tasarımının yama ve toprak bölümü bakır malzemeden oluşmaktadır. Dielektrik tabaka ise geniş bir frekans bandında ışımaya yardımcı olarak özellikler barındıran iletken olmayan bir malzemeden imal edilmektedir. Yama kısmı ve toprak kısmı birlikte bir iletim hattı meydana getirerek yarı-TEM dalgalarıyla oluşan enerjilere dalga klavuzluğu yaparlar. İki iletken yüzey arasında bulunan iletken olmayan tabaka

yüksekliği 0.005 cm ile 0.635 cm aralığında değişebilmektedir. Yüksek frekanslı devrelerde bu iletken olmayan tabaka genellikle alumina, quartz, PTFE gibi malzemelerden seçilir ancak bu malzemelerin maliyeti yüksek olduğundan tasarlanan sistemlerde çok fazla bulunmazlar.

Tasarlanan diğer mikrodalga devre sistemleri ile kolaylıkla çalışılabilmesi için iletken olmayan tabaka genellikle FR-4 seçilir. Mikroşerit anten yüzeyinde kullanılan bakır yama kalınlığı ise çoğunlukla 1 oz (0.035 mm) – 2 oz (0.070 mm) arasında tercih edilmektedir. Kullanılan iletken olmayan tabakanın devreye olacak etkilerini dielektrik sabiti ve üzerinde oluşan kayıplardan dolayı belirlenen kayıp tanjantı belirler. Kayıp tanjantın değeri ile antenin verimi ters orantılı olarak artar veya azalır. Bu sebepten dolayı tasarlanacak antenlerde kullanılacak iletken olmayan tabakanın düşük tanjantlı malzemelerden yapılmış olması aranır. [11]

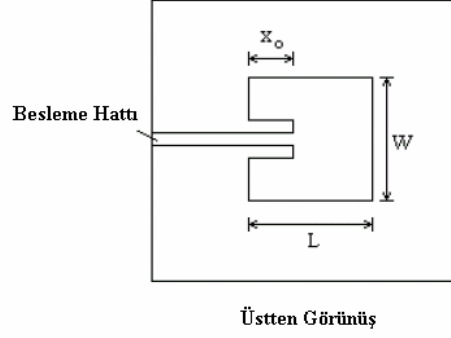
### **3.5 Mikroşerit Yama Antenleri Besleme Teknikleri**

Mikroşerit antenleri beslemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

#### **3.5.1 Mikroşerit Hat İle Besleme**

Merkezden besleme ve merkez dışarısından besleme olarak iki çeşit olarak açabiliriz bu besleme türünü. Uyarılan modun belirlenmesinde besleme yapılan konumun belirleyici etkisi çok büyüktür. Anten empedansı ve besleme hattının empedansı arasında uyumlama yapmak için araya uyumlama devresi eklenilebilir. Aynı zamanda besleme yapılan hat yamanın bir köşesine konumlandırılarak anten üzerinde sadece ana mod yayımlanması sağlanabilir.[14]

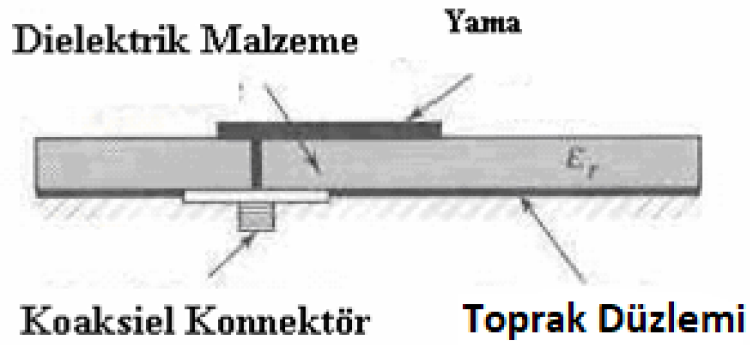




Şekil 3.5 Mikroşerit hat ile besleme[14]

### 3.5.2 Koaksiyel Hat İle Besleme

Dar band genişliği özelliği ve kalın dielektrikli tasarımlarda kullanılması güç olmasına karşın, üretilmesi ve empedans uyumlandırılması (impedance matching) basit olduğu için koaksiyel hat ile besleme çok fazla tercih edilir.

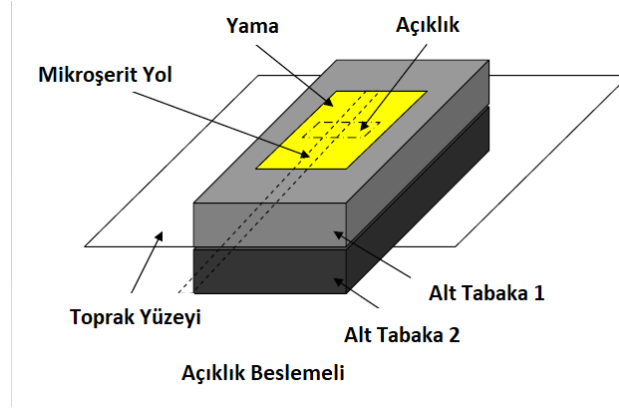


Şekil 3.6 Koaksiyel hat ile besleme[14]

Kullanılan koaksiyel konnektörün iç kısmındaki iletken yani pozitif olan kısmı dielektrik malzemenin içinden geçerek yamaya gelir, dışı ise yani negatif olan kısmı toprak düzlemine gelir.

### 3.5.3 Açıklık Kuplajlı Besleme

Mikroşerit hat ve koaksiyel konnektör ile besleme esnasında istenmeyen ışımlar yapan modlar meydana gelebilir. Bu istenmeyen durum engellemek için başka besleme yöntemleri türetilmiştir. Bu yöntemlerden biri olan açıklık kuplajının imalatı güçtür ve dar bir band genişliğine sahiptir.

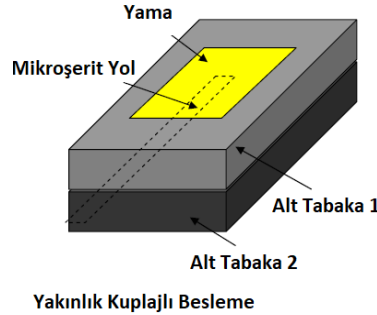


Şekil 3.7 Açıklık kuplajlı besleme[9]

Açıklık kuplajı yönteminde iki farklı dielektrik tabaka kullanılır ve bu tabakalar bir toprak yüzey ile birbirinden izole edilmiştir. Alt kısımda bulunan dielektrik tabaka enerjiyi yamadan toprak düzlemine aktaran bir mikroşerit hat beslemesi mevcuttur. Harici olarak toprak yüzey mikroşerit hattı yansıyan elektromanyetik dalgalardan etkilenmesini engelleyerek, girişimin minimum olmasını sağlar.[9]

### 3.5.4 Yaklaşım Kuplajlı Besleme

Açıklık kuplajı mikroşerit hat ve koaksiyel konnektör ile birlikte kullanılan yöntemdir, diğer besleme yöntemlerine göre avantajları mevcuttur.



Şekil 3.8 Yaklaşım kuplajlı besleme[9]

- Besleme hattı ve ışıma yapan yama arasında herhangi bir bağlantı yoktur.
- Anten dizileri için kullanıma daha elverişlidir.
- Yüksek derecedeki çalışma modlarda ve yüksek frekanslarda kullanıma daha uygundur.
- Üzerinde bulunan ışıma yapan yama üzerinde herhangi bir fiziksel değişiklik

gerektirmez.

Açıklık kuplajına benzer ama toprak düzlem malzemeler arasında değil antenin en altında bulunur.[9]

### 3.6 Mikroşerit Antenlerde Uzunlukların Hesaplanması

Uzunluğu  $L$ , genişliği  $W$  olan dikdörtgen şeklindeki bir yama antenin genişliği çoğunlukla dalga boyundan çok daha küçüktür. Fakat dalga boyu ile kıyaslanabilmesi için kenarlardaki ışıması daha fazla olur. Dielektrik tabakanın yüksekliği dalga boyuna göre çok küçük olur ve bu durum antenin iki boyutta analizinde kolaylık sağlar.[9]

TM modunda antenin uzunluğu:

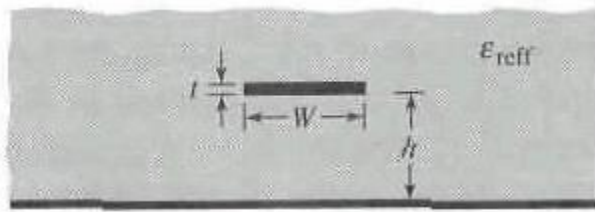
$$L = \lambda / 2 \quad (3.1)$$

$$\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{reff}} \quad (3.2)$$

$\lambda_0$  = Boşluğun dalga boyu

$\epsilon_{reff}$  = Yama'nın efektif dielektrik sabiti

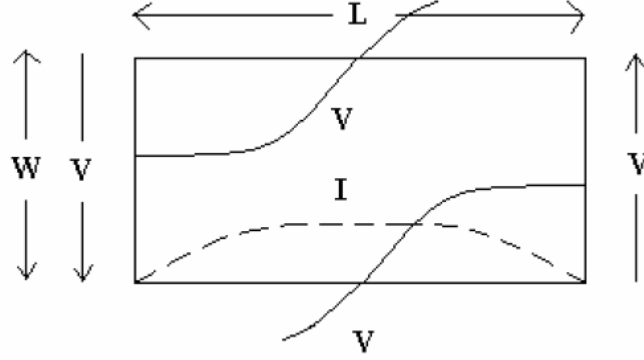
Yamanın etrafında meydana gelen elektriksel alan sadece dielektrik malzemenin içerisinde kalmayıp havayla da etkileşime girdiği için, bu olaya saçaklanma etkisi (fringing effects) denilir, dielektrik sabiti olarak  $\epsilon_r$  yerine  $\epsilon_{reff}$  kullanılır. Çoğunlukla  $\epsilon_{reff} < \epsilon_r$  olmakla birlikte, bu iki değer birbirine çok yakın olmaktadır.[9]



Şekil 3.9 Effektiv Dielektrik Sabiti Geometrisi[9]

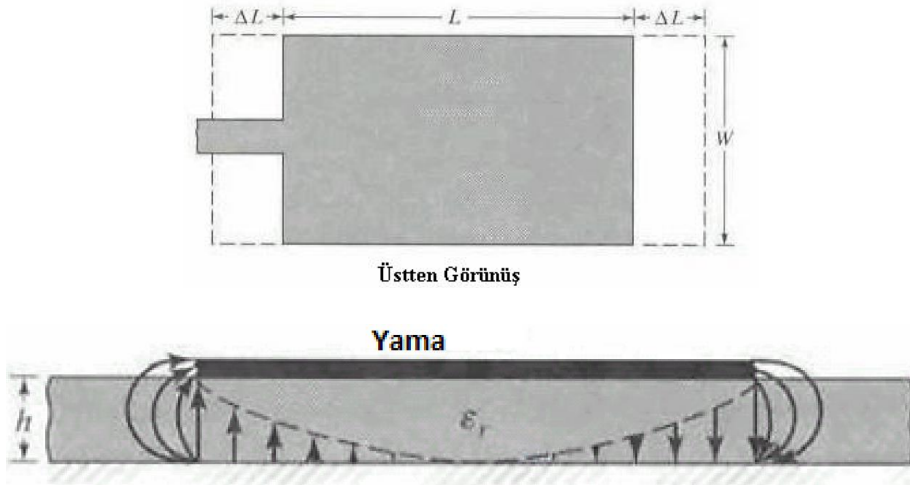
$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} \quad (3.3)$$

Yama boyu  $L/2$  olan uzunluk boyunca değişecek ve genişliği boyunca ise değişme olmayacak alan ifadeleri verilmiştir. Uzunluk boyunca gerilim ve akımda oluşacak değişim aşağıda gösterilmiştir.



şekil 3.10 Anten uzunluğu boyunca voltaj ve akımın değişimi[9]

Açık devre sonlandırmaya benzer şekilde yamanın genişliği boyunca gerilim maksimum ve akım ise sıfırdır. şekildeki gibi  $W$  genişliği boyunca ortaya çıkan elektrik alanının dik bileşenleri ters doğrultudadır ve birbirini sıfırlarlar, fakat yatay bileşenleri aynı doğrultudadır ve toplanır. Bu yüzden  $W$  genişliğinde olan kenarlar ışıyan kenarlar olarak adlandırılır.  $L$  uzunluğunda olan kenarlar ise ışımayan kenarlar olarak tanımlanır.



şekil 3.11 Mikroşerit antenin efektif boyutları[9]

- İki dielektrik tabakanın (hava ve başka bir dielektrik malzeme) katsayılarının ortalamasıyla hesaplanan  $W$  (yamanın genişliği),

$$W = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.4)$$

olarak hesaplanır. W değeri bu formül ile hesaplanan değerden daha küçük ya da daha büyük olabilir. Eğer hesaplanan W değeri azaltılırsa band genişliği ve kazanç azalır, artırılırsa ışımanın arttığı için band genişliği azalır. Dolayısıyla antenin yönlülüğü de (directivity) bundan etkilenir. [10]

- Verilen bir rezonans frekansı için yamanın uzunluk hesabı;

$$L_{ref} = \frac{c}{2fr \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad (3.5)$$

- Her bir uzunluğa eklenen mesafe farkı ise;

$$\Delta L = \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (3.6)$$

- Yamanın uzunluğu ise ;

$$L = L_{ref} - 2\Delta \quad (3.7)$$

### 3.6.1 Toprak Düzleminin Boyutları

Transmisyon hat modeli yalnızca sonlu toprak düzlemlerde uygulanabilir. Fakat bazı yaklaşımlar için toprak düzlemin sonsuz ele alınması gerekir. Fakat toprak düzlemin boyutlarının yamanın boyutlarından 6 kez daha büyük olması, toprak düzlemin sonsuz olması ile hemen hemen aynı sonuçları vermiştir.[9]

- Yansıtıcı düzlemin genişliği;

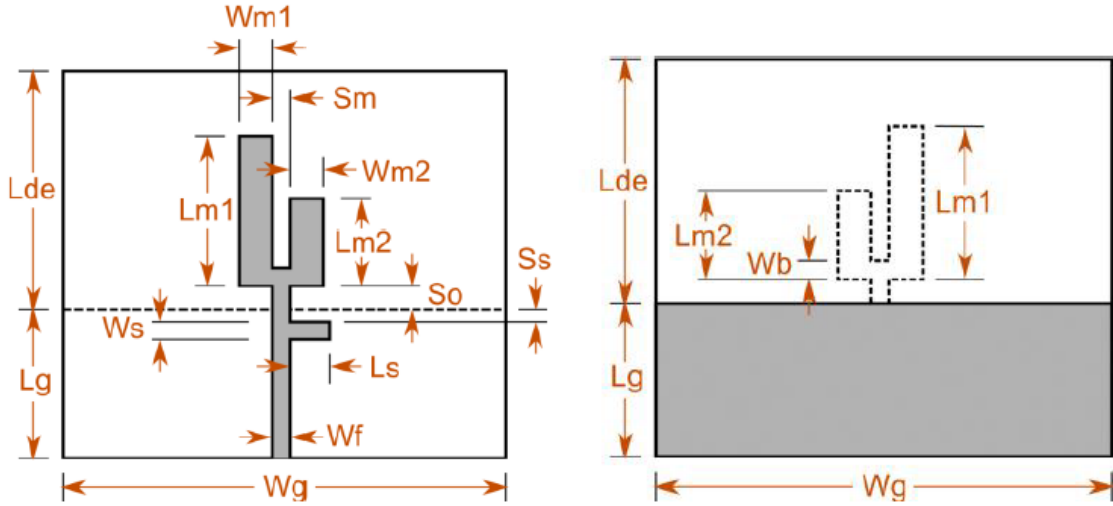
$$W_g = 6h + W \quad (3.8)$$

- Yansıtıcı düzlemin uzunluğu;

$$L_g = 6h + L \quad (3.9)$$

### ANTEN SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, RF enerji hasatlama ünitesi için yüksek kazançlı çift bantlı bir antenin tasarım ve üretimi sunulmuştur. Bir RF enerji hasatlama sisteminin verimliliğini etkileyen en önemli parametrelerden biri, yüksek kazanç karakteristikli küçük boyutlu ve düşük üretim maliyetli bir antendir. Bunun için, son yıllarda yüksek ilgi duyulması ve düşük maliyetli, küçük boyutlu, yüksek performanslı sonuçlara ulaşabilme yeteneklerine sahip oldukları için, mikroşerit anten tasarımları en uygun anten modeli olarak seçilmiştir [5]. Bu kriterleri elde etmek için, anten, dielektrik tabaka FR4'ün üst katmanına farklı uzunluklara sahip iki mikroşerit yamayı içerir. Uzunlukların, empedansı ayarlanabilir bir mikro şerit hat üzerinden ortak bir beslemesi vardır. Şekil 4.1 ve Tablo 4.1'de antenin şematik ve tasarım parametreleri verilmiştir. Tablo 4.1'de verilen geometrik parametreler seçilen çalışma frekansları için en uygun ölçüler olarak seçilmiştir.



Şekil 4.1 Tasarlanan çift bantlı antenin iki yüzden parametrik uzunluklarının gösterildiği şeması

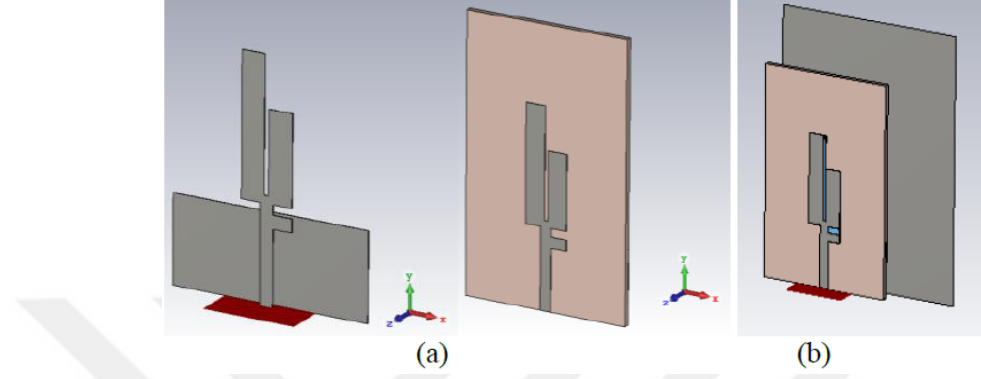
Çizelge 4.1 Anten Parametreleri (mm)

<b>Ss</b>	0.2	<b>Sm</b>	0.94
<b>Wm1</b>	5.36	<b>Lm1</b>	31.99
<b>Wm2</b>	5.36	<b>Lm2</b>	30.33
<b>Wg</b>	45	<b>Ls</b>	4.36
<b>Wf</b>	3	<b>Lg</b>	22.5
<b>Ws</b>	3	<b>Lde</b>	53.36

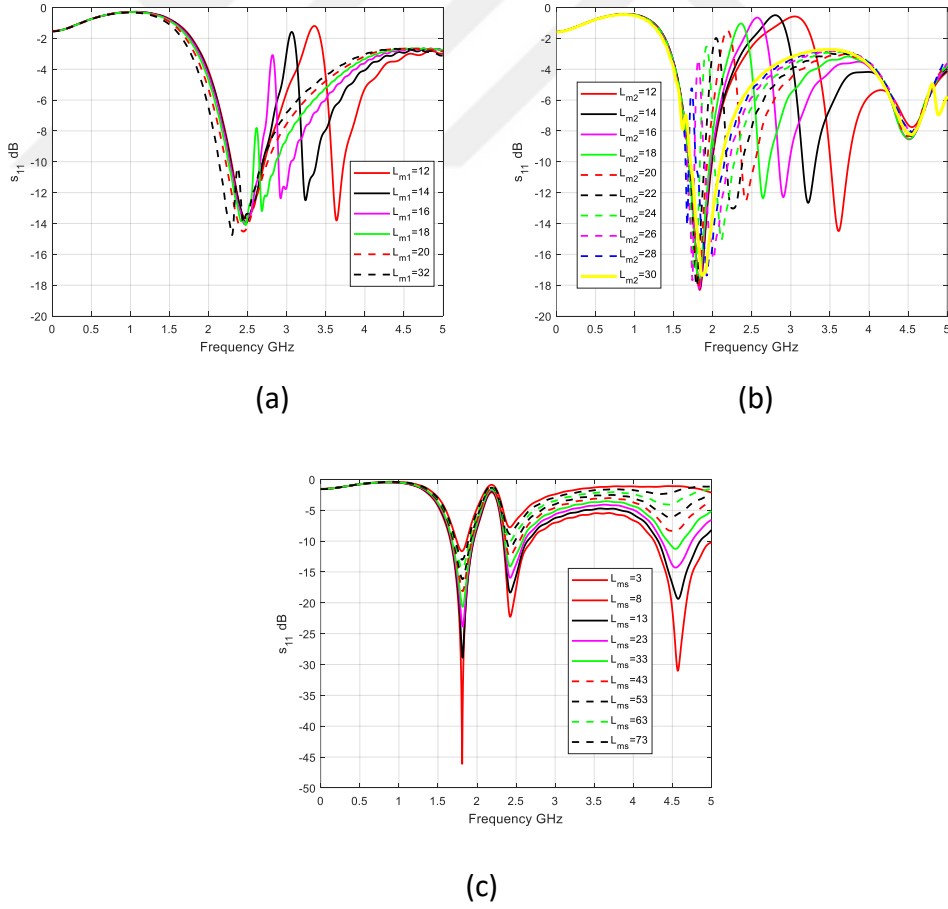
Belirtildiği gibi, bu antenin çift bantlı çalışması, farklı uzunluklara sahip iki yama ile sağlanır. Uzunluk farkı, iki farklı akım yolu üretir ve çift rezonanslı çalışma modunda sonuç verir. Daha uzun yama daha düşük çalışma bandında ışıma yaparken, daha kısa yama ise üst frekans bandında ışıma yapmaktadır. Diğer bir deyişle:

- Daha düşük çalışma frekansı, Lm1'i azaltarak (artırarak) arttırılabilir (azaltılabilir).
- Lm2'yi azaltarak (artırarak) üst çalışma frekansı arttırılabilir (azaltılabilir).

Daha küçük olan yanal yama, iki frekans bandında iyi bir empedans uyumu sağlarken, mikroşerit besleme hattından antene elektromanyetik enerjinin aktarılmasının kontrol edilmesinde çok etkili olmuştur [9]. Ayrıca, antenin kazancını artırmak için modele bir reflektör eklenmiştir. Aşağıda antenin üç boyutlu görünümü ve simülasyon sonuçlarının geometrik tasarım parametrelerine göre değişim grafikleri verilmiştir.

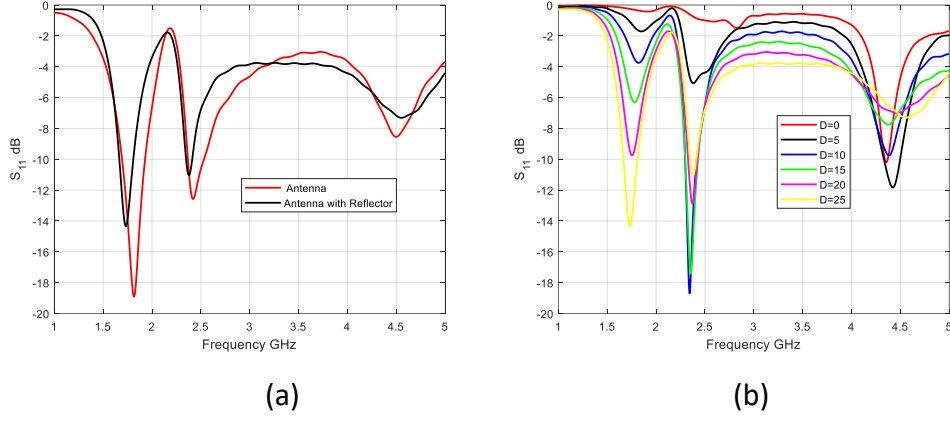


Şekil 4.2 Anten geometrisinin üç boyutlu görünümü (a) Reflektörsüz, (b) Reflektörlü.

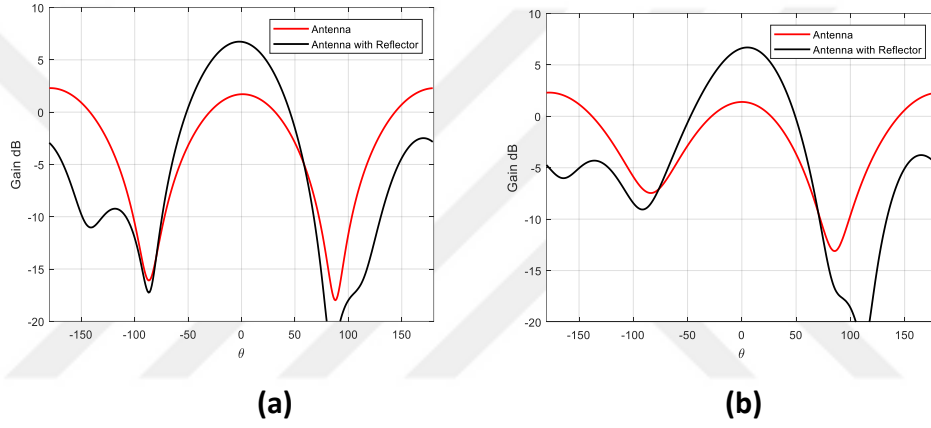


Şekil 4.3 (a)  $L_{m1}$ , (b)  $L_{m2}$ , (c)  $L_s$  Uzunluklarının  $S_{11}$  üzerindeki değişimleri.





Şekil 4.4 Anten tasarımında (a) Reflektörün, (b) Reflektörün antene olan uzaklığının  $S_{11}$  performansına olan etkisi.



Şekil 4.5 Antenin kazanç performansının simülasyonu @ (a) 1.8 GHz, (b) 2.4 GHz.

Çizelge 4.2 Antenin Simülasyon Performans Sonuçları

Antenna	Frequency (MHz)	$S_{11}$ dB	Max Gain dB
Without Reflector	1800	-19	2.3
	2400	-13	2.32
With Reflector	1800	-14.3	6.73
	2400	-11	6.7

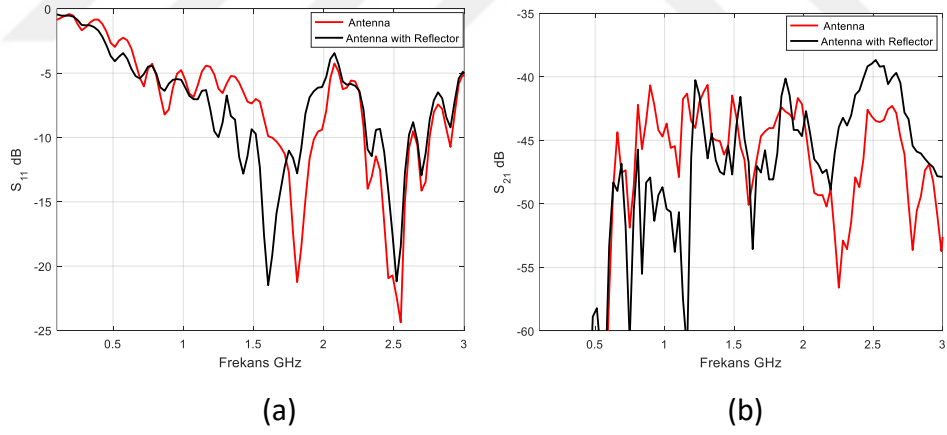
Prototip anten ve ölçüm çalışması sırasıyla şekil 4.6 ve 4.7'de verilmiştir. Önerilen antenin maksimum uzak alan kazancı, iki özdeş anten kullanılarak, Şekil 4.7'de gösterilen ölçüm çalışması ile ölçülür.



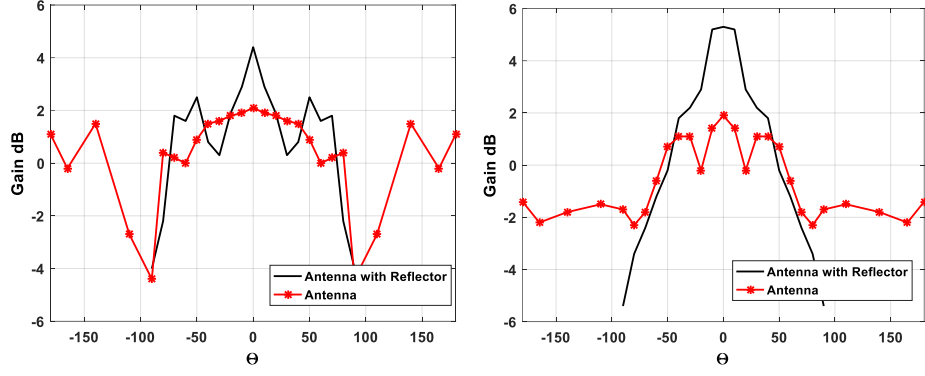
Şekil 4.6 Prototip Anten Modeli



Şekil 4.7 Maksimum uzak alan kazancı için ölçüm çalışması.



Şekil 4.8 Tasarlanan antende ölçülen (a) $S_{11}$  ve (b) $S_{21}$  sonuçları.



Şekil 4.9 Tasarlanan antende ölçülen kazanç performansı @ (a) 1800 MHz, (b) 2400 MHz

Bu çalışmada, enerji hasatlama uygulaması için çift bantlı yüksek kazançlı bir anten tasarımı yapılmıştır. Anten tasarımı 1.8 GHz ve 2.4 GHz frekansında çalışır ve RF enerji hasatlama uygulamaları için oldukça etkili bir banttır. Ölçüm sonuçlarına göre, bir reflektör ile önerilen anten tasarımı seçilen çalışma bandında yüksek kazanç performans özelliklerine sahiptir. Ölçüm sonuçları, tasarımın RF enerji hasatlama uygulamaları için yeterince uygun bir model olduğunu göstermektedir. Ölçülen sonuçlar sırasıyla 1.8 GHz ve 2.4 GHz'de 5 ve 7 dB kazanç göstermiştir. Işıma özelliklerine ek olarak yansıma katsayısı için simüle edilen ve ölçülen sonuçlar arasında iyi bir bağlantı bulunmuştur.

### DOĞRULTUCU DEVRELERİ

Doğrultucu, periyodik olarak 2 yönde akıma sahip AC gerilimini, sadece bir yönde akıma sahip olan DC gerilime dönüştüren bir elektrikli cihazdır. Bu dönüştürme işlemi sırasında, akımın yönünü "düzelttiği için" düzeltme olarak adlandırılabilir. Fiziksel olarak, doğrultucular vakum tüp diyotları, cıva-ark valfleri, bakır yığınları ve selenyum oksit plakaları, yarı iletken diyotlar, silikon kontrollü doğrultucular ve diğer silikon bazlı yarı iletken anahtarlar da dahil olmak üzere bir dizi eleman ile bu dönüştürme işlemi yapılabilir. Geçmiş zamanda, senkronize elektromekanik anahtarlar ve motorlar bile bu dönüştürme işleminde kullanılmıştır.

Doğrultucuların birçok kullanımı vardır, ancak genellikle DC güç kaynakları ve yüksek voltajlı doğru akım güç iletim sistemlerinin bileşenleri olarak hizmet vermektedir. Doğrultma işlemi, bir güç kaynağı olarak kullanılmak üzere doğru akım üretmekten başka işlemlerde de kullanılabilir. Belirtildiği gibi, radyo sinyallerinin dedektörleri doğrultucu olarak görev yapar. Gazlı ısıtma sistemlerinde alev varlığını tespit etmek için kullanılabilir.

AC sinüs dalgası girişinin değişken niteliğinden dolayı, tek başına doğrultma işlemi tek yönlü olmakla birlikte akım darbelerinden oluşan bir DC akımı üretir. Radyo, televizyon ve bilgisayar ekipmanı için güç kaynakları gibi birçok doğrultma uygulaması sabit bir DC akımı gerektirir (adeta bir pil tarafından üretildiği gibi). Bu uygulamalarda, doğrultucunun çıkışı, bir kondansatör, bobin veya kapasitörler, bobinler ve dirençlerden oluşan bir elektronik filtre ile düzeltilerek, bir sabit DC üretmek için kullanılır.

## 5.1 Doğrultucu Devrelerinin Kullanım Alanları

Alternatif Akım (AC) çoğunlukla büyük elektrik devrelerine sahip cihazların beslemesinde kullanılır. Yani sanayide kullanılan yüksek güç gerektiren makinalar gibi cihazların beslemesinde kullanılmaktadır. Düşük gerilimle çalışan elektronik devrelerinde çoğunlukla doğru akımla (DC) besleme gerçekleştirilir. Bu sebepten doğru akıma ihtiyaç duyulur ve doğrultucu devreleri kullanılır.

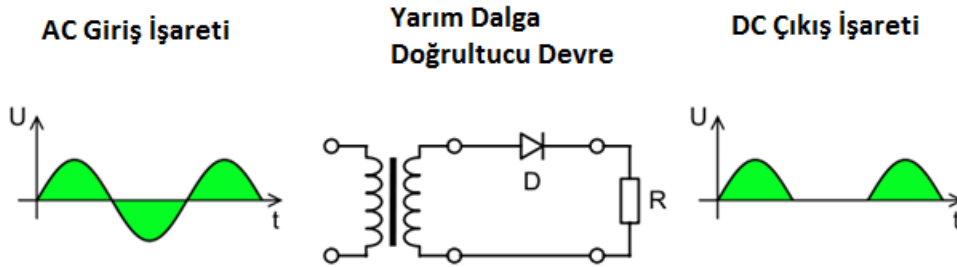
## 5.2 Doğrultucu Çeşitleri

Doğrultucular çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Bazı doğrultucu devreler hakkında aşağıda bilgi verilecektir.

### 5.2.1 Yarım Dalga Doğrultucular

Doğrultucu alternatif akım (AC) giriş gücünü doğrudan akım (DC) çıkış gücüne dönüştüren bir devredir. Giriş güç kaynağı, yarım dalga doğrultucusundaki tüm doğrultucu devrelerden en basit olan tek fazlı veya çok fazlı bir besleme olabilir.

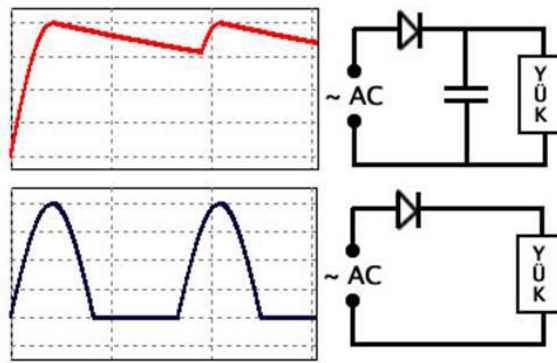
Yarım dalga doğrultucu devresindeki güç diyotu, bir DC kaynağına dönüştürmek için AC kaynağının her bir tam sinüs dalgasının sadece yarısını geçirir. Giriş sinüsoidal dalgasının yalnızca yarısını çıkışa ileten doğrultucu devresi, yarım dalga doğrultucu olarak adlandırılır, çünkü aşağıda gösterildiği gibi gelen AC güç kaynağının sadece yarısını geçirir.



Şekil 5.1 Yarım dalga doğrultucu

Yarım dalga çıkışında oluşan DC gerilimin dalgacık (ripple) seviyesi çok yüksek olmaktadır. Böyle bir çıkış ile hassas cihazları beslemek imkânsızdır. Bundan dolayı doğrultucu diyot sonrasına çıkış yüküne paralel bir kondansatör eklenmesi şarttır. Çıkışta

yüke paralel olarak eklenen bu kapasitör, AC dalganın gerilimin arttığı zamanlarda şarj olarak kendi üzerinde güç birikmesini sağlar ve sinüs dalganın azaldığı ve hiç olmadığı zaman, üzerinde biriktirdiği gücü yüke aktararak yük üzerine düşen DC gerilimin daha düzgün bir şekil almasını sağlar. Bu işleyişin grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Ancak oluşan bu DC gerilim beslemesi hassas olan birçok cihaz için yine kabul edilebilir bir şekilde değildir. Beslemesi hassas olan cihazlar giriş gerilimlerinin adeta bir pilden beslenircesine pürüzsüz olmasını isterler.



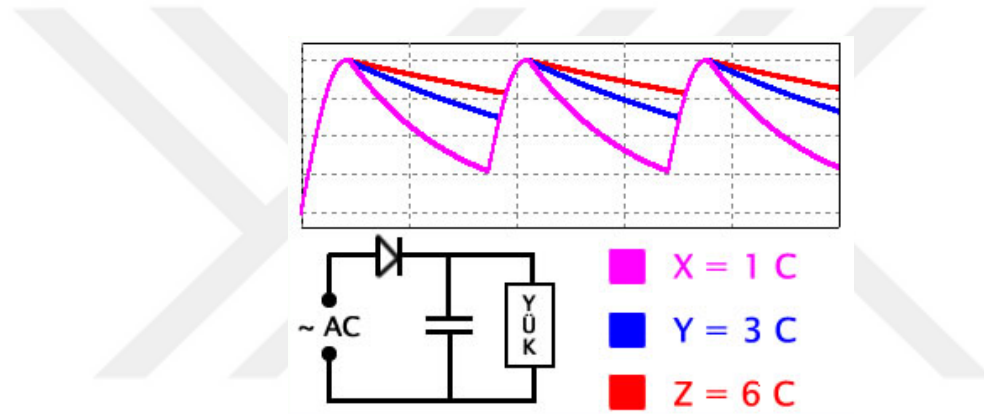
Şekil 5.2 Yarım dalga doğrultucunun çıkışındaki yüke paralel bir kondansatör bağlanması ve bağlanmaması durumunda görülen işaretler.[8]

Şekil 5.2'de yarım dalga doğrultucu çıkışında bulunan yüke, paralel bir kondansatör bağlanması durumunda yük üzerinde oluşan gerilimin grafiği gösterilmiştir. Gerilim artarken şarj olan kondansatör, gerilimin düşmeye başlamasıyla, içerisinde depoladığı enerjiyi yüke iletmeye başlar. AC gerilim azalırken kondansatör üzerinde biriktirdiği enerjiyi çıkıştaki yükün empedans değerine göre değişen bir grafikte yüke aktararak adeta bir kaynak görevi yapar. Yüke iletilen gerilimin grafiği şekil 5.2'de üstteki gerilim grafiği şekline dönüşmektedir. Kondansatör olmadığı durumdaki grafiğe göre, bu grafik DC gerilime daha benzer bir sonuç vermiştir. Bu da DC gerilimle çalışan bir sistemin daha kararlı bir şekilde çalışması için daha uygun sonuçtur.

Tasarımı yapılan doğrultucu devresinde tüm kapasitenin değeri en uygun olarak ayarlansa bile yine de çıkışta oluşan DC gerilim incelendiğinde az ya da çok bir maksimum ve minimum değerler gözlenir. Bu maksimum ve minimum değerler arasındaki fark yani genlik dalgacık (ripple) olarak adlandırılır. Tasarımı yapılan bir doğrultucu devresinde bu

değişen gerilimin genliği yani dalgacık ne kadar az olursa, doğrultma işlemi o kadar başarılı olarak gerçekleştirilmiş sayılır.

Doğrultucu devrede kullanılan kapasitenin değeri de elde edilecek gerilim grafiğini değiştirir. Kullanılacak kondansatörün kapasitif değeri yükseldikçe, yük üzerinde oluşan geriliminin üzerinde oluşan dalgacıkların azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi ise kondansatörün kapasite değerinin yükseldikçe, kondansatör üzerinde depolanan enerji miktarının artması ve depolanan bu enerji ile çıkışta bulunan yükün daha uzun süreler beslenmesidir. Şekil 5.3'de de görüldüğü gibi doğrultucu devrelerde yüke paralel olarak kullanılan kondansatörlerinin kapasiteleri arttıkça, DC gerilime daha çok benzemekte ve üzerinde oluşan dalgacık genliği azalmaktadır.

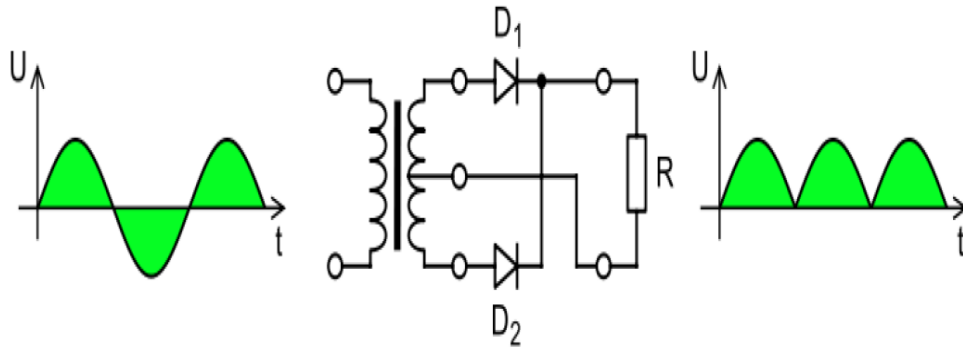


Şekil 5.3 Yarım dalga doğrultucu çıkışındaki yüke paralel bağlanan kondansatör değerlerinin değişiminin yükün üzerinde oluşan gerilime etkisi.[15]

## 5.2.2 Tam Dalga Doğrultucular

Tam dalga doğrultucular girişine uygulanan sinüsoidal dalganın her iki kutbunu da doğrultur ve dolayısıyla özellikle güç transfer uygulamalarında daha verimli bir doğrultucu çeşitidir. Buna ek olarak ortası sıfırlanmamış bir transformatörde tam dalga doğrultucu oluşturmak istenirse dört adet doğrultucu elemana gerek olur. Bunun nedeni ise her bir kutup iki doğrultma elemanına ihtiyaç duyar, bu elemanlardan biri sinüsoidal dalganın pozitif X bileşeni ve diğeri de sinüsoidal dalganın pozitif Y bileşenini doğrultmak içindir. İki DC çıkışı da bu yapının aynısına ihtiyaç duyar ve bu sayede dört adet doğrultucu elemandan oluşan doğrultucu yapısına köprü doğrultucu adı verilir. Tam dalga doğrultucu girişteki sinüsoidal dalganın tümünü, yani alternatif akım sinüsoidal

dalgasının hem negatif hem de pozitif) tarafını aynı eksene döndürerek sabit bir kutupsallıkla (pozitif ya da negatif) çıkışa iletir. Böylece iki doğrultucu da birleştirilerek tek bir doğrultuda gerilim/akım dalga şekli oluşturulmuş olur. Girişe gelen tek fazdaki AC giriş gerilimi için, eğer AC transformatörün ortası sıfırlanmış ise arka arkaya (örneğin, anot ile anot ya da katot ile katot) bağlanmış iki diyot tam dalga doğrultucu görevi yapar. Üç fazlı AC işareti doğrultmak için altı adet diyota ihtiyaç duyulur. Kullanılan bu üç çift diyot, her bir çift tek faz tam dalga doğrultucuda olduğu gibi arka arkaya bağlı değildir. Daha farklı olarak çiftler anot ile katot birbirine bağlanacak şekilde seri olarak bağlanır. Piyasada mevcut olan bir kılıfta bulunan ikili diyotlar çoğunlukla dört adet giriş çıkıştan oluşmaktadır ve tasarımcı istediği gibi diyotları tek faz veya üç faz bir sistemde kullanılacak biçimde kullanabilir. Alternatif akım çoğunlukla üretici cihazlardan (alternatörler) üç faz olarak üretilir. Örneğin, bir otomobil alternatörü cep telefonu ve benzeri cihazların şarj edilebilmesi için tam dalga doğrultucu olarak görev yapacak altı adet diyota sahiptir.[16]

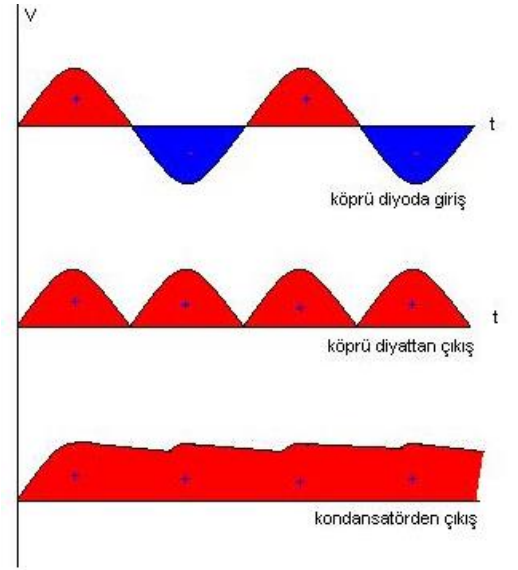
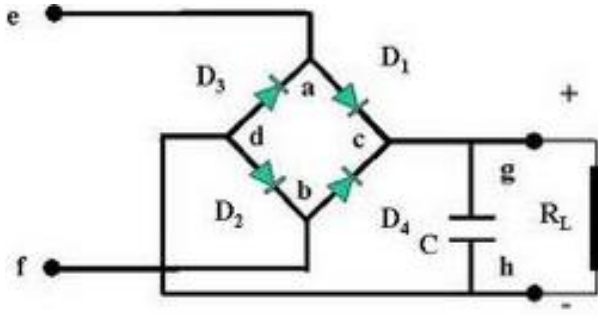


Şekil 5.4 Tam dalga doğrultucu şematik gösterimi, giriş ve çıkış işaretleri[17]

### 5.2.3 Köprü Tipi Doğrultucular

Köprü tipi ya da dört adet diyot ile oluşturulan tam dalga tipi doğrultucu devreleri, köprü şeklinde bağlanmış dört adet diyottan oluşmaktadır. Bu tür doğrultucularda sinüsoidal gerilim köprü tipi diyotta düzeltildikten sonra bir kondansatör üzerinden yüke ulaştırılır.





Şekil 5.5 Köprü tipi doğrultucunun şematik gösterimi ve giriş çıkış işaretlerinin görünümü[18]

Köprü tipi doğrultucu devrelerin bazı avantajları şunlardır:

- Kullanıkları diyot kılıfı gereği, tek kılıfta dört adet diyot bulunduğundan iki diyotlu tam dalga doğrultuculara kıyasla kapladığı alan, ısınma problemi ve maliyet yönünden avantajlıdır.
- Dört adet diyot bir kılıf içerisinde üretildiğinden montaj kolaylığı sağlar.
- Çıkışta kullanılan kondansatörler ile çıkış sinyalinde oluşabilecek dalgalanmalar minimuma indirilir.

Projede, mikrodalga diyotlarından zero bias schottky diyot kullanılarak tasarım yapılmıştır. Çünkü bu diyotlar yüksek frekanslı devrelerde normal diyotlara göre çok daha kısa tepki süresine ve gürültü oranına sahiptir. İlk aşamada yarım dalga doğrultucu tipinde doğrultucu tasarlanmış olup, daha sonra kaskat eklenerek çıkış gerilimi artırmak hedeflenmiştir.

### SCHOTTKY DİYOTLU DOĞRULTUCU DEVRELER

Schottky diyot bir doğrultucu devresinin ihtiyacı olan birçok kullanım kolaylığına sahiptir. Schottky diyotlu doğrultucu devresi diğer doğrultucu devrelere kıyasla birçok avantaja sahiptir. Schottky diyot uzun yıllardır endüstride doğrultucu görevi için kullanılmaktadır. Bununla birlikte schottky diyotun dezavantajları da vardır, bundan dolayı her durumda kullanımı uygun olmayabilir.

Schottky diyot güç doğrultucusu teknolojiyi kullanarak birçok durumda iyi bir seçenek olmayı başarmış özelliklere sahiptir:

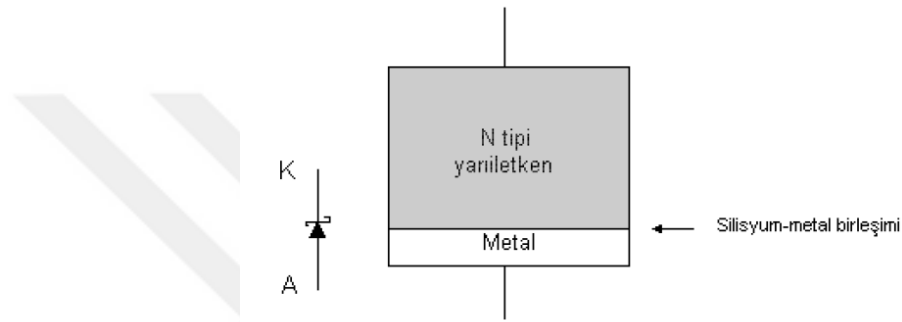
**Düşük ileri gerilim düşümü:** Schottky diyotun doğrultucu devrelerdeki kullanımında sahip olduğu ileri gerilim düşüşünün düşük seviyede olması birçok uygulama büyük avantaj sağlamıştır. Normalde doğrultma işlemi esnasında üzerinde oluşan güç kayıpları bu sayede minimum düzeydedir. Normal silikon diyotlarda bu gerilim düşümü 0.6 ile 0.7 V civarında iken, bu değer schottky diyotlarda yaklaşık 0.2 ile 0.3 V seviyesindedir. Bu önemli bir güç tasarrufu sağlamaktadır.

**Yüksek anahtarlama hızı:** Schottky diyotların çok hızlı anahtarlanmaları, bu elemanların doğrultucu devrelerinde kullanımında çok yüksek düzeyde verimlilik anlamına gelmektedir.

**Çalışma prensipleri genellikle normal diyotlar ile çoğunlukla benzerlik gösterir.** Üzerindeki güç kayıpları çok az olmasına rağmen gerilim ve akım değerleri normal ve hızlı diyotlara göre daha düşüktür. Normal diyotlara kıyasla ters yönde daha fazla akım sızdırması ise dezavantajı olarak telafüs edilebilir.[18]

## 6.1 Schottky Diyotun Yapısı

Diyotun yapısı normal diyotlardan daha farklıdır, Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Metal ve yarı iletken arasında metal-yarı iletken bir bağlantı oluşur, bu da Schottky bariyeri oluşturur (konvansiyonel diyotlardaki gibi yarı iletken-yarı iletken birleşim yerine). Kullanılan tipik metaller, molibden, platin, krom veya tungsten ve bazı silisitler (örn., Paladyum silis ve platin silisit) iken, yarı iletken tipik olarak n-tipi silikon olacaktır. [12] Metal taraf anot olarak davranır ve n-tipi yarı iletken, diyodun katodu olarak hareket eder. Bu Schottky bariyeri hem çok hızlı anahtarlama hem de düşük ileri voltaj düşüşü ile sonuçlanır.

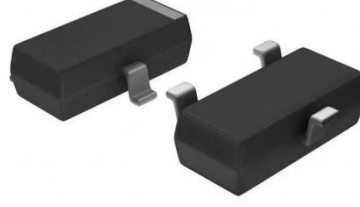


Şekil 6.1 Schottky diyotun fiziksel yapısı ve şematik gösterimi[19]

Metal ve yarı iletkenlerin kombinasyonunun seçimi, diyotun ileri voltajını belirler. Hem n hem de p tipi yarı iletkenler Schottky bariyerlerini geliştirebilir. Bununla birlikte, p-tipi tipik olarak çok daha düşük bir ileri gerilime sahiptir. Ters kaçak akım, ön gerilimi düşürerek önemli ölçüde arttığından, çok düşük olamaz, bu nedenle genellikle kullanılan aralık yaklaşık 0.5–0.7 V'dur ve p tipi yarı iletkenler yalnız olarak nadiren kullanılır. CMOS işlemlerinde kaynak / drenaj tavlama için gerekli sıcaklıklara dayanabilen titanyum silisitler ve diğer refrakter silikatlar, genellikle yararlı olmaları için çok düşük bir gerilime sahiptir, bu nedenle bu silikalara kullanan işlemler genellikle Schottky diyotlarını oluşturmaz.

Yarı iletkenin arttırılmış katkılanmasıyla, tükenme bölgesinin genişliği düşer. Belirli bir genişliğin altında, yük taşıyıcıları tükenme bölgesi boyunca tünel yapabilir. Çok yüksek katkılama seviyelerinde, birleşme artık bir doğrultucu olarak davranmaz ve ohmik bir temas haline gelir. Bu, silis ve hafif katkılı n-tipi bölge arasında bir diyot oluşacağı için, ohmik kontakların ve diyotların eşzamanlı oluşumu için kullanılabilir ve silis ile ağır katkılı n- veya p-tipi bölge arasında bir ohmik temas oluşacaktır. . Hafif katkılı p-tipi bölgelerde

bir problem oluşturur, sonuçta ortaya çıkan temas iyi bir ohmik temas için çok yüksek bir dirence sahiptir, ancak iyi bir diyot yapmak için bir ileri voltaj ve çok yüksek bir ters kaçak vardır.



Şekil 6.2 Seçilen HSMS-2850 SOT-23 kılıf Schottky diyotun görüntüsü[20]

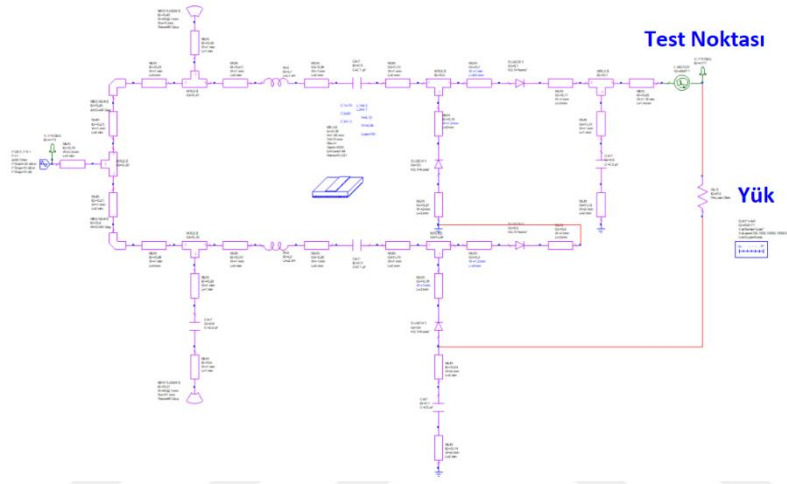
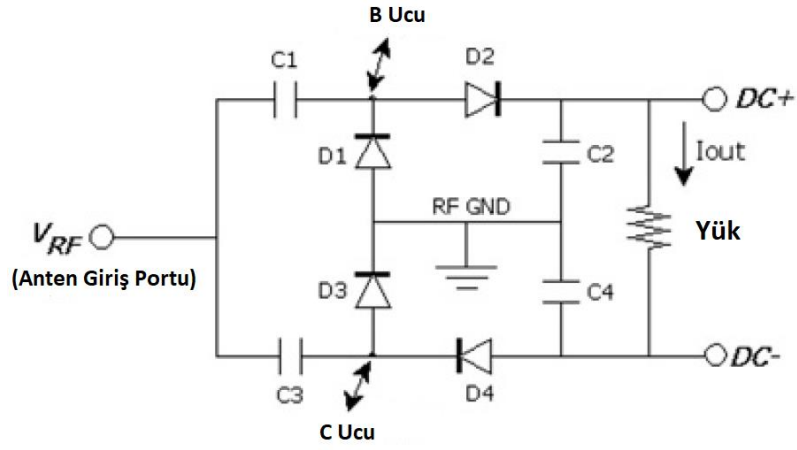
Güç diyotlarına kıyasla Schottky diyotları daha az dayanıklıdır. Bağlantı, termal olarak hassas metalleşme ile direkt temasa dayanmaktadır, bu nedenle Schottky diyotu, başarısız olan derin bir gömme bağlantıya sahip eşdeğer büyüklükteki bir p-n karışımından daha az güç harcar (özellikle ters polarmada). Schottky diyotların düşük ileri voltajının göreceli avantajı, gerilim düşüşünün seri direnci tarafından baskın olduğu daha yüksek ileri akımlarda azalır.

## 6.2 Schottky Diyot Uygulamaları ve Kullanım Alanları

Schottky diyotun iki büyük avantajı bulunmaktadır, bunlar düşük ileri gerilim düşümü ve yüksek anahtarlama hızı. Bu özelliklerinden yüksek anahtarlama hızının avantaj sağladığı uygulama alanlar özellikle bilgisayar ve mikrodalga devreleridir ve bu devrelerdeki kullanım amacı da çoğunlukla doğrultma maksatlıdır. Diğer avantajı olan yüksek hızlı anahtarlama sayesinde ise çeşitli yüksek hızlı radyo frekans devrelerinde, dedektörlerde, güneş pillerinde, anahtar modlu güç kaynaklarında ve kurşun asit karışimli bataryalarda tercih edilirler.

### SCHOTTKY DİYOT DOĞRULTUCU DEVRELERİN TASARIMI VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Kapalı bir alanda, kablosuz yerel ağ (WLAN veya basitçe WiFi) erişim noktalarında olduğu gibi, 100 mW'lık bir güç seviyesinde iletim yapan tipik bir WiFi yönlendiriciden enerji toplanabilir. Elbette, uzak mesafeden hasatlama için, mobil baz istasyonlarından ve radyo yayın kulelerinden RF enerjisinin pratik olarak hasat edilmesi için daha yüksek kazançlı sistemlere ihtiyaç vardır. Bu amaca yönelik olarak, tek katlı tam dalga Greinacher doğrultucunun ([19] 'dan) modifiye edilmiş bir versiyonu Şekil 7. 1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Greinacher tek katlı tam dalga doğrultucu

Şekil 7. 1'de görülen D1, D2, D3 ve D4 diyotları, zero-bias low-barrier Schottky diyotlarıdır, ortam RF gücü düşük seviyelerde olmasına rağmen daha yüksek çıkış gerilimi alınmasına yardımcı olur. Bu diyotlar ayrıca yüksek doyma akımına sahiptir, bu nedenle ek öngerilmeye ihtiyaç duymazlar. Birkaç mikroamperlik bias akımının doğrultmada verimliliği etkilediği için bu önemlidir.

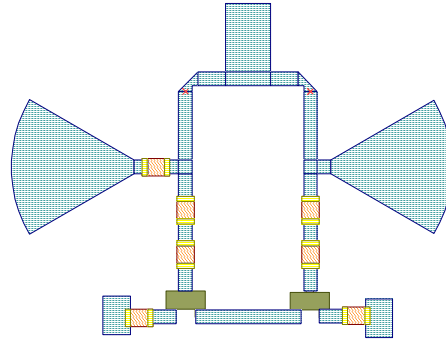
Şekil 7. 1'de önerilen doğrultucu sisteminin tek dezavantajı ortaya çıkan daha yüksek seri dirençdir. Tek kademeli modifiye edilmiş Greinacher doğrultucu devresinin çalışması aşağıdaki gibidir.

Birincisi, eşleşen devrenin çıkışındaki indüklenmiş voltaj, DC bloklama kapasitörlerinden (C1 ve C3) geçer. Doğrulanmış akım çıkışı daha sonra depolama kapasitörlerine pompalanır (C2 ve C4). Bu kapasitörlerde depolanan enerji, giriş gerilimi azalmaya başladığında yükü besler. Diğer doğrultucu devrelere (Dickson veya Villard gibi) kıyasla, önerilen Greinacher doğrultucu devresi simetriktir. Bu nedenle, her doğrultucu diyot,

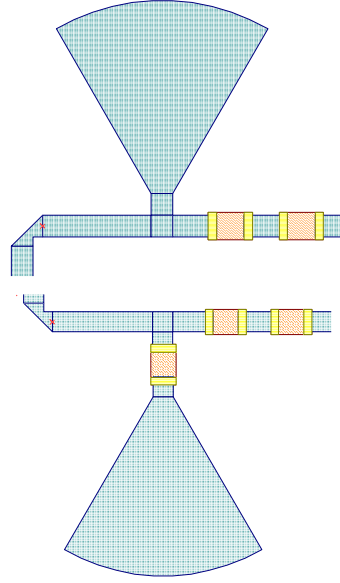
aynı giriş gücü ile harekete geçirilir. Buna ek olarak, bu simetri diyotlar tarafından üretilen harmonik işaretin azaltılmasına yardımcı olur (hatta harmonikler birbirini yok eder)[20].

Yukarıda şeması gösterilmiş olan şekil 7. 1’de tasarımı yapılmış olan tek katlı doğrultucu devrenin girişi ölçüldüğünde geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) yüksek olarak gözlenmiştir. Geri dönüş kaybı mikrodalga devrelerinde en önemli faktörlerden birisidir. İki mikrodalga devresi birbirine entegre edilirken ikisinin de ayrı ayrı geri dönüş kayıpları ölçülmelidir. Bu kayıpların minimum seviyede tutulması için her iki sistemin de girişi ve çıkışı aynı empedans değerinde olmalıdır. Bizim sistemimizde girişten alınana gücün çıkışa çok az kayıpla iletilebilmesini sağlamak için empedans uyumlama yapılmıştır. Bu uyumlama antenden doğrultucu devre girişine güç aktarılan hattın empedansının  $50\Omega$  olarak eşitlenmesi ve doğrultucu devre girişine de empedans uyumu yapılabilmesi için çeşitli elemanlar eklenmiştir. RF hasatlama devresinin empedans uyumlama aşaması, antenin doğrultucu devresine maksimum güç aktarımında kritik önem taşır.

Bu çalışmadaki RF enerji hasatlayıcı çalışma frekanları 2.4 GHz ISM ve 1.8 GHz ISM frekanslarını kapsamaktadır. Ayrıca, bu tasarım için yük direnci, 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$  ve 100 k $\Omega$  değişken yükleri için 10 dBm ie -20dBm arasındaki giriş gücünde çıkış voltajları incelenmiştir.

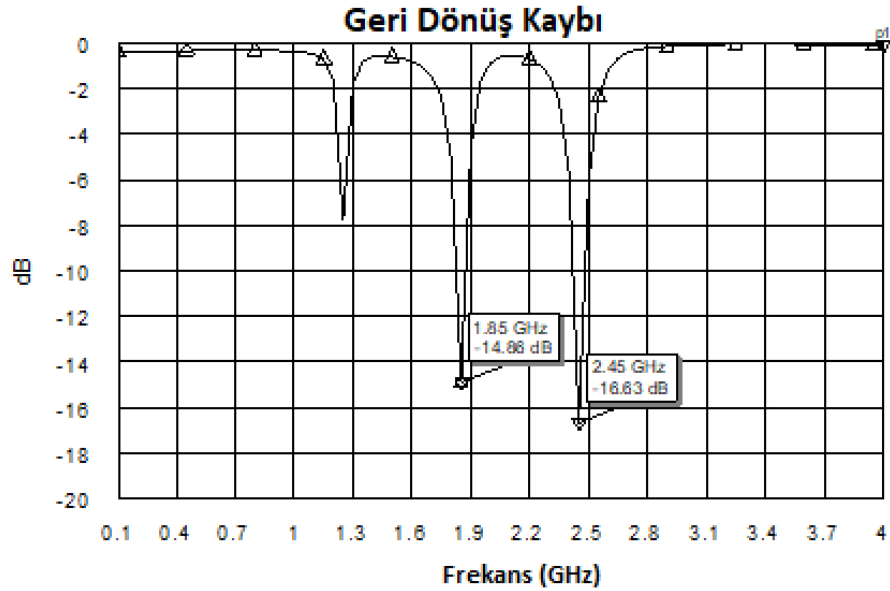


Şekil 7.2 Uyumlandırılmış doğrultucunun baskı devresi



Şekil 7.3 1.8 GHz uyumlandırma katı, 2.4 GHz uyumlandırma katı

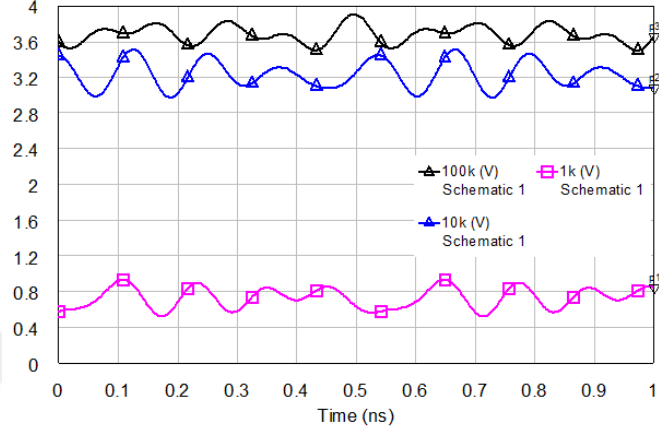
Şekil 7. 3'de verilen devre yapısında uyumlama devresi tasarlanmış, bu uyumlama devresi L-C ve mikroşerit stub elemanlarını kapsamaktadır. Şekil 7.4'de tasarlanan uyumlandırılmış devreye ait geridönüş ( $S_{11}$ ) kaybı gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen geri dönüş kayıpları incelendiğinde, tasarlanan sitemin çalışması istenen frekans aralıklarında geri dönüş kaybı (Return Loss,  $S_{11}$ ) değeri -10 dB altında ölçülmüştür ve bu sonuçların kabul edilebilir bir aralıkta olduğu sonucuna varılmıştır.



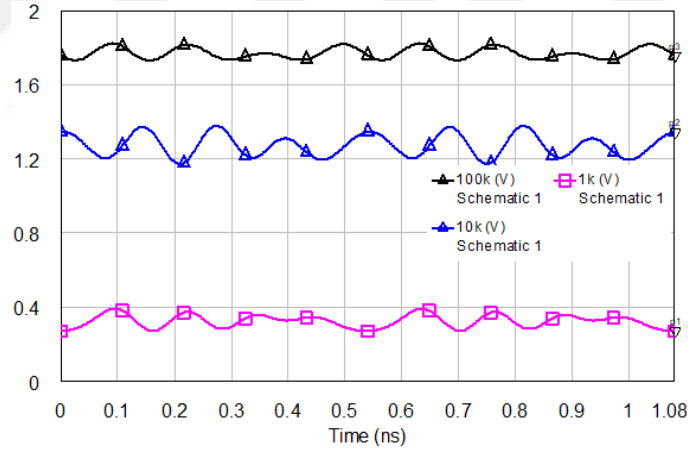
Şekil 7.4 Uyumlandırılmış tek katlı devrenin geri dönüş kaybı



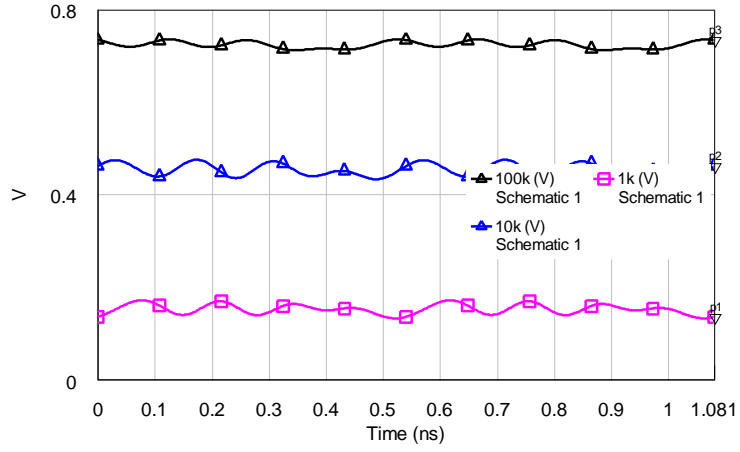
Aşağıda şekilde HSMS 2850 schottky diyotu ile tasarlanan tasarlanan tek katlı doğrultucu devrenin, çalışmasını istediğimiz ISM bandındaki iki band için, doğrultucu devre çıkışındaki üç farklı yük değeri için sümülasyon sonuçları verilmiştir. Devrenin girişine uygulanan -20dBm ile +10dBm arasında RF giriş gücü değeri için çıkışta elde edilen gerilim değerleri 1k, 10k ve 100k yük değerleri için simüle edilmiştir.



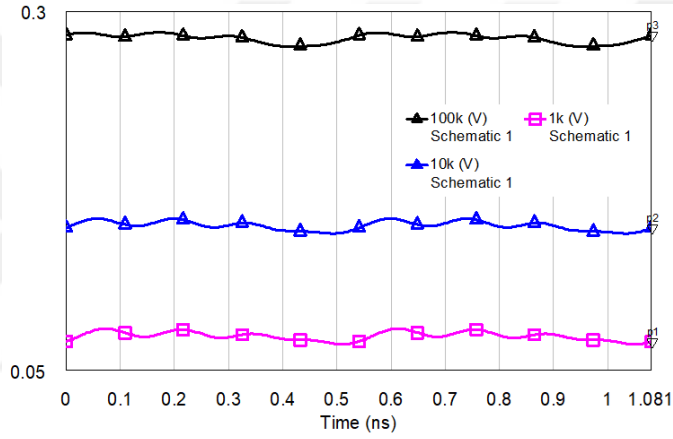
Şekil 7.5 1.85GHz frekans, 10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.



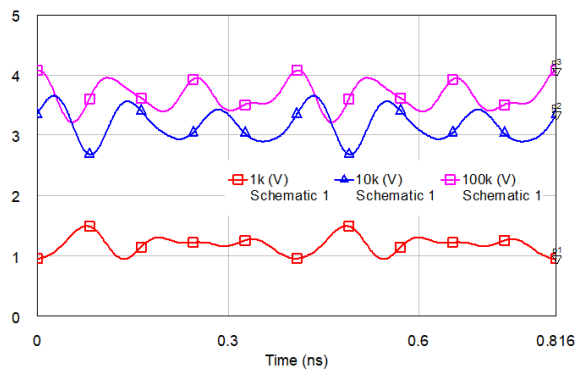
Şekil 7.6 1.85GHz frekans, 0 dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.



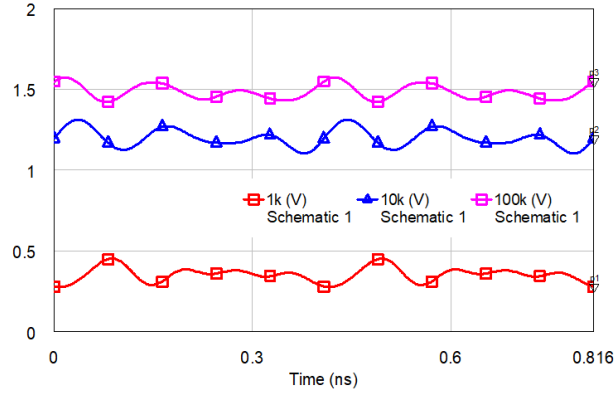
Şekil 7.7 1.85GHz frekans, -10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.



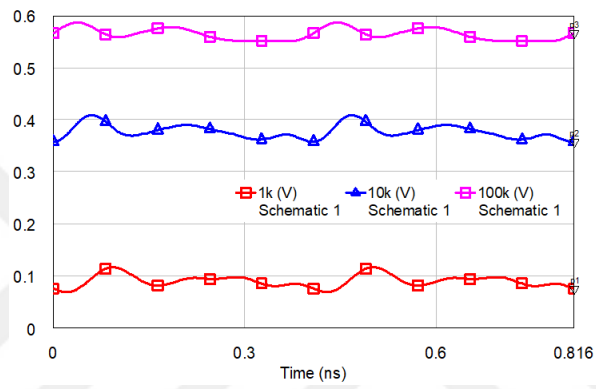
Şekil 7.8 1.85GHz frekans, -20dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.



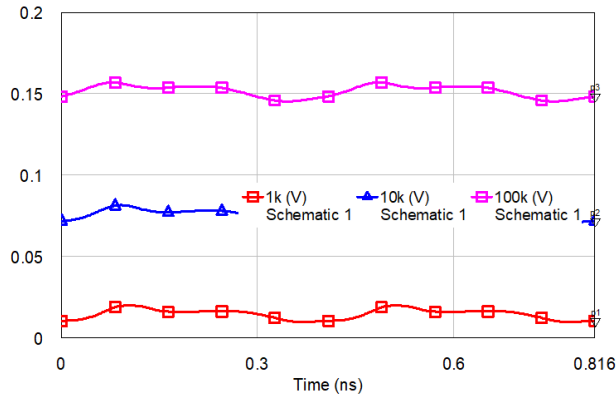
Şekil 7.9 2.45GHz frekans, 10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.



Şekil 7.10 2.45GHz frekans, 0dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.



Şekil 7.11 2.45GHz frekans, -10dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.



Şekil 7.12 2.45GHz frekans, -20dBm giriş gücünde, 1k, 10k ve 100k yükte ölçülen gerilim seviyeleri.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

İçerisinde bulunduğumuz çağda modern teknoloji alanında devrim sayılabilecek birçok gelişme çok kısa süreler içerisinde ardi ardına ortaya çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar ile yenilenebilir enerji kaynakları hayatımızın çok önemli bir parçası haline almaya başladı. Gündelik yaşantımızda kullandığımız birçok üründe bu kaynakları hasatlayan sistemler kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, gerek tasarlanan anten teknolojisi ve gerek tasarlanan doğrultucu devre teknolojisi ile RF kaynaklardan daha verimli bir şekilde enerji hasatlanması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, çift bandlı mikroşerit anten tasarımı düşük maliyet ve üretim kısıtlamaları dikkate alınarak simülasyon ortamında incelenmiş, gerekli optimizasyonlar yapıldıktan sonra en uygun anten tasarımı baskı devre teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca, kıyaslama yapabilmek amacıyla reflektör ekli anten ile aynı boyut ve özelliklerde çift bandlı mikroşerit anten de üretilmiştir. Üretilen antenlerin ölçümleri gerçekleştirilmeye müteakip simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ölçüm ve simülasyon sonuçları genel olarak örtüşmüş ve ölçülen sonuçlar sırasıyla 1.8 GHz ve 2.4 GHz'de 5 ve 7 dB kazanç göstermiştir. Işıma özelliklerine ek olarak yansıma katsayısı için simüle edilen ve ölçülen sonuçlar arasında iyi bir bağlantı bulunmuştur. Ölçüm ve hesaplamada kullanılan antenlerin gerçek kazançlarındaki sapmalar, kablo kayıpları ve malzeme parametrelerinden kaynaklanan değişimler sebebiyle sonuçlar arasında küçük sapmalar oluşmuş ancak genel itibariyle örtüştüğü gösterilmiştir.

İkinci uygulama yüksek frekanslı çift bant doğrultma devresi önerilmiştir ve düşük güçte çalışan ortam RF enerjisi hasat uygulaması için tasarlanmıştır. Çok bantlı yaklaşım, ISM-

1800 ve ISM-2400'ün frekans bantlarını kullanmaktadır. Tasarlanan sistemlerin ölçüm ve simülasyon sonuçlarına dayanarak, ortamda bulunana bir radyo frekans kaynağından ya da belirlenmiş farklı bir kaynaktan belirlenen frekans bandlarında ışınan radyo frekans dalgalarının alıcı anten ile toplanıp doğrultucu devre ile DC enerjiye çevrilerek kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu DC enerjinin elde edilebilmesi için radyo frekans dalgalarını üzerinde toplayacak iki bantlı doğrultucu devre tasarlanmıştır. Bu iki bantta aantendan alınan alınan gücün tamamının doğrultucu devre girişine kayıpsız olarak aktarılabilmesi için, anten çıkışı ve doğrultucu devre girişi empedansının uyumu yapılarak 50Ω olacak şekilde tasarlanmıştır. Sonuçta ulaşılan simülasyon ve ölçüm değerine göre yorumlandığında üst çalışma frekansımız olan 2.4 GHz'de, 0dBm radyo frekans enerjisi antene gönderildiğinde, doğrultucu devre çıkışında bu güç değerine karşılık doğrultucu devre çıkışında 100kΩ yük üzerine düşen gerilim değeri yaklaşık 1,75V dur. Çıkışta yük üzerinde ölçülen bu gerilim, çıkışa bağlanacak bir kapasitör üzerinde depolaran veya düşük güç ile çalışan bir sistemin bu kısma eşzamanlı olarak bağlanıp çalışması sağlanarak, bir kablosuz ve pilden bağımsız olarak çalışan sistem elde edilebilir. Ya da pil ile çalışan bir sistemin pil ömrünün arttırılması hedeflenebilir. Tasarlanan bu sistem ile düşük güçte çalışan ZigBee, RFID etiketler, kablosuz sensör ağlar, bluetooth gibi haberleşme arayüzlerinin beslenmesi sağlanabilir.

Sonuç olarak bakıldığında tasarlanan bu anten ve doğrultucu devresinden oluşan sistem ile düşük güç ile çalışabilecek özellikle mobil cihazlar kablosuz olarak beslenebilir ve üzerinde bir pil veya batarya bulunan yine mobil cihazların taşıdıkları pilin kablosuz olarak şarj edilmesi sağlanarak pil ömrünün arttırılması sağlanabileceği bir modül tasarımı yapılmıştır. Literatürde tasarımı gerçekleştirilmiş benzer sistemler ile kıyaslandığında tatmin edici simülasyon ve ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Devamına yapılacak çalışmalarda bu simülasyonu gerçekleştirilen doğrultucu devrelerinin baskı devresinin gerçekleştirilmesi ve alıcı mikroşerit anten ile birleştirilerek kaynaktan alınan RF sinyallerin DC enerjiye çevrilmeleri ve farklı cihazlarla birlikte kullanılabilecek bir modül geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Liao, S., (1977). "Measurements and Computation of Electric Field Intensity and Power Density", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 26(1):5-10.
- [2] Hagerty, J.A., Helmbrecht, F.B., McCalpin, W.H., Zane, R., Popovic, Z.B., (2004). "Recycling ambient microwave energy with broadband rectenna arrays", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 52(3): 1014–1024.
- [3] Harry, O., (2011), "RF Energy Harvesting Perpetually Powers Wireless Sensors", Powercast Corporation, 116: 65-86.
- [4] Sample, A., Joshua R. S., (2009) "Experimental results with two wireless power transfer systems," Proceedings of the 4th international conference on Radio and wireless symposium, 45: 16-18.
- [5] Mahouti P., Güneş F., Belen M.A., Çalışkan A., Demirel S., (2016). "Design and Realization of Dual Band Microstrip Monopole Antenna", Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON), 2016 21st International Conference, 10: 7-12.
- [6] Çalışkan A., Belen M.A., Mahouti P., Demirel S., Güneş F., (2015). "Design of a Multiband Microstrip Patch Antenna with Defected Ground Structures (DGS)", European Microwave Week (EuMA), Paris, France, 18: 1387-1390.
- [7] Belen M.A., Güneş F., Çalışkan A., Mahouti P., Demirel S., Yildirim A., (2016). "Microstrip SIW Patch Antenna Design for X band Application", 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON), Krakow, Poland, 35: 1-2.
- [8] Chen, H.-M., Lin, Y.-F., Kuo, C.-H., and Huang, K.-C., (2001). "A Compact Dual-band Microstrip-fed Monopole Antenna", IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) Proceedings, 12(2): 124–127.
- [9] Chen, S.-B., Y.-C. Jiao, F.-S. Zhang, and Q.-Z. Liu, (2006) "Modified T-shaped planar monopole antenna for multiband operation," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 54(8): 3267–3270.
- [10] H. Nishimoto, Y. Kawahara, and T. Asami, (2010). "Prototype implementation of wireless sensor network using TV broadcast RF energy harvesting,"

Proceedings of the 12th ACM international conference adjunct papers on Ubiquitous computing, 12: 355-356.

- [11] X. Lu, P. Wang, D. Niyato, D. I. Kim, Z. Han, (2015). "Wireless networks with RF energy harvesting: A contemporary survey", IEEE Commun. Surveys Tuts., 17(2): 757-789.
- [12] D. Mishra, S. De, S. Jana, S. Basagni, K. Chowdhury, W. Hein-Zelman, (2015). "Smart RF energy harvesting communications: Challenges and opportunities", IEEE Commun. Mag., 53(4): 70-78.
- [13] X. Zhou, R. Zhang, C. K. Ho, (2013). "Wireless information and power transfer: Architecture design and rate-energy tradeoff", IEEE Trans. Commun., 61(11): 4754-4767.
- [14] Belen, M.A., Kaya,, A., (2010). "Schotky Diyot Kullanılarak 2.4GHz Düşük Güçlü Aktif Alıcı-Verici Sistemler için Aktif Bant Geçiren Filtre Uygulaması", Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO) Bursa, 18: 443-446.
- [15] Belen, M.A., Abdulla, R., (2012). "UHF RFID Sistemleri için Mikroşerit Etiket Anten Tasarımı ve Gerçekleşmesi", 5. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Ankara, 34: 82-86.
- [16] Maç, M.M., Binici, Ü., Partal, H.P., Zorlu-Partal, S., Belen, M.A., (2014). "RF Enerji Toplayıcı Devre Tasarımı", Symposium of Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO), 54: 384-388.
- [17] Partal, H.P., İnce, A.T., Belen, M.A., Zorlu-Partal, S., Tanski, R., (2015). "Electromagnetic Modeling and Analysis of Rectifier Antennas" International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2015), Torino, Italy, 56: 1489-1492.
- [18] Partal, H.P., Belen, M.A., Zorlu-Partal, S. İnce, A.T., (2015). "A Schottky Rectifier Design Using EM Simulation Tools for RF Energy Harvesting Applications" 31st International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics, Williamsburg, VA, 51: 4-5.
- [19] Curty, J.-P., Joehl, N., Krummenacher, F., Dehollain, C., Declercq, M., (2000). "A model for m-power rectifier analysis and design", IEEE Trans. Circuits Syst. I, Regul. Papers, 52(12): 2771-2779.
- [20] U. Olgun C.-C. Chen J.L. Volakis, (2012) "Design of an efficient ambient WiFi energy harvesting system", IET Microw. Antennas Propag., 6(11): 1200-1206.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ümit BİNİCİ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 12.04.1990 , Gebze  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : umitbinicii@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Haberleşme	Yıldız Teknik Üniv.	2018
Lisans	EHM	Yıldız Teknik Üniv.	2014
Lise	Sayısal	Tuzla Işıl Anadolu Lisesi	2009

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
01.2014-09.2014	Profen Group	Donanım Tas. Müh.
09.2014-Halen	Pavotek Tasarım	Elektronik Tas. Müh



## **YAYINLARI**

### **Makale**

- [1] Maç, M.M., Binici, Ü., Partal, H.P., Zorlu-Partal, S., Belen, M.A., (2014). "RF Enerji Toplayıcı Devre Tasarımı", Symposium of Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO), 54: 384-388.

### **Bildiri**

- [16] Binici, Ü., Belen, M.A., Kızılay A., (2018). "Enhanced Gain of Dual Band Microstrip Antenna Using Reflector for RF Energy Harvesting Applications", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), 13(1): 61-65.

