

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**PASİF MİLİMETRE DALGA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ**  
**UYGULAMALARI**

**MEHMET DUMAN**

**KOCAELİ 2018**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**PASİF MİLİMETRE DALGA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ**  
**UYGULAMALARI**

**MEHMET DUMAN**

**Doç. Dr. Alp Oral SALMAN**  
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

**Doç. Dr. Sibel GÜNDÜZ ÇİMEN**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üye. Adnan SONDAŞ**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

**Prof. Dr. İsmail Hakkı TAYYAR**  
Jüri Üyesi, Karabük Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üye. Ahmet Yahya TEŞNELİ**  
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi

*A. Salman*

*Sibel*

*Adnan*

*Ismail*

*A. Teşneli*

**Tezin Savunulduğu Tarih: 25.12.2018**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez, mikrodalga ve milimetre dalga teknolojilerine katkıda bulunabilmek, radyometrik sistemler ve uzaktan algılama konusu hakkında bilgi vermek ve pasif algılama ve görüntüleme işlemlerinin devre tasarımından çizimine, sistem tanıtımından ölçümüne kadar her ince detayı vermek amacıyla yazılmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, daha fazla çalışmaya teşvik eden, destek olan, yardımlarını ve zamanını hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Alp Oral SALMAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimin başlangıç aşamasında ve pratik uygulamalarında ihtiyacım olduğunda değerli zamanını bana ayıran Doç. Dr. Sibel ÇİMEN'e, doktora çalışma sürem boyunca makale, bildiri çalışmalarımında ve pratik uygulamalarda her zaman bilgilerinden istifade ettiğim Prof. Dr. Gonca ÇAKIR'a, tezimin teori ve ölçüm aşamalarında yardımcı bulunan Arş. Gör. Mustafa TEKBAŞ'a, akademik alanda tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Doğan DİBEKÇİ'ye, Dr. Öğr. Üye. Arif Dolma'ya ve geçen bütün 5 yıl boyunca gerek ders aşamasında gerekse tez aşamasında akademik hayatıma katkılarından dolayı; başta tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. İsmail Hakkı TAYYAR, Dr. Öğr. Üye. Adnan SONDAŞ ve Dr. Öğr. Üye. Ahmet Yahya TEŞNELİ olmak üzere tüm değerli hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Doğduğum günden itibaren sonsuz sevgi ve şefkatlerini hiçbir zaman eksik etmeyen, bana güvenip her zaman destek olan, beni bugünlere getiren babam Mustafa DUMAN'a, annem İşadiye DUMAN'a ve ablam Kader DUMAN BULUŞ'a, çalışmalarım esnasında desteğini esirgemeyen Yük. Müh. Tolga GÜNEY'e, araştırmalarım sırasında ve her daim yanımda olan, yardımlarıyla beni yalnız bırakmayan, her türlü zorlukta en yakınımdaya bulduğum değerli eşim Dr. Merve GÜNEY DUMAN'a ve moral kaynağım canım oğlum Yasin Taha DUMAN'a sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Doktora öğrenimim boyunca TÜBİTAK-BİDEB 2211 yurtiçi lisansüstü burs programı dahilinde 2228-B bursiyerliği ile desteklendiğim için TÜBİTAK'a çok teşekkür ederim.

Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne ve YÖK'e doktora öğrenimim boyunca Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) dahilinde verdiği desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Aralık – 2018

Mehmet DUMAN

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....   | i    |
| İÇİNDEKİLER .....   | ii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....   | v    |
| TABLolar DİZİNİ .....   | xii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....  | xiii |
| ÖZET .....  | xv   |
| ABSTRACT .....  | xvi  |
| GİRİŞ .....   | 1    |
| 1. MİLİMETRE DALGA TEKNOLOJİSİ .....  | 6    |
| 1.1. RF Elektronikçi .....  | 6    |
| 1.1.1. Alıcı .....  | 6    |
| 1.1.2. Verici .....   | 7    |
| 1.2. Milimetre Dalga Devre Elemanları Paketleri, Boyutları ve Devre<br>Kartına Entegrasyonu ..... | 7    |
| 1.2.1. Wire-bonding hakkında genel bilgi .....  | 8    |
| 1.2.2. Wire-bonding kuralları .....   | 10   |
| 1.3. Neden Mikrodalga veya Milimetre Dalga? .....   | 11   |
| 1.4. Milimetre Dalga ve GigaHertz - TeraHertz Görüntülemeye Giriş.....                            | 13   |
| 1.4.1. Milimetre dalga görüntüleme avantajları ve kullanıldığı alanlar .....                      | 14   |
| 1.4.2. Milimetre dalga anten ile mikrodalga antenin karşılaştırılması .....                       | 14   |
| 1.5. Milimetre Dalga Görüntüleme Tekniği .....  | 16   |
| 1.5.1. Pasif milimetre dalga görüntüleme .....  | 16   |
| 1.5.2. Aktif milimetre dalga görüntüleme .....  | 17   |
| 1.5.3. Milimetre dalga sistemleri üzerine genel bakış .....                                       | 17   |
| 1.5.4. Milimetre dalga ve mikrodalga uzaktan algılamasının tarihsel<br>gelişimi.....              | 18   |
| 2. MİKRODALGA VE MİLİMETRE DALGA RADYOMETRİK<br>SİSTEMLER .....                                   | 20   |
| 2.1. Radyometre Nedir? .....  | 20   |
| 2.2. Radyometre Temelleri .....   | 20   |
| 2.2.1. Mutlak sıcaklık .....  | 21   |
| 2.2.2. Karacisim .....  | 21   |
| 2.2.3. Elektromanyetik radyasyonun/ışımının oluşumu.....  | 23   |
| 2.2.4. Termal ışıma .....   | 24   |
| 2.3. Yayıcılık, Yansıtıcılık, Emilim ve Geçirgenlik.....  | 34   |
| 2.3.1. Yayıcılık .....  | 35   |
| 2.3.2. Yansıtıcılık.....  | 36   |
| 2.3.3. Emilim .....   | 37   |
| 2.3.4. Geçirgenlik .....  | 38   |
| 2.4. Radyometre Çeşitleri .....   | 40   |
| 2.4.1. Toplam güç radyometresi .....  | 40   |
| 2.4.2. Dicke radyometresi .....   | 42   |
| 2.4.3. Diğer radyometre çeşitleri .....   | 45   |

|   |     |
|---|-----|
| 2.5. Radyometrenin Amacı.....   | 45  |
| 2.6. Radyometrenin Kararlılığı.....   | 46  |
| 2.6.1. Kalibrasyon ve doğrusallık.....  | 47  |
| 3. RADYOMETRELERDE KULLANILAN DEVRELER.....   | 49  |
| 3.1. Düşük Gürültülü Güç Kuvvetlendirici (LNA).....                                 | 50  |
| 3.1.1. LNA devresi örnekleri.....   | 51  |
| 3.1.2. LNA tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar.....                        | 57  |
| 3.1.3. LNA performans parametreleri ne olmalıdır?.....                              | 59  |
| 3.1.4. LNA özellikleri.....   | 61  |
| 3.2. Mikser (Karıştırıcı).....  | 63  |
| 3.2.1. Doğrusal mikser tasarımı.....  | 66  |
| 3.2.2. Mikser devresi örnekleri.....  | 66  |
| 3.2.3. Mikser devresini oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlar.....          | 69  |
| 3.3. Dedektör (Algılayıcı).....   | 70  |
| 3.3.1. Dedektör diyotun akım hassasiyeti.....                                       | 72  |
| 3.3.2. Dedektör devresi dalga şekline ne yapar?.....                                | 73  |
| 3.3.3. Dedektör çeşitleri ve dedektörlerin kullanıldığı yerler.....                 | 74  |
| 3.3.4. Doğrudan algılamalı alıcı (Direct detection receiver) ve video dedektör..... | 77  |
| 3.4. Ara Frekans (IF) Devresi.....  | 77  |
| 3.5. Video Kuvvetlendirici (VA) Devresi.....  | 78  |
| 3.6. Analog – Sayısal Dönüştürücü (Analog to Digital Converter).....                | 78  |
| 4. DEVRE TASARIMINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR.....                                  | 80  |
| 4.1. Empedans Uyumu.....  | 80  |
| 4.1.1. Mikroşerit hatlı empedans uyumu.....   | 87  |
| 4.2. S Parametreleri.....   | 88  |
| 4.3. Kazanç.....  | 90  |
| 4.4. Kararlılık.....  | 91  |
| 4.5. Diğer Önemli Parametreler.....   | 93  |
| 5. UZAKTAN ALGILAMA.....  | 95  |
| 5.1. Radyo Dalgaları Aralıkları.....  | 101 |
| 5.2. Enerji Geçişleri.....  | 105 |
| 5.3. Uzaktan Algılama Örnekleri.....  | 106 |
| 5.3.1. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 1.....                     | 107 |
| 5.3.2. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 2.....                     | 108 |
| 5.3.3. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 3.....                     | 109 |
| 5.3.4. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 4.....                     | 110 |
| 5.3.5. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 5.....                     | 110 |
| 5.3.6. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 6.....                     | 111 |
| 5.3.7. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 7.....                     | 111 |
| 5.3.8. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 8.....                     | 112 |
| 5.3.9. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 9.....                     | 112 |
| 5.3.10. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 10.....                   | 113 |
| 5.4. Radyometrik Alıcı Örnekleri.....   | 114 |
| 5.4.1. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 1.....                                   | 115 |
| 5.4.2. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 2.....                                   | 116 |
| 5.4.3. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 3.....                                   | 117 |
| 5.4.4. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 4.....                                   | 117 |

|   |     |
|---|-----|
| 6. OLUŞTURULAN VE KULLANILAN PASİF MİLİMETRE DALGA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİNİN TANITIMI.....                     | 118 |
| 6.1. Tarayıcı Sistem.....   | 120 |
| 6.1.1. 2 eksenli konumlandırıcı motor.....  | 124 |
| 6.1.2. Pasif MiliMetre Dalga Görüntüleme Programı (PMMDGP).....   | 128 |
| 6.1.3. Üç ayak (tripod).....  | 133 |
| 6.2. Parabolik Yansıtıcı Anten.....   | 133 |
| 6.2.1. Denge ağırlıkları.....   | 134 |
| 6.2.2. Radyometrik alıcının, parabolik yansıtıcı antenin odak noktasına, doğru konumda yerleştirilmesi..... | 136 |
| 6.3. Radyometrik Alıcı.....   | 140 |
| 6.3.1. Radyometrik alıcının güç kaynağı.....  | 143 |
| 6.3.2. Radyometrik alıcının horn anteni.....  | 145 |
| 6.3.3. Radyometrik alıcının giriş – çıkış pinleri.....  | 146 |
| 6.4. Tüm Sistem.....  | 148 |
| 6.5. Bağlantı.....  | 150 |
| 7. PASİF MİLİMETRE DALGA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ ÖLÇÜMLERİ.....   | 151 |
| 7.1. Ölçüm 1.....   | 155 |
| 7.2. Ölçüm 2.....   | 157 |
| 7.3. Ölçüm 3.....   | 160 |
| 7.4. Ölçüm 4.....   | 162 |
| 7.5. Ölçüm 5.....   | 165 |
| 8. 35 GHZ FREKANSINDA ÇALIŞAN RADYOMETRİK ALICININ TASARIM VE GERÇEKLEME ÇALIŞMALARI.....                   | 170 |
| 8.1. Radyometrik Alıcı Anteni.....  | 170 |
| 8.1.1. Vivaldi fed anten.....   | 171 |
| 8.1.2. Antipodal Vivaldi anten.....   | 177 |
| 8.1.3. 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 anteni.....   | 181 |
| 8.2. Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi Yapılan, 35 GHz Frekansında Çalışan LNA.....                            | 182 |
| 8.2.1. Altium Programı'nda kütüphane ekleme ve çizim.....   | 186 |
| 8.2.2. TÜBİTAK MİLTAL'de LNA imalatı.....   | 193 |
| 8.2.3. Laboratuvarında Vektör Network Analizör (VNA) ile LNA ölçümü.....                                    | 202 |
| 8.2.4. Kaskad LNA.....  | 206 |
| 8.3. 35 GHz Frekansında Çalışan Dedektör için Gerçekleştirilen Ön Çalışmalar.....                           | 208 |
| 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....  | 210 |
| KAYNAKLAR.....  | 213 |
| EKLER.....  | 223 |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....   | 260 |
| ÖZGEÇMİŞ.....   | 263 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1.  | Süper-heterodin blok diyagramı .....  | 6  |
| Şekil 1.2.  | K-bant güç kuvvetlendiricisi boyut örneği .....   | 8  |
| Şekil 1.3.  | Standart paketleme teknolojilerinin milimetre dalga paketleme teknolojileri ile karşılaştırılması .....           | 8  |
| Şekil 1.4.  | Wire-bonding lehimleme teknolojisi .....  | 9  |
| Şekil 1.5.  | Antene bağlı olan çipe yapılan wire-bond .....  | 10 |
| Şekil 1.6.  | Antene bağlı olan çipe yapılan wire-bondun 3 boyutlu çizimi .....   | 10 |
| Şekil 1.7.  | Wire-bonding PCB tasarımı kuralları .....   | 11 |
| Şekil 1.8.  | Radyo dalgaları iletiminde bulutların etkisi .....  | 12 |
| Şekil 1.9.  | Radyo dalgaları iletiminde yağmurun etkisi .....  | 12 |
| Şekil 1.10. | Atmosferik olaylara göre milimetre dalga zayıflama – frekans grafiği .....  | 15 |
| Şekil 1.11. | ESMR ile kış ve yaz mevsimlerinde radyometrik fotoğrafı çekilen Antarktika .....                                  | 19 |
| Şekil 2.1.  | Karacisim, gricisim ve seçilen başka bir yayıcının dalga boyuna karşı spektral yayıcılık katsayısı grafiği .....  | 22 |
| Şekil 2.2.  | Karacisim, gricisim ve seçilen başka bir yayıcının dalga boyuna karşı spektral radyant yayıcılık grafiği .....    | 22 |
| Şekil 2.3.  | Farklı sıcaklıklarda spektral yayılım grafikleri .....  | 23 |
| Şekil 2.4.  | Planck radyasyon yasası eğrileri .....  | 25 |
| Şekil 2.5.  | Belirli $\lambda$ boyları için radyant yayılım .....  | 26 |
| Şekil 2.6.  | Wien yer değiştirme (kayma) yasası grafik anlatımı – 1 .....  | 29 |
| Şekil 2.7.  | Wien yer değiştirme (kayma) yasası grafik anlatımı – 2 .....  | 30 |
| Şekil 2.8.  | Planck, Wien ve Rayleigh–Jeans ışınım yasaları .....  | 31 |
| Şekil 2.9.  | Ölçüm pozisyonu .....   | 33 |
| Şekil 2.10. | Gücün ölçülmesi ve ideal radyometre .....   | 33 |
| Şekil 2.11. | Gerçek radyometre .....   | 34 |
| Şekil 2.12. | Gelen ışınımın yansayan (reflected), iletilen (transmitted) ve emilen (absorbed) ışınım olarak gösterilmesi ..... | 37 |
| Şekil 2.13. | Oksijenli, su buharlı ve bulutlu ortamlarda emilim – frekans grafiği .....  | 38 |
| Şekil 2.14. | Toplam güç radyometresi – Örnek 1 .....   | 40 |
| Şekil 2.15. | Dicke radyometresi – Örnek 1 .....  | 40 |
| Şekil 2.16. | Toplam güç radyometresi – Örnek 2 .....   | 41 |
| Şekil 2.17. | Toplam güç radyometresi – Örnek 3 .....   | 42 |
| Şekil 2.18. | Toplam güç radyometresi – Örnek 4 .....   | 42 |
| Şekil 2.19. | Dicke radyometresi – Örnek 2 .....  | 43 |
| Şekil 2.20. | Dicke radyometresi – Örnek 3 .....  | 43 |
| Şekil 2.21. | Dicke radyometresi – Örnek 4 .....  | 45 |
| Şekil 2.22. | Basit kalibrasyon fiziksel yapısı .....   | 47 |
| Şekil 2.23. | Anten - radyometre kalibrasyonu .....   | 48 |
| Şekil 2.24. | Gökyüzü kalibrasyonu .....  | 48 |
| Şekil 3.1.  | Devre sembolleri .....  | 49 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.2.  | 0,9 V ile çalışan bir LNA devresi .....   | 51 |
| Şekil 3.3.  | 0,9 V ile çalışan LNA devresinin akım – gerilim karakteristiği .....  | 52 |
| Şekil 3.4.  | 0,9 V ile çalışan LNA devresinin kazanç – frekans karakteristiği.....   | 52 |
| Şekil 3.5.  | 0,9 V ile çalışan LNA devresine wire-bond uygulaması (çip boyutu: 1×1 mm <sup>2</sup> ) .....   | 53 |
| Şekil 3.6.  | (a) Çok katlı LNA devresi blok diyagramı (b) wire-bond uygulanmış 1,5×1,5 mm <sup>2</sup> büyüklüğündeki devre .....                              | 53 |
| Şekil 3.7.  | BJT'ler ile tasarlanan iki katlı LNA.....   | 54 |
| Şekil 3.8.  | LNA ve mikser birleşimi .....   | 55 |
| Şekil 3.9.  | Uyumlama devreleri ile beraber verilmiş bir LNA.....  | 56 |
| Şekil 3.10. | Uyumlama devreleri ile beraber verilmiş olan LNA devresinin mikro boyuttaki bir fotoğrafı .....   | 56 |
| Şekil 3.11. | LNA'da kaskad topoloji.....   | 58 |
| Şekil 3.12. | Yukarıdan aşağıya doğru frekans eksenine göre S <sub>11</sub> , S <sub>22</sub> , S <sub>21</sub> , S <sub>12</sub> grafikleri.....               | 60 |
| Şekil 3.13. | Empedans uyumlama ve LNA kaskad yapısı .....  | 62 |
| Şekil 3.14. | Tekil dengeli aktif mikser .....  | 64 |
| Şekil 3.15. | Tekil dengeli CMOS mikser .....   | 65 |
| Şekil 3.16. | Çift balanslı mikser .....  | 67 |
| Şekil 3.17. | Ekstra kapasitörlü mikser.....  | 67 |
| Şekil 3.18. | Bant geçiren filtreli 1 GHz BJT mikser .....  | 68 |
| Şekil 3.19. | Tekil diyot mikser .....  | 68 |
| Şekil 3.20. | Tekil diyot mikserin AWR Programı'ndaki gösterimi .....   | 69 |
| Şekil 3.21. | Tekil dengeli mikser örnekleri .....  | 69 |
| Şekil 3.22. | Dedektör devresi .....  | 70 |
| Şekil 3.23. | Dedektörün küçük işaret eş değer devresi .....  | 71 |
| Şekil 3.24. | Tipik dedektör diyot davranışı .....  | 73 |
| Şekil 3.25. | (a) CW dalganın DC çıkışa dönüşmesi (b) Darbe modülatör dalgasının DC dalgaya dönüşmesi (c) Analog modülatör dalgasının DC dalgaya dönüşmesi..... | 73 |
| Şekil 3.26. | Diyot I - V karakteristiği.....   | 74 |
| Şekil 3.27. | Dedektörün çalışma prensibi.....  | 76 |
| Şekil 3.28. | Doğadan dedektör örneği .....   | 76 |
| Şekil 3.29. | IF örnekleme .....  | 77 |
| Şekil 3.30. | $\Delta/\Sigma$ dönüştürücü örnekleri .....   | 79 |
| Şekil 4.1.  | Çift portlu uyumlama .....  | 80 |
| Şekil 4.2.  | Transistör uyumlama devresi .....   | 81 |
| Şekil 4.3.  | Daha düşük gürültü figürü için emetörüne indüktans bağlanmış transistörlü uyumlama devresi.....   | 81 |
| Şekil 4.4.  | Stub ile uyumlama .....   | 81 |
| Şekil 4.5.  | LC devre elemanları ile uyumlama.....   | 82 |
| Şekil 4.6.  | (a) Seri (b) Paralel elemanlar ile empedans uyumu (yükten uzaklık önemlidir).....   | 82 |
| Şekil 4.7.  | 2 adet tekil devre elemanı ile empedans uyumlama .....  | 83 |
| Şekil 4.8.  | Z <sub>in</sub> , Z <sub>out</sub> , Z <sub>s</sub> ve Z <sub>l</sub> 'nin gösterildiği bir uyumlama örneği.....                                  | 84 |
| Şekil 4.9.  | $\Gamma_{IN}$ , $\Gamma_{OUT}$ , $\Gamma_S$ ve $\Gamma_L$ 'nin uyumlama devresinde gösterimi.....   | 84 |
| Şekil 4.10. | Genel uyumlama devresi.....   | 85 |
| Şekil 4.11. | Şekil 4.8.'in bir başka gösteriliş biçimi .....   | 85 |
| Şekil 4.12. | Giriş uyumlama devresi .....  | 86 |



|   |     |
|---|-----|
| Şekil 4.13. Çıkış uyumlama devresi.....   | 86  |
| Şekil 4.14. Uyumlanan devrenin tam hali.....  | 86  |
| Şekil 4.15. MOSFET devresinin tekil elemanlar ile empedans uyumu.....   | 87  |
| Şekil 4.16. MOSFET devresinin mikroşerit hatlar ile empedans uyumu.....   | 87  |
| Şekil 4.17. 2 portlu devre ve S parametreleri.....  | 88  |
| Şekil 4.18. Farklı kapasitans gösterimleri.....   | 89  |
| Şekil 4.19. Farklı indüktans gösterimleri.....  | 90  |
| Şekil 4.20. (a) Çip kapasitör (b) Gap (boşluk) kapasitör (c) Yalıtkanlı metal kapasitör (d) Yuvarlak döngü indüktör (e) Spiral indüktör.....  | 90  |
| Şekil 4.21. (a) Giriş kararlılık çemberleri (b) Çıkış kararlılık çemberleri.....  | 92  |
| Şekil 4.22. (a) Giriş kararlılık çemberleri – 2 (b) Çıkış kararlılık çemberleri – 2.....  | 93  |
| Şekil 4.23. 3 adet toprağı olan devre.....  | 93  |
| Şekil 5.1. Pasif algılamada yayıcılık ve saçılma.....   | 95  |
| Şekil 5.2. Pasif algılamada emilim ve yansıma.....  | 95  |
| Şekil 5.3. Uzaktan algılama sistemlerinde önemli terimleri anlatan bir çizim.....   | 96  |
| Şekil 5.4. Saçılan ve yansıyan dalgalar.....  | 96  |
| Şekil 5.5. (a) Gelen dalganın bir dielektrik yüzeye çarpmasıyla dipol oluşumu ve bu dipollerin diğer yönlere ışınması (b) Yansıyan (soldaki) ve saçılan (sağdaki) dalgalar (c) Yüzey pürüzlülüğüne göre saçılmalar..... | 97  |
| Şekil 5.6. Sıcaklık farkı ile görüntü oluşturulması örneği.....   | 98  |
| Şekil 5.7. Cismin tespit edilmesi (var-yok testi).....  | 99  |
| Şekil 5.8. Cismin tespit edilmesi (açıya göre).....   | 99  |
| Şekil 5.9. Işıma – Dalga boyu grafiğı.....  | 100 |
| Şekil 5.10. Radyometre ile helikopterin değışik hava olaylarında görüntülenmesi.....  | 100 |
| Şekil 5.11. Elektromanyetik spektrum.....   | 101 |
| Şekil 5.12. Detaylı elektromanyetik spektrum – 1.....   | 103 |
| Şekil 5.13. Detaylı elektromanyetik spektrum – 2.....   | 104 |
| Şekil 5.14. Detaylı elektromanyetik spektrum – 3.....   | 104 |
| Şekil 5.15. Enerji kaybı.....   | 105 |
| Şekil 5.16. Enerji seviyeleri.....  | 105 |
| Şekil 5.17. Enerji seviyelerinde bir üst seviyeye geçme.....  | 106 |
| Şekil 5.18. L. Yujuri ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi.....  | 107 |
| Şekil 5.19. L. Yujuri ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi çalışmalarının (a) Optik görüntüsü (b) radyometrik görüntüsü.....   | 108 |
| Şekil 5.20. R. Appleby ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi için tasarladıkları optik döner ayna.....  | 109 |
| Şekil 5.21. A. Denisov ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi.....   | 109 |
| Şekil 5.22. A. Denisov ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi çalışmalarının (a) Optik görüntüsü (b) Radyometrik görüntüsü.....  | 110 |
| Şekil 5.23. C. Zheng ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi çalışmalarından bir görüntü.....   | 111 |
| Şekil 5.24. A. Vertiy ve ark. pasif milimetre dalga alıcıları.....  | 111 |
| Şekil 5.25. H. Sato ve ark. pasif milimetre dalga alıcılarının (a) Son hali (b) Tarama şeması.....  | 112 |
| Şekil 5.26. Joseph N. Mait ve ark. pasif milimetre dalga alıcısı.....   | 113 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 5.27. (a) Tek bir alıcı dedektör ve döner ayna ile PMMDGS (b) Sıralı dizi halinde 180° dönme yardımıyla çalışan PMMDGS .....  | 114 |
| Şekil 5.28. Radyometrik alıcı (a) Ön görünüş (b) Arka görünüş (c) Boyut.....  | 115 |
| Şekil 5.29. Radyometrik alıcı ile yapılan ölçüm .....   | 116 |
| Şekil 5.30. Hem dalga kılavuzu hem de devre içeren radyometrik alıcı.....   | 116 |
| Şekil 5.31. Radyometrik alıcı devre şeması .....  | 116 |
| Şekil 5.32. MMIC radyometrik alıcı devresi .....  | 117 |
| Şekil 5.33. MMIC dedektör ile oluşturulan PMMDGS .....  | 117 |
| Şekil 6.1. Tarayıcı sistem şeması .....   | 121 |
| Şekil 6.2. Parabolik yansıtıcı ve tarayıcı sisteme ait (a) Yan görünüş (b) Arka görünüş .....   | 123 |
| Şekil 6.3. 2 eksenli konumlandırıcının kullandığı azimut ve kalkış eksenleri.....   | 124 |
| Şekil 6.4. Sistemin gösterdiği değer ile gerçek değer kalkış ekseninde incelenmesi .....  | 125 |
| Şekil 6.5. Ölçümlerde kullanılan yeni parabolik yansıtıcı antenin bağlı olduğu 2 eksenli konumlandırıcıya ait (a) Yan görünüş (b) Arka görünüş .....  | 126 |
| Şekil 6.6. PMMDGP Communication (Haberleşme) sekmesi.....   | 129 |
| Şekil 6.7. PMMDGP Scanning sekmesi .....  | 131 |
| Şekil 6.8. PMMDGP masaüstü simgesi .....  | 133 |
| Şekil 6.9. (a) Antenin Solidworks Programı'nda çizilen resmi (b) Parabolik yansıtıcı antenin yapım aşaması (c) Elde edilmiş olan hassas yüzey pürüzsüzlüğü (d) Bitmiş parabolik yansıtıcı anten ve odak noktasındaki radyometrik alıcı .....                          | 134 |
| Şekil 6.10. Denge ağırlıkları .....   | 135 |
| Şekil 6.11. Denge ağırlıklarının sisteme entegre edilmesi.....  | 136 |
| Şekil 6.12. (a) Radyometrik alıcının, parabolik yansıtıcı antenin odak noktasına, doğru konumda yerleştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen ölçüm (b) Alıcının çıkış voltaj değerinin multimetre ile okunması .....   | 138 |
| Şekil 6.13. Alıcının doğru konumunun bulunması için yapılan ölçümler sonucunda elde edilen, alıcının mesafesine göre çıkış voltajı grafikleri (a) 1. ölçüm (b) 2. ölçüm .....   | 139 |
| Şekil 6.14. Kızak sisteminin (a) Solidworks çizimi (b) Optik fotoğraf.....  | 140 |
| Şekil 6.15. (a) 96 GHz radyometrik alıcı ve üzerindeki horn anten güç kaynağına bağlıyken (b) RF devre şematığı (c) Radyometrik alıcı ve kendisini besleyen güç kaynağı, güç bağlantı kabloları ve SMA konnektörlü voltaj çıkışı ile birlikte (d) Açıklık anteni..... | 142 |
| Şekil 6.16. 96 GHz radyometrik alıcının güç kaynağı.....  | 144 |
| Şekil 6.17. 96 GHz radyometrik alıcının güç kaynağının üstten görünüşü .....  | 144 |
| Şekil 6.18. 96 GHz radyometrik alıcının 4 pinli çıkışı (a) 2. anahtar kapalıyken (b) 2. anahtar açıkken.....  | 145 |
| Şekil 6.19. (a) 96 GHz radyometrik alıcının horn anteni (b) Rus standardından Amerikan standardına dönüştürücü bir dalga kılavuzu parçası .....   | 146 |
| Şekil 6.20. 96 GHz radyometrik alıcının (a) Yan pin grubu (b) Arka pin grubu (c) Yan pinlerinin bağlantı girişi (d) Arka pinlerinin   |     |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
|             | bağlantı girişi (e) Strafor ve koruyucudan çıkartılmasıyla yan ve arka pin girişleri .....  | 147 |
| Şekil 6.21. | PMMDGS, tüm sistem (1) Üç ayak (2) 2 eksenli konumlandırıcı (3) Parabolik yansıtıcı anten (4) Antenin odak noktasında bulunan alıcı tutucusu (5) Radyometrik alıcı (6) Elektronik kontrol ünitesi ..... | 149 |
| Şekil 7.1.  | (a) Optik görüntü (b) Radyometrik alıcının kaydettiği ekran görüntüsü .....   | 152 |
| Şekil 7.2.  | Optik görüntü ile radyometrik alıcının kaydettiği ekran görüntüsünün karşılaştırılması .....  | 152 |
| Şekil 7.3.  | Ölçümler yapılırken çekilmiş fotoğraflar .....  | 154 |
| Şekil 7.4.  | Ölçüm 1; (a) Optik görüntü (b) Ham radyometrik görüntü (c) İşlenmiş radyometrik görüntü .....   | 157 |
| Şekil 7.5.  | Ölçüm 2; (a) Optik görüntü (b) Horn anten bulunan radyometrik alıcının elde ettiği görüntü (c) Horn anten bulunmayan radyometrik alıcının elde ettiği görüntü .....                                     | 159 |
| Şekil 7.6.  | Ölçüm 2; tarama ayarları .....  | 160 |
| Şekil 7.7.  | Ölçüm 3; (a) Optik görüntü (b) Radyometrik görüntü .....  | 161 |
| Şekil 7.8.  | Ölçüm 4; farklı çözünürlüklerdeki ölçümler (a) 60×15 (b) 86×21 (c) 120×30 (d) 200×50 (e) 600×150 piksel .....   | 163 |
| Şekil 7.9.  | Ölçüm 4; optik görüntü .....  | 163 |
| Şekil 7.10. | Ölçüm 4; optik görüntü ile PMMDGS görüntüsünün karşılaştırılması – 1 .....  | 164 |
| Şekil 7.11. | Ölçüm 4; optik görüntü ile PMMDGS görüntüsünün karşılaştırılması – 2 .....  | 164 |
| Şekil 7.12. | Ölçüm 4; optik görüntü ile PMMDGS görüntüsünün karşılaştırılması – 3 .....  | 165 |
| Şekil 7.13. | Ölçüm 5; PMMDGP ekran görüntüsü (görüntünün çok büyük bir kısmını gökyüzü oluşturmaktadır) .....  | 166 |
| Şekil 7.14. | Ölçüm 5; (a) Optik görüntü (b) PMMDGS görüntüsü .....   | 167 |
| Şekil 7.15. | Ölçüm 5 için kırılma işlemi yapılmamış (a) Görüntü işleme yapılmış radyometrik görüntü (b) Optik görüntü .....  | 169 |
| Şekil 8.1.  | Tasarlanan 35 GHz baskı devre Vivaldi fed antenin ön ve arka görünüşleri .....  | 171 |
| Şekil 8.2.  | Tasarlanan 35 GHz baskı devre Vivaldi fed antenin ölçüleri .....  | 172 |
| Şekil 8.3.  | Baskı devre Vivaldi fed antenin giriş empedansının frekansa bağlı değeri .....  | 173 |
| Şekil 8.4.  | Baskı devre Vivaldi fed antenin (a) S11 (b) VDDO grafikleri .....   | 174 |
| Şekil 8.5.  | Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen S11 grafiği .....  | 175 |
| Şekil 8.6.  | Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen giriş empedans grafiği .....   | 175 |
| Şekil 8.7.  | Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen ışınma paterni .....   | 176 |
| Şekil 8.8.  | Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen kazanç grafiği .....   | 176 |
| Şekil 8.9.  | Antipodal Vivaldi antenin (a) Ön (b) Arka yüzü .....  | 178 |
| Şekil 8.10. | Antipodal Vivaldi antenin CST Programı'ndan alınan S11 grafiği .....  | 178 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 8.11. Antipodal Vivaldi antenin CST Programı'ndan alınan referans empedans grafiği.....                                | 179 |
| Şekil 8.12. Antipodal Vivaldi antenin CST Programı'ndan alınan VDDO grafiği.....   | 179 |
| Şekil 8.13. Antipodal Vivaldi antenin CST Programı'ndan alınan kazanç grafiği.....   | 180 |
| Şekil 8.14. Antene uygulanan yarıklar ve çizgisel eklentiler.....  | 180 |
| Şekil 8.15. (a) 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 anten (b) QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmı .....           | 181 |
| Şekil 8.16. HMC1040LP3CE çip diyagramı.....  | 183 |
| Şekil 8.17. HMC1040LP3CE çipinin kazanç grafiği.....   | 185 |
| Şekil 8.18. Altium Programı'nda "Integrated Library Project" oluşturma .....   | 186 |
| Şekil 8.19. Altium Programı'nda "Integrated Library Project" içindeki .schlib şematiği .....                                 | 186 |
| Şekil 8.20. Altium Programı'nda "Integrated Library Project" içindeki .pcb lib PCB'si.....                                   | 187 |
| Şekil 8.21. (a) Çipin bilgisayarında yer alan şematik (b) Altium Programı'nda oluşturulan şematik.....                       | 188 |
| Şekil 8.22. Altium Programı'nda oluşturulan ilk PCB devresi çizimi.....  | 189 |
| Şekil 8.23. HMC1040LP3CE çipinin bilgisayarındaki PCB devresi .....  | 190 |
| Şekil 8.24. Altium Programı'nda oluşturulan devrenin ilk PCB devresinin üzerine devre elemanlarının yerleştirilmiş hali..... | 190 |
| Şekil 8.25. Altium Programı'nda oluşturulan son versiyonun şematik devresi.....  | 191 |
| Şekil 8.26. Altium Programı'nda oluşturulan son versiyonun PCB devresi.....  | 192 |
| Şekil 8.27. Altium Programı'nda oluşturulan son versiyon PCB devresinin 3 boyutlu olarak üstten görünüşü.....                | 192 |
| Şekil 8.28. Baskı devre kartındaki LNA'nın görüntüsü.....  | 194 |
| Şekil 8.29. Basımı yapılan tek bir LNA'nın görüntüsü .....   | 195 |
| Şekil 8.30. HMC1040LP3CE çipinin entegre edilmesi .....  | 195 |
| Şekil 8.31. LNA'nın ve çipin görüntüsü .....   | 196 |
| Şekil 8.32. Lehim amacıyla kullanılan kimyasal malzemeler.....   | 196 |
| Şekil 8.33. Çipin bağlantısı yaparken faydalanılan büyüteç .....   | 197 |
| Şekil 8.34. Kontrol amaçlı kullanılan elektronik büyüteç .....   | 198 |
| Şekil 8.35. Elektronik büyüteç ile LNA'nın iki farklı yönden elde edilen görüntüleri.....                                    | 198 |
| Şekil 8.36. (a) Kuruması için fırına verilen LNA devreleri (b) Fırının içinden bir görüntü.....                              | 200 |
| Şekil 8.37. Çip ve kapasite bağlantıları yapılan LNA.....  | 200 |
| Şekil 8.38. Erkek ve dişi 2,92 mm konnektör bağlantıları yapılan LNA ve 1 Türk Lirası (TL (₺)) .....                         | 201 |
| Şekil 8.39. (a) Sol (b) Sağ konnektörler.....  | 201 |
| Şekil 8.40. Tüm bağlantılarıyla hazır olan LNA.....  | 202 |
| Şekil 8.41. VNA bağlantı kablosu.....  | 202 |
| Şekil 8.42. Ölçüm görüntüsü.....   | 203 |
| Şekil 8.43. Güç kaynağı ve VNA bağlantısı yapılan LNA .....  | 203 |
| Şekil 8.44. Güç kaynağı ile verilen gerilim ve kaynaktan çekilen akım.....   | 204 |
| Şekil 8.45. VNA ekranındaki S21 (kazanç) grafiğinin görüntüsü .....  | 204 |
| Şekil 8.46. Kaskad bağlanmaya hazır 2 adet LNA devresi.....  | 206 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 8.47. Altium Programı'nda oluşturulan kaskad yapılı LNA şematik devresi.....                      | 207 |
| Şekil 8.48. Altium Programı'nda oluşturulan kaskad yapılı LNA PCB devresi.....                          | 207 |
| Şekil 8.49. SMS7630-061 dedektörünün bilgisayfasında verilen uygulama devre (a) Şeması (b) PCB'si ..... | 208 |



## TABLULAR DİZİNİ

|  |     |
|--|-----|
| Tablo 2.1. Sık kullanılan bazı materyallerin aynı sıcaklıkta 3 farklı frekansta yayıcılık katsayıları .....                                | 39  |
| Tablo 2.2. Bazı materyallerin aynı sıcaklık ve frekansta emicilik ve yayıcılık katsayıları.....  | 39  |
| Tablo 3.1. Tipik LNA karakteristikleri .....   | 51  |
| Tablo 3.2. CMOS LNA'ya ait performans parametreleri değerleri .....  | 61  |
| Tablo 3.3. Tipik mikser karakteristikleri.....   | 65  |
| Tablo 5.1. Radyo dalgaları aralıkları.....   | 102 |
| Tablo 5.2. Radar bant isimleri.....  | 102 |
| Tablo 6.1. Tarayıcı sistem şemasının türkçe çevirisi .....   | 122 |
| Tablo 8.1. Baskı devre Vivaldi fed antenin benzetim sonucunda elde edilmiş boyutları ve alt taban özellikleri .....                        | 172 |
| Tablo 8.2. HMC1040LP3CE çipinin 3 farklı çalışma frekansı kümesine göre gruplandırılmış, farklı parametre değerlerine göre bilgileri ..... | 184 |
| Tablo 8.3. HMC1040LP3CE çipinin pin açıklamaları.....  | 185 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|            |  |
|------------|--|
| $\alpha$   | : Emicilik katsayısı   |
| $\epsilon$ | : Yayıcılık katsayısı veya permitivite (elektriksel geçirgenlik) |
| $\rho$     | : Yansıtıcılık katsayısı   |
| $\tau$     | : Geçirgenlik katsayısı veya zaman, (sn)                         |
| $\lambda$  | : Dalga boyu, (mm)   |
| $\nu, f$   | : Frekans, (Hz)  |
| $\Omega$   | : Ohm  |
| dB         | : desibel  |
| $\mu$      | : permabilite (manyetik geçirgenlik)                             |
| G          | : Gain (Kazanç), (dB)  |
| NF         | : Noise Figure (Gürültü Çarpanı)                                 |

### Kısaltmalar

|        |  |
|--------|--|
| AUT    | : Antenna Under Test (Ölçüm Anındaki Anten)                        |
| AWR    | : Applied Wave Research (Uygulamalı Dalga Araştırması)             |
| A/D    | : Analog/Digital (Analog/Sayısal)                                  |
| BJT    | : Bipolar Junction Transistor (İki Kutuplu Bağlantı Transistörü)   |
| BPF    | : Band Pass Filter (BGF – Bant Geçiren Filtre)                     |
| CW     | : Clock Wise (Saat Yönü)   |
| CCW    | : Counter Clock Wise (Saat Yönünün Tersini)                        |
| CNC    | : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)        |
| CorRad | : Correlation Radiometer (Korelasyon Radyometresi)                 |
| CST    | : Computer Simulation Technology (Bilgisayar Benzetim Teknolojisi) |
| DC     | : Direct Current (DA - Doğru Akım)                                 |
| DIP    | : Dual In-line Package (Çift Sıralı Paket)                         |
| ESD    | : Electro Static Discharge (Elektro Statik Boşalma)                |
| FET    | : Field Effect Transistor (Alan Etkili Transistör)                 |
| GaAs   | : Gallium Arsenide (Galyum Arsenit)                                |
| GND    | : Ground (Toprak)  |
| GPS    | : Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)            |
| GTÜ    | : Gebze Teknik Üniversitesi  |
| GYTE   | : Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü                                 |
| HD     | : High Definition (Yüksek Çözünürlük)                              |
| IC     | : Integrated Circuit (Entegre Devre)                               |
| IF     | : Intermediate Frequency (Orta Frekans)                            |
| IR     | : InfraRed (Kızılötesi)  |
| İTÜ    | : İstanbul Teknik Üniversitesi                                     |
| KOÜ    | : Kocaeli Üniversitesi   |
| LIDAR  | : LIght Detection And Ranging (Işık Algılama ve Mesafe Ölçme)      |
| LNA    | : Low Noise Amplifier (Düşük Gürültülü Güç Kuvvetlendirici)        |
| LO     | : Local Oscillator (Yerel Osilatör)                                |

|         |  |
|---------|--|
| LTSA    | : Linearly Tapered Slot Antenna (Doğrusal Konik Yuvası Anten)        |
| MAM     | : Marmara Araştırma Merkezi  |
| MCMs    | : Multi Chip Modules (Çoklu Çip Modülleri)                           |
| MİLTAL  | : Milimetre Dalga ve Terahertz Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı  |
| MİLTEK  | : Milimetre Dalga, Elektromanyetik ve Güvenlik Teknolojileri         |
| MGM     | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü  |
| NIR     | : Noise Injection Radiometer (Gürültü Enjeksiyonu Radyometresi)      |
| PCB     | : Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)                          |
| PMMDGP  | : Pasif Milimetre Dalga Görüntüleme Programı                         |
| PMMDGS  | : Pasif Milimetre Dalga Görüntüleme Sistemi                          |
| PMMWI   | : Passive MilliMeter Wave Imager                                     |
| PMMWIS  | : Passive MilliMeter Wave Imaging System                             |
| RADAR   | : RADio Detection And Ranging (Işınım Algılama ve Mesafe Ölçme)      |
| RF      | : Radio Frequency (Radyo Frekansı)                                   |
| S       | : Scattering (Saçılma)   |
| SANTEK  | : Doğu Marmara Sanayi ve Teknoloji                                   |
| SiGe    | : Silicon Germanium (Silikon Germanyum)                              |
| SMA     | : SubMiniature version A connector (Minyatür Altı Sürüm A Konektörü) |
| SMD     | : Surface Mount Device (Yüzey Montaj Aygıtı)                         |
| SNR     | : Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)                       |
| SONAR   | : SOund Navigation And Ranging (Ses Algılama ve Mesafe Ölçme)        |
| TE      | : Transverse Electric (Enine Elektrik)                               |
| TEM     | : Transverse Electromagnetic (Enine Elektromanyetik)                 |
| TM      | : Transverse Magnetic (Enine Manyetik)                               |
| TÜBİTAK | : TÜrkiye BİLimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu                    |
| TÜYAP   | : Tüm Fuarcılık Yapım A.Ş.   |
| VA      | : Video Amplifier (Video Kuvvetlendirici)                            |
| VNA     | : Vector Network Analyser (Vektör Network (Ağ) Analizör)             |
| VSWR    | : Voltage Standing Wave Ratio (Voltaj Duran Dalga Oranı - VDDO)      |
| YÖK     | : Yükseköğretim Kurulu   |



# PASİF MİLİMETRE DALGA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ UYGULAMALARI

## ÖZET

Bu çalışmada; öncelikle pasif ışınma ve görüntülemenin dayandığı fiziksel konu olan karacisim ışınmasının teorik olarak incelenmesi yapılmıştır. Sisli ve bulutlu ortamlarda yeterince iyi çalışmayan diğer görüntüleme sistemlerine (kızılötesi ve optik sistemler) yardımcı olabilecek Pasif MiliMetre Dalga Görüntüleme Sistemi (PMMDGS)'nin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Daha sonra, 96 GHz frekansında (3 milimetre dalga boyu) çalışan bir PMMDGS'nin bileşenlerinin bir araya getirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ardından; 96 GHz frekansında çalışan pasif alıcının maksimum sinyal verdiği optimum konum bulunarak, alıcı bu konuma yerleştirilmiştir. Oluşturulan bu sistem yardımıyla; farklı zamanlarda ve farklı konumlarda, çeşitli çözünürlüklerde ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda; sistemin tarama yaptığı (120 derece ile 240 derece arası) azimut ve (75 derece ile -15 derece arası) kalkış (elevasyon) eksenleri arasındaki bölgede bulunan nesnelerin PMMDGS görüntüsünün elde edilmesi, çalışmanın ana unsurunu oluşturmaktadır. Oluşturulan görüntülerin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli görüntü işleme programları da kullanılmıştır. Sistemle elde edilen görüntüler, dünyadaki diğer örneklerine göre; bilgimiz dahilinde, en yüksek çözünürlüğü (1190×890 piksel) veren görüntülerdir ve çözünürlükleri HD görüntüden (1280×720 piksel) daha yüksektir. Elde edilen pasif milimetre dalga görüntülerine ek olarak; sistemin radyometrik bir modül olmasından dolayı; Türkiye, Kocaeli, İzmit ilçesindeki gökyüzü sıcaklık profili de, kalkış eksenini boyunca elde edilmiştir. Tüm bu çalışmaların yanında; 96 GHz frekansında çalışan alıcının yurt dışından satın alınması ve yerli bir radyometrik alıcının tarafımızdan yapılmak istenmesi amacıyla; 35 GHz frekansında çalışabilen yerli bir radyometrik alıcının bileşenlerinin tasarımının gerçekleştirilme çalışmaları da tez içerisinde ikinci bir amaç olarak yerini almaktadır. Bu bileşenlerin en önemli parçası olan düşük gürültülü güç kuvvetlendirici (LNA – Low Noise Amplifier) kısmı tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de ilk defa bu frekansta çalışan ve PMMDGS'nde kullanılmak üzere üretilen, LNA tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Ayrıca; 35 GHz frekansındaki bu alıcı ile çalışabilecek olan iki farklı milimetre dalga anteni (Vivaldi fed ve antipodal Vivaldi antenler) tasarlanmıştır. Tez içerisindeki literatür araştırmalarında öncelikle milimetre dalga ve radyometre kavramları detaylıca aktarılmış daha sonra Radyo Frekansı (RF) devre tasarımı konusuna değinilmiştir. Uzaktan algılama tanımları yapılarak, PMMDGS elemanları anlatılmıştır. Ayrıca, tüm tez çalışmaları devam ederken; danışman hocamın koordinatörlüğünde, anten parametreleri ölçümü amaçlı, 3 metrelik bir yansız odanın ve MİLTEK (Milimetre Dalga, Elektromanyetik ve Güvenlik Teknolojileri) Laboratuvarı'nın kurulumlarının her aşamasında çeşitli destekler verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntüleme Sistemi, Karacisim Işınması, Milimetre Dalga, Pasif Algılama.

## PASSIVE MILLIMETER WAVE IMAGING SYSTEM APPLICATIONS

### ABSTRACT

In this study; first of all, the theoretical examination of blackbody radiation, which is the physical subject of passive radiation and passive imaging is done. It is aimed to realize Passive MilliMeter Wave Imaging System (PMMWIS) which can help other imaging systems (infrared and optical systems) which cannot work sufficiently in foggy and cloudy environments. Then, the components of a PMMWIS operating at a frequency of 96 GHz (3 millimeters of wavelength) were combined. Behind; the receiver is located at the optimum position where the passive receiver operating at a frequency of 96 GHz gives the maximum signal. With the help of this system, measurements were carried out at different times and at different locations at various resolutions. As a result of these measurements; the main purpose of this study is to obtain the PMMWIS image of the objects in the region between the azimuth (between 120 degree and 240 degree) and the elevation (between 75 degree and -15 degree) axes of the system. Various image processing programs have been used to improve the images. The resolution of the images obtained with the system is up to 1190×890 pixels where their resolutions are higher than HD (1280×720 pixels). This resolution is the highest resolution compared to the other samples in the world within our knowledge. Because our system is a radiometric module; sky temperature profile were additionally obtained by scanning across the elevation axis in Turkey, Kocaeli, the town of Izmit. Besides all these studies; the receiver working at a frequency of 96 GHz has been purchased abroad, a domestic radiometric receiver is desired to design and realize by ourselves. The design of the parts of this domestic radiometric receiver, which can operate at 35 GHz , takes its place as a second objective in the thesis. At first, the low noise amplifier (LNA), which is the most important part of the receiver, was designed and realized. LNA design and implementation was carried out for the first time in this frequency to be used for PMMWIS in Turkey. Moreover; two different millimeter wave antennas (Vivaldi fed and antipodal Vivaldi antennas) have been designed to work with this receiver at a frequency of 35 GHz. The concepts of millimeter wave and radiometer were explained in detail in the literature researches for the thesis, and Radio Frequency (RF) circuit design was mentioned. Some descriptions of the remote sensing are given and parts of the PMMWIS are also described. Additionally; while all of these thesis studies are going on, some supports have been given for establishment of a 3 meter anechoic chamber and MILTECH (Millimeter Wave Electromagnetic and Security Technologies) Laboratory which is a new facility for Kocaeli University (KOU) within the scope of two projects supported by KOU under the leading of my supervisor.

**Keywords:** Imaging System, Blackbody Radiation, Millimeter Wave, Passive Detection.

## GİRİŞ

Elektronik ve haberleşme sektörü özellikle güvenlik alanında son yıllarda çok hızlı gelişmeler gösterdi. Gerek ülke sınırlarını korumak gerekse iletişim amaçlı kullanılmak üzere çok çeşitli ürünler üretildi. Elektromanyetik alanında da bu gelişmeleri yakalamak için bir takım çalışmalar hem dünyada hem de ülkemizde boy gösterdi. Daha güçlü bir ülke olmak ve dışa bağımlılığı azaltmak için bu tez kapsamında da özellikle güvenlik alanında kullanılmak üzere PMMDGS (Pasif MiliMetre Dalga Görüntüleme Sistemi) üzerine teorik ve pratik olarak çalışmalar yapıldı. Ayrıca bu sistemler; havalimanlarında ve alışveriş merkezi girişlerinde güvenlik amacıyla kullanılmaya başlanmıştır [1-5].

Savunmada en önemli yardımcı unsur görünmeden görebilmektir. Bunu da en iyi sağlayan araç görüntüleme ve algılama sistemleridir. Bu sistemler arasında mikrodalga kara-hava RADAR'ları, optik ve kızılötesi sistemler örnek verilebilir. Kızılötesi ve optik sistemler yüksek zayıflamadan dolayı yağmurlu ve sisli havalarda görüntüleme başarımları sağlayamamaktadır. Bu şartlarda çalışırken bu sistemlere radyo frekansı bölgesinde çalışan PMMDGS destek olmaktadır. Bunun sebebi; milimetre dalga bölgesinde yağmurlu ve sisli havalarda zayıflamanın son derece düşük olmasıdır [1-4, 6-8]. Buna karşın çözünürlük düşmektedir.

Pasif milimetre dalga görüntülemenin temeli karacisim ışımaya dayanmaktadır [9-12]. Bir pasif milimetre dalga görüntüsünde cismin kendi yayıcılığından dolayı oluşturduğu ışımının yanında gökyüzü yansımaları da etkin bir kontrast oluşturmaktadır [9, 11, 13-18].

Bir pasif milimetre dalga görüntüleme sisteminde RF devrelerinin genel hatları [6, 9, 18-44] kaynaklarından incelenmiştir. Böyle bir sistemin bileşenleri algılayıcı anten [6, 45-56]; düşük gürültülü güç kuvvetlendirici (LNA – Low Noise Amplifier) (çok katlı olabilir) [21-26, 57, 58]; mikser [24, 26-33]; dedektör [6, 34, 35, 59-61]; video kuvvetlendirici (VA – Video Amplifier) [6, 34]; ara filtre (IF - Intermediate Filter) [20, 36, 38] ve alçak geçiren filtre (LPF – Low Pass Filter)'den [19, 39, 62] oluşabilir.

Sadece LNA ve dedektör kullanılarak da bir sistem oluşturulabilir. Alıcıda kullanılan LNA katında, özellikle; milimetre dalga bölgesinde, hazır çipler tercih edilebilir [63-65]. Bunun sebebi; yüksek frekanslarda transistörlerin ve devre elemanlarının boyutlarının aşırı derecede küçülmesiyle kullanım aşamasında yaşanan zorluktur [6]. Ayrıca; paket olarak sunulması sebebiyle; bütün uyumlama devreleriyle birlikte kullanılan çipler, devre kartında az yer kaplamaktadır. Bu durum da tasarımcıya avantaj sağlamaktadır.

LNA'ların amacı, gürültü sayılabilecek diğer sinyallerin arasından gerçek sinyali seçerek, gerçek sinyalin değerini kuvvetlendirmektir. Dedektör ise bu değeri, doğru akım (DC – DA) değerine çevirir. Video kuvvetlendirici veya doğru akım kuvvetlendirici devre olarak isimlendirilen diğer devre ise doğru akım değerine çevrilen değerleri biraz daha kuvvetlendirerek daha net anlaşılmasını sağlar. Daha detaylı bilgiler tez içerisindeki ilgili bölümlerde aktarılmıştır.

Literatürde çeşitli PMMDG sistemleri gerçekleştirilmiştir. Bu sistemlerdeki temel farklılıkları; sistemin çalışma frekansı, anten tipi, tarama şekli ve yakını veya uzağı görüntülemesi ya da başka bir deyişle uygulama alanları oluşturur. Milimetre dalga bölgesindeki ilk iki pencere olan 35 GHz [2, 8, 46, 66-68] ve 96 GHz [1-4, 69] pencerelerinde sistemler vardır. 96 GHz'deki sistemlerin çözünürlüğü 35 GHz'deki sistemlere göre daha yüksektir. RF devrelerine bağlanma şekline göre kullanılacak olan anten tipi de değişmektedir. Örneğin, konnektörlü bir sistemde [3, 4] horn anten kullanılabilirken; baskı devre ile bütünleşik olması açısından mikroşerit anten de kullanılabilir [64, 65, 70]. Hali hazırda; tek radyometrik alıcılı, dolayısıyla; çift eksende tarama yapan (azimut ve kalkış eksenleri) sistemler olduğu gibi [3, 4], tek boyutta 16 veya 32 adet alıcının bulunduğu tek eksende tarama yapan (azimut eksenli) sistemler de vardır [8, 70, 71]. Aynı zamanda; LCD (Liquid Crystal Display) yapılarında olduğu gibi, matris alıcı sisteminin yer aldığı ve eksenlerde tarama yapmadan anlık görüntü, hatta; video görüntüsü elde edebileceğimiz sistemler de gerçekleştirilmiştir [1, 72]. PMMDGS'nin yakını mı yoksa uzağı mı görüntüleyeceği durumuna göre, sistemlerde mercek gibi bazı ek elemanlar da kullanılabilir. Özellikle; yakın görüntüleme güvenlik amaçlı olarak gerçekleştirilmekte ve burada bir mercek yapısı kullanılmaktadır. Mercek, tarama sisteminin farklı bir tarzda yapılmasını da sağlayabilir. Bu durumda; tarama sisteminin motoru bütün alıcı devreyi hareket

ettirmek yerine sadece merceği hareket ettirir ve tarama bu şekilde yapılır [1, 2, 71]. Sistemin; savaş uçaklarının diğer uçakları veya tehdit içerikli diğer unsurları görebilmesi [9, 13]; uçakların veya helikopterlerin havaalanlarına daha rahat inebilmesi [1, 2, 9]; yer istasyonu tarayıcılarında uzağı görüntülemesi [10]; giysi altında bulunan ve gizlenmeye çalışılan silah niteliğindeki nesnelerin algılanması [2-5, 69, 89]; iç ve dış mekanlarda güvenlik ve savunma [87, 88]; patlayıcı malzemeleri tespit edilebilmesi ve güvenlik [70] gibi çok çeşitli konularda kullanım alanları olduğu görülebilir. Genel olarak bir çoğunun; sis, toz bulutu vs. arkasını görüntüleme, navigasyon ve güvenlik amaçlı olduğu aşikardır.

Bu tezde ise; ilk olarak pasif görüntülemeye teorik bir taban oluşturan karacisim ışımaları çalışmaları ile başlanmış [73] ardından 96 GHz frekansında çalışabilen radyometrik alıcının yurt dışından satın alınması, yerli bir partner firmanın sistemin tarayıcısını imal etmesi ve radyometrik alıcının yerleştirildiği parabolik yansıtıcı antenin danışman hocam tarafından gerçekleştirilmesi ile ölçümlerde kullanılacak olan PMMDGS tabanı oluşturulmuştur. Daha sonra, alıcının en yüksek sinyalle çalıştığı optimum uzaklıkta parabolik yansıtıcı antene yerleştirilmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu PMMDGS; tek alıcılı, iki eksende mekanik tarama yapabilen, 96 GHz frekansında çalışan bir parabolik yansıtıcı antenden gelen sinyalin verildiği bir LNA ve besleme devresi, dedektör, video kuvvetlendirici ve alçak geçiren filtreden oluşmaktadır. Bu sistem, mekanik taramayı gerçekleştiren ve elde edilen sinyalleri görüntüye çeviren bir yazılıma (Passive MilliMeter Wave Imager Program – Pasif MiliMetre Dalga Görüntüleme Programı) da sahiptir. Tezde kullanılan PMMDGS ile elde edilen görüntü hazır görüntü işleme programlarıyla da iyileştirilmiştir. Bununla beraber; bir PMMDGS ile ilk defa gökyüzü sıcaklığı profili elde edilmiştir. Gökyüzü sıcaklığı genellikle görüntüleme amaçlı olmayan radyometrik alıcılara gerçekleştirilmektedir, tez bünyesinde; görüntüleme amaçlı olan radyometrik alıcı ile gökyüzü sıcaklığı çalışması yapılmıştır [74, 75]. Tezin önemli farklılıklarından birini de bir PMMDGS alıcısının millileştirilme çalışması oluşturmaktadır. Daha önceden, 96 GHz frekansında çalışan PMMDG sistemlerinin bileşenleri TÜBİTAK MİLTAL ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir [3, 4]. Bu tezde ise, Türkiye’de ilk defa, komponentleri daha kolay temin edilebilen, bileşenleri daha kolay oluşturulabilen, 35 GHz frekansında çalışan bir alıcının tasarım çalışmaları

gerçekleştirilmiştir. İlk etapta, en kritik parça olan LNA tasarımı ve gerçekleştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalar esnasında, iki adet LNA tasarlanmış, gerçekleştirilmiş, ancak; bazı imkansızlıklardan dolayı istenilen frekansta çalıştırılmamıştır. Gerçekleştirilen LNA'nın hem konnektörle bir horn antene bağlanması hem de devre ile bütünleşik bir mikroserit anten kullanılması durumları [49] düşünülerek piyasadan Ka bant bir horn anten satın alınmış ayrıca Vivaldi fed ve antipodal Vivaldi olmak üzere iki farklı anten tasarımı yapılmıştır ancak bu iki anten gerçekleştirilmemiş daha çok horn anten üzerinde durulmuştur [45-47, 68].

Tez kapsamında ilk önce milimetre dalga konusu hakkında temel bilgilerden bahsedildi. RF (Radyo Frekansı), alıcı – verici devreler, devre elemanlarının boyutları ve lehimleme üzerine açıklamalar yapıldı. Milimetre dalga ve mikrodalga karşılaştırması yapılarak milimetre dalga görüntüleme tekniği aktif ve pasif olarak aktarıldı.

İkinci bölümde; radyometrik sistemler, radyometre, mutlak sıcaklık vs. tanımları yapıldı. Yayıcılık, yansıtıcılık, emilim ve geçirgenlik gibi özel kavramların açıklaması karacisim ile birlikte yapıldı. Toplam güç radyometresi ve Dicke radyometresi başta olmak üzere radyometre tanımları yapılarak bu bölüm bitirildi.

LNA, mikser, dedektör gibi radyometrelerde kullanılan devrelerin tanımları ve açıklamaları üçüncü bölümde detaylıca yer aldı. İlaveten; çok sayıda literatür örnekleri verilerek pekiştirmeler yapıldı.

Devre tasarımı başlı başına önem arz eden bir husustur. İçinde LNA gibi aktif devreler yer aldığına bu önem daha da artmaktadır. Bu nedenle; Devre Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar başlığı altında ayrı bir başlık açmak elzemdir. Dördüncü bölümde yer alan bu başlıkta empedans uyumu, kazanç, kararlılık gibi önemli tanımlar yer almaktadır.

Beşinci bölümü tezin bir uygulaması olan uzaktan algılama konusu oluşturmaktadır. Hem pasif milimetre dalga sistem örnekleri hem de sistemlerin en önemli parçasını oluşturan radyometrik alıcı örnekleri bu bölümde verilmiştir. Uzaktan algılamayı

sağlayan diğer sistemler ile pasif milimetre dalga sistemlerin karşılaştırılması da tez içerisinde yapılmıştır.

Literatürdeki tez konusundaki çalışmaların anlatıldığı ilk beş bölümden sonra, tarafımızdan gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.

Altıncı bölümde; kullanılan PMMDGS'nin parçaları ve bu parçaların kullanımları detaylıca anlatılmıştır. Sistemdeki 2 eksenli konumlandırıcı motor, görüntüleme programı, ve üç ayaktan oluşan tarayıcı sistem; denge ağırlıklarıyla birlikte parabolik yansıtıcı anten; güç kaynağı, horn anteni ve giriş – çıkış pinleri ile birlikte radyometrik alıcı tanıtılarak; tüm sistem bağlantı şemalarıyla birlikte verilmiştir.

Gerek TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu); gerekse Kocaeli Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan laboratuvarlarda yapılan ölçümler yedinci bölümde detaylıca aktarılmıştır. Ölçümler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu bölümde yer alan ölçümler, genellikle 96 GHz frekansında çalışan radyometrik alıcı ile yapılmıştır.

Sekizinci bölümde; yerli tasarım 35 GHz frekansında çalışan radyometrik alıcı, alıcının üretim aşamaları ve ölçümleri üzerinde durulmuştur [57, 58, 63]. LNA ve LNA'nın girişine bağlanacak olan anten çalışmaları önemli bir yer tutmuştur [45-47, 68]. Dedektör olarak çeşitli çipler [59, 60] satın alınmıştır.

Ülkemizdeki bir açığı gidermek veya elektromanyetik sektörü alanında ilerleme sağlamak için yapılan bu çalışma ileriye dönük ve geliştirilmeye açık bir çalışmadır. Üzerine eklemeler yapılarak sektörde belirli bir yer edinilebilir. Pasif milimetre dalga sistemleri tez içeriğinde de belirtildiği üzere diğer algılama sistemlerine göre pozitif bir imaja sahiptir. Sistemlerin maliyeti düşünüldüğünde ve masum insanlara zarar veren sistemlerin hoş karşılanmadığı bir gelecekte böylesi bir sisteme sahip olan bir Türkiye her zaman bir adım ileride olacaktır.





Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere; alıcı antenin çıkışından gelen sinyal, sistemdeki gürültü etkisini 6 dB'nin altına düşürmek için 10 ila 15 dB arasında yeterli kazançta sahip olan LNA tarafından kuvvetlendirilmiştir. LNA, sinyali gürültüyü azaltacak şekilde tasarlanan bant geçiren filtreye yönlendirmiştir. Daha sonrada mikser ve orta frekans (IF – intermediate frequency) kuvvetlendirici sırasıyla yerini almıştır [6].

### **1.1.2. Verici**

Verici devre, alıcı devrenin izlediği yolu ters taraftan aynı teknik ile izler ve antene ulaşır. Çalışma frekansındaki istenilen sinyal seviyesi güç kuvvetlendirici yardımıyla sağlanır.

Güç kuvvetlendiriciden çıkan sinyaller bant geçiren filtreye yönlendirilir. Bu aşamada sinyaller sıkıştırılarak ve taşıyıcı besleme kullanılarak aktarılabilir.

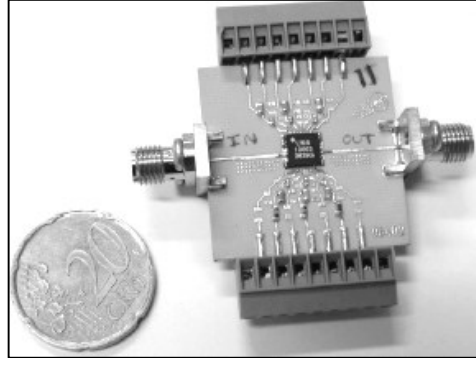
### **1.2. Milimetre Dalga Devre Elemanları Paketleri, Boyutları ve Devre Kartına Entegrasyonu**

Standart devre elemanları gibi olmayan ve çok daha küçük boyutlarda olan milimetre dalga devre elemanlarının devre kartına lehimlenmesi ve entegrasyon işlemi çok daha farklıdır.

DIP (Dual In-line Package – çift sıralı paket – doğrudan 'breadboard'a takılabilen devre elemanı) olan milimetre dalga devre elemanının boyutu 2,54 mm civarlarında iken SMD (Surface Mount Device) olan devre elemanının boyutu 0,65 mm'ye hatta 0,5 mm'ye dahi düşebilmektedir. Mikroskop ile veya bilgisayar büyüteci sayesinde görülen devre elemanlarının boyutu çok daha küçük olabilir.

Boyutun küçülmesi ile teknolojinin geliştiği ve telefon gibi bir elektronik cihaza çok daha fazla çip veya transistör yerleştirileceği düşünülebilir fakat aynı zamanda lehimleme işleminde de çeşitli sıkıntılar süregelmektedir.

Bu sıkıntıları aşmak için wire-bonding de denilen yeni lehimleme teknolojisi ihtiyaçları doğmuştur.

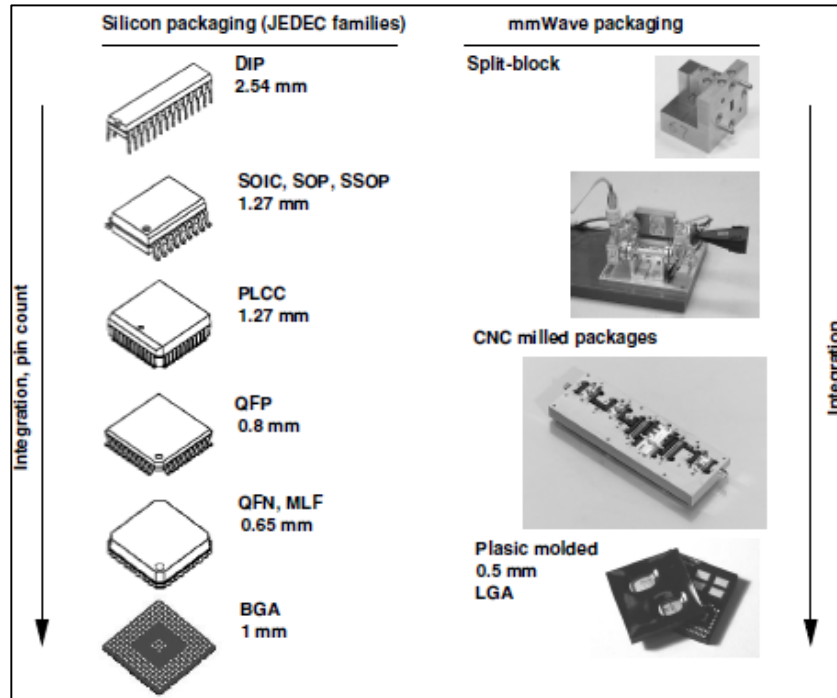


Şekil 1.2. K-bant güç kuvvetlendiricisi boyut örneği

Şekil 1.2.'de, K-band güç kuvvetlendiricisinin boyutları bir madeni para ile kıyaslanarak aktarılmıştır [6].

Çoklu Çip Modülleri (MCMs – Multi Chip Modules) ve Tekil Mikrodalga Entegre Devreleri (MMICs - Monolithic Microwave Integrated Circuits) denilen yeni çip sistemleri ile teknoloji ilerlemiş ve milimetre dalga alanında daha fazla çalışma yapmanın yolu açılmıştır.

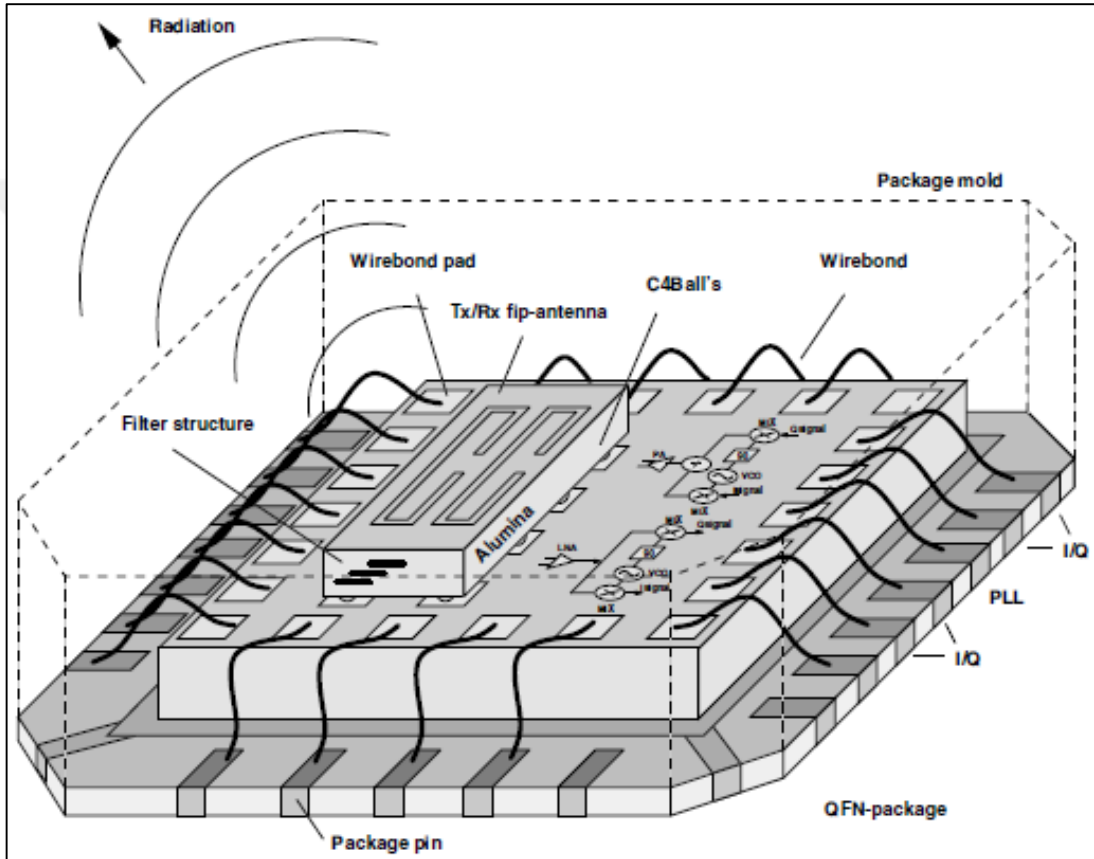
### 1.2.1. Wire-bonding hakkında genel bilgi



Şekil 1.3. Standart paketleme teknolojilerinin milimetre dalga paketleme teknolojileri ile karşılaştırılması

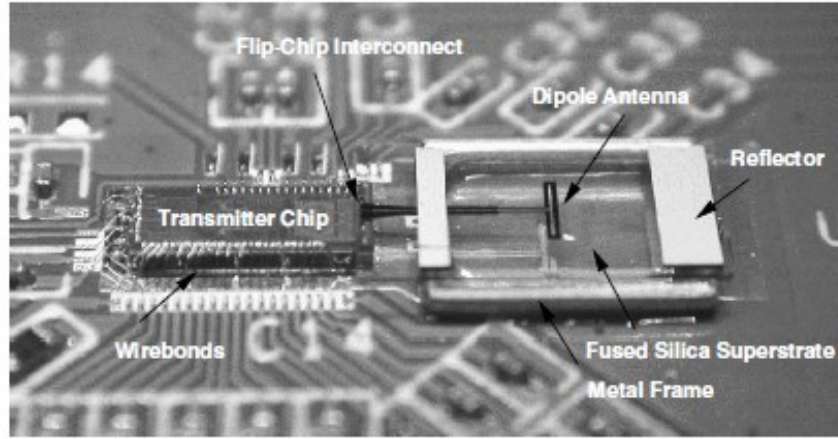
Şekil 1.3.'te, milimetre dalga devrelerinin neredeyse eski devre elemanları boyutunda olduğu görülmektedir. Bu kıyaslamadan milimetre dalga devre elemanlarının ne ölçüde küçüldüğü öngörülebilir [6].

Mikrometre veya nanometre boyutunda olan milimetre dalga devre elemanları da vardır. CNC (Computer Numerical Control) makine kesimi sayesinde dalga kılavuzları benzeri milimetre dalga devre elemanları ya da devreleri de yapılabilir.



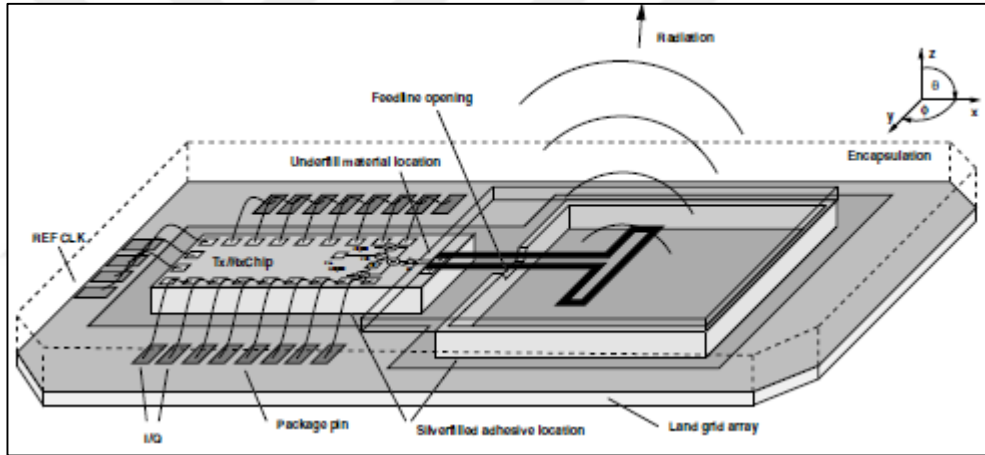
Şekil 1.4. Wire-bonding lehimleme teknolojisi

Şekil 1.4.'te, milimetre dalga devre elemanları ile oluşturulan bütünleşik devrenin veya MCM (Multi-Chip Module) – MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) gibi çiplerin devre kartına wire-bonding teknolojisi ile lehimlenmesi wire-bondlar ile gösterilmiştir [6].



Şekil 1.5. Antene bağlı olan çipe yapılan wire-bond

Şekil 1.5.'te, çip ve anten boyutları ile wire-bonding lehimleme teknolojisine bir örnek gösterilmiştir [6].

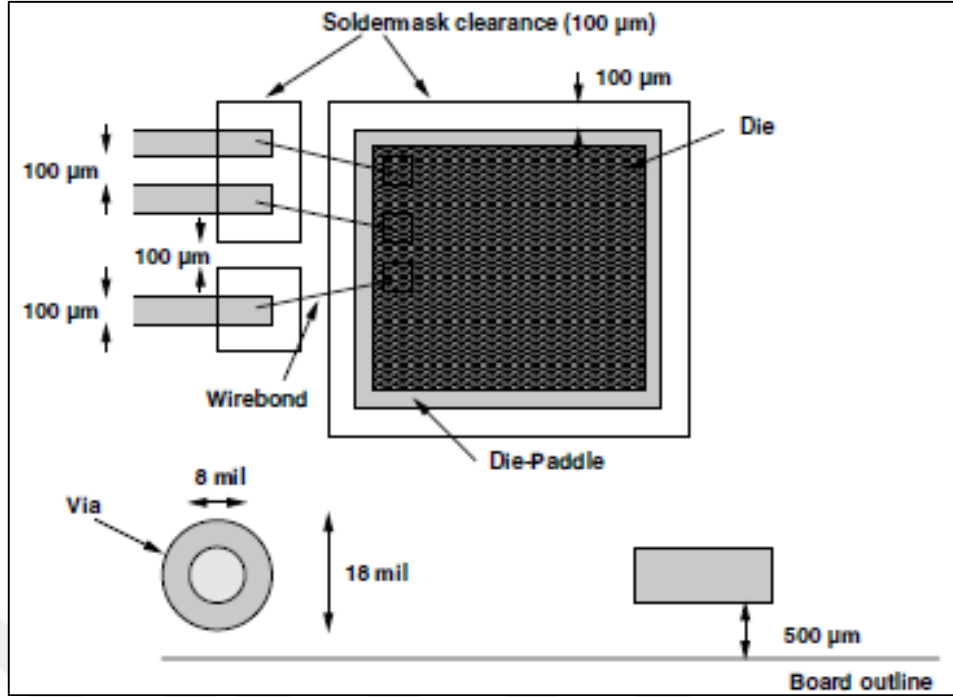


Şekil 1.6. Antene bağlı olan çipe yapılan wire-bondun 3 boyutlu çizimi

Şekil 1.6.'da, RF sinyalin paketin içinden geçerek antenden yaptığı ışımaya görülebilmektedir [6].

### 1.2.2. Wire-bonding kuralları

Şekil 1.7.'de, milimetre dalgı devre elemanlarının PCB'ye (Printed Circuit Board) baskı devresi yapılırken, uygulanacak kurallar örnek bir resim ile verilmiştir. Pinlerin arasındaki boşluklar, pinlerin kalınlıkları, deliklerin iç ve dış yarıçapları, PCB dış bölgesine olan mesafe vs. çoğu özellik devre elemanının bilgisayarında bulunmaktadır [6].



Şekil 1.7. Wire-bonding PCB tasarımı kuralları

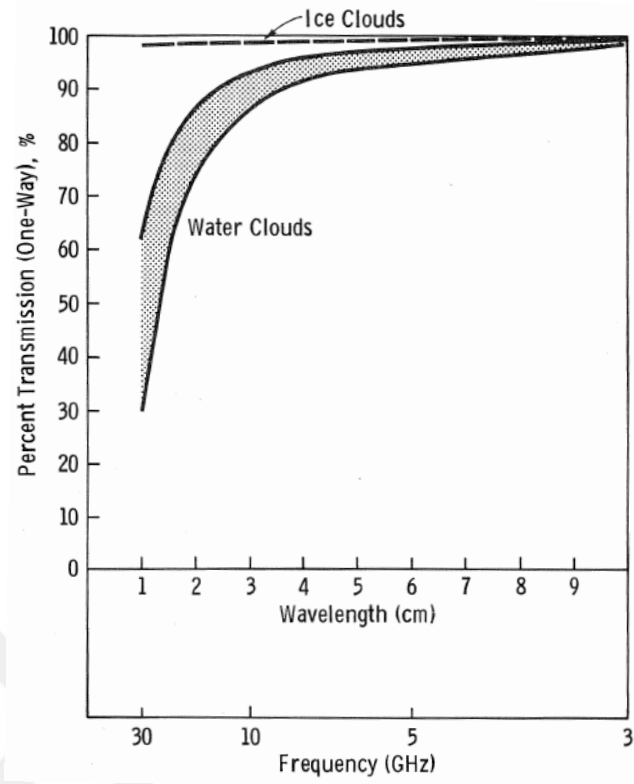
### 1.3. Neden Mikrodalga veya Milimetre Dalga?

Uzaktan algılama işleminde mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarının kullanımının temel sebebi bulut, yağmur gibi doğa olaylarında görüntülemeye izin vermeleridir.

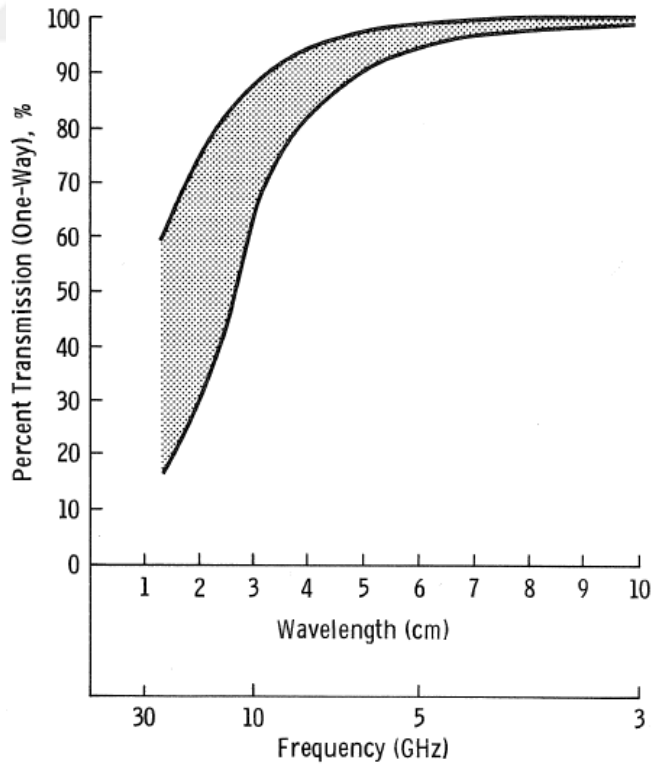
Güneşten gelen ışınları yansıtma (reflectivity -  $\rho$ ) veya içine emerek (absorbitivity -  $\alpha$ ), yayma (emissivity -  $\epsilon$ ) özelliği olan cisimler uzaktan algılama sistemleri ile tanımlanabiliyorken çeşitli hava olayları bu tanımlamaya engel olmaktadır. Mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarında ise bu etki kızılötesi ve optik frekanslara göre çok az olmaktadır.

Buz yüklü bulutlar ile yağmur yüklü bulutlar arasında yüksek frekanslarda (düşük dalga boylarında) bir takım farklılıklar bulunur. Buz yüklü bulutlarda iletim her frekansta üst seviyelerdeyken, yağmur yüklü bulutlarda transmisyon oranı düşüktür.

Kar tanelerinin görünür bölgede iyi yansıtıcı olması fakat radyometrik olarak kötü yansıtıcı, iyi emici olması yine aynı neden ile açıklanabilir [12].



Şekil 1.8. Radyo dalgaları iletiminde bulutların etkisi



Şekil 1.9. Radyo dalgaları iletiminde yağmurun etkisi

Mikrodalga veya milimetre dalga boylarına uygun frekansların seçilmesindeki diğer bir etken ise ağaç yaprakları gibi bitki örtüsü arkasını da optik sistemlere göre daha net görebilmesidir. Ağaçların veya otların arasındaki hareketlilik özellikle askeri hareketlilik milimetre dalga görüntüleme sistemleri ile daha rahat anlaşılabilir. Üçüncü etken ise, aynı şartlar altında elde edilen bilgilerin farklı olmasıdır. Örneğin; optik sistemler ile yüzeyin rengi görülebilirken, milimetre dalga sistemler ile geometrik ve dielektrik özellikler de elde edilebilir. Her şart altında optik, kızılötesi ve milimetre dalga / mikrodalga sistemleri bir arada kullanmak en iyi seçenek olacaktır.

Çoklu dalga boyu (multiwavelength) teknolojisi ile üretilen görüntüleme sistemlerine örnek olarak; Nimbus Uydu – Atmosfer – Ses Programı verilebilir. Evrensel bir harita oluşturulurken bir çok dalga boyu, dolayısıyla; frekans birlikte kullanılmıştır. Yine çeşitli ülkelerin askeri teknolojilerinde farklı frekanslardan oluşan sistemler bir arada kullanılmaktadır [12]. Şekil 1.8. ve Şekil 1.9. grafiklerinde radyo dalgaları iletiminde sırasıyla bulutların ve yağmurun etkisi görülmektedir.

#### **1.4. Milimetre Dalga ve GigaHertz - TeraHertz Görüntülemeye Giriş**

Milimetre dalga ve THz görüntüleme sistemleri, kızılötesi (IR) ve X-ray sistemleri gibi veya onlara yardımcı olacak şekilde insanların çıplak gözle göremediklerini görmelerini sağlar. İnsanlar optik spektrumdaki 380 ile 750 nm arasındaki dalga boyunda olan görüntüleri görebilirler. Bu görme olayı gün ışığı veya herhangi bir aydınlanma ile olur. Bu bölgede insan gözü her dalga boyunu farklı bir renk olarak algılar. Işık olmadığı zamanlarda uygun sensörler cisimlerden gelen emisyonu kızılötesi yasalarına göre algılar. Bu yasalar genellikle Planck ışınım yasaları olarak anılır (Planck's radiation law). Kızılötesi sensörler yardımıyla 30 seneyi aşkın bir süredir gece görüşü sağlanmaktadır [6].

Milimetre dalga bölgesi elektromanyetik spektrumda 30 GHz ila 300 GHz arasına denk gelir. 30 GHz frekansındaki milimetre dalga boyu 10 mm iken 300 GHz frekansındaki dalga boyu 1 mm boyundadır. 300 GHz frekansından büyük frekanslardaki dalga boyları genellikle submilimetre veya milimetre altı gibi terimler ile anılır.

#### **1.4.1. Milimetre dalga görüntüleme avantajları ve kullanıldığı alanlar**

Milimetre dalga ışımalarının avantajları gün ışığında ve gece çalışabilmesinin yanında çözünürlüğü düşük olan havalarda, örneğin; dumanlı, sisli, bulutlu, kum fırtınası olan havalarda da çalışabilmesidir. Milimetre dalga teknolojisi ile yapılan görüntüleme sistemlerinde bu gibi hava olayları sırasında bile zayıf olan görüntü daha net bir biçimde sunulabilmektedir. Bu geniş görüş yeteneği sayesinde askeri alanda daha çok kullanılmaktadır. Gözetim, hassas hedefleme, navigasyon, arama ve kurtarma vs. kullanıldığı diğer askeri alanlardır. Ticari alanda ise, uçak iniş yardımları, havaalanı operasyonları ve sis içindeki karayolu trafik izleme durumlarında milimetre dalga görüntülemeden yararlanır. Havaalanı gibi mekanlarda gizlenmiş şekilde bulunan silahların ve patlayıcı maddelerin de bulunması amacıyla milimetre dalga sistemleri güvenliği artırma amacıyla kullanılır. Kıyafet altına gizlenmiş çeşitli yapılarda olan silahların bulunması konusunda milimetre dalga teknolojisi ile üretilen sistemler mevcuttur. X-ray ile kıyaslandığında insan sağlığına zarar vermeyecek kadar insan dostu bir sistem olarak adlandırılabilir çünkü herhangi bir madde iyonize etmemektedir [6]. Uzaktan algılama, radyo astronomisi ve plazma teşhisi milimetre dalga görüntülemenin kullanıldığı diğer önemli alanlardır.

#### **1.4.2. Milimetre dalga anten ile mikrodalga antenin karşılaştırılması**

Mikrodalga antenler ile milimetre dalga antenler mukayese edildiğinde; milimetre dalga antenlerde anten açıklığının daha az olabildiği veya anten açıklığı aynı olan bu iki çeşit antende milimetre dalga antenin çözünürlüğünün daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Milimetre dalga ortaya çıktığı ilk yıllardan itibaren müthiş bir şekilde desteklendi. Bu desteğin nedeni sadece sisli ve dumanlı havalarda görüş yeteneği sunması değil, havadaki oksijen, karbondioksit veya su buharından da en az etkilenen sistemlerden biri olmasıydı. Milimetre dalga boylarındaki tüm frekanslarda bu kadar etkili olmayan milimetre dalga sistemleri için özel frekans aralıkları keşfedildi. 35, 94, 140 ve 220 GHz frekanslarında hem sisli, hem de temiz havada net görüntü sağlanabilmekteydi. Bu frekanslara pencere adı verildi. Zayıflamanın az olduğu bu pencerelerde çalışan sistemler üzerine yeni çalışmalar yapıldı. Şekil 1.10.'da zayıflamanın frekans eksenine göre grafikleri verilmiştir. Bu grafiklere göre hem yağmurun hem de sisin milimetre dalga ve mikrodalga bölgelerine inildikçe optik ve





## **1.5. Milimetre Dalga Görüntüleme Tekniği**

Plastikten yapılan ve metal dedektörlerin göremediği bıçak, patlayıcı gibi unsurları, likit patlayıcıları ve seramik silahları radyometrik alıcılarla görmek mümkündür.

Londra'da gerçekleştirilen intihar bomba saldırısından sonra Birleşik Krallık milimetre dalga görüntüleme teknolojisinin kullanıldığı tarama cihazlarını kullanmaya başlamıştır. Böylece kıyafetlerin altına veya duvarın arkasını bomba araması yapmak için görüntüleyebilmiştir [6].

Milimetre dalga görüntüleme teknolojileri pasif ve aktif olarak ikiye ayrılır.

### **1.5.1. Pasif milimetre dalga görüntüleme**

Pasif milimetre dalga algılama ve görüntüleme teknolojisi kızılötesi (infrared – IR) teknolojisine çok benzerdir. 1800 yılında William Herschel tarafından keşfedilen ve çalışmaları başlatılan kızılötesi sistemler I. Dünya Savaşı'nda dahi İngilizler tarafından 1 mil uzaktaki savaş uçaklarını görüntülemek için kullanılmıştır. 1937 yılında Birleşik Krallık'tan Jones isimli mühendis kızılötesi sensörünü uçan sistemlere entegre etmiş ve düşman uçaklarını daha kolay bir şekilde algılamanın yolunu açmıştır. Hazırladığı sisteme ışık algılama ve mesafe ölçme (light detection and ranging - LIDAR) adı verilmiştir. Kızılötesi alanında yapılan çalışmalar ilerlemiş ve radyometrik görüntü elde etme tekniğine ulaşılmıştır [9, 13].

Pasif milimetre dalga görüntüleme teknolojisi pasif algılamadan yararlanır. Bu algılamada cisimlerde doğal yollarla oluşan ışıma kullanılır. Cisim üzerinde her bölge farklı sıcaklıklarda ışıma yapar. Pasif milimetre dalga sistemi üzerindeki alıcılar her sıcaklığı farklı bir piksele karşılık gelecek şekilde görüntüye aktarır. Güneş ısısı, cismin kendi ısısı vb. ısıların sayesinde ışıma yapan cisim nihayetinde görüntüde yer bulur. Yeni sensörlerde bulunan milimetre dalga antenleri, Schottky diyot mikserleri ve sıcak elektron bolometreleri sayesinde; bu görüntüleme işlemi eskiye göre çok daha hızlı bir şekilde yapılır.

Herhangi bir sinyal veya ışıma göndermeden sadece ışıyan cisimlerin ışıma miktarını ölçerek görüntüleme yapması bu sistemin askeri ve sivil olarak kullanılmasını artırmıştır.

Alışveriş merkezleri, havaalanları, istasyonlar veya kritik bölgelerde kullanımı; ışıma yapmadığı ve zarar verecek etkisinin neredeyse hiç olmaması sebebiyle artmıştır.

### **1.5.2. Aktif milimetre dalga görüntüleme**

Aktif radyometrik sistemler daha çok kapalı mekanlarda kullanılır. Bunun nedeni ise gün ışığının fazla olmaması, dolayısıyla; kendiliğinden doğal olarak yansıyan enerjinin veya yayıcılığın az olmasındandır. Aktif radyometrik sistem genellikle kritik bölgelerin giriş kapılarında bulunur. Pasif sistemden farkı sinyal yayması ve yaydığı sinyalden geri gelen sinyallere göre işlem yapmasıdır. Bu yönüyle RADAR (RAdio Detection And Ranging) sistemlerine benzemektedir. Aktif radyometre kısa mesafeli görüntülemelerde kullanıldığı gibi duvar arkasını görüntüleme gibi teknolojik yeni nesil sistemlerde de kullanılabilir.

Aktif radyometreler, pasifleri gibi anten, dedektör, mikser gibi bileşenlerden oluşur.

Aktif radyometrik sistemler sinyal yaymasına karşılık X-ray'e göre çok az zararlıdır çünkü minimum miktarda enerji ile çalışabilirler [6].

### **1.5.3. Milimetre dalga sistemleri üzerine genel bakış**

Son zamanlarda yayınlanan makaleler de gösteriyor ki milimetre dalga sistemlerinde kullanılan LNA, mikser, dedektör gibi çip veya devrelerin yapı taşı olarak görülen transistör ve diyot gibi malzemelerin yapımında kullanılan yarı iletkenlerin gelişiminde büyük atılımlar oldu. Bu büyük gelişimler frekans değerindeki artıştan da görülebilir.

Çalışma noktası 30 GHz ile 100 GHz arasında olan bir sürü çalışma yapıldı. Çalışma noktasının yükselmesi ile entegre devre (integrated circuit - IC) üretimi hızlandı. GaAs (Galyum - Arsenit) ve SiGe (Silikon – Germanyum) gibi yarı iletkenlerin başını çektiği bu üretimler SOI (Silicon On Silicon), CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), gibi teknolojileri beraberinde getirdi ve hız kattı [6].

Günümüzdeki teknolojinin 1900'lü yıllarda olmaması ve teknolojideki zorluklardan dolayı; milimetre dalga ve milimetre-altı (sub-millimeter) sistemlerindeki gelişmeler son yıllarda daha fazla olmuştur. Performans, kompaktlık ve maliyet etkinliği

açısından kızılötesi sistemler 1990 yılına kadar daha çok tercih edilmiştir. 1990 yılından sonra milimetre dalga sistemlerinin gelişmesi için teknik alt yapı hazırlanmış ve güçlü bir potansiyel doğmuştur.

Milimetre dalga ve milimetre dalga-altı (sub-millimeterwave) sistemlerin günümüzde kızılötesi sistemler yerine tercih edilmesinin temel nedeni elektromanyetik dalganın izlediği iletim yolunda sis, duman ve kül gibi hava olaylarından daha az etkilenmesi ve bu gibi durumlarda hedefe daha çabuk penetre olabilmesidir. Ayrıca kıyafetlerin ve bazı yapı malzemelerinin içinden de geçebilmesi önemli bir seçim sebebidir.

Kişilerin veya çantaların içine gizlenen silahların ve patlayıcıların bulunabilmesi, helikopter ve uçak gibi hava taşıtlarının kötü hava koşullarında pisti görebilmesi veya atış alanını görebilmesi, duvar gibi yapıların içinden geçen kabloların yerinin bulunabilmesi gibi çeşitli uygulamalar da milimetre dalga ve milimetre dalga-altı dalga sistemlerinin tercihinde etkendir [9].

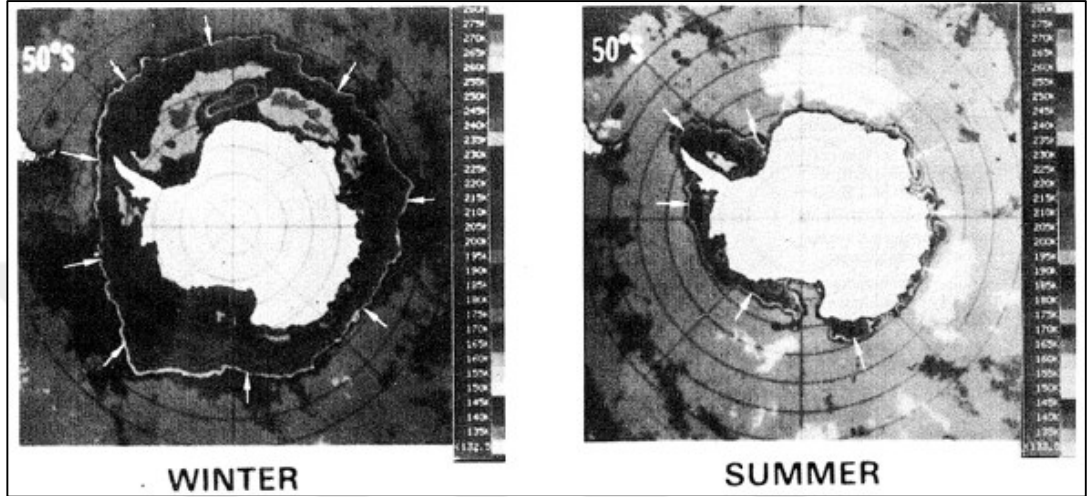
#### **1.5.4. Milimetre dalga ve mikrodalga uzaktan algılamasının tarihsel gelişimi**

Tarihsel olarak mikrodalga algılama tekniği ilk olarak 1930-1940'lı yıllarda kullanılmaya başlamıştır. Bu ölçümlerde daha çok havadaki elektromanyetik enerji ölçülmek istenmekteydi. 1950'li yıllardan sonra karasal ölçümler baş gösterdi. 4,3 mm dalga boyundaki Teksas Üniversitesi'nin ürettiği radyometre güneş sıcaklığını ve atmosferik zayıflamayı hesaplamak için kullanıldı. Su, tahta, çimen, asfalt gibi zeminlerde ölçümler alındı. (Straiton, 1958)

Son 20 yılda pasif mikrodalga ve milimetre dalga ölçümleri ön plana çıktı. Bu durumda; RADAR (RAdio Detection And Ranging) aktif mikrodalga olarak sınıflandırıldı. Meteorolojik, hidrolojik, okyanus bilimi ve askeri uygulamalarda çok iyi yer bulan mikrodalga / milimetre dalga sistemleri gelişmeye devam etti [12].

14 Aralık 1962'de Mariner 2 Uzay Gemisine entegre olan mikrodalga görüntüleme sistemi Venüs Gezegeni'ni gözlemledi (Barrett ve Lilley, 1963). Bu sistemde; 1,35 cm ve 1,9 cm dalga boyları kullanıldı. 1968'de içinde 4 adet mikrodalga görüntüleyici bulunan Cosmos 243 adlı Rus uydusu pasif olarak Dünyayı gözlemledi (Basharinov ve ark., 1971).

Cosmos 384; Nimbus 5, 6, 7; Skylab; TIROS; Seasat pasif alıcılar ile uzayı tarayan diğer uydular oldular. Bu uydularda genellikle Elektriksel Arama Mikrodalga Radyometresi (Electrically Scanning Microwave Radiometer – ESMR) kullanıldı. Nimbus 5, 1,55 cm dalga boyuna, Nimbus 6, 0,81 cm dalga boyuna sahipti [12]. Şekil 1.11.'de Nimbus 5 ile çekilen Antarktika'nın görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1.11. ESMR ile kış ve yaz mevsimlerinde radyometrik fotoğrafı çekilen Antarktika

## **2. MİKRODALGA VE MİLİMETRE DALGA RADYOMETRİK SİSTEMLER**

Radyometre temel olarak güç ölçer demektir. Çoğu mikrodalga ve milimetre dalga uygulamalarında radyometrenin ölçtüğü bu güç sıcaklık ile eşdeğer olarak gösterilmiştir [20].

Radyometre, bilim ile mühendislik alanına girer ve elektromanyetik ışımanın ölçülmesiyle ilgilidir. Bütün maddeler (katı, sıvı, gaz ve plazma) yüzde yüz yansıtıcı değilse bir miktar emilim ve yayım yaparlar. Elektromanyetik ışımaya ile adlandırılan bu yayım radyometre ile ölçülür [12].

### **2.1. Radyometre Nedir?**

Radyometre tasarlanan devrenin ölçtüğü frekans aralığına göre milimetre-altı dalga boyundan cm dalga boyuna kadar olan elektromanyetik dalgaların enerji yükünü ölçer. Algılanacak olan enerji cismin kendinden yayıldığı gibi başka bir yerden alıp tekrar yaydığı enerji de olabilir. Genellikle yayılan bu enerji doğal bir enerjidir ve güneşten aldığı enerjiyi ne ölçüde yansıttığı ve yaydığı ile ilgilidir.

Radyometreler çok hassas düşük gürültü alıcılarına sahiptir, dolayısıyla; çok küçük enerji düşüş ve yükselişlerini algırlar [9]. Radyometre, elektromanyetik ışımanın ölçüldüğü bir ölçüm aletidir. Bir mikrodalga / milimetre dalga radyometre çok düşük mikrodalga / milimetre dalga ışımaları ölçebilen yüksek hassasiyetli alıcıdır [12].

### **2.2. Radyometre Temelleri**

Radyometrik alıcının ölçtüğü hedeften gelen toplam ışımaya 2 parçadan oluşur [9]:

a. Fiziksel sıcaklığı mutlak sıcaklıktan (0 K) daha fazla olan cisimler ısı yayarlar buna emisyon denir. Bir cismin emisyon katsayısı, yaydığı enerjinin karacisim ışımaya enerjisine oranı olarak belirlenir. Bu oran cisim ile karacismin aynı ortam ve sıcaklıkta yayıcılık yapması ile bulunur. Boyutsuz olan bu katsayı ile malzemenin emdiği/soğurduğu enerjinin ne kadarını yayabildiği belirlenir. Yayıcılık katsayısı sıcaklığa, ışımaya emme açısına ve dalga boyuna bağlıdır.

b. Işıma ayrıca yansıtıcılık ile de ilgilidir. Cisim diğer kaynaklardan aldığı enerjiyi doğrudan aktarabilir, bu duruma yansıtıcılık denir. Kullanılan terimlerden anlaşılacağı üzere; mutlak sıcaklık, karacisim, emme gibi kavramların öncelikle belirtilmesi gereklidir.

### 2.2.1. Mutlak sıcaklık

Mutlak sıcaklık, Kelvin birimi cinsinden 0 K, Celcius birimi cinsinden -373 °C'yi ifade eder. Sıcaklığı olan her cisim, -373 °C'den büyük sıcaklığa sahip demektir ve bu şekildeki her cisim ışıma yapar. Planck bu ışıma olayını;

$$P_r = \frac{2hf^3}{c^2} \times \left( \frac{1}{e^{hf/kT}-1} \right) \Delta v d\Omega \quad (2.1)$$

denklemini ile anlatmıştır.  $P_r$  ışıyan gücü,  $d\Omega$  birim katı açıyı,  $\Delta v$  bant genişliğini ifade etmektedir.  $h$  Planck sabitidir ve değeri  $6,63 \times 10^{-34}$  Js'dir.  $f$  frekans,  $c=3 \times 10^8$  m/sn ışık hızı,  $T$  sıcaklık (K-Kelvin) ve  $k=1,38 \times 10^{-23}$  J/K Boltzman sabitidir [9].

Denklem (2.1) alansal olarak sadeleştirilmiş Planck denklemidir. Hacimsel olarak hesabı bu denklemin  $4/c$  ile çarpılmasıyla elde edilir [10].

Ağırlık ve Uzunluk Birimleri Genel Konferansı'na kadar (1967) Kelvin birimi °K olarak gösteriliyordu. Bu konferanstan sonra sadece K ile gösterilmeye başlandı [12].

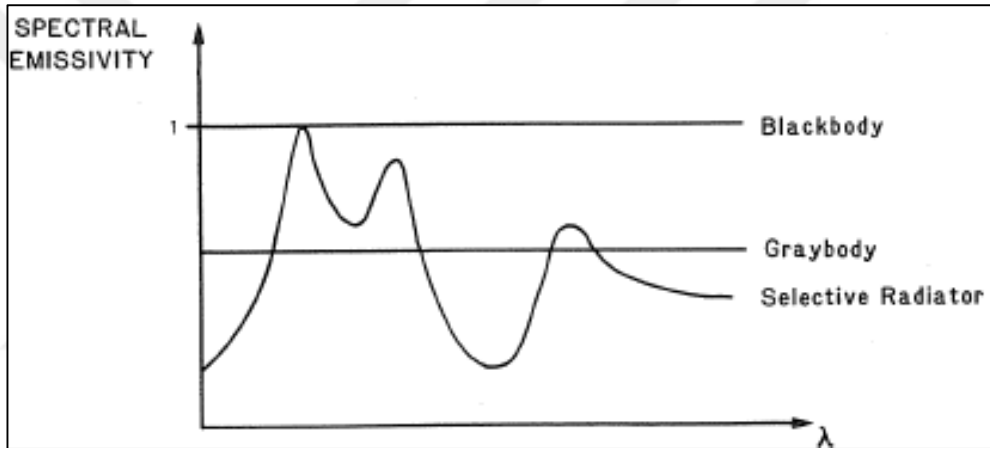
### 2.2.2. Karacisim

Karacisim yayıcılığı %100 olan cisimdir. Üzerinde bulunan bütün sıcaklığı çevresine yayar. Üzerine gelen ışımaların ise tamamını emer hiç yansıtmaz. Dolayısıyla; emme oranı da yayıcılık gibi maksimum düzeydedir. Yansıtıcılık özelliği bulunmaz. Üzerine gelen gücün/enerjinin tamamını emdiği için arka tarafından hiçbir güç/enerji geçişi bulunmaz. Bu demektir ki; geçirgenlik özelliği de bulunmamaktadır. Karacisimlerin yaptıkları ışıma karacisim ışıması olarak adlandırılır. Karacisim ideal bir kavramdır, gerçekte ise karacisim yok, karacisme yakın nesnelere vardır. Emisyon, transmisyona, emilme, yansıma oranları hesaplanırken; bulunan ifadeler karacisim ifadesine bölünür.

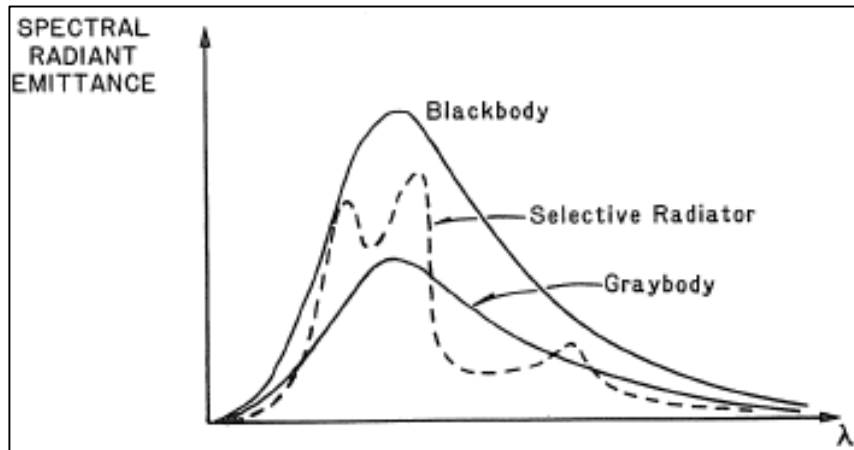
Eğer bir madde termodinamik açıdan bulunduğu ortam ile uyum içinde ise karşıladığı ışımaya enerjisinin yarısını emer yarısını ise yansıtır. Bu maddelere gricisim denir. Eğer tüm ışımayı emerse/soğurursa karacisim adını alır [10].

### 2.2.2.1. Gricisim

Eğer bir cisim üzerine gelen radyometrik ışımının yarısını emiyor yarısını yansıtıyor ise gricisim adını alır. Bu tip cisimlerde yayıcılık  $\epsilon=0,5$  olarak varsayılabilir. Dolayısıyla; emme yansıtmaya eşit olduğuna göre  $\alpha=p=0,5$  olur. Başka bir deyiş ile gricisimlerin karacisimlere göre  $\epsilon$  değerinin 1'den küçük olduğu söylenebilir, Şekil 2.1. ve Şekil 2.2. grafiklerinde karacisim ve gricisim kıyaslamaları verilmiştir [11].



Şekil 2.1. Karacisim, gricisim ve seçilen başka bir yayıcının dalga boyuna karşı spektral yayıcılık katsayısı grafiği



Şekil 2.2. Karacisim, gricisim ve seçilen başka bir yayıcının dalga boyuna karşı spektral radyant yayıcılık grafiği

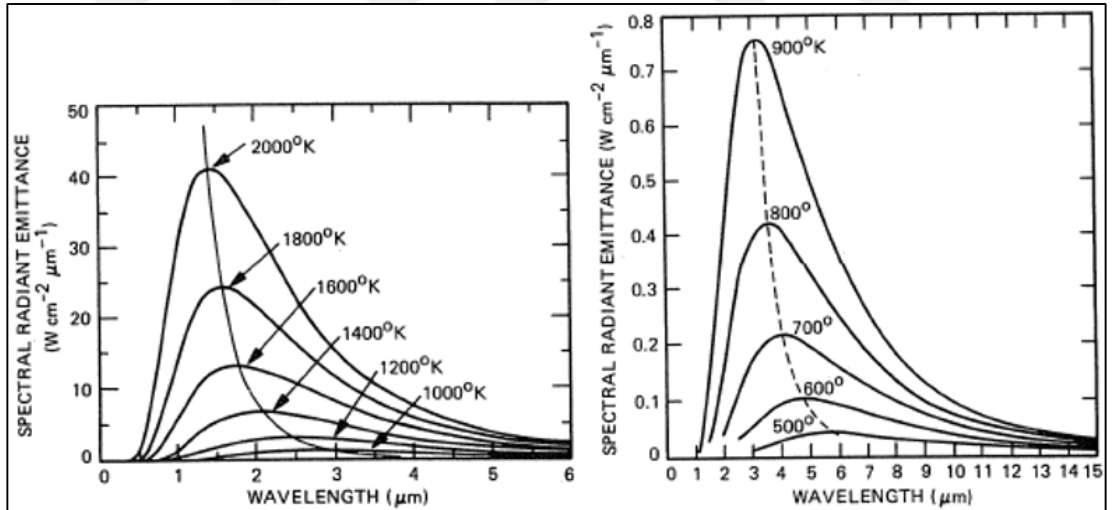


### 2.2.3. Elektromanyetik radyasyonun/ışımının oluşumu

Elektromanyetik ışıma, enerjinin bir formdan başka bir forma dönüşmesi sırasında meydana gelir. Bu formlar kinetik, kimyasal, termal, elektriksel, manyetik veya nükleer olabilir. Radyo frekansı dalgaları genellikle kabloların, elektron hüzmelerinin veya anten yüzey alanının içindeki elektriğin periyodik akımlarından oluşur. Eğer iki adet metalik iletken tel, akım jeneratörü veya elektrik şarjlı bir bölgede ileri-geri gidip gelirse tellerin etrafında elektrik ve manyetik alanlar oluşur. Bu alterne akımdan kaynaklanan elektromanyetik ışımayı sağlayan en basit radyatör dipol anten sayılabilir [11].

Kutuplaşma, yayılan radyasyonun açılal değışimi, radyasyon, absorpsiyon ve saçılma parametreleri cismin ışıma miktarında etkili parametrelerdir [10].

Eğer bir ideal yayıcı (karacisim) ısıl enerjisini ışıma enerjisine dönüştürürse termodinamik yasalarına göre Planck'ın bulduğu formül olan spektral yayılım (2.1) ile ifade edilebilir. Denklem (2.1) çeşitli formlara dönüştürülebilir.



Şekil 2.3. Farklı sıcaklıklarda spektral yayılım grafikleri

Yayılımın en büyük olduğu dalga boyu ( $\lambda$ ),  $a=2898 \mu\text{mK}$  olmak üzere;

$$\lambda_m = \frac{a}{T} \quad (2.2)$$

ile bulunur. Şekil 2.3.'ten de görülebileceği üzere sıcaklıkla doğrudan ilişkisi vardır. Bu da Wien kayma yasası olarak bilinir [11]. Bütün spektrumda yayılan toplam enerji (S),  $\sigma=5,669 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  olmak üzere;

$$S=\sigma T^4 \quad (2.3)$$

ile bulunur. Bu bağıntı Stefan-Boltzman yasası olarak anılır ve bir karacismin yaydığı toplam enerjinin sıcaklığın dördüncü kuvveti ile arttığını gösterir; bu yasaya ilerideki bölümlerde tekrar değinilecektir.

#### 2.2.4. Termal ışıma

Kuantum teorisine göre bir cismin veya maddenin bir atomik enerji seviyesinden diğerine düşmesi veya çıkması için enerji alışverişi gereklidir. Bu enerji seviyeleri veya levelleri E1, E2 olarak adlandırılırsa Bohr denklemleri/modeli ortaya çıkar. Bu denklemler;

$$f=(E_1-E_2)/h \quad (2.4)$$

şeklinde [12]. Atomlar ve moleküller için radyasyon/ışıma mekanizması 1901 yılında Planck kuantum teorisi ile Planck tarafından bulunmuştur ve karacisim ışıma yasası olarak literatürde yerini almıştır [12]. Denklem (2.1) basitleştirilerek;

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} \times \left( \frac{1}{e^{hf/kT}-1} \right) \quad (2.5)$$

denkleme dönüştürülmüştür. Denklem (2.5)'te  $B_f$  karacisim spektral ışımasını temsil etmektedir. Sıcaklık parlaklığı (brightness temperature);

$$dB=B_f df \quad (2.6)$$

denkleme göre belirli bir frekansta alınabileceğine gibi

$$dB=B_\lambda d\lambda \quad (2.7)$$

denkleme göre de belirli bir dalga boyunda alınabilir. Bu denklem spektral yayılım olarak da ifade edilebilir.

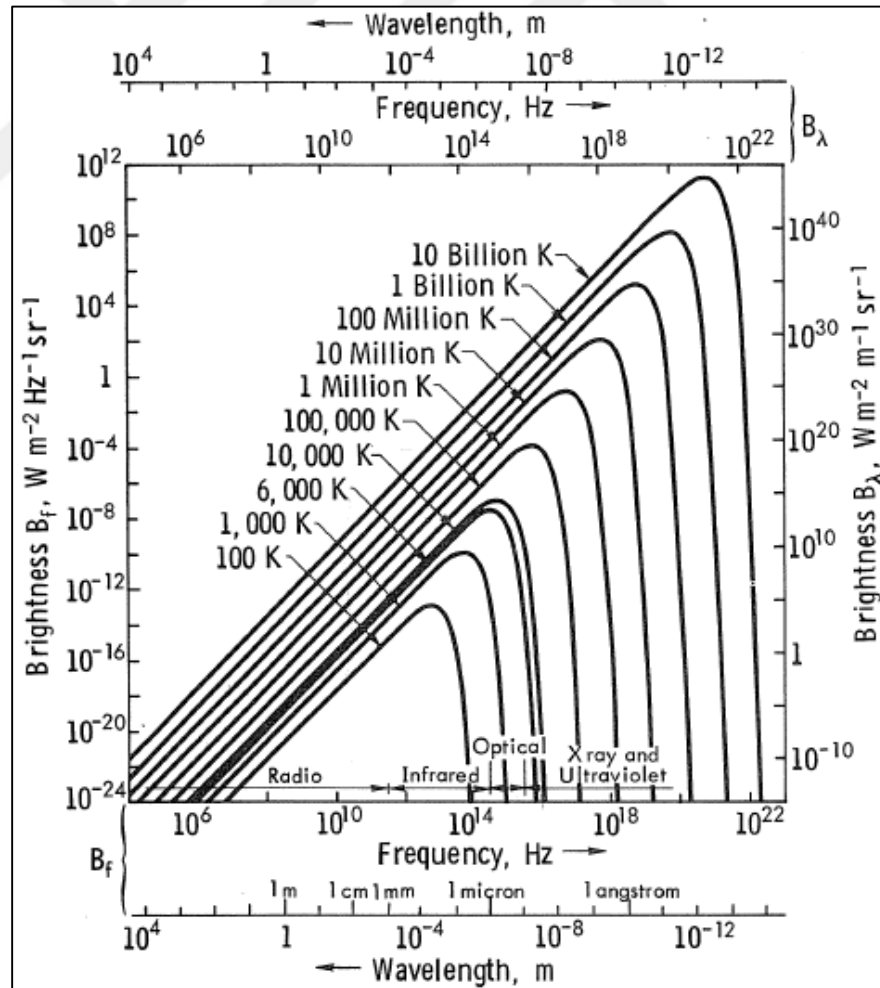
$$df = -\frac{c}{\lambda^2} d\lambda \quad (2.8)$$

bağıntısı için büyüklükler önemlidir ve - işareti sadece yön belirtir. Dolayısıyla; - işareti ihmal edildiğinde; değişken değiştirme yöntemleri ile

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \times \left( \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right) \quad (2.9)$$

bağıntısına ulaşılabilir.

Denklem (2.9), T sıcaklığındaki bir karacismin birim alan, birim frekans, birim katı açının başına yaydığı gücü gösterir. Şekil 2.4.'te farklı sıcaklıklardaki karacisimlerin parlaklık grafiği frekansa göre verilmiştir. Bu grafikte sıcaklık arttıkça parlaklığın arttığı ve yüksek frekanslarda maksimum ışımaya yaptığı gözlemlenmektedir, (Krauss, 1966).



Şekil 2.4. Planck radyasyon yasası eğrileri

### 2.2.4.1. Termal ışıma yasaları

Denklem (2.9) radyant olarak düzenlenip tekrar yazıldığında;

$$S(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \times \left( \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right) \quad (2.10)$$

elde edilir. Burada  $S(\lambda)$  spektral radyant yayılımdır. (2.10) denklemine;

$$c_1 = 2\pi hc^2 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2 \quad (2.11)$$

$$c_2 = ch/k = 1,44 \times 10^{-2} \text{ mK} \quad (2.12)$$

kısaltmaları uygulandığında;

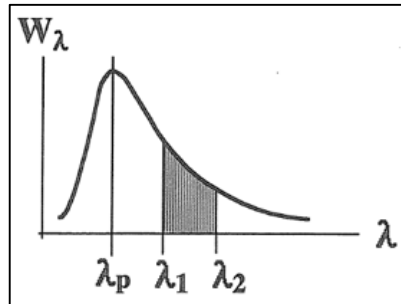
$$S(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \times \left( \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \right) \quad (2.13)$$

halini alır [77].

Yayılmın bütün spektrum için integrali alınır (2.3)'te gösterilen toplam radyant yayılım elde edilir [11, 15].

$$S = \int_0^{\infty} S(\lambda) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \quad (2.14)$$

denklemini tüm spektrum için kullanılmaktadır. Belirli  $\lambda$  boyları için  $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) d\lambda$  integrali kullanılabilir. Bu durum Şekil 2.5.'te gösterilmiştir [77].



Şekil 2.5. Belirli  $\lambda$  boyları için radyant yayılım

#### 2.2.4.2. Stefan-Boltzman yasası

Bir karacisim için bütün frekanslarda veya bütün dalga boylarında toplam ışım sıcaklığı ölçülecek olursa integral işleminden faydalanılır. Aslında (2.14) bağıntısı elde edilirken bu kural uygulanmıştır.

$$B = \int_0^{\infty} B_f df = \frac{2h}{c^2} \int_0^{\infty} \frac{f^3}{e^{hf/kT} - 1} df \quad (2.15)$$

$$x = hf/kT \quad (2.16)$$

denklemleri birleştirildiğinde;

$$B = \frac{2}{c^2 h^3} (kT)^4 \int_0^{\infty} \frac{x^3}{e^x - 1} dx \quad (2.17)$$

bağıntısı elde edilir.

$$\frac{1}{e^x - 1} = \frac{e^{-x}}{1 - e^{-x}} = e^{-x} (1 + e^{-x} + e^{-2x} + \dots) = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-nx} \text{ kuralı (2.17) denkleminde uygulanırsa;}$$

$$B = \frac{2}{c^2 h^3} (kT)^4 \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^{\infty} x^3 e^{-nx} dx = \frac{2}{c^2 h^3} (kT)^4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6}{n^4} \quad (2.18)$$

elde edilir ve bu denklem;

$$B = \frac{12}{c^2 h^3} (kT)^4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} \quad (2.19)$$

şeklinde kısaltılabilir. Toplam kuralı uygulandığında denklem (2.14)'e benzer bir şekilde Stefan-Boltzman yasası;

$$B = \frac{\sigma T^4}{\pi} \text{ Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \quad (2.20)$$

elde edilir [12].

#### 2.2.4.3. Wien yer değiştirme yasası

Denklem (2.10)'un  $\lambda$ 'ya göre veya (2.5)'in  $f$ 'e göre türevi (diferansiyeli) alınırsa Wien yer değiştirme yasası'na ulaşılır ve amacı maksimum noktaya ulaşmaktır. Alınan türev sifira eşitlenir.

Türevin sıfıra eşitlendiği frekans değeri, bilindiği gibi ışınım sıcaklığının yani Planck yasasındaki B değerinin maksimum duruma eşit olduğu durumdur.

Denklem (2.5)'i tekrar yazarsak ve türevini sıfıra eşitlersek;

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} \times \left( \frac{1}{e^{hf/kT}-1} \right) \quad (2.21)$$

$$\frac{dB_f}{df} = 0 = \frac{2h}{c^2} \left[ \frac{3f_m^2}{e^{hf_m/kT}-1} - \frac{f_m^3 h}{kT} \frac{e^{hf_m/kT}}{\left( e^{hf_m/kT}-1 \right)^2} \right] \quad (2.22)$$

denklemleri bulunur [12]. Denklem (2.22) ile

$$x_m = hf_m/kT \quad (2.23)$$

denklemleri birleştirildiğinde;

$$\left( 1 - \frac{x_m}{3} \right) e^{x_m} = 1 \quad (2.24)$$

transandantal denklemi elde edilir.

$x_m = hf_m/kT = 2,82$ ,  $f_m T = 5,87 \times 10^{10}$  THz, (T, K cinsinden).  $f_m$  uygulandıktan sonra;

$$B_f(f_m) = c_3 T^3 \quad (2.25)$$

elde edilir. Burada  $c_3$ ;

$$c_3 = 1,37 \times 10^{-19} \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ Hz}^{-1} \text{ K}^{-3} \quad (2.26)$$

şeklindedir.

Denklem (2.10)'u tekrar yazarsak ve aynı işlemleri  $\lambda$  üzerinden uygularsak;

$$B_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \times \left( \frac{1}{e^{hc/\lambda kT}-1} \right) \quad (2.27)$$

$$Y_m = hc/\lambda_m kT \quad (2.28)$$

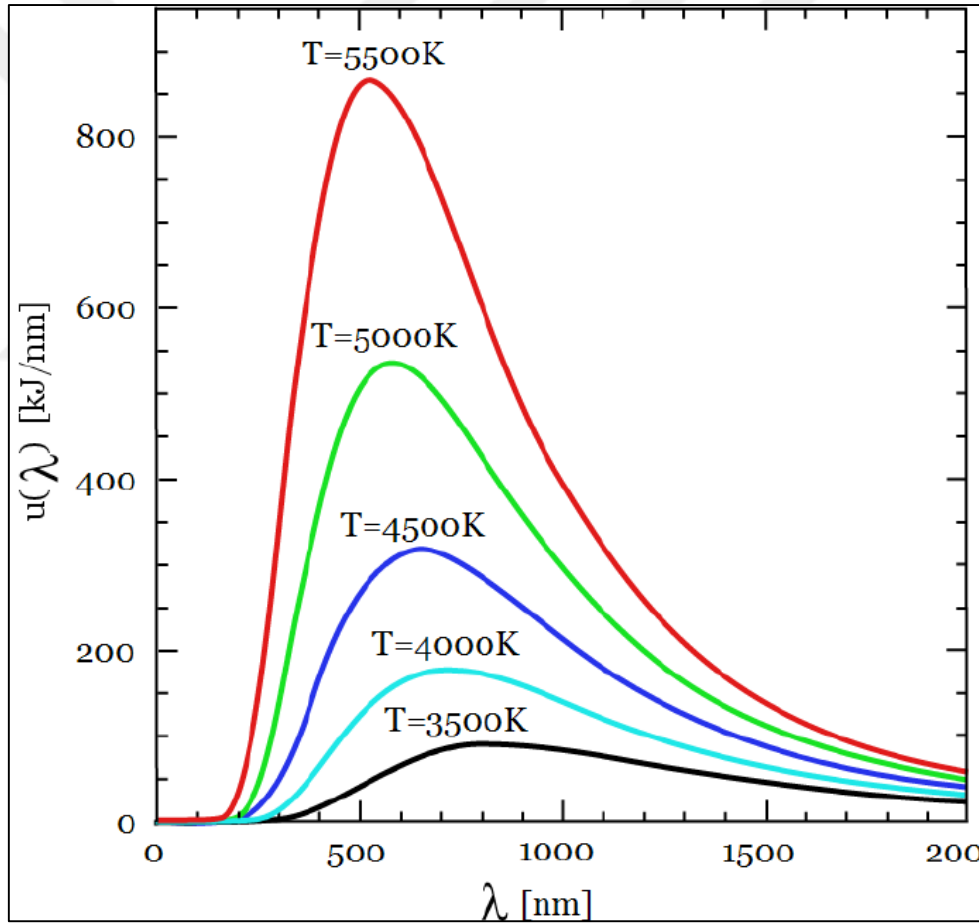
$$\left( 1 - \frac{Y_m}{3} \right) e^{Y_m} = 1 \quad (2.29)$$

$$Y_m = hc/\lambda_m kT = 4,965, \lambda_m T = 2,879 \times 10^{-3} mT, (T, K \text{ cinsinden});$$

$$B_\lambda(\lambda_m) = c_4 T^5 \quad (2.30)$$

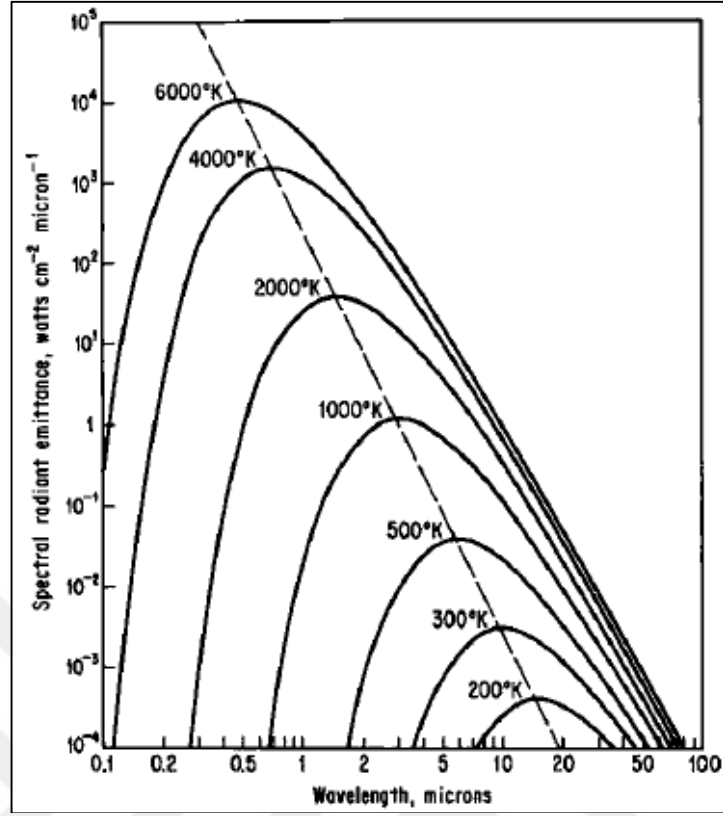
denklemleri bulunur [12].

Stefan-Boltzman ve Wien yer değiştirme (kayma) yasalarından elde edilen (2.20), (2.25) ve (2.30) bağıntıları incelendiğinde; toplam ışımanın sıcaklığın dördüncü dereceden kuvveti ile doğru orantılı olduğu anlaşılmaktadır. ışımanın frekansa bağlı olan değişimi sıcaklığın üçüncü dereceden kuvveti ile orantılıyken lambdaya bağlı olan değişimi beşinci dereceden kuvveti ile orantılıdır [12].



şekil 2.6. Wien yer değiştirme (kayma) yasası grafik anlatımı – 1

şekil 2.6.'ya göre karacisimlerin değişik sıcaklıklardaki ışıma karakteristikleri aynıdır fakat en yüksek ışıma noktası her sıcaklıkta bir miktar kayma gösterir [76, 77]. Wien yer değiştirme yasasının bir diğer grafik gösterimi şekil 2.7.'de spektral radyal yayılım – dalga boyu karşılaştırması log-log grafiği olarak verilmiştir [14].



Şekil 2.7. Wien yer değıştirme (kayma) yasası grafik anlatımı – 2

#### 2.2.4.4. Wien ışıma yasası

Planck ışıma yasası yüksek frekanslar (kısa dalga boyları) için;

$$\frac{1}{e^{hf/kT}-1} \cong \frac{1}{e^{hf/kT}} = e^{-hf/kT} \quad (2.31)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanırsa ihmaller dahilinde Wien ışıma yasasına dönüşür ve

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} e^{-hf/kT} \quad (2.32)$$

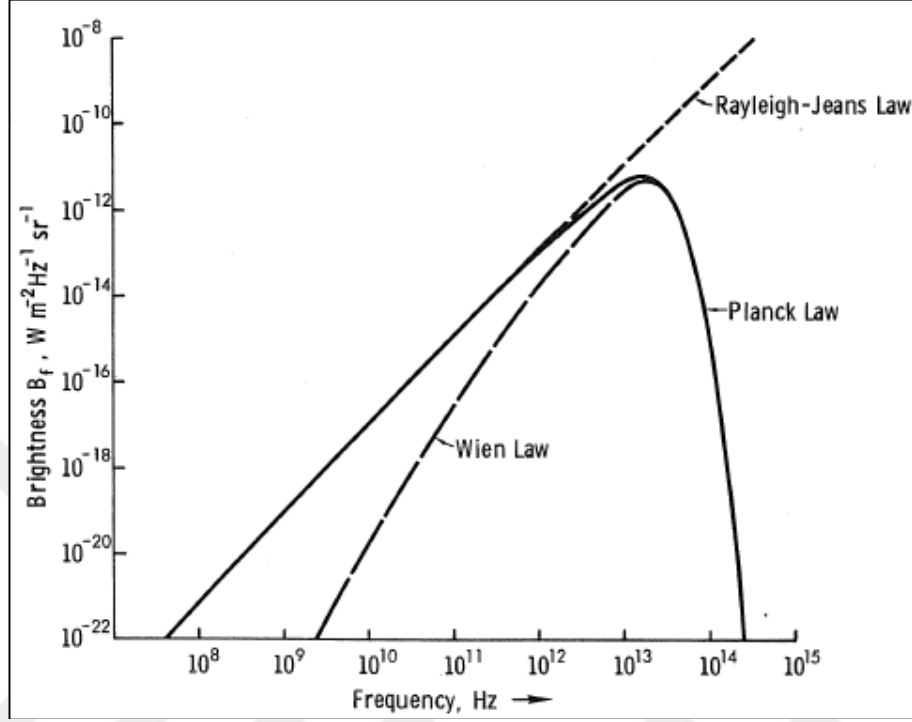
denklemini bulunur.

#### 2.2.4.5. Rayleigh-Jeans yasası

Rayleigh-Jeans yasası, Wien ışıma yasasının aksine düşük frekans değerleri için kullanılır.



Rayleigh–Jeans yasası matematiksel olarak Planck yasasından çok daha sade ve Planck yasasına göre çözümü çok daha kolaydır. Şekil 2.8.’de oda sıcaklığında Planck, Wien ve Rayleigh–Jeans ışımaya yasalarının grafikleri verilmiştir [12].



Şekil 2.8. Planck, Wien ve Rayleigh–Jeans ışımaya yasaları

Mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarında Rayleigh-Jeans yakınlığını;

$$e^x - 1 = \left(1 + x + \frac{x^2}{2} + \dots\right) - 1 \cong x; x \ll 1 \quad (2.33)$$

$$hf/kT \ll 1;$$

$$B_f = \frac{2f^2 kT}{c^2} = \frac{2kT}{\lambda^2} \quad (2.34)$$

kullanarak (2.1) veya

$$P_r = \frac{2hf^3}{c^2} \times \left(\frac{1}{e^{hf/kT} - 1}\right) \Delta v d\Omega \quad (2.35)$$

bağıntısını;

$$P_r = \frac{1}{2} \frac{2kTv^2}{c^2} \Delta v d\Omega \quad (2.36)$$

olarak sadeleştirebiliriz [9]. Küresel koordinatlar ilave edildiğinde;

$$P_r = \frac{1}{2} \frac{2kTv^2}{c^2} \Delta v A(\theta, \phi) d\Omega \quad (2.37)$$

oluşur. Burada A, emme kesit alanıdır. Karşılıklılık (reciprocity) teoreminden;

$$A(\theta, \phi) d\Omega = \frac{c^2}{v^2} \quad (2.38)$$

denklemini bulunur. Denklem (2.37) ile (2.38) birleştirilirse;

$$P_r = kT \Delta v \quad (2.39)$$

elde edilir.  $\Delta v$ , elektrik denklemlerinde genellikle B (bant genişliği) olmak üzere (2.39);

$$P_r = kTB \quad (2.40)$$

gibi gösterilebilir.

Bant genişliği aynı olan sistemler için  $T_A$  karacisim sıcaklığı olsun;

$$T_A = \frac{P_r}{k_B} \quad (2.41)$$

denklemini geçerlidir.

Gerçekte karacisim yoktur yani mükemmel ışıma yapan cisim yoktur. Fakat yine de karacisim ışınım yasaları denklemlerde uygulanabilir. Bu durumda, anten sıcaklığı  $T_A$ , eşdeğer karacisim (equivalent blackbody) sıcaklığı  $T_{EB}$  ile gösterilirse;

$$T_A = T_{EB} = \epsilon_T T_T + (1 - \epsilon_T) T_{AS} \quad (2.42)$$

bulunur. Burada  $\epsilon_T$ ;

$$\epsilon_T = (1 - \rho_T) \quad (2.43)$$

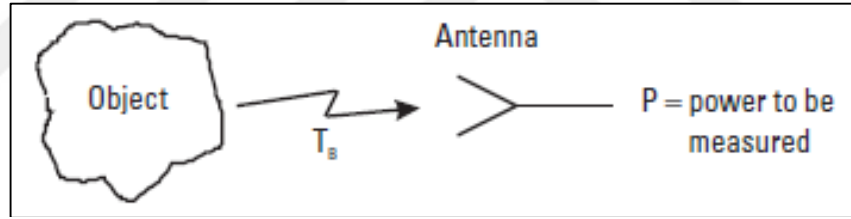
ile bulunur.

Hedefin  $T$  sıcaklığındaki  $\rho_T$  yansıtıcılığı,  $\epsilon_T$  yayıcılığı,  $T_T$  fiziksel sıcaklığı ve  $T_{AS}$  çevrenin fark edilen sıcaklığıdır. Yansıtıcılık, yayıcılık konuları emilim konusu ile beraber daha sonra ayrıntılı olarak irdelenecektir.

Sonuç olarak; karacisim ışımasından dolayı; meydana gelen sıcaklık ölçümü ölçülen güç ile orantılıdır. Rayleigh-Jeans yasası gücü sıcaklığa bağlı olarak göstermek için kullanılır.

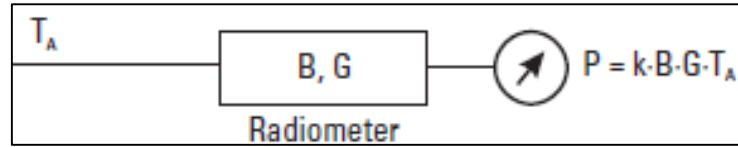
Yukarıda anlatılan karacisim ışımasıyla ilgili teorik grafiklerin MatLab’da yazılan kodlar yardımıyla analitik incelemeleri yapılmıştır ve bu inceleme sonuçları ve MatLab kodu Ek-A’da verilmiştir. Tüm bu çalışmalar, IEEE Xplore tarafından da taranan 2. International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) Konferansı’nda sözlü olarak sunulmuştur [73].

$T_B$  parlaklık sıcaklığındaki herhangi bir nesneden yayılan ışımının bir anten tarafından algılanması Şekil 2.9.’da gösterilmiştir [20].



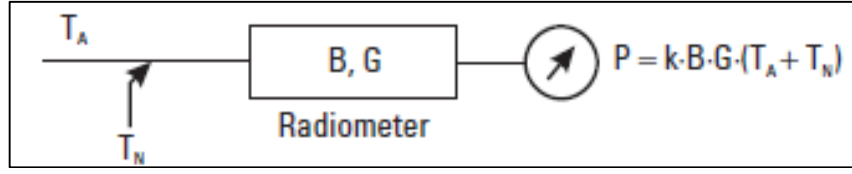
Şekil 2.9. Ölçüm pozisyonu

Bu ışımının gücünün  $T_A$  sıcaklığındaki bir antenin bağlı olduğu ideal bir radyometre ile ölçülmesi Şekil 2.10.’da verilmiştir. Burada  $G$  kazançtır ve birimsizdir [20].



Şekil 2.10. Gücün ölçülmesi ve ideal radyometre

Şekil 2.10.’da ideal olan bir radyometre gösterilmiştir. Gerçekte radyometreler Şekil 2.11.’deki gibi ideal değildir ve bir miktar gürültü üretirler [20].



Şekil 2.11. Gerçek radyometre

Gürültü sıcaklığı  $T_N$  ile gösterilsin. Bu durumda;

$$P_r = k(T_A + T_N)BG \quad (2.44)$$

geçerlidir.

Anten sıcaklığı 200 K, gürültü sıcaklığı 800 K olduğu durumlar vardır ve bu durumlarda görüntülemenin yapılabilmesi (radyometrik alıcının işlevini yerine getirebilmesi) için 1 K sıcaklık farkının dahi ölçülebilmesi gereklidir.

Sıcaklık farkı entegrasyon zamanının ( $\tau$ ) da içinde olduğu;

$$\Delta T = \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B\tau}} \quad (2.45)$$

ile formüle aktarılabilir [20].

### 2.3. Yayıcılık, Yansıtıcılık, Emilim ve Geçirgenlik

Radyo Temelleri başlığında kısaca bahsedilen yayıcılık ve yansıtıcılık terimleri bu konu başlığı altında detaylıca aktarılacaktır.

Milimetre dalga boylarındaki frekanslarda metallerin fiziksel sıcaklığı ne olursa olsun metaller çok iyi yansıtıcılardır. Dolayısıyla; efektif sıcaklık yansıtılan sıcaklıkla ilgilidir. İnsan vücudunun ise metale kıyasla yansıtıcılığı azdır. Daha çok emiciliği vardır. Böylece insanın efektif sıcaklığı kendi iç sıcaklığına daha yakındır. Emicilik (absorbtion) özelliği yayıcılık özelliği ile doğrudan ilişkilidir. Emilim oranı ile yayıcılık oranı belirli şartlar altında aynı sayılabilir [9].

Bir cismin yayıcılık veya yansıtıcılık özelliği dielektrik özelliklerine göre, yüzeyin pürüzlülük durumuna göre veya görüntüleme açısına göre değişir. Yansıtıcılık özelliği maksimum olan cisimlerin ise epsilon değeri sıfırdır ( $\epsilon=0$ ).

### 2.3.1. Yayıcılık

Yayıcılık katsayısı  $\varepsilon$  ile gösterilir. Karacisimlerin epsilon değeri 1'dir ( $\varepsilon=1$ ). Bir cismin radyometrik sıcaklığı epsilon değeri/katsayısı vasıtasıyla ölçülür. Cismin fiziksel sıcaklığı  $T_0$  ise radyometrik sıcaklığı  $T_S=\varepsilon T_0$ 'dir.

Yayıcılık veya yayıcılık katsayısı termal ışımaya yasaları konusunda bahsedilen  $S(\lambda)$  aracılığıyla bulunur. Bütün spektrumda integral alınarak bulunan toplam yayıcılığın elde edilme amacı yayılma katsayısı olan  $\varepsilon$ 'u bulmaktır.  $\varepsilon$  değerini bulabilmek için;

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{S'(\lambda)}{S(\lambda)} \quad (2.46)$$

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} S(\lambda) d\lambda} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) S(\lambda) d\lambda \quad (2.47)$$

denklemleri kullanılabilir [11]. Bu oran aynı sıcaklıkta alınmalıdır.

Cisme gelen enerjinin toplamının 1 olduğu düşünülürse; cismin yüzeyi tarafından yansıtılan enerji  $\rho$ , cismin yüzeyinden içeri ilerleyen enerji  $\tau$  olsun.

Bu bölümlerin toplamı;

$$\rho + \tau = 1 \quad (2.48)$$

olarak verilir.

Karacisim bütün ışımaya/enerjiyi emer. Bu durumda  $\tau=1$  ve  $\rho=0$  olur. Bu bütün enerjinin cismin içine iletilmesi demektir. Kirchoff'un kuralına göre aynı sıcaklıkta nesnenin emme katsayısı,  $\alpha$ ; yayılma katsayısına,  $\varepsilon$  eşittir. Yani;

$$\alpha = \varepsilon = \tau \quad (2.49)$$

şeklindedir. Diğer bir tanımla, cismin içine ilerleyen enerji aksi yönde yayılan enerjiye eşittir. İki yönde de aynı ışımaya vardır. Farklı bir tanım olarak; monokromatik doğrusal yönlü yayılım ile monokromatik doğrusal yönlü emilim arasında bir ilişki vardır. Cisimler emdiğini yayabilirler, bu durumda emilim ile yayılım birbirlerine eşittir [77, 78].

Bu durumda;

$$\varepsilon = \tau = 1 - \rho \quad (2.50)$$

geçerlidir.

Eğer yayıcılık katsayısı  $\varepsilon$ ,  $\lambda$ 'ya bağlı değilse yani  $\varepsilon_\lambda = \varepsilon$  ise cisim gricisim adını alır. Gricisim konusunda da aktarıldığı üzere  $\varepsilon = \alpha$  yani yayıcılık eşittir emilimdir [78].

### 2.3.2. Yansıtıcılık

Denklem (2.48) ve (2.50)'de de bahsedildiği üzere yansıtıcılık katsayısı  $\rho$  ile ifade edilir. Karacisimlerde  $\rho = 0$ 'dır. Cismin emisyon/yayıcılık katsayısı  $\varepsilon$  bulunduktan sonra 1'den çıkarılarak  $\rho$  bulunabilir.

Metallerde yayıcılık katsayısı,  $\varepsilon$  çok düşüktür (% 1-9 civarı). Yansıtıcılık katsayısı,  $\rho$  ise yüksektir. Sıcaklık ile  $\tau$ ,  $\alpha$  veya  $\varepsilon$  değeri artar. Oksitlenmiş/paslanmış metallerde ise epsilon değeri,  $\varepsilon$  daha fazla yükselmeye başlar. Metal olmayan maddelerde ise  $\varepsilon$  genellikle 0,8'in üzerindedir ve sıcaklık ile azalmaya başlar [11].

Asıl radyometrik sıcaklık, cismin fiziksel sıcaklığının epsilon değeri,  $\varepsilon$  ile çarpılmasının yanında aydınlanma ile elde edilen sıcaklığa da bağlıdır. Mükemmel yansıtıcı cismin epsilon değeri,  $\varepsilon = 0$  olmasına rağmen yansıtılan enerjiden dolayı; oluşan bir radyometrik sıcaklık söz konusudur. Bu değer yüzey saçılma sıcaklığı olarak ifade edilir ve  $T_{SC}$  ile gösterilir. Yüzey saçılma sıcaklığı, aydınlanma sıcaklığı ile yansıtıcılığın,  $\rho$  çarpılması ile elde edilir, bu durum;

$$T_{SC} = \rho T_{\text{aydınlanma}} \quad (2.51)$$

olarak gösterilmiştir [6].

Efektif radyometrik sıcaklık  $T_E$  olsun. Efektif radyometrik sıcaklık;

$$T_E = T_S + T_{SC} = \varepsilon T_0 + \rho T_{\text{aydınlanma}} \quad (2.52)$$

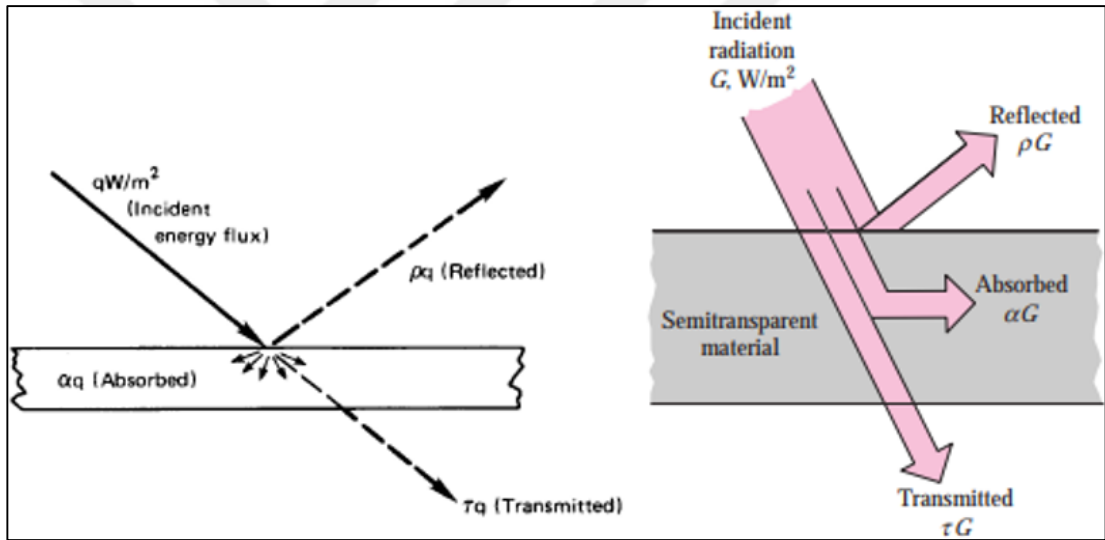
şeklindedir.

Yansıtıcılık (reflectivity) ile saçılma (refraction) birbirine karıştırılmamalıdır. Belirli bir yansıtıcılık katsayısı ile bilinen veya hesaplanabilen açıda hedefe çarparak ilerleyen (yansıyan) dalganın gidiş açısı da bellidir veya hesaplanabilir. Saçılma ise her yönde olabilmektedir.

### 2.3.3. Emilim

Cisimler hali hazırda içlerinde var olan enerjiyi yayarlar ya da başka bir yerden elde ettikleri enerjiyi aktarırlar. Başka bir yerden enerji elde etme olayına emilim (absorbtion) denilir.

Şekil 2.12.'de gelen ışımının farklı ilerleyişleri [78, 79] ve Şekil 2.13.'te emilim – frekans grafiği [10] verilmiştir.



Şekil 2.12. Gelen ışımının yansıyan (reflected), iletilen (transmitted) ve emilen (absorbed) ışımaya olarak gösterilmesi

Siyahcisim olmayan bir cisme gelen bütün ışımaya  $q$  ile gösterildiğinde,  $\alpha$  ile cismin absorbe ederek emdiği ışımaya,  $\tau$  ile cismin içinden geçerek karşı tarafa iletilen ışımaya ve  $\rho$  ile yüzeye çarpıp normal (N) ile aynı açıyı yapacak şekilde yansıyan ışımaya gösterilir.

$q=1$  kabul edildiğinde;

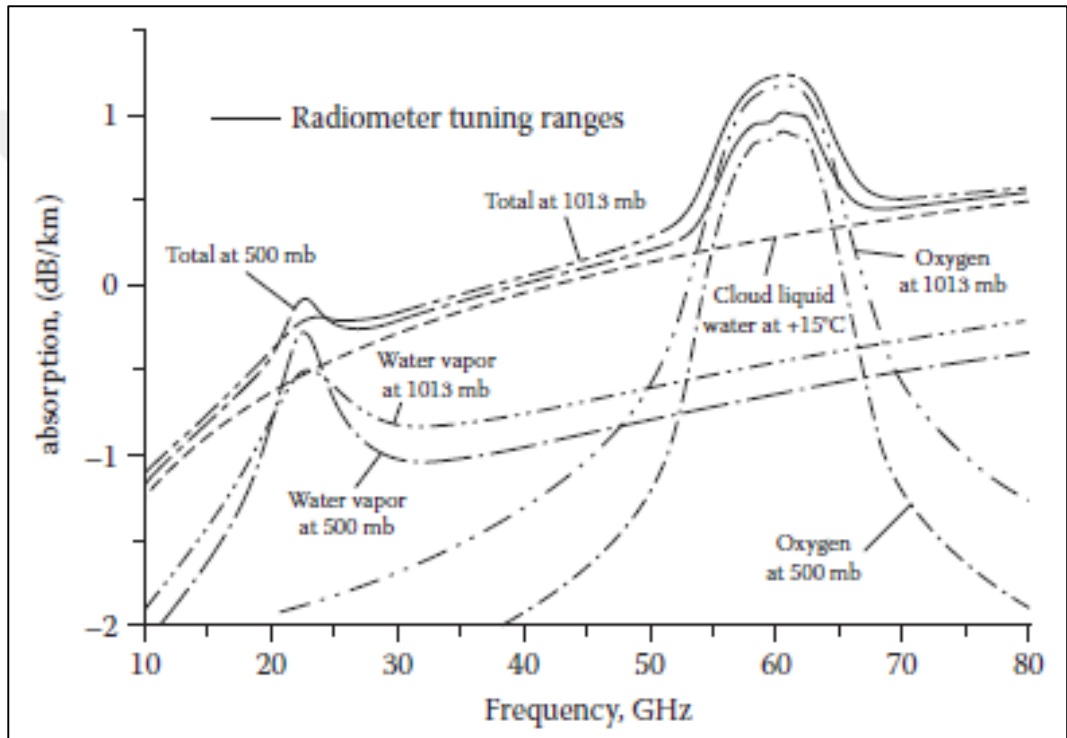
$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.53)$$

elde edilir. Buradaki  $\tau$  cisimden çıkarak (içinden geçerek) dış ortama yayılan ışımadır. Denklem (2.48), (2.49) ve (2.50)'de ise cisme giren ışımaya kabul edilmiştir.

Enerjilerin dalga boyları ile taşındığı düşünülürse, (2.53);

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (2.54)$$

olarak yazılabilir [78].



Şekil 2.13. Oksijenli, su buharlı ve bulutlu ortamlarda emilim – frekans grafiği

### 2.3.4. Geçirgenlik

Geçirgenlik herhangi bir cismin veya ortamın belirli bir sıcaklıkta geçirdiği ışınım miktarını belirler. Sıcaklığa bağlı bir değerdir. Katılar için genellikle ihmal edilebilir çünkü arka tarafına ilettiği ışımaya neredeyse 0'dır. Değeri 0 ile 1 arasında değişen boyutsuz bir sayıdır.  $\tau$  ile gösterilir.

Dalga boyuna bağlı bir değerdir. Gözlemcinin bakış açısına doğrudan bağlı değildir [76]. Yayıcılık, yansıtıcılık, emilim ve geçirgenlik katsayılarına görüntüleme sistemlerinde büyük önem verilmelidir. Çünkü,  $\epsilon$ ,  $\rho$ ,  $\alpha$  ve  $\tau$  ile mikrodalga ve



milimetre dalga frekanslarında görülebilme işlemi doğrudan ilgilidir. Örneğin; insan gözüyle algılanabilen görünür bölgede kar taneleri çok iyi görülür, bu olay kar tanelerinin yayıcılığının düşük olduğu anlamına gelmez. Aksine kar taneleri infrared bölgesinde çok iyi emici/yayıcı ve kötü yansıtıcıdır.

Görünebilir bölgede güneş ışığını yansıttığı için kartanelerini görmemiz infrared bölgesinde reflektör özelliğinin yüksek olduğu anlamına gelmez [11]. Bazı materyallerin farklı frekanslarda sahip olduğu yayıcılık katsayıları ( $\epsilon$ ) değerleri Tablo 2.1.'de [6] ve aynı frekanstaki yayıcılık ve emicilik katsayıları ( $\alpha$ ) değerleri Tablo 2.2.'de [78] verilmiştir.

Tablo 2.1. Sık kullanılan bazı materyallerin aynı sıcaklıkta 3 farklı frekansta yayıcılık katsayıları

| Malzeme adı                     | Yayıcılık katsayı değeri ( $\epsilon$ ) |        |         |
|---------------------------------|---|--------|---------|
|                                 | 44 GHz                                  | 94 GHz | 140 GHz |
| Çıplak metal                    | 0,01                                    | 0,04   | 0,06    |
| Boyalı metal                    | 0,03                                    | 0,10   | 0,12    |
| Kamufraj altındaki boyalı metal | 0,22                                    | 0,39   | 0,46    |
| Kuru mermer                     | 0,88                                    | 0,92   | 0,96    |
| Kuru asfalt                     | 0,89                                    | 0,91   | 0,95    |
| Kuru beton                      | 0,86                                    | 0,91   | 0,95    |
| Düzgün su yüzeyi                | 0,47                                    | 0,59   | 0,66    |

Metallerin genelde yansıtıcılığı çok yüksek olduğu için yayıcılığı Tablo 2.1.'e göre çok düşüktür. Boyandığında boya malzemesinden dolayı bir miktar yayıcılık değerleri artmaktadır. Yayıcılık değerleri tek bir malzeme için frekansla bir miktar artmaktadır. Kuru mermer, kuru asfalt gibi dielektrik malzemelerde ise yayıcılık değerleri oldukça yüksektir. Düzgün yüzeyli suyun da gricisim gibi davrandığı söylenebilir. Boyalı metal kamufrajın altına konulduğunda yayıcılık değerleri kamufraj kumaşından dolayı büyük oranda artmaktadır.

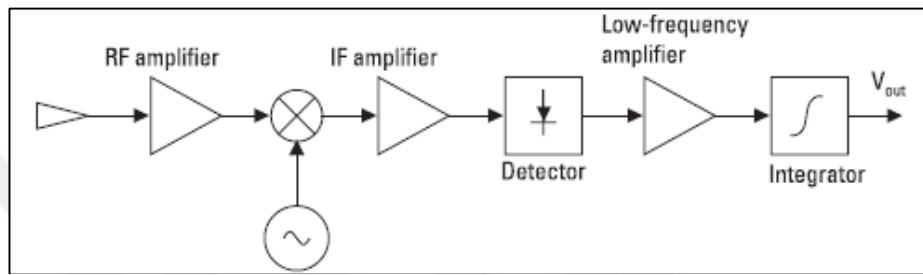
Tablo 2.2. Bazı materyallerin aynı sıcaklık ve frekansta emicilik ve yayıcılık katsayıları

| Malzeme        | $\alpha_{\text{solar}}$ | $\epsilon_{\text{IR}}$ |
|----------------|-------------------------|------------------------|
| Saf Alüminyum  | 0,09                    | 0,10                   |
| İşlenmiş bakır | 0,30                    | 0,04                   |
| Demir, nikel   | 0,81                    | 0,17                   |
| Kar            | 0,20                    | 0,82                   |

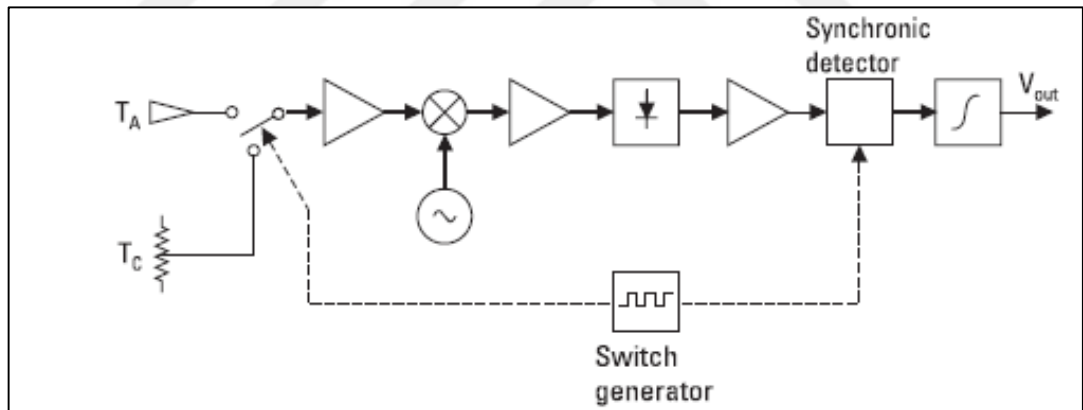
Alüminyum ve bakır metal malzemelerinde yansıtıcılık değeri yüksek olduğundan emicilik ve yayıcılık değerleri düşüktür. Ancak buna rağmen, demir, nikel ve karda yansıtıcılık sifıra yakındır.

## 2.4. Radyometre Çeşitleri

Çeşitli radyometre tipleri olmasına karşın en çok kullanılan radyometreler toplam güç radyometresi ve Dicke radyometresidir. Bu radyometreler Şekil 2.14. ve Şekil 2.15.'te basitçe gösterilmiştir [19].



Şekil 2.14. Toplam güç radyometresi – Örnek 1



Şekil 2.15. Dicke radyometresi – Örnek 1

### 2.4.1. Toplam güç radyometresi

Toplam güç radyometresi en basit radyometre dizaynı olarak görülebilir. Bu radyometrenin limitlerine rağmen çok fazla kullanıldığı görülmüştür. Milimetre dalga ve mikrodalga radyometresine gelen enerji yükü anten ile alınır ve gelen sinyal düşük gürültülü güç kuvvetlendiricisi (low noise amplifier – LNA) sayesinde kuvvetlendirilerek devrenin kalan kısmına aktarılır. Bu aşamada mikser (mixer) ile sinyal ara frekanslara (intermediate frequency – IF) dönüştürülür.

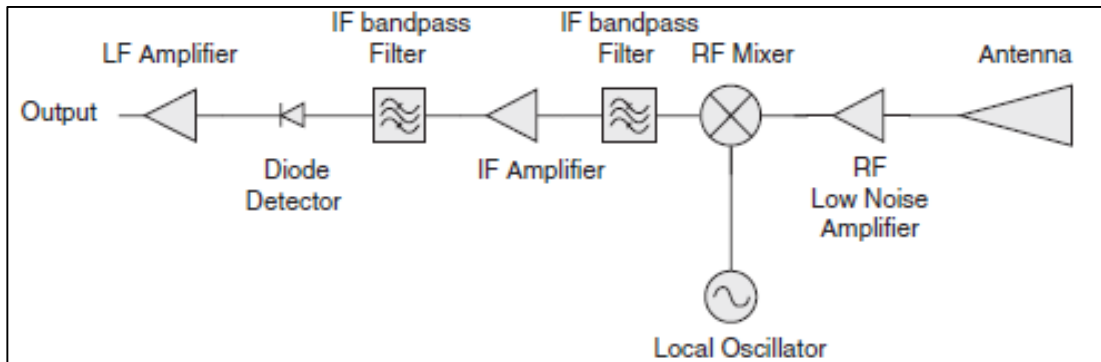
Sistemin bant genişliği antenin bant genişliğine ve LNA'nın bant genişliğine bağlıdır. Sistemin hassaslığı gürültü figürüne (noise figure – NF) bağlıdır.

Dönüştürülen sinyal kuvvetlendirilir ve bant geçiren filtreden (BGF - band pass filter – BPF) geçirilir. En sonunda sinyal rektife edilerek/düzeltilerek dedektöre/alıcıya (detector) gönderilir. Dedektörden geçen sinyal çıkışa yani görüntülenmek için bilgisayara gönderilir. Bu akışı daha iyi anlamak için Şekil 2.16. incelenebilir.

Kuvvetlendirme aşamalarında meydana gelen kazanç değişikliği, mikserin sinyali IF'ye dönüştürürken neden olduğu kayıplar, ortam sıcaklığı değişkenlikleri, ortamdaki kaynaklanan değişkenliklerin hedef cismin sıcaklığını etkilemesi ve bu değişken ışımanın ayrıntılı olarak bilinmemesi sistemin dezavantajları veya limitleri olarak görülebilir [9].

Sistemin hızlı çalışması ve taramayı hemen yaparak görüntüyü elde etmesi elzemdir. Bu nedenle; çok sayıda alıcı kullanılarak bir dizi oluşturulabilir. Bu dizilerden bütün sıra boyunca yapılırsa tarama işlemi sadece bir fotoğraf çekme süresi kadar olacaktır. Eğer bu kadar fazla alıcı koymak mümkün değilse, aynı zamanda da sistemden doğru bir şekilde yararlanılmak isteniyorsa sistemi kontrol edebilmek için bir geri besleme devresine ihtiyaç vardır.

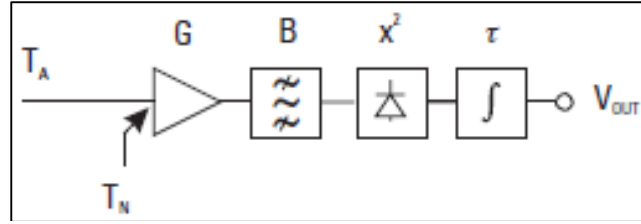
Geri besleme devresi gibi daha birçok karışık sistem devreye girdiğinde farklı bir radyometre çeşidine doğru yolculuk başlar.



Şekil 2.16. Toplam güç radyometresi – Örnek 2

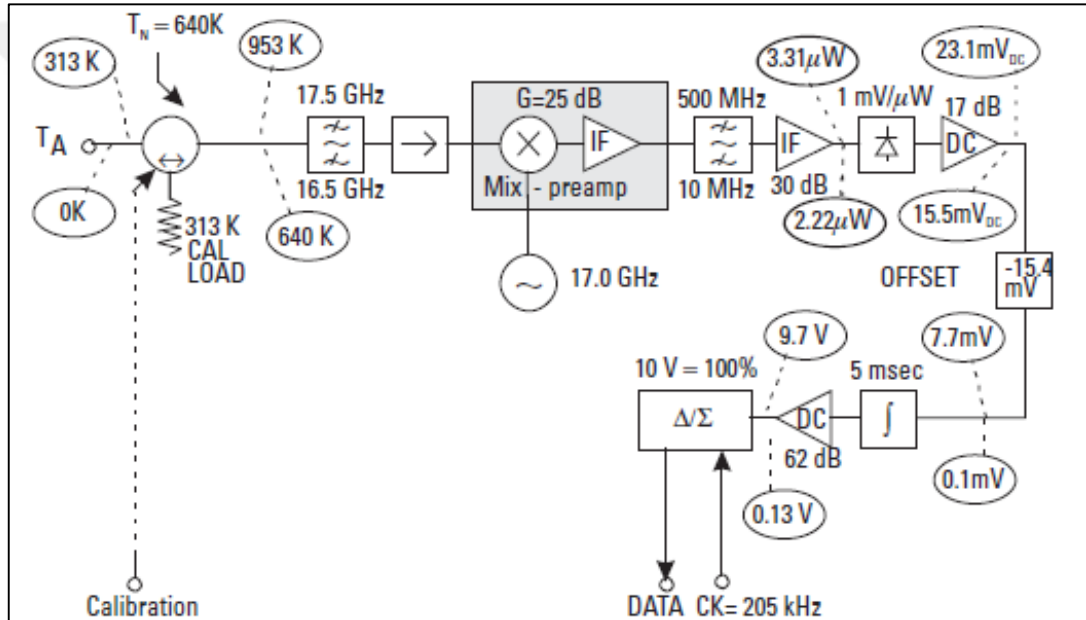
Şekil 2.17.'de bir diğer toplam güç radyometresi temsiline bakıldığında; toplam güç radyometresinde çıkış gerilim değerinin, anten sıcaklığına, gürültüye ve kazançla bağlı olduğu görülebiliyor.

Bant genişliği, entegrasyon süresi diğer bağlı olunan terimlerdir [20].



Şekil 2.17. Toplam güç radyometresi – Örnek 3

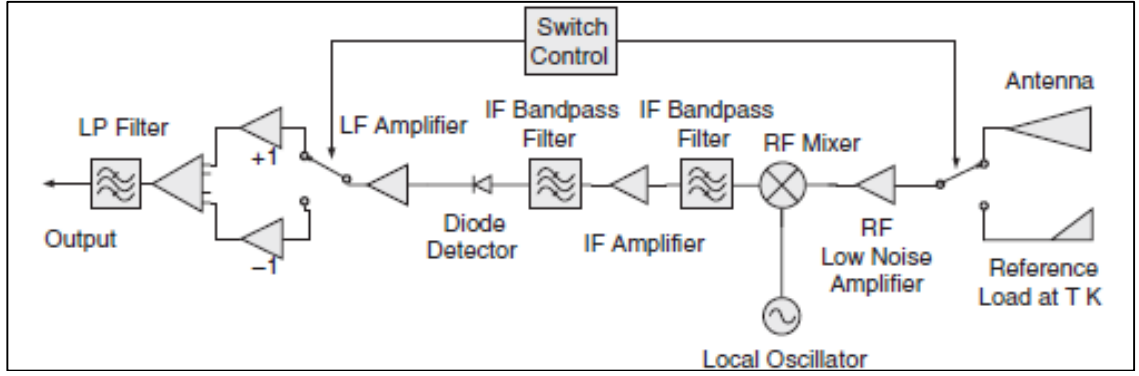
Anten sıcaklığının olmadığı veya 313 K olduğu iki ölçüm Şekil 2.18.'de toplam güç radyometresi kullanılarak gösterilmiştir [20].



Şekil 2.18. Toplam güç radyometresi – Örnek 4

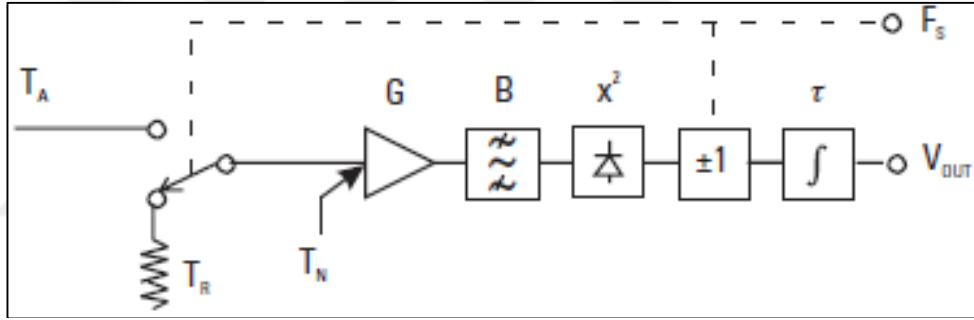
#### 2.4.2. Dicke radyometresi

Dicke radyometresinin toplam güç radyometresinden temel farkı kendi kendine kontrol yapabilme özelliğidir. Self-kalibre/öz-ayar yapabilen bu radyometre sabit olarak tutulan bir referans sinyali ile hedefteki nesneden gelen sinyali devamlı anahtarlama yaparak karşılaştırır. Değişmeyen kaynaktan gelen ışığa ve hedefteki cismin ışınmasını eş zamanlı olarak değerlendirir. Böylece toplam güç radyometresindeki çoğu hata giderilmiş olur [9].



Şekil 2.19. Dicke radyometresi – Örnek 2

Bu radyometre 1946 yılında R. H. Dicke tarafından bulunmuştur. Cisimlerden gelen ışınımı doğrudan ölçmek yerine kendi içinde barındırdığı bir referans ışınım  $T_R$  ile arasındaki farkı ölçer. Şekil 2.19. [9] ve Şekil 2.20.'de [20] bu geri besleme olayı gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Dicke radyometresi – Örnek 3

Anahtarlama dolayısı;

$$V_1 = c(T_A + T_N)G \quad (2.55)$$

$$V_2 = -c(T_R + T_N)G \quad (2.56)$$

denklemlerinde verilen iki adet çıkış voltajı vardır. Son olarak bu çıkış voltajları;

$$V_{out} = V_1 + V_2 = c(T_A + T_N)G - c(T_R + T_N)G \quad (2.57)$$

denklemindeki gibi toplanır ve

$$V_{out} = c(T_A - T_R)G \quad (2.58)$$

denkleminde de görüleceği üzere gürültü sinyali ortadan kaybolur.

Gürültünün egale edildiği Dicke radyometresi toplam güç radyometresine oranla çok daha fazla kullanılmıştır [20].

Sıcaklık farkları için;

$$\Delta T_1 = \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B\tau/2}} \quad (2.59)$$

$$\Delta T_2 = \frac{T_R + T_N}{\sqrt{B\tau/2}} \quad (2.60)$$

kullanılır.

Toplam sıcaklık farkı;

$$\Delta T = [(\Delta T_1)^2 + (\Delta T_2)^2]^{1/2} \quad (2.61)$$

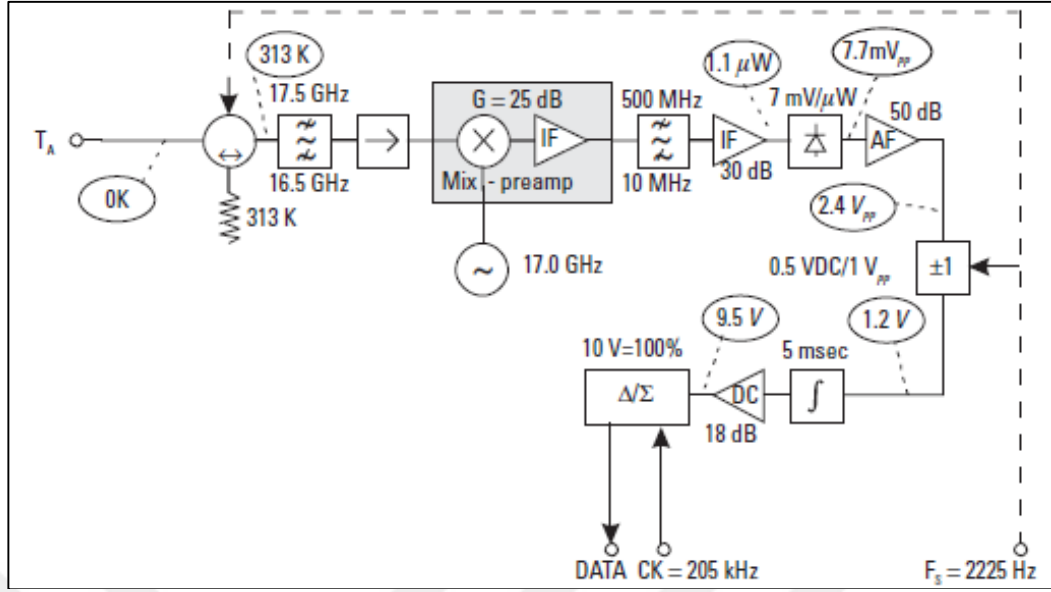
$$\Delta T = \left[ \left( \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B\tau/2}} \right)^2 + \left( \frac{T_R + T_N}{\sqrt{B\tau/2}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.62)$$

$$\Delta T = \frac{(2(T_A + T_N)^2 + 2(T_R + T_N)^2)^{1/2}}{\sqrt{B\tau}} \quad (2.63)$$

ile bulunur. Şekil 2.21.'de Dicke radyometresi şematiği gösterilmiştir.

Dalga kılavuzu ile yapılan bu radyometre, MMIC tasarımları ile yapılan radyometrelere göre daha ağır ve hacimlidir fakat maliyeti daha azdır.

Dalga kılavuzu yapılarının bir araya getirilerek bağlanması MMIC yapılara göre daha kolaydır [20].



Şekil 2.21. Dicke radyometresi – Örnek 4

### 2.4.3. Diğer radyometre çeşitleri

Gürültü ilave radyometresi (noise-injection radiometer - NIR), korelasyon-bağıntı radyometresi (Correlation Radiometer - CorRad), Melez Radyometre (Hybrid Radiometer) diğer radyometre çeşitleridir.

### 2.5. Radyometrenin Amacı

Radyometrenin temel amacı algılamadır. Radyometreler tekil algılayıcı olarak kullanıldıklarında atmosferdeki su buharının tespitinde ve gökyüzü sıcaklık profilinin tespitinde kullanılabilir. Geliştirmiş olduğumuz ve Bölüm 6.'da detaylı olarak anlatılacak olan PMMDGS yardımıyla bulunduğumuz konumdaki gökyüzü sıcaklığı profilinin elde edilme çalışmaları Ek-B'de verilmiştir.

Cisimlerin yaydığı çeşitli ışımalarla göre görünür bölgede olmadığından duyu organlarıyla algılanamayan cisimlerin ışımasını algılayarak onların görüntüsünü oluşturabilmektir.

Farklı cisimlerin aynı sıcaklıkta ve aynı diğer şartlar altında yaydığı ışınım miktarları farklıdır. Bu sebeple; algılanan cisimlerin dielektrik gibi diğer özellikleri de radyometre ile ölçülebilir.

İnsanın iç sıcaklığının insan üzerindeki kıyafetlerden ve hatta insanın kendi üzerine sakladığı metal veya plastik cisimlerden daha farklı olması sebebi ile alıcılarda farklılıklar oluşur ve cisimler algılanarak görüntülenir. Diğer bir deyişle, insana gönderilen dalganın veya insandan gelen dalganın her aşamada farklı zayıflama göstermesi algılama işini kolaylaştırır.

Radyometrenin cisimler üzerinde gözle algılanamayan bu etkisi sayesinde çeşitli kullanım amaçları doğmuştur. İnsanların kendi üzerlerinde sakladığı patlayıcılar, silahlar vb., duvarların arkasında bulunan tehlikeli malzemeler, ağaçlık veya orman arazilerde gözle görülmesi çok zor olan çeşitli cisimler, toprak altında bulunan mayın veya değerli eşyalar, su altındaki batık gemiler veya çeşitli maddeler vb. radyometre sayesinde kolayca anlaşılmasına, tespit edilmeye başlanmıştır. Güvenlik güçlerince özellikle kullanılmaya başlanılan radyometreler sınır hatlarında hatta savaş anlarında cephelerde dahi kullanılmaya başlanmıştır.

Radyometrenin önemi gitgide artmış ve yağmur, sis, toz bulutu gibi doğa olaylarında da arka planı görüntüleme amaçlı kullanılabileceği anlaşılmıştır. Belirli frekans pencerelerinde çalışan bu radyometreler uçak, helikopter gibi taşıtlara veya karada sabit bir mekana entegre edilebilmiştir.

Radyometreler; hava alanı, şehir merkezi girişleri, alışveriş merkezleri ana kapıları gibi yerlerde de kullanılmaya yani askeriyeden sivil kullanıma doğru gelişmeye başlamış ve amaçları çeşitlilik kazanmıştır.

İlerleyen başlıklarda çeşitli ülkelerin kullandığı radyometrelerden örnekler verilecek ve radyometrenin kullanım amacı daha detaylı olarak aktarılacaktır.

## **2.6. Radyometrenin Kararlılığı**

Bütün devrelerde olduğu gibi radyometre alıcı devrelerinde de kararlılık son derece önemlidir. Kararlılığın en başında kazancın kararlı olması gelir. Referans sıcaklığının biliniyor olması ve değişmemesi bu hususta önemlidir. Kuvvetlendirici ve dedektör devrelerinin ayrı ayrı kararlılık durumlarına bakılmalıdır [20].

Sonuç olarak; iyi kararlılık ve sıcaklığın dengesinin kaliteli olması daha iyi bir radyometrik alıcı üretmek için birbirine son derece bağlıdır.



### 2.6.1. Kalibrasyon ve doğrusallık

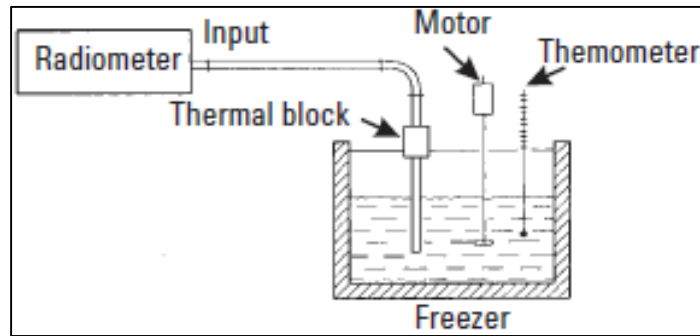
Kalibrasyonun asıl amacı ışımaya sıcaklığı ile gerilim, güç, sayısal sayımlar (digital counts) gibi çıkış değerleri arasında uyumlu bir bağlantı kurmaktır. Temelde devrede kullanılacak komponentlerin özellikleri iyi biliniyorsa, dalga kılavuzu kayıpları hesaba katılıyorsa, girişteki yansıma katsayılarının önemi hesaplanıyorsa ve fiziksel sıcaklık biliniyorsa kalibrasyon gereksiz gibi görünebilir ve modelde elde edilen değer gerçek değere çok yakın olabilir. Gerçekte ise bu denli doğru tahminler yapmak ve sıfır hata ile çalışmak çok zordur.

Çok iyi dizayn edilen kuvvetlendiriciler bile sıcaklık ile farklı çıkış özelliklerine sahip olabilmektedir. İşte bu nedenlerden ötürü; temel mutlak kalibrasyon hayati bir hale gelir.

Dicke radyometresi ve bazı diğer radyometreler geri besleme devrelerinden dolayı; devamlı kalibre edilmektedir. Bu tip radyometrelerde çalışma esnasında birkaç noktada kalibre işlemi vardır denilebilir. Toplam güç radyometresinde en az iki yerde kalibrasyona ihtiyaç vardır [20].

Kalibrasyon aynı zamanda doğrusallığı da beraberinde getirmektedir. Radyometrik görüntüleme sistemlerinde doğrusallık aranmaktadır.

Şekil 2.22.'de basit radyometrik kalibrasyonun fiziksel yapısı görülmektedir [20].

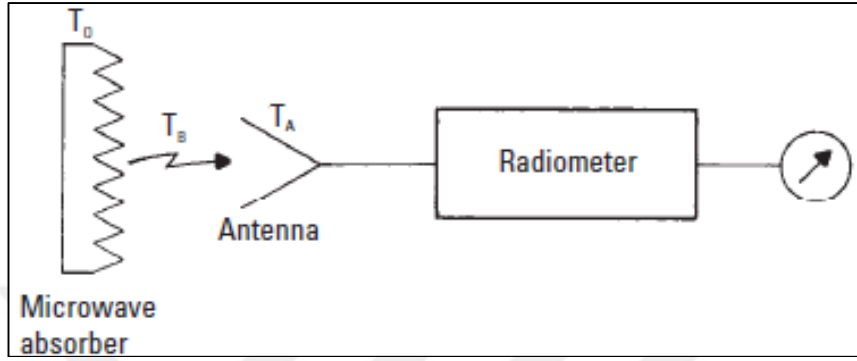


Şekil 2.22. Basit kalibrasyon fiziksel yapısı

Doğrudan sıcaklık ile bağlantılı olan bu kalibrasyon yapısı milimetre dalga sisteminde kullanılan radyometrelerin kalibrasyonuna dair fikir edinebilmek için yeterlidir.

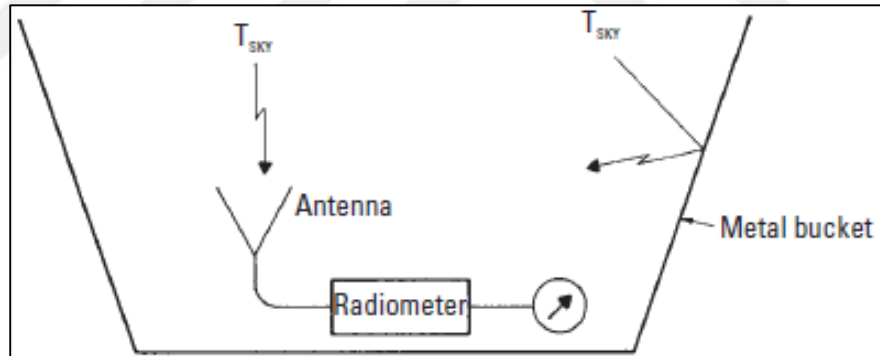
Yansımaz oda çalışmalarında önce Şekil 2.23.'teki gibi radyometre absorbe malzemesine (absorber – emici – soğurucu) tutulur ve ışıma ölçülür. İdealde emiciden gelen ışıma 0'dır. Gerçekte ise bir miktar ışıma olabilir.

Bu ışıma referans kabul edilerek kalibrasyon işlemi yapılır [20].



Şekil 2.23. Anten - radyometre kalibrasyonu

Gökyüzü kalibrasyonunda ise yansımaz odadaki gibi anten (yansımaz odadaki emiciye tutmaya kıyasla) gökyüzüne dik olarak Şekil 2.24.'teki gibi tutulur [20].



Şekil 2.24. Gökyüzü kalibrasyonu

Arka plan kalibrasyonunda ise ışımının ölçüleceği nesne arka planı genelde metal olan bir bölüme konulur ve tarama işlemi bu şekilde gerçekleştirilir. Radyometrik alıcı sadece arka plandaki metale tutulur ve iki ölçüm arasında karşılaştırma yapılır. Arka plandaki metal 45 derece olursa gökyüzü kalibrasyonuna benzerliği artacaktır zira gökyüzünden gelen ışımalar metale çarpacak ve metal 45 derece açı ile gökyüzü ışımalarını alıcıya doğru yansıtacaktır.

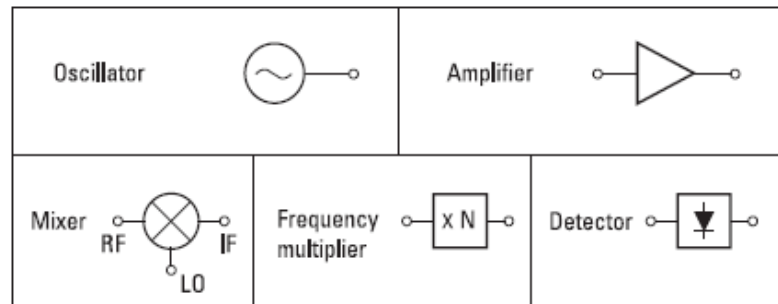
### 3. RADYOMETRELERDE KULLANILAN DEVRELER

Yayılcılığı,  $\epsilon$  ve yansıtıcılığı,  $\rho$  ölçmek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerin bir araya geldiği sistemlere radyometrik sistemler adı verilir. Katkılı Germanyum (Ge) bolometreleri, doğrudan algılayıcı alıcılar (direct detection receiver), ince ayarlı ön kuvvetlendirici kullanılan süperheterodin (superheterodyne) alıcılar bunlardan birkaçıdır [6].

Bu tip sistemler içerisinde düşük gürültülü güç kuvvetlendiricisi (low noise amplifier – LNA), dedektör (detector), mikser (mixer), osilatör (oscillator), frekans çarpıcı (frequency multiplier), video kuvvetlendirici (video amplifier - VA), orta frekans kuvvetlendirici devresi (intermediate frequency amplifier – IFA) gibi çeşitli devreler içerir. Bu devreler dalga kılavuzu (wave guide) yapısında olabileceği gibi, mikroşerit hatlar ile kurulan ve üzerinde yüzey montaj elemanı (surface mount device – SMD) olan devreler ile de oluşturulabilir.

Hem dalga kılavuzu hem de mikroşerit devre muhteva eden karışık devreler de mevcuttur. Eğer ara bağlantı ekipmanları temin edilebiliyorsa ve ara bağlantı ekipmanlarından ötürü; oluşan kayıplar göze alınabiliyorsa karışık devreler ile radyometre sistemi yapılabilir.

Şekil 3.1.'de radyometre sistemlerini oluşturmak için kullanılan bazı devrelerin devre gösterimi verilmiştir [19].



Şekil 3.1. Devre sembolleri

### 3.1. Düşük Gürültülü Güç Kuvvetlendirici (LNA)

Kazancın artırılması ve gürültü katsayısının (noise figure - NF) azaltılması için düşük gürültülü güç kuvvetlendiricilerinin (low noise amplifier - LNA) devre yapısı çok önemlidir. LNA devresinin girişine ve çıkışına empedans uyumlama devreleri yapılmalıdır. Küçük işaret doğrusallığının (small signal linearity – IP3) ve büyük işaret doğrusallığının (large signal linearity - 1 dB Compression Point) sağlanabilmesi için diğer bir ifade ile performans parametrelerinin sağlanabilmesi için uyumlama devreleri şarttır [21].

GaAs (Galyum Arsenit) ve SiGe (Silisyum Germanyum) yarı iletkenlerinin sıklıkla kullanıldığı BJT (bipolar junction transistor) teknolojisi ile yapılan LNA devreleri çoğunlukta olmak üzere; diğer yarı iletken transistör çeşitleri ile de LNA'lar yapılabilmektedir. Günümüz teknolojisinin çok ilerlemesi ve transistörlerin nano boyutlara inmesi LNA'ların el ile yapımını zorlaştırmakta fakat fabrikasyon yapımını robotlar ile hızlandırmaktadır. MOS (Metal Oksit Yarı iletken – Metal Oxide Semiconductor) yapıların da dahil olması ile birlikte CMOS LNA (Complementary MOS LNA) yapılarının üretimi hız kazanmıştır.

Transistörlerin küçülmesi telefon gibi teknolojik aletlere daha fazla transistörlü devre entegre edilmesinin önünü açarak bu tip aletler ile yapılabileceklerin artmasına yol açmıştır. Bu sayede; teknoloji son çeyrek yüzyılda tüm yüzyıla göre daha çok ilerlemiştir.

Öte yandan küçülen transistörler MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit – Tekil Mikrodalga Tümleşik Devresi) yapılar ile birleşmiş ve çok sayıda farklı çip teknolojisi oluşturulmuştur. Çipin içine dahil edilen transistörlerin bağlantısı sayesinde LNA çipleri meydana gelmiştir. Empedans uyumlaması (impedance matching) ve besleme devreleri (feed circuit) oluşturularak LNA çipleri çalıştırılabilmektedir [21].

Diğer kuvvetlendiricilere göre LNA'lar, alternatif akımın geçtiği topraktan veya wire-bonding tekniği ile LNA transistörlerinin veya çiplerinin devre kartına bağlanması ile oluşan indüktif etkilerden dolayı; kararsızlaşabilirler. 900 MHz veya daha üstü frekanslarda çalışan LNA devrelerindeki birkaç nanohenrilik (nH)

induktans etkileri kaplıne (kuplaj) yol açabilir. Bu kuplajdan ötürü; osilasyon oluşur ve kararsızlık durumu ortaya çıkar. Bu kararsızlaşmayı önlemek için keskin hatlarla devre kartına entegrasyon çok önemlidir. Wire-bondların aşırı veya gereksiz uzunlukta olmaması gerekir [27].

Tablo 3.1.'de Tipik LNA karakteristikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Tipik LNA karakteristikleri

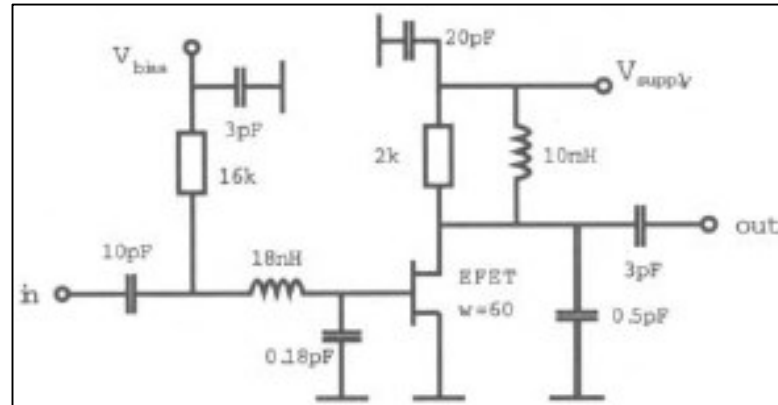
| Karakteristik adı          | Değeri      |
|----------------------------|-------------|
| Gürültü figürü             | 2 dB        |
| 3. derece kesişim noktası  | -10 dBm     |
| Kazanç                     | 15 dB       |
| $Z_{giriş}$ ve $Z_{çıkış}$ | 50 $\Omega$ |
| Giriş ve çıkış dönüş kaybı | -15 dBm     |
| Ters izolasyon             | 20 dB       |
| Kararlılık faktörü         | >1          |

### 3.1.1. LNA devresi örnekleri

Bu bölümde, LNA devresi konusunu daha iyi anlayabilmek için birkaç örnek verilecektir.

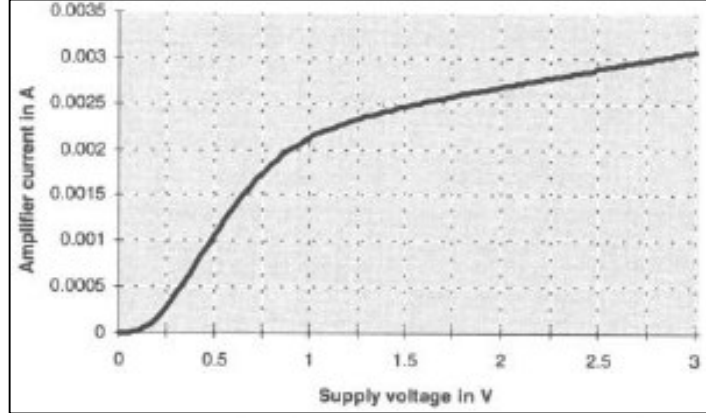
#### 3.1.1.1. LNA devresi örnekleri: Örnek 1

Güç tüketiminin önemli olması sebebi ile 1 V değerinin altında besleme ile çalışan LNA'lar dizayn edilmiş ve üretilmiştir. Şekil 3.2.'de 0,9 V besleme ile çalışan bir LNA devresi örneği verilmiştir [21].



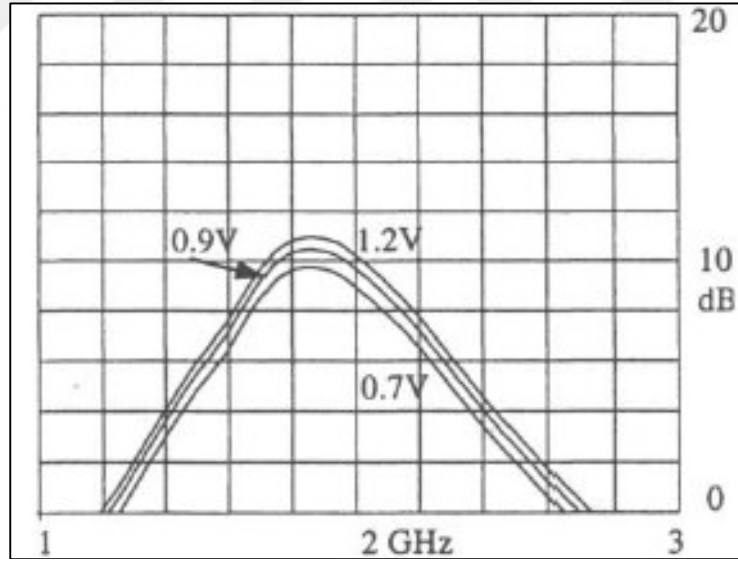
Şekil 3.2. 0,9 V ile çalışan bir LNA devresi

Şekil 3.3.'te 0,9 volt ile çalışan LNA devresinin akım – gerilim karakteristiği verilmiştir. Devre 2 mA akım çekmektedir [21].



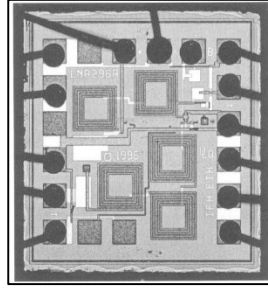
Şekil 3.3. 0,9 V ile çalışan LNA devresinin akım – gerilim karakteristiği

Besleme gerilimi kazanç ile yakından ilgilidir. Şekil 3.4.'te kazanç – frekans grafiği verilmiştir [21].



Şekil 3.4. 0,9 V ile çalışan LNA devresinin kazanç – frekans karakteristiği

Bölüm 1.2.1.'de Wire-bonding konusunda da değinildiği üzere LNA devreleri milimetrekareler mertebesi boyutlarında olduğu için lehimleme işlemi wire-bonding ile yapılır.

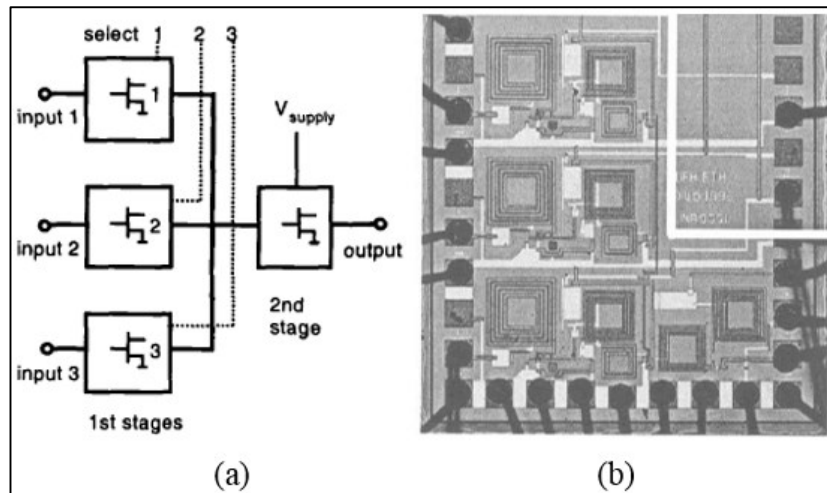


Şekil 3.5. 0,9 V ile çalışan LNA devresine wire-bond uygulaması (çip boyutu:  $1 \times 1 \text{ mm}^2$ )

Wire-bonding yapılarak devre kartına entegre edilen 1 V altındaki gerilim ile (0,9 V) çalışan Şekil 3. 5.'teki LNA devresinin gerçek görüntüsü mikro-fotoğraf yoluyla elde edilmiştir [21, 22].

### 3.1.1.2. LNA devresi örnekleri: Örnek 2

Birden fazla LNA devresinin bir araya gelerek oluşturduğu bütün bir LNA devresi oluşturmak da mümkündür. 4,5 GHz frekansında minimum gürültü figürüne (3,5 dB) ulaşan ve 14 dB kazanca (Gain – G) sahip olan anahtarlamalı çoklu LNA devresi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. 3,3 V ile çalışan bu LNA devresi 13 mW güç çekmekte ve 4 mA akım ile sürülmektedir. Anahtarlamalı devre olan bu devre diğer çok katlı LNA'lar ile yapılan LNA devrelerine göre daha az yer kaplamaktadır. Devre kartına entegrasyonu yine wire-bonding tekniği ile yapılmıştır [21].

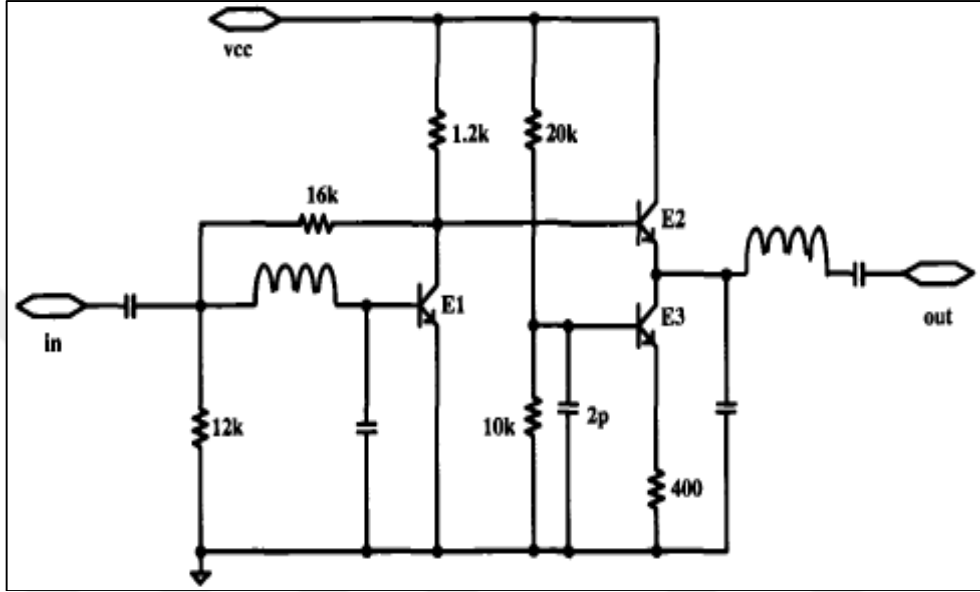


Şekil 3.6. (a) Çok katlı LNA devresi blok diyagramı (b) wire-bond uygulanmış  $1,5 \times 1,5 \text{ mm}^2$  büyüklüğündeki devre

### 3.1.1.3. LNA devresi örnekleri: Örnek 3

Şekil 3.7.'de 1,9 GHz frekansında çalışan başka bir LNA tasarımı gösterilmiştir. Burada LNA BJT'ler ile iki katlı olarak yapılmıştır.

Harici indüktörler RF gürültüsü ve kazanç uyumu için eklenmiştir [23].



Şekil 3.7. BJT'ler ile tasarlanan iki katlı LNA

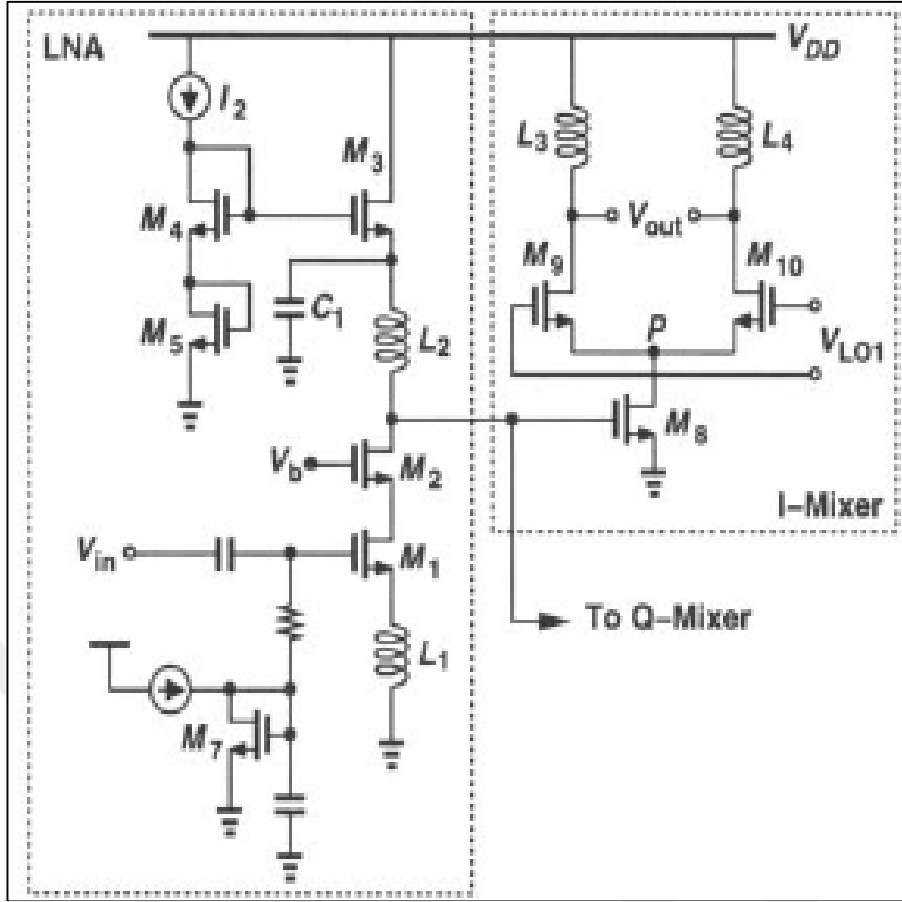
Burada indüktörler devreye basılı halde bulunmaktadır (mikroşerit). 2,3 dB gürültü figürü olan bu devre 3 V ile çalışmakta ve 5,2 mW güç tüketmektedir. Ayrıca; 15 dB kazancı vardır [23].

### 3.1.1.4. LNA devresi örnekleri: Örnek 4

Şekil 3.8.'deki gibi gürültü çarpanı (noise figure) az bir LNA tasarımı isteniyorsa indüktanslar yardımıyla kurulmuş bir ortak kaynaklı kaskad FET'ler (Field Effect Transistor) ile LNA tasarımı yapılabilir.

Bu devrede LNA 5 mA ile sürülüyor ve 2,5 dB'den az bir gürültü figürüne sahip oluyor. 22 dB voltaj kazancına sahip olan şekildeki LNA, mikserine sinyali göndererek devredeki işlemini tamamlıyor [21].





Şekil 3.8. LNA ve mikser birleşimi

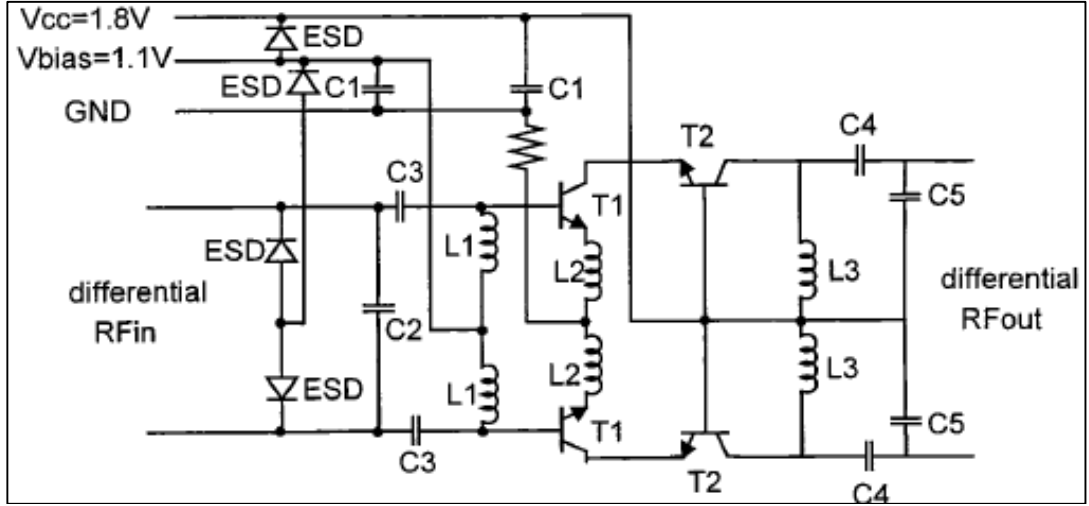
### 3.1.1.5. LNA devresi örnekleri: Örnek 5

Şekil 3.9.'da frekans aralığı 1,805 ile 1,880 GHz olan Bipolar LNA görülmektedir. Gürültü figürü 4,5 dB, güç kazancı 15 dB, empedans uyumu 100 ohm, besleme gerilimi 1,8 V, kollektör akımı 20  $\mu$ A olarak dizayn edilmiştir [24].

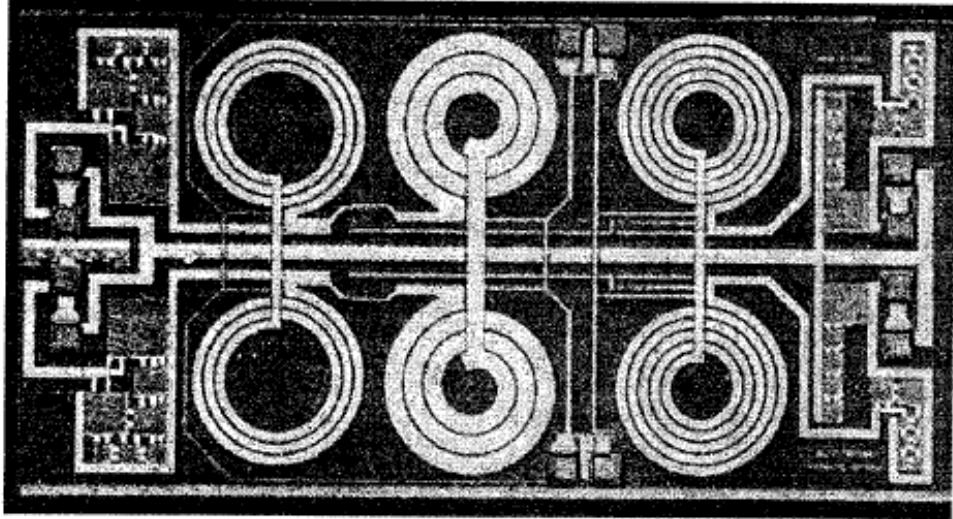
Bu devrede bipolar transistörün emetör genişliği 1  $\mu$ m ve kollektör uzunluğu 1,2  $\mu$ m'dir.

Transistörlerin ve indüktörlerin orta kısımda olduğu düşünülürse sol tarafta giriş uyumlama devresi, sağ tarafta ise çıkış uyumlama devresi mevcuttur.

Şekil 3.10.'da bulunan devrenin mikro boyutta fotoğrafında indüktörler açıkça görülebilmektedir [24].



Şekil 3.9. Uyumlama devreleri ile beraber verilmiş bir LNA



Şekil 3.10. Uyumlama devreleri ile beraber verilmiş olan LNA devresinin mikro boyuttaki bir fotoğrafı

Bu devrede bulunan ESD'ler (Electro Static Discharge – elektro statik boşalma) elektriksel boşalmalarda devrenin zarar görmesini engellemek için kullanılmıştır. 10 kV değerlerini bile aşabilen elektriksel gerilim boşalmaları yüzünden devre elemanları hatta devreler yanabilmektedir. Bu gibi zararların engellenmesi için ESD kullanılır.

Şekil 3.10.'daki mikro fotoğrafta görülebileceği üzere indüktanslar yerine aynı işlevi görebilecek şekilde ayarlanan mikroşerit hatlar kullanılmıştır.

### 3.1.2. LNA tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar

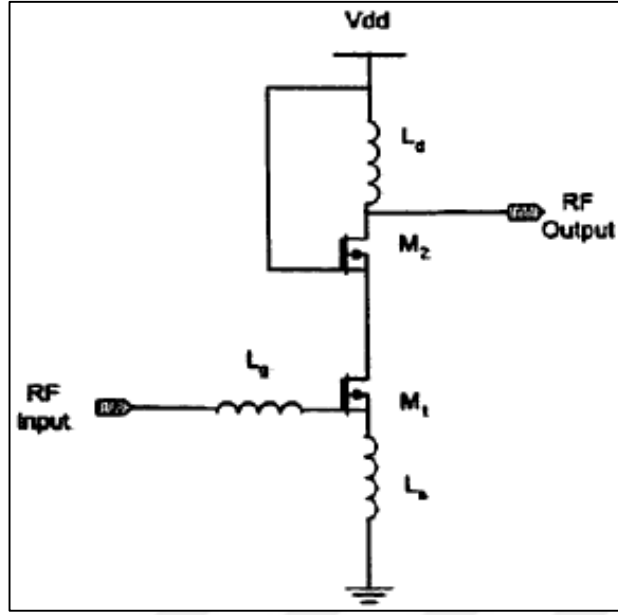
Alıcı yapılarındaki devrelerin en ön kısmında bulunan LNA'ların iyi bir gürültü figürüne sahip olması çok önemlidir. Bu nedenle; isimleri de üzerlerine aldıkları görevin önemini arz etmek için düşük gürültülü güç kuvvetlendiriciler olarak belirlenmiştir. Bu tip devreler için tek önemli parametre gürültü değil ayrıca sağladıkları kazançtır. Oluşan gürültünün kompanzasyonu için ve aldıkları sinyali bir sonraki devrelere (örneğin; dedektör veya mikser) aktarabilecek yeterli ölçüde kazançta da sahip olmaları gerekir [25].

LNA tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Düşük gürültü seviyesi
- Yüksek gerilim kazancı
- Yüksek doğrusallık
- İyi bir giriş – çıkış empedans uyumlama devresine sahip olmak
- Kararlılık

LNA devrelerinde empedans uyumlama genellikle 50 ohm ile yapılır. LNA'dan sonra gelecek devre bağlandığında uyumun bozulup bozulmadığına dikkat edilmelidir. Ayrıca az enerji tüketimi yapan LNA'lar daha çok tercih nedenidir. Ortak kaynaklı transistörler ile oluşturulan LNA devreleri daha fazla kararlılığa sahip oldukları için ve giriş – çıkış portları arasında daha az kapasitik etkilere neden oldukları için daha çok tercih edilirler [80].

Şekil 3.11.'de kaskad topolojide bir LNA devresi verilmiştir (Şekil 3.8.'deki LNA'nın daha basit bir hali). Bu devredeki indüktans yapıları doğrusallığı artırmak için kullanılmıştır. Ayrıca empedans uyumlama görevleri de vardır. M1 transistörü ortak kaynak, M2 transistörü ise ortak kapı transistörüdür [25].



Şekil 3.11. LNA'da kaskad topoloji

Ortak kaynak transistörünün gördüğü giriş empedansı;

$$Z_{in} = s(L_s + L_g) + \frac{1}{sC_{gs}} + 2\pi f_t L_s \quad (3.1)$$

ile ifade edilir. Bu denklemde gerçek kısım 50 ohm, sanal kısım ise 0 olacak şekilde değerler seçilir [25].

LNA tasarımında ilk önce LNA devresinde kullanılacak transistör seçilir. Bu transistörün kutuplama noktası değerleri yani optimum çalışması için gereken akım ve gerilim değerleri belirlenir. Bu değerler belirlenirken ilk tasarım problemi ile karşılaşılır. Bu problem bir dilemmadır. Çünkü düşük kutuplama noktası değerlerinde gürültü figürü gayet az çıkmaktadır fakat kazanç iyi değildir. Yüksek kutuplama noktası değerlerinde ise kazanç maksimum iken gürültü katsayısı fazlalaşmaktadır. İşte bu noktada hangi kutuplamanın yapılacağı çok önem kazanır. Kazancın mı yoksa gürültüsüzlüğün mü önemli olacağına tasarımcı karar verir. Kimi devreler için gürültü katsayısının az olması daha iyi iken kimi devrelerde kazanç yüksek istenir. Her ikisi için de maksimumu bulmak yerine optimum değerleri bulmak daha doğru olacaktır. Optimum bias noktası (kutuplama veya çalışma noktası) bulunurken devrenin lineer kalmasına (doğrusallığını yitirmemesine) ve giriş – çıkış devre uyumsuzluğu yaşanmamasına gerekli önemi vermek ehemmiyet arz etmektedir.

Smith Abağı (Smith Chart) kullanılarak veya diğer analiz yöntemleri ile kararlılık testleri de yapılmalı ve sonuçta kararlı bir LNA devresi oluşturulmalıdır.

LNA'nın yapı taşı olarak kullanılan transistörün çalışabildiği bütün frekanslar hatta DC ( $f=0$ ) değerinde dahi kuvvetlendiricinin kararlılığına bakılmalıdır [26].

### 3.1.3. LNA performans parametreleri ne olmalıdır?

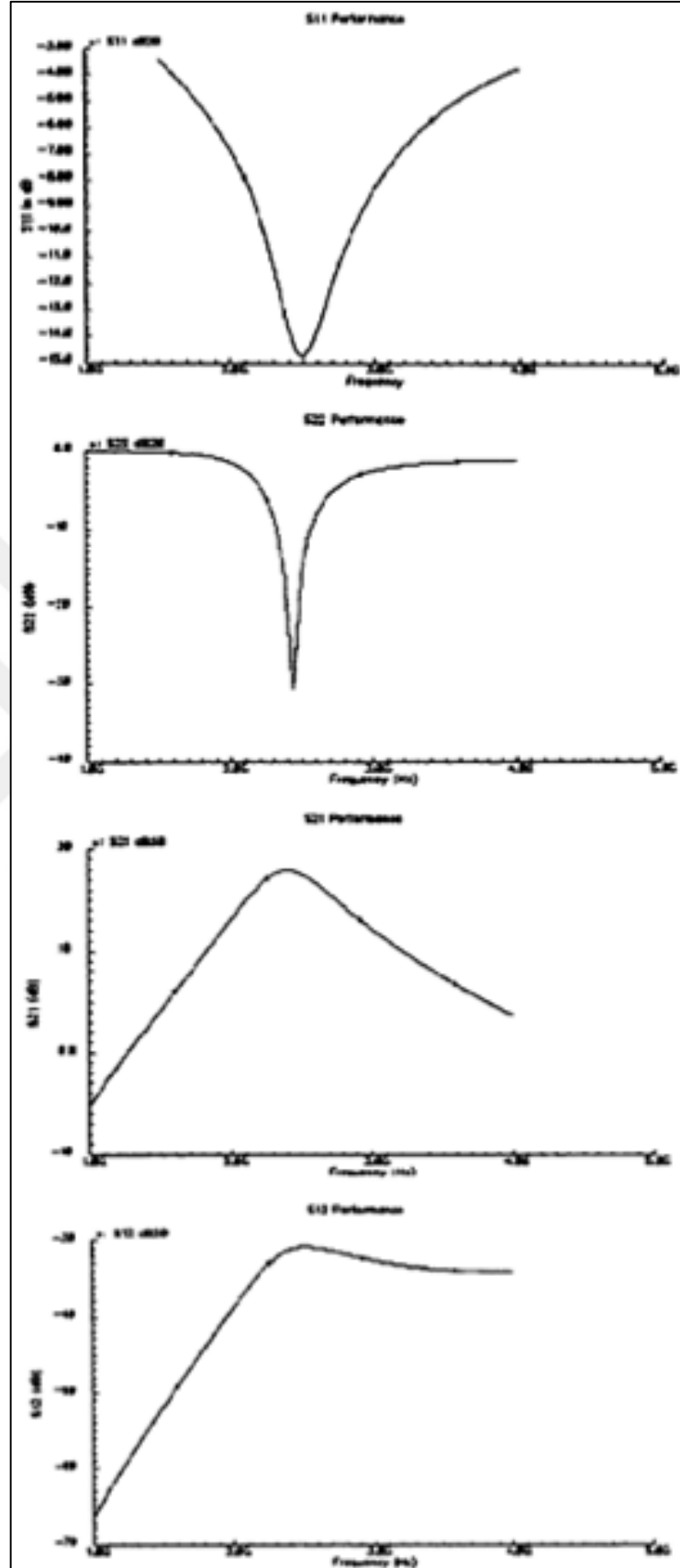
Performans parametreleri denilince akla ilk olarak S (Scattering – saçılma) parametreleri gelmelidir. Diğer önemli parametreler ise gürültü figürü, 1 dB bastırma noktası değeri, üçüncü derece kesişim noktası (IIP3) ve çektiği akım olarak yorumlanabilir.

S parametrelerini ele alacak olursak;  $S_{11}$  parametresi,  $S_{22}$  parametresine;  $S_{21}$  parametresi,  $S_{12}$  parametresine grafiksel olarak benzemektedir.

$S_{21}$  değerinin genellikle 20 dB'ye yakın,  $S_{12}$  değerinin ise genellikle -20 dB'ye yakın çıkması istenmektedir.  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  değerlerinin ise istenilen çalışma frekansında -10 dB'den düşük çıkması beklenmektedir [25].

Şekil 3.12.'de 2,4 GHz frekansında çalışan bir CMOS LNA devresine ait S parametreleri örnek grafikleri verilmiştir.

Bu grafiklerin incelenmesi ile  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  karakteristiklerinin ne olduğu anlaşılabilir.



Şekil 3.12. Yukarıdan aşağıya doğru frekans eksenine göre  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  grafikleri

2,4 GHz frekansında çalışan CMOS LNA'nın özet tablo halinde performans parametreleri Tablo 3.2.'de verilmiştir [25].

Tablo 3.2. CMOS LNA'ya ait performans parametreleri değerleri

| Tasarım Parametresi         | Şematik Benzetim Sonuçları | Birim |
|-----------------------------|----------------------------|-------|
| $S_{11}$                    | -13,7                      | dB    |
| $S_{22}$                    | -20,5                      | dB    |
| $S_{21}$                    | 17,9                       | dB    |
| $S_{12}$                    | -31                        | dB    |
| Gürültü Figürü (NF)         | 2,5                        | dB    |
| Giriş IIP3                  | 1,9                        | dBm   |
| Giriş 1 dB Bastırma Noktası | -20                        | dBm   |
| Toplam Akım Dağılımı        | 8,4                        | mA    |

Tablo 3.2.'den de görüldüğü gibi ileri yöndeki kazanç  $S_{21}$  yaklaşık 18 dB değerindedir.

#### 3.1.4. LNA özellikleri

Bölüm 3.1.2.'de belirtilen hususları bu başlık altında tekrar derinlemesine anlatmakta yarar vardır. Zira LNA, alıcı devresinde antenden sonra gelen ilk devre ve ilk kazanç sağlayan devre bölümüdür.

$F_i$  gürültü faktörü (NF),  $G_{a,i}$  kazanç olmak üzere; Friis'in (3.2)'de m adet devre için üretilen toplam gürültü, LNA devresinde doğrudan gürültü figürü olarak yerini alır [24].

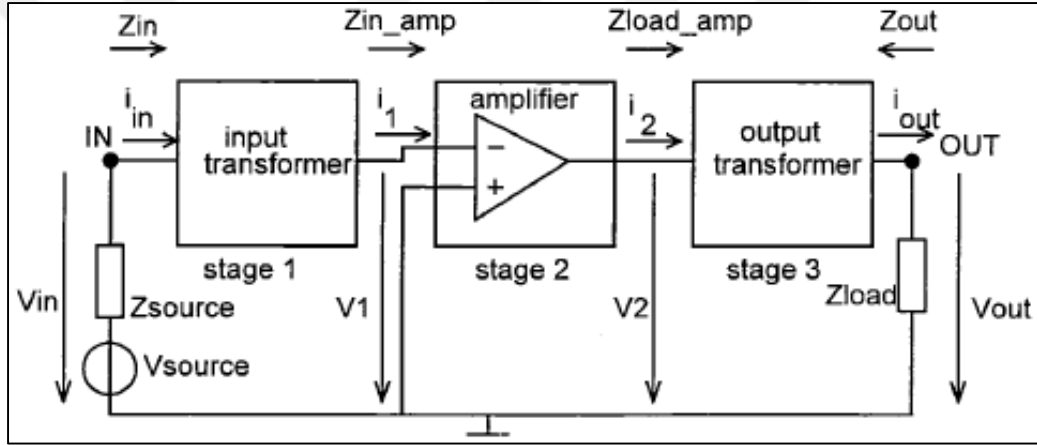
$$F_{\text{toplam}} = 1 + (F_1 - 1) + \frac{F_2 - 1}{G_{a,1}} + \frac{F_3 - 1}{G_{a,1}G_{a,2}} + \dots + \frac{F_m - 1}{G_{a,1}G_{a,2}\dots G_{a,m-1}} \quad (3.2)$$

Gürültü figürü, LNA'nın çıkıştaki sinyal gürültü oranının (Signal to Noise Ratio - SNR) bozulmadaki ölçüsünün; girişteki sinyal gürültü oranının bozulmadaki ölçüsü ile kıyaslanmasıdır.

Bir diğer önemli performans parametresi ise kazançtır. Sinyal, gürültü oranının artması engellenerek yükseltilmelidir. Bu esnada lineerlik özelliğine de dikkat edilmelidir.

Üçüncü önemli parametre ise IP3 veya IIP3 olarak adlandırılan üçüncü derece kesişim noktasıdır.

Bu 3 önemli parametre için istenilen özellikler sağlanırken minimum enerji tüketimi yapılmasına da dikkat edilmelidir. LNA, 3 aşamalı kaskad yapı şeklinde Şekil 3.13.'teki gibi gösterilebilir. Burada 3 bölümün toplamı LNA devresidir. İlk bölüm giriş empedans uyumlama devresidir ve anten çıkışı ile empedans uyumlama yaparak sinyali gerçek LNA devresine aktarmaktadır. Üçüncü bölüm çıkış empedans uyumlama devresidir. Gerçek LNA'dan gelen sinyali diğer devreye aktarmaya yaramakta ve empedansı 50 Ω'a ayarlamaktadır [24]. Bölüm 8.2.4.'te kaskad LNA konusunda yapılan çalışmalar verilecektir.



Şekil 3.13. Empedans uyumlama ve LNA kaskad yapısı

3 aşamalı LNA kaskad yapısı içinde bulunan gerçek LNA devresi sade bir transistörden oluşabileceği gibi transistörlerin kaskad yapısından, ortak emetörlü/ortak kaynaklı yapılardan, BJT – FET karışımı transistörlerden, çiplerden ya da hem çip hem de daha farklı transistör yapılarından oluşabilir.

Şekil 3.13.'te voltaj kazancı  $A_v$  ve güç kazancı  $G_p$ ;

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} \quad (3.3)$$

$$G_p = \frac{P_{yük(gerçek)}}{P_{giriş(gerçek)}} = \frac{gerçek(V_{çıkış} \times i_{çıkış}^*)/2}{gerçek(V_{giriş} \times i_{giriş}^*)/2} \quad (3.4)$$



ile ifade edilebilir. Bu denklemlerde güçlerin imajiner kısımlarının alınmasına gerek yoktur [24].

Giriş ve çıkıştaki empedans uyumlama devreleri daha çok indüktans ve kapasiteler ile yapılır, direnç kullanılmaz. Direnç kullanılmamasının temel nedeni direncin gürültüye sebep olmasıdır. Girişteki uyumlama devresindeki empedans değerinin optimum alabileceği değer kaynaktan gelen empedans değeridir. Genellikle bu değer antenden  $50 \Omega$  olarak gelir. Bu nedenle; giriş uyumlama devresi  $50 \Omega$ 'a sabitlenir. Tam bir sabitlenme olmaz ise güç transferinde bir takım kayıplara neden olunur. Kabul edilebilir seviyelerde kayıplar olursa devre tasarımına devam edilir. Eğer kayıp çok olursa empedans uyumlama devresine yeniden başlanır. Çıkıştaki uyumlama devresindeki empedans değerinin optimum alabileceği değer sıradaki devreden (mikser ya da dedektör) gelen empedans değeridir. Genellikle bu değer de aynı şekilde  $50 \text{ ohm}$  olarak düşünülerek hesap yapılır ki sıradaki devreye giren empedans değeri  $50 \text{ ohm}$  olarak kabul edilebilsin.

Giriş genlik seviyesinin değiştirilmesi sadece empedans uyumlamayı değil doğrusallık özelliğini de değiştirir. Yüksek giriş genliği, kuvvetlendiricinin non-linear (doğrusal olmama) özelliğinin akım – gerilim karakteristiğinden dolayı; lineerliği bozar. Antenden gelen sinyal  $-90 \text{ dBm}$ 'den  $-20 \text{ dBm}$ 'e kadar değişken dinamik değerler alabilir.

Fazla güç kullanılmazsa, büyük dinamik değerler, lineerlik özelliğini kazandırmayı zorlamaktadır [24].

### **3.2. Mikser (Karıştırıcı)**

Mikserler bir nevi frekans değişim işlevini gerçekleştirmek için kullanılırlar. Bu nedenle; 2 adet ayrık girişleri bulunur. Kavşak noktası olarak anılabilirler. İki adet giriş noktasından sırayla devrenin akmasına ve karşılaştırma işleminin yapılmasına izin verirler. İki girişten de RF sinyali devreye girer ve mikserden sonra bulunan filtre veya dedektör gibi devrelere bu sinyaller aktarılır [24].

LNA devrelerinde olduğu gibi mikser devrelerinde de doğrusallık (linearity) önemli bir etkidir. Doğrusal olmayan (Non-linear) devreler çeşitli harmonik etkiler oluşturabilirler.

Non-linear davranış sergileyen devrelerde kararlılık özelliği de azalır.

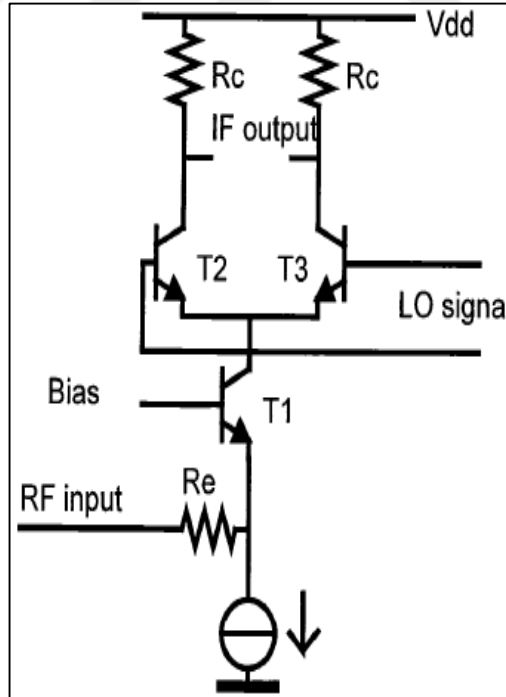
Gilbert hücresi gibi çeşitli adlarda mikser tasarımları olduğu gibi genellikle mikser tasarımları çift kutuplu bağlantı transistör (Bipolar Junction Transistor - BJT) ve alan etkili transistör (Field Effect Transistor – FET) olarak 2'ye ayrılırlar.

Bu yapıların aktif ve pasif olarak dallandırılması da mümkündür.

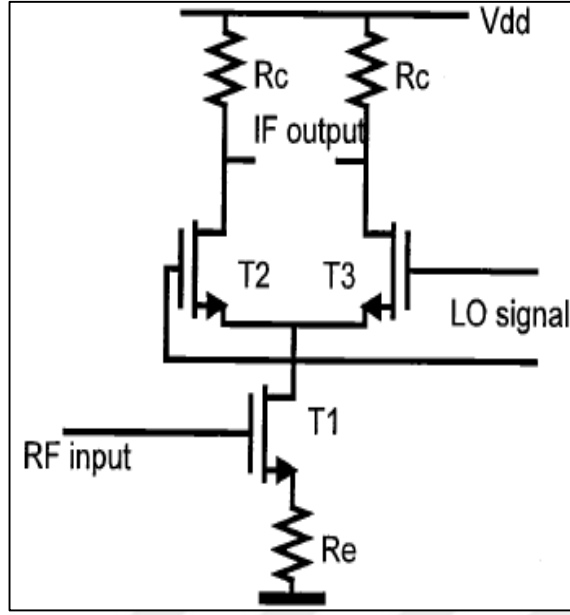
Şekil 3.14. ve Şekil 3.15.'te iki adet mikser devresi örneği verilmiştir.

Bu şekillerde transistörler ile mikser devreleri gösterilmiştir fakat çip teknolojisi ile de mikserler yapılabilir/vardır [24].

Tablo 3.3.'ten tipik mikser karakteristikleri incelenebilir [27].



Şekil 3.14. Tekil dengeli aktif mikser



Şekil 3.15. Tekil dengeli CMOS mikser

Tablo 3.3. Tipik mikser karakteristikleri

| Karakteristik adı         | Değeri      |
|---------------------------|-------------|
| Gürültü figürü            | 12 dB       |
| 3. derece kesişim noktası | 5 dBm       |
| Kazanç                    | 10 dB       |
| $Z_{giriş}$               | 50 $\Omega$ |
| Porttan porta izolasyon   | 10-20 dB    |

BJT'ler veya FET'ler ile mikser yapılabileceği gibi diyotlar ile de, örneğin; Schottky diyot, mikser tasarımı yapılabilir. Balanssız (unbalanced), tekil balanslı (single balanced) ve çift balanslı (doubly balanced) olarak mikserler çeşitlendirilebilir [26]. Ayrıca, tekil balanslı mikserler 180 derece ve 90 derece olarak ikiye ayrılır. Çift balanslı mikserler ise ring (halka) mikser, horseshoe mikser, star mikser gibi yapılarına göre çeşitli isimler alabilirler [28].

Heterodin mikserler milimetre dalga teknolojisinde en çok kullanılan alıcı çeşitlerindedir. Mikser, mikser devre elemanının (veya çipinin) ve uyumlama devresinin entegre edildiği planar antenin bulunduğu monolitik devre olabilmektedir. Mikserler dalga kılavuzu yapılarına göre çok küçük ve çok hafiftir. Heterodin mikser dizi yapıları tekil mikser yapılarına göre daha hızlı tarama olanağı sunar. Astronomi ve askeriye için uygundur. GaAs Schottky diyodun sık olarak kullanıldığı mikser yapılarında düşük gürültü aranır. 300 GHz frekansının üstündeki

yapılarda quasi optik yapılardan yararlanılır. Superconductor – Insulator – Superconductor (SIS, Süper İletken – Yalıtkan – Süper İletken) yapılarında ise düşük gürültü boyutu en iyidir [6].

### **3.2.1. Doğrusal mikser tasarımı**

Her ne kadar başlığın adı mikser olsa da buradaki bilgiler modülatör, demodülatör, dalga formu örnekleyicileri (waveform samplers), RF anahtarları, kontrollü zayıflatıcılar ile ilgilidir.

Bu tip devreler kullanıldığı tüm devre içinde kontrol gibi bir görevi üstlenirler. Bu devreler genellikle kavşak noktalarında bulunurlar ve anahtarlayıcı elemanlara sahiptirler. Mikserler veya örnekleyiciler için kontrol sinyali yerel osilatör (local oscillator – LO) veya örnekleme saati olarak verilebilir.

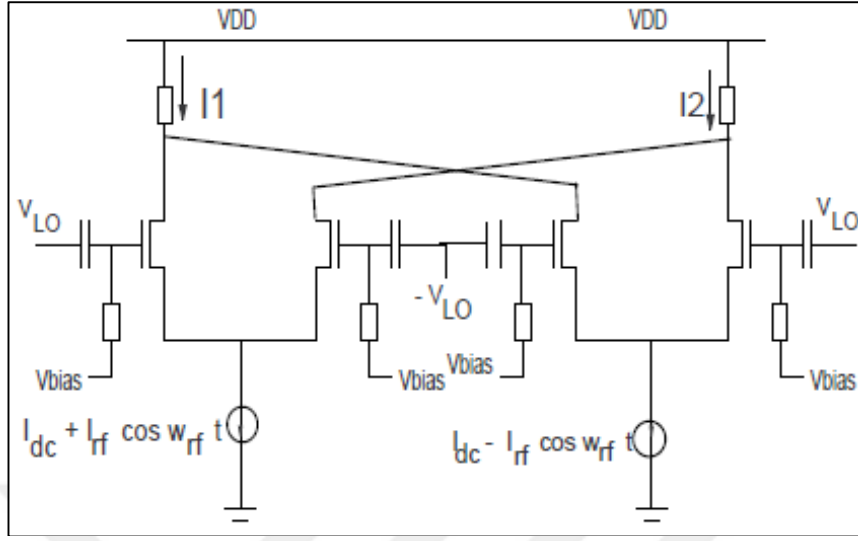
RF anahtarları ve değişken zayıflatıcılarda LO mikserlere göre daha yavaş hareket eder. Devrenin çalışmasının kontrol edilmesi, geri besleme veya zamana göre çeşitli durumların olduğu devrelerde dezavantajları giderme gibi yararlı fonksiyonları vardır [26]. BJT'ler ile yapılabileceği gibi FET'ler ile de mikser dizaynı yapılabilir. Kendinden önceki ve sonraki devrelerle uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Empedans uyumu her iki tarafta da yapılır.

Mikserler lineer olmayan aktif devre elemanlarıdır. Devrede yaşanabilecek bozulmalara (distortion) neden olabilirler, devrenin bozulma oranı mikser ile belirlenebilir. Bozulmanın az olması veya tamamen engellenmesi ve kararlılık durumları LNA'da olduğu gibi mikserde de önemlidir. Mikserdeki bozulmanın az olması için kendinden önce gelen LNA devresinin çıkışındaki RF sinyalinin genliğinin az olması gerekmektedir. Devrenin kazancını çok fazla düşürmeden bozulmanın az olmasını sağlayacak şekilde alınan RF sinyalin seviyesi devre tasarımında karşılaşılan ikinci dilemma (ikilem) olarak öngörülebilir (ilk dilemma LNA tasarımında dikkat edilecek hususlar başlığı altındaydı). Bozulmanın az olması ile gürültü figürü de az olacaktır [26].

### **3.2.2. Mikser devresi örnekleri**

Çeşitli tiplerde mikserlerden örnekler verilerek konu daha net anlaşılabilir.

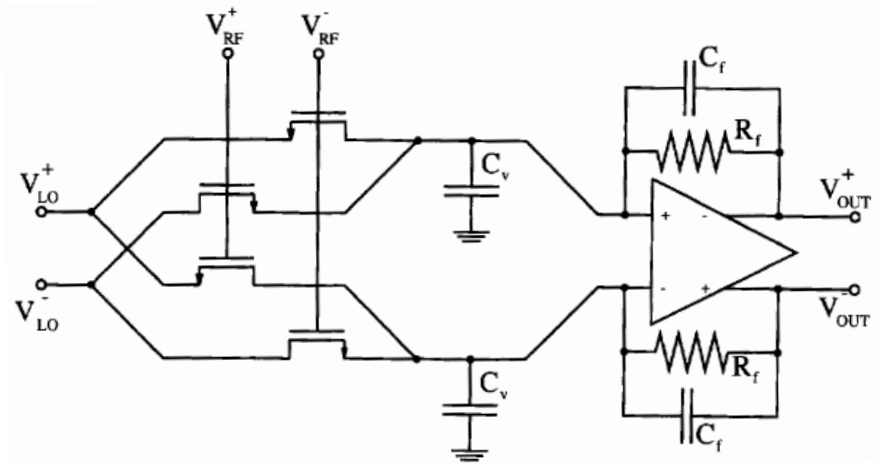
### 3.2.2.1. Mikser devresi örnekleri: Örnek 1



Şekil 3.16. Çift balanlı mikser

Şekil 3.16.'daki mikser, doğrusal transkondüktör ile birleşip çapraz dörtlü transkondüktörlü çift balanlı mikseri oluşturur [29].

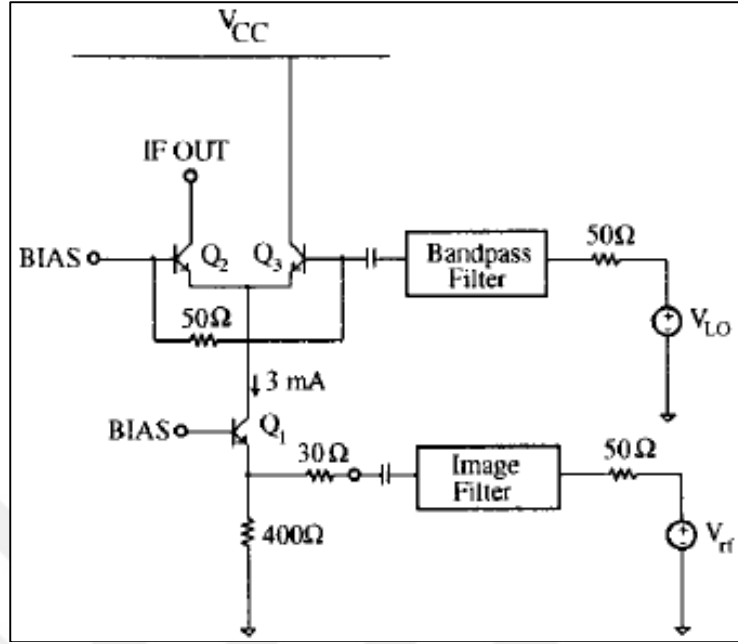
### 3.2.2.2. Mikser devresi örnekleri: Örnek 2



Şekil 3.17. Ekstra kapasitörlü mikser

1,5 GHz frekansında çalışan, ekstra kapasitörlerle desteklenmiş ve yüksek ölçüde doğrusal olan CMOS yapıdaki mikser örneği Şekil 3.17.'de verilmiştir. Bu devre 1,3 mW güç tüketmekte ve 5 V gerilim ile çalışmaktadır [30].

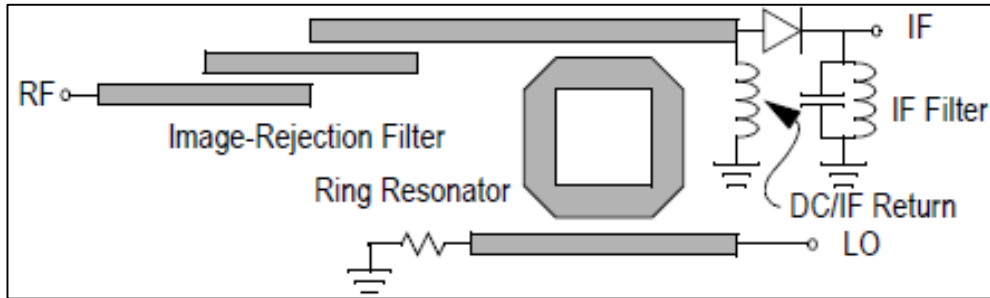
### 3.2.2.3. Mikser devresi örnekleri: Örnek 3



Şekil 3.18. Bant geçiren filtrelili 1 GHz BJT mikser

Bant geçiren filtrenin de gösterildiği 1 GHz frekansında çalışan Şekil 3.18.'de verilen mikser BJT kullanılarak yapılmıştır ve gürültü analizi yöntemine göre oluşturulmuştur [31].

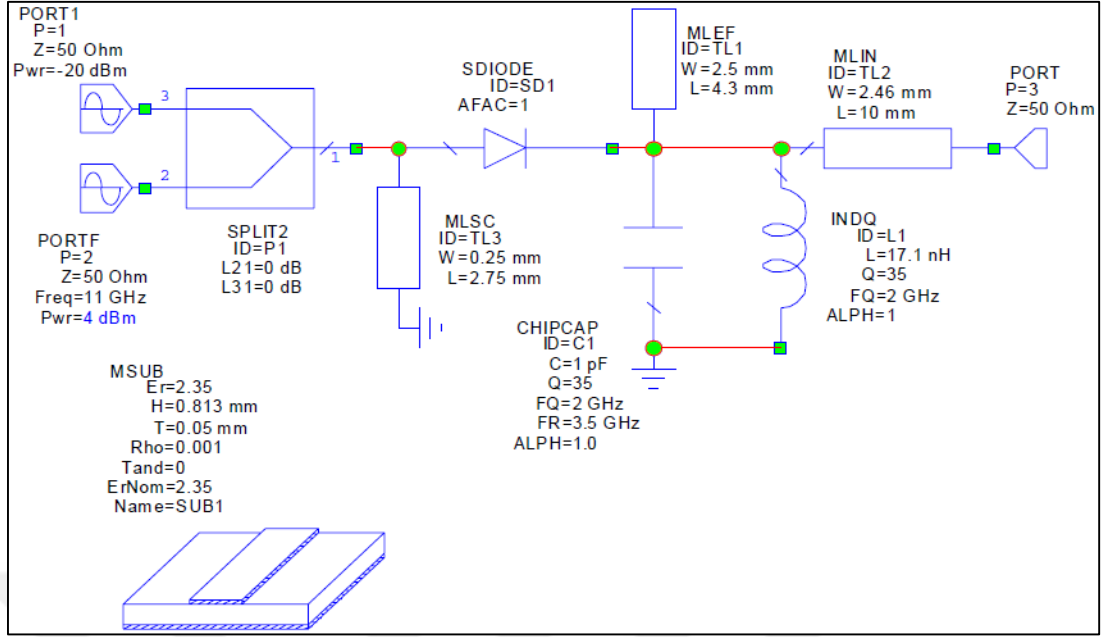
### 3.2.2.4. Mikser devresi örnekleri: Örnek 4



Şekil 3.19. Tekil diyot mikser

Şekil 3.19.'da tekil diyot ile yapılan bir mikser tasarımı gösterilmiştir. Bu tarz mikserler ticari ve tüketici mikrodalga ekipmanlarında sıkça kullanılır. Mikserin Şekil 3.20.'de ise Şekil 3.19.'a göre AWR Programı'nda çizimi gösterilmiştir.

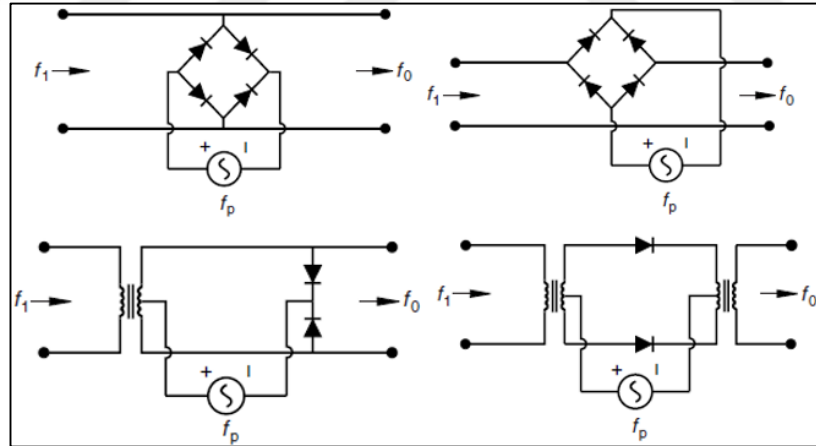
Bütün devreden bağımsız bir şekilde oluşturulan bu çizim sayesinde diğer devrelere çok fazla etki etmeden sadece mikser üzerinde değişiklikler yapılabilir [32].



Şekil 3.20. Tekil diyot mikserin AWR Programı'ndaki gösterimi

### 3.2.2.5. Mikser devresi örnekleri: Örnek 5

4 adet tekil denge mikser örneği aşağıdaki şekilde verilmiştir [33].



Şekil 3.21. Tekil dengeli mikser örnekleri

### 3.2.3. Mikser devresini oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlar

Bir mikserin kalitesi birkaç parametre ile belirlenir. Bu parametreler tasarım yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır. Bu parametrelerin ilki dönüştürme kaybıdır (conversion loss). Bu kayıp, (3.5)'te verildiği gibi çıkışa iletilen gücün girişte olan güce oranıdır. Tipik bir diyot mikserde dönüştürme kaybı ortalama 6 – 7 dB civarındadır [33].





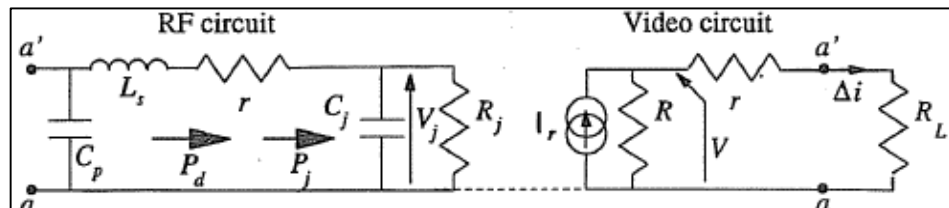
Bu şekilde çıkış sinyali  $R_L$  direnci ile gösterilmiştir. Çıkışta yani  $R_L$  direncinden sonra mikser, video kuvvetlendirici (VA) veya IF kuvvetlendirici olabilir. Aynı şekilde; uyumlama devresi (Matching Network) olarak gösterilen kısma gelen  $P_{in}$  gücü LNA'dan gelen sinyal olabilir. Uyumlama devresi LNA ve dedektör için kullanılan uyumlaştırma devresidir.

Giriş frekansı 1 ila 100 GHz hatta daha fazla olabilirken çıkış frekansı ortalama 50 MHz'e kadardır ve video devreleri için uygundur [34].

Dedektör devreleri uyumlama konusunda çok başarılı değildirler. Uyumlama devresi ile 50  $\Omega$  empedans uyumlaştırma çalışmaları yapılmalıdır. Empedans uyumlaştırma yapılmaz ise gelen sinyalin bir kısmı geri yansiyabilir. Bu yansıma nedeniyle diyoda gelen güç azalır ve diyodun hassasiyetinde zayıflama meydana gelir. Eğer uyumlama devresi kayıpsız ise yani devrede direnç yoksa, gelen güç,  $P_{in}$ , diyoda giren güce,  $P_d$ , eşit olur [34]. Uyumla konusu daha sonra detaylıca aktarılacaktır.

Bu şekildeki  $C_B$  kapasitörü uyumlama devresinin bir parçası olabileceği gibi mikrodalga frekanslarında kısa devre olarak da alınabilir. Bloklama kapasitesidir. Temel görevi, düşük frekanslarda diyota gelen sinyalleri kesmek olduğu gibi diyottan çıkan rektife edilmiş akımın tekrar uyumlama devresine veya önceki devrelere gelmesini engellemektir.

$L_C$  indüktansı mikrodalga frekanslarında yüksek empedans değerine sahiptir. Çıkıştaki  $R_L$  direncine mikrodalga sinyallerin sızmasını önler ve bütün mikrodalga gücün diyotta kullanılmasına yardımcı olur. Çıkışta bulunan  $C_b$  kapasitörü ise baypas kapasitörü olarak adlandırılır.  $L_C$  indüktansının yaptığı görevi pekiştirmek amacıyla kullanılır.  $L_C$  indüktansı ve  $C_b$  kapasitörünün düşük frekanslarda sıradaki devreler üzerinde, örneğin; video kuvvetlendirici devresi, herhangi bir etkisi yoktur. Dedektör devresi şeklinin küçük işaret eş değer devresi Şekil 3.23.'te verilmiştir [34].



Şekil 3.23. Dedektörün küçük işaret eş değer devresi

Şekildeki devrede a'-a girişi mikrodalga devreden, örneğin; LNA, gelen sinyali göstermektedir.  $C_p$  ve  $L_s$  devre elemanları uyumlama devresini oluşturmaktadır.  $P_d$  diyota gelen güçtür.  $R$  iç direnci simgelemek için gösterilmiştir ve üzerinde bir miktar güç düşümü olur. Diyota gelen asıl güç  $P_j$  ile gösterilmiştir. Diyot, bağlantı (junction) kapasitesi ve direnci olan  $C_j$  ve  $R_j$  ile şekilde verilmiştir. Bu kısımda  $I_r$  çıkış akımı üretilir.  $I_r$  akımı mikrodalga sinyalin genliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir.  $L_c$  ve  $C_b$  devre elemanları çıkışta 50 MHz gibi düşük bir frekans olduğu için ihmal edilmiştir.  $R$  direnci ile Norton eş değer devresi çıkış gücü  $R_L$  'ye aktarılmıştır [34]. Genel anlamda dedektörler diyotlardan oluşsa da transistör veya çipli modelleri de vardır.

### 3.3.1. Dedektör diyotun akım hassasiyeti

Dedektör diyotunun hassasiyeti mikrodalga devreden gelen güce ve bu gücün devrede sağladığı akıma bağlıdır. Üç aşamalı olarak diyot hassasiyeti;

$$\beta = \frac{\Delta i}{P_{in}} = \frac{\Delta i}{P_j} \times \frac{P_j}{P_d} \times \frac{P_d}{P_{in}} \quad (3.6)$$

gibi yazılabilir.

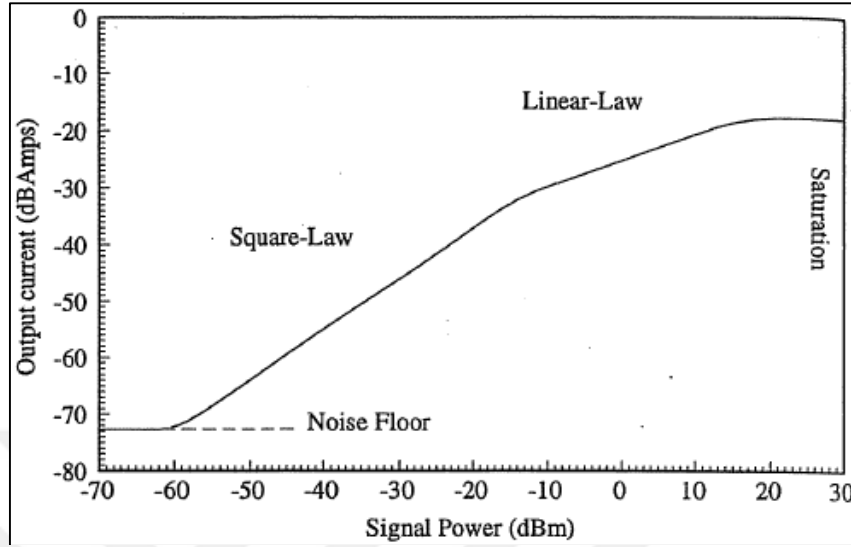
Eğer devre ideal kabul edilirse kayıplara neden olacak olan ve diyota gelecek olan gücü azaltacak olan  $R$  direnci olmayacağından  $P_d = P_j$  olacaktır [34].

Diyota gelecek olan sinyalin güç aralığına göre diyot karakteristiği kare-kuralı (square-law) bölgesi, doğrusal bölge ve doyma bölgesi olarak 3'e ayrılabilir.

Kare-kuralı bölgesinde diyoda düşük sinyal gücü ulaşır ( $100\text{mW} = 20\text{ dBm}$ ).

Doğrusal bölgede ise daha yüksek sinyal güçleri uygulanmaktadır. Yüksek sinyal güçlerinde veya yüksek sıcaklıklarda diyot ısı etkilerine maruz kalmakta ve bozulabilmektedir. Bu nedenle; dedektör diyotlar çoğunlukla kare-kuralı bölgesinde çalıştırılmaktadır. Kare-kuralı bölgesinde diyodun dedektör olarak çalışabilmesi için yeterli büyüklükte sinyalin gelmesi gerekmektedir. Çünkü çok düşük gelen sinyal güçleri diyodun kendisinden kaynaklanan gürültü etkileri nedeniyle diyot tarafından anlaşılabilir [34].

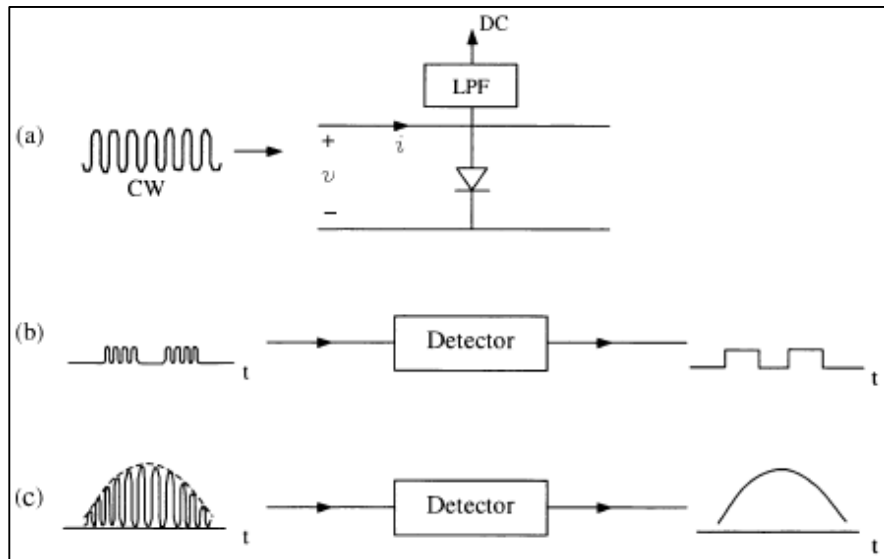
Şekil 3.24.'te diyoda gelen sinyal gücüne bağlı olarak çıkış akımı grafiği 3 bölge halinde verilmiştir.



Şekil 3.24. Tipik dedektör diyot davranışı

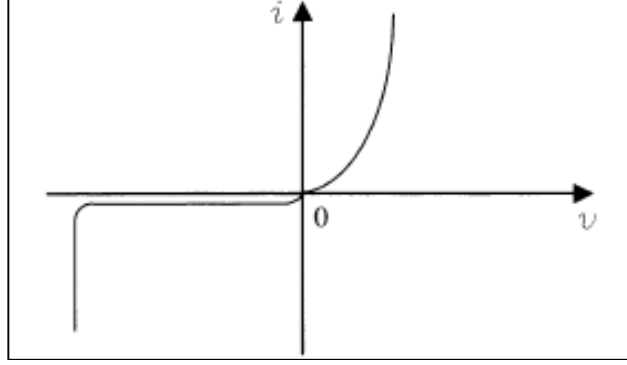
### 3.3.2. Dedektör devresi dalga şekline ne yapar?

Dedektörler RF sinyallerini DC (direct current – doğru akım – DA) sinyallere çevirirler. Örneğin; saat yönünde (CW) RF sinyali DC çıkışa çeviren devre Şekil 3.25.'te verilmiştir. Aynı şekilde, darbe modülator dalgasını ve analog modülator dalgasını dedektör devresine soktuğumuzda elde edilen şekiller verilmiştir [35].



Şekil 3.25. (a) CW dalganın DC çıkışa dönüşmesi (b) Darbe modülator dalgasının DC dalgaya dönüşmesi (c) Analog modülator dalgasının DC dalgaya dönüşmesi

Şekil 3.26.'da doğrusal olmayan I – V karakteristiği diyot için verilmiştir [35].



Şekil 3.26. Diyot I - V karakteristiği

### 3.3.3. Dedektör çeşitleri ve dedektörlerin kullanıldığı yerler

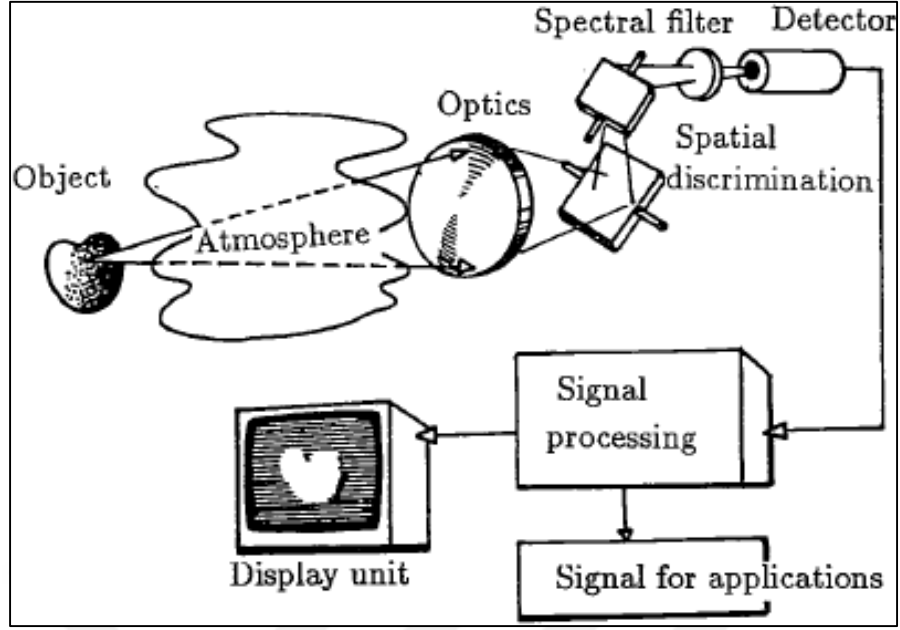
Aynı zamanda bir sensör olan dedektörün farklı çeşitleri vardır. Bunlar var – yok ve hareket dedektörü olarak sınıflandırılabilir ve maddeler halinde de verilebilir [81]:

- Hava basınç sensörü: Kapı veya pencere açıklığını anlayabilen genellikle uçaklarda kullanılan hava basıncındaki değişikliği algılayan dedektörlerdir.
- Kapasitif: İnsan vücudu üzerindeki basıncı ölçebilir.
- Akustik: Ses sensörü olarak da adlandırılır.
- Fotoelektrik: Işık değişimlerini ölçen dedektörlere verilen isimdir.
- Optoelektrik: Aydınlatma veya optik kontrasttaki değişimlerin saptanması için kullanılır.
- Basınca duyarlı algılama: Yerlerde halı gibi kullanılan ve hırsızlara önlem amacıyla oluşturulan sensörlerdir.
- Stres dedektör: İnşaat alanında kullanılır, kirişlerdeki basıncı ölçer.
- Anahtarlama dedektör: Kapılara ve pencerelere bağlı elektrik kontaklarını algılar.
- Manyetik anahtarlama dedektörü: Anahtarlama dedektörünün kablosuz olanıdır.
- Titreşim dedektörleri: Yapılardaki titreşimi ölçer.

- Cam dedektörü: Cam yapılardaki kırıklığı ölçen titreşim dedektörüdür.
- Kızılötesi hareket dedektörü: Sıcak veya soğuk nesnelere ısı olarak algılar.
- Mikrodalga dedektörleri: Nesnelere yansıyan elektromanyetik sinyalleri ölçer.
- Ultrasonik dedektör: Mikrodalga dedektöre benzerdir fakat ultrasonik dalgalar kullanılır.
- Video hareket dedektörü: İçerisinde barındırdığı referans görüntü ile yeni görüntüleri karşılaştırarak tepki verir.
- Yüz tanıma sistemi: Video hareket dedektörüne benzerdir.
- Lazer dedektör: Fotoelektrik dedektöre benzerdir fakat keskin ışık kullanılır.
- Triboelektrik dedektör: Hareket halindeki nesnelere statik (durgun) elektriğini ölçer.

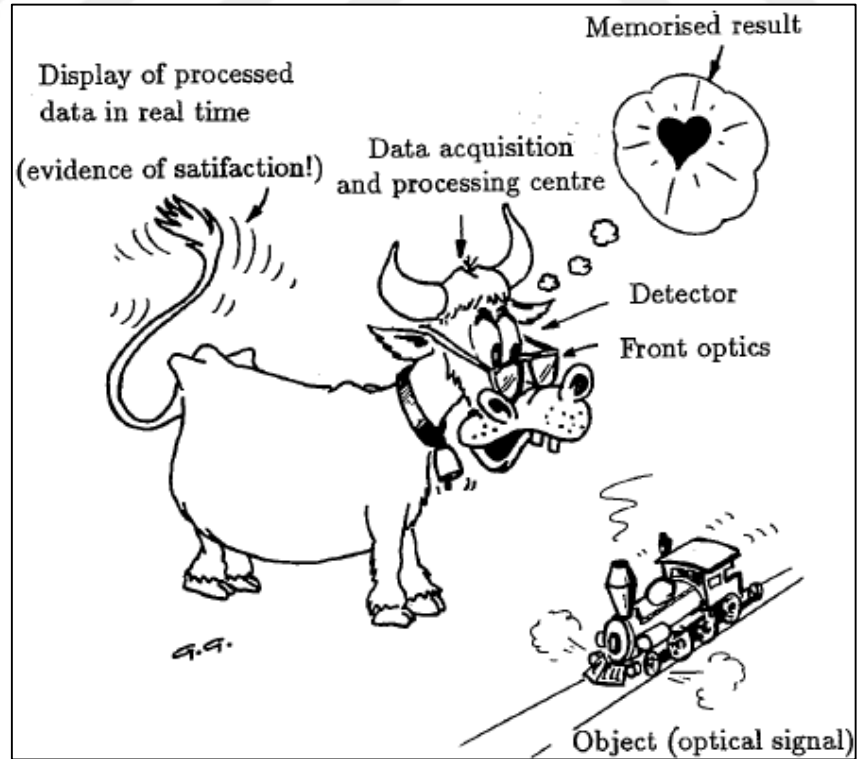
Dedektörlerin kullanıldığı özel alanlara göre bu listeyi artırmak mümkündür. Dedektör devresinde yapılacak birkaç değişiklik ve devreye yapılacak eklemeler ile farklı amaçlar için kullanılan yeni sistemler oluşturulabilir.

Dedektör çalışma prensibi basit olarak Şekil 3.27. ile anlatılabilir. Nesnenin (elma) optik görüntüsü atmosferden geçerek antene ulaşır. Bu noktada anten optik görüntü yerine kızılötesi, milimetre dalga boyu veya daha farklı görüntüleri alabilecek şekilde düzenlenebilir. Bu düzenlemeye göre antenden sonra gelen devreler ve dedektör yeniden tasarlanır. Dedektörden gelen sinyaller işlemcide uygulamaya alınır ve ekranda nesnenin (elmanın) veya görüntülenecek nesne her ne ise onun görüntüsü oluşur.



Şekil 3.27. Dedektörün çalışma prensibi

İnsan yapısı bir sistemle algılamamanın gösterildiği Şekil 3.27. ile doğada bulunan canlı bir sistemin nesneyi algılamasının gösterildiği Şekil 3.28. birbirine çok benzerdir [15].



Şekil 3.28. Doğadan dedektör örneği

### 3.3.4. Doğrudan algılamalı alıcı (Direct detection receiver) ve video dedektör

#### 3.3.4.1. Doğrudan algılamalı alıcı (Direct detection receiver)

Doğrudan algılama alıcıları, algılayıcı (detector) ve yüksek kazançlı düşük gürültülü güç kuvvetlendiricilerinin (high gain low noise amplifiers) birleşiminden oluşur. Bu alıcının avantajları düşük güç tüketimi, düşük gürültü sıcaklığı ve düşük maliyet olarak gösterilebilir [6].

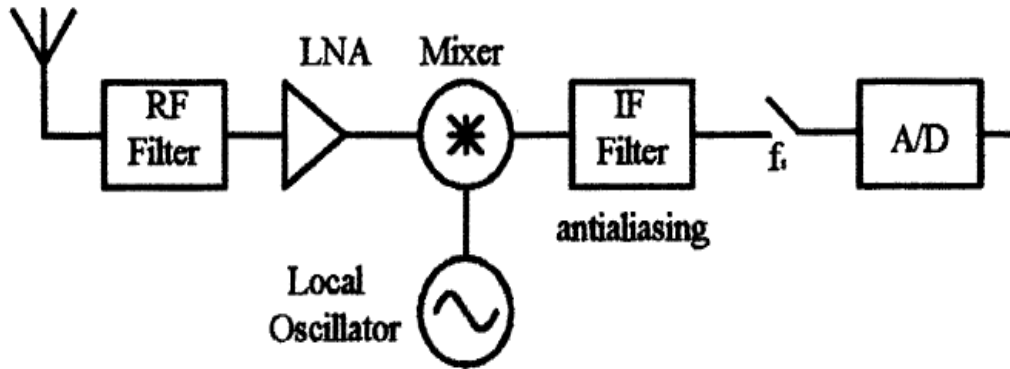
#### 3.3.4.2. Video dedektör

Hughes Araştırma Laboratuvarı'nda geliştirilen InAs/AlGaSb alıcıları/dedektörleri üzerinde yapılan geliştirmeler ile sıfır kutuplama ve doğrudan algılama yeteneği bu dedektörlere kazandırılmıştır. W Bandında çalışan milimetre dalga görüntüleme kameralarında 8000 mV/mW voltaj tepkisi veren düşük gürültü ve sıcaklık seviyelerine sahiptir.

Bir diğer önemli gelişme Semimetal Semiconductor Schottky diyotları ile InAlGaAs/InP yarı iletken malzemeleri kullanılarak elde edilmiştir. 94 GHz'den 30 THz'ye kadar çalışabilen diyot video dedektörleri oluşturulmuştur [6].

### 3.4. Ara Frekans (IF) Devresi

Intermediate frequency – ara frekans filtre devresi radyometrenin sonuna doğru bulunur ve bant genişliğinin belirlenmesinde etkindir. IF bant örneğin; 10 – 500 MHz arasında bant genişliğine sahiptir [20].



Şekil 3.29. IF örnekleme

Şekil 3.29.'da IF filter gösterilmiştir.

Antenden gelen sinyal önce RF filtreden sonra LNA'dan geçmiştir. LO ve mikserden örnek bir frekansla karşılaştırılarak devrede ilerletilen sinyal IF filtreye girerek analog/sayısal (A/D) dönüştürücüye gitmiştir.

Bu aşamadan sonra sinyal düşük geçiren filtre gibi çeşitli filtrelerden geçirilerek işlemciye aktarılacaktır [36-38].

### **3.5. Video Kuvvetlendirici (VA) Devresi**

Video kuvvetlendiricisi devresi radyometrenin sonunda bulunur ve işlemciye bağlanan kısım olarak adlandırılabilir.

Bu aşamada sinyaller sayısal olmalıdır. Bu nedenle; analog/sayısal dönüştürücü olarak isimlendirilebilir veya analog/sayısal devresinin içinde gösterilebilir.

Bir radyometre tasarımı için LNA ve dedektör vazgeçilmez iki devre iken mikser daha doğru sonuç almak için tasarıma eklenen 3. devredir.

IF devresi ve video kuvvetlendirici devresi radyometre tasarımında kullanılmayabilir.

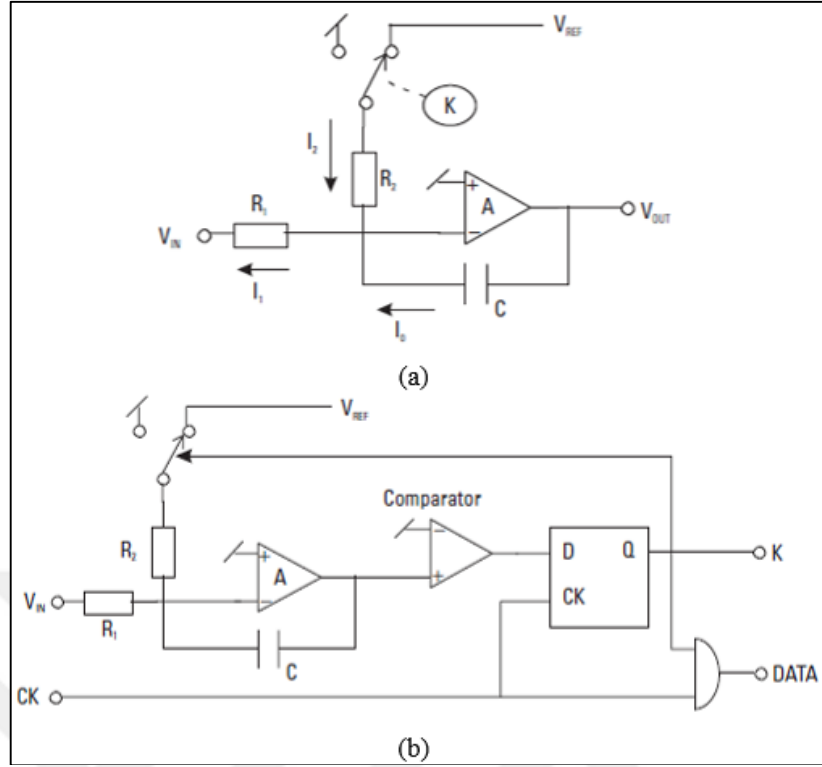
Bu devrelerin yaptığı görevler işlemci içinde halledilebilir. Öte yandan işlemci içinde bulunan devreye haricen bir devre eklenerek IF devresi ve video kuvvetlendirici devresi görevleri üstlenilebilir.

### **3.6. Analog – Sayısal Dönüştürücü (Analog to Digital Converter)**

A/D dönüştürücü olarak da bilinen analog – sayısal dönüştürücü terim olarak  $\Delta/\Sigma$  dönüştürücü olarak da görülebilir.

Şekil 3.30.'da örnekleri verilen A/D dönüştürücüler her bir gerilim için darbe üretir ve her bir zaman aralığında ürettiği darbe trenleri ile görüntülemeye yardımcı olan elektromanyetik dalga sinyallerini bilgisayarın anladığı sayısal dile dönüştürür [20].





Şekil 3.30.  $\Delta/\Sigma$  dönüştürücü örnekleri

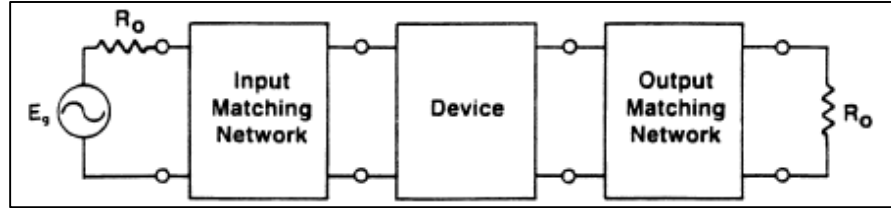
‘K’, giriş voltajı ile orantılı zamandır.

#### 4. DEVRE TASARIMINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR

Devre tasarımı aşamasında dikkat edilmesi gerekli olan önemli noktalar vardır. Bu noktaları; empedans uyumu, S parametrelerinin ileri ve geri yönde uyumu, kazanç ve kararlılık olarak özetleyebiliriz.

##### 4.1. Empedans Uyumu

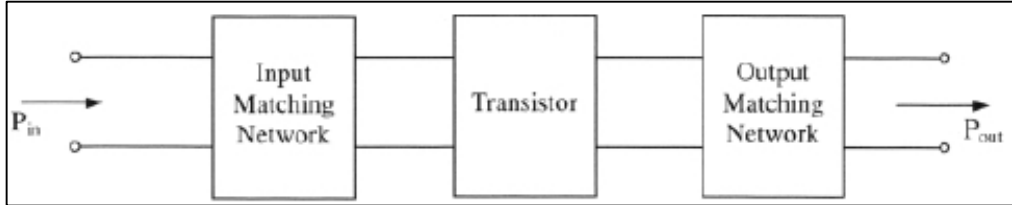
S parametreleri ile doğrudan alakalı olan empedans uyumunu sağlamak için bazen mikroşerit devre hatlarından bazen de indüktans, kapasitans gibi devre elemanlarından faydalanılır. Empedans uyumlama devreleri ana devrenin giriş ve çıkışına ayrı ayrı bağlanır. Her bir empedans uyumlama devresi kendinden önce ve sonra gelen devreler ile uyumlu olması gerektiği için özel olarak tasarlanır ve gerçekleşir. Şekil 4.1.'de ana devre (device), giriş empedans uyumlama devresi (input matching network) ve çıkış empedans uyumlama devresi (output matching network) şematik olarak gösterilmiştir.



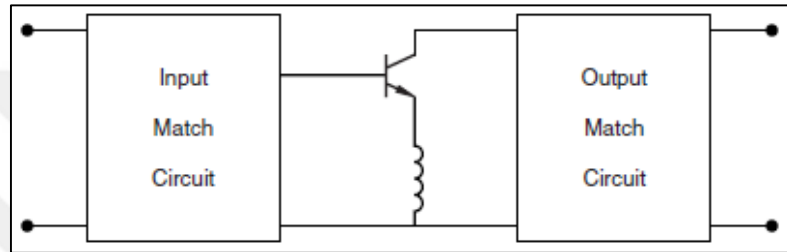
Şekil 4.1. Çift portlu uyumlama

Günümüzde çoğu sistem 50 ohm değerine uyumlanmaktadır. Az kullanılmakla beraber 75 ohm uyumlamaları da vardır. 50 ohm empedansına sahip bir elektronik cihaza başka bir cihaz bağlandığında güç kaybı olmaması için bağlanan cihazın empedans değerinin de 50 ohm olması gerekmektedir. Örneğin; 50 ohm empedansa sahip bir LNA'ya 50  $\Omega$  'dan farklı empedanslı bir dedektör devresi bağlanırsa LNA'nın çıkışında ve dedektörün girişinde güç kaybı oluşur. Başka bir deyişle LNA'nın çıkışında yansıyan değer ( $S_{22}$ ) ve dedektörün girişinde yansıyan değer ( $S_{11}$ ) istenilenden farklı olur.

Şekil 4.1.'de bulunan ana devre (device) yerine herhangi bir transistör - diyot devresi veya sadece transistör - diyot da Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'te gösterildiği gibi gelebilir [35].

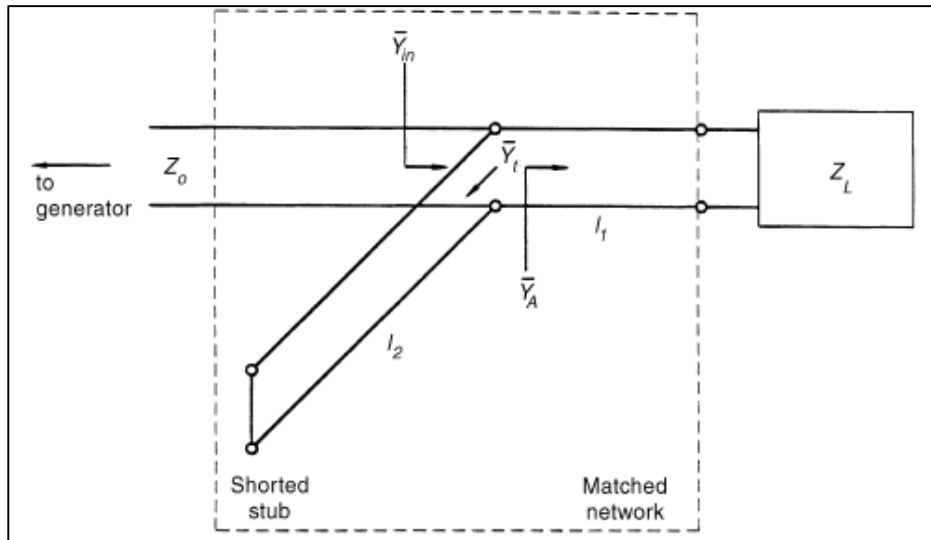


Şekil 4.2. Transistör uyumlama devresi



Şekil 4.3. Daha düşük gürültü figürü için emetörüne indüktans bağlanmış transistörlü uyumlama devresi

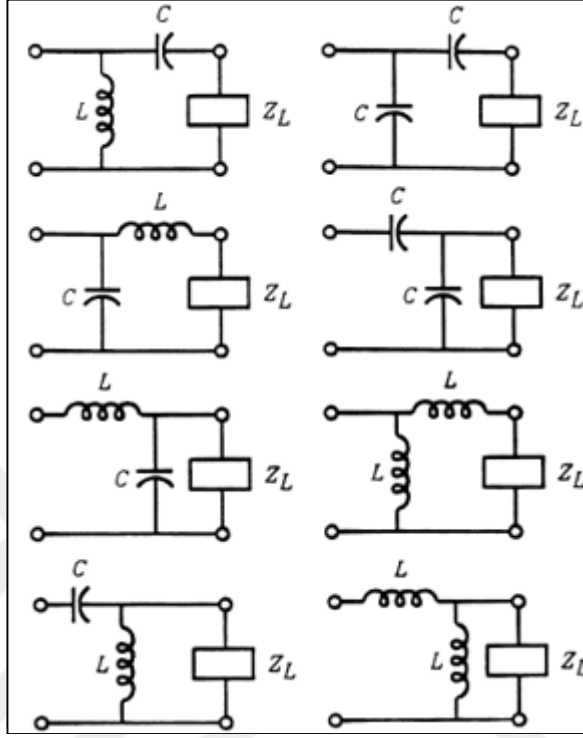
Devrelerin uyum sağlaması için çeşitli tekniklerin kullanıldığı empedans değeri  $Z_0$  ile gösterilir. Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te farklı uyum teknikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Stub ile uyumlama

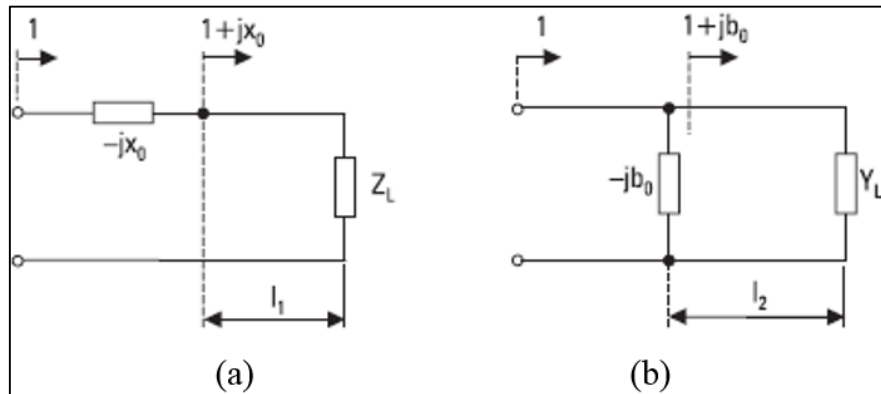
Şekil 4.4.'te verilen uyumlama devresinde  $Z_0$  empedansına sahip jeneratör (generator)  $Z_L$  empedansına sahip yük ile uyumlanmak istenmiştir.  $l_2$  uzunluğundaki stublar ile  $Z_L$  empedansına sahip yükün empedansı  $Z_0$  empedansına dönüştürülmüş

ve uyum sağlanmıştır. Bu uyumlama tipinde stubların uzunluğu - kısalığı, kalınlığı – inceliği, açık - kapalı devre oluşu, stub malzemesi önemlidir. Bu uyumlama tipi bazen mikroserit hatlar ile bazen dalga kılavuzları ile gerçekleştirilir [35].



Şekil 4.5. LC devre elemanları ile uyumlama

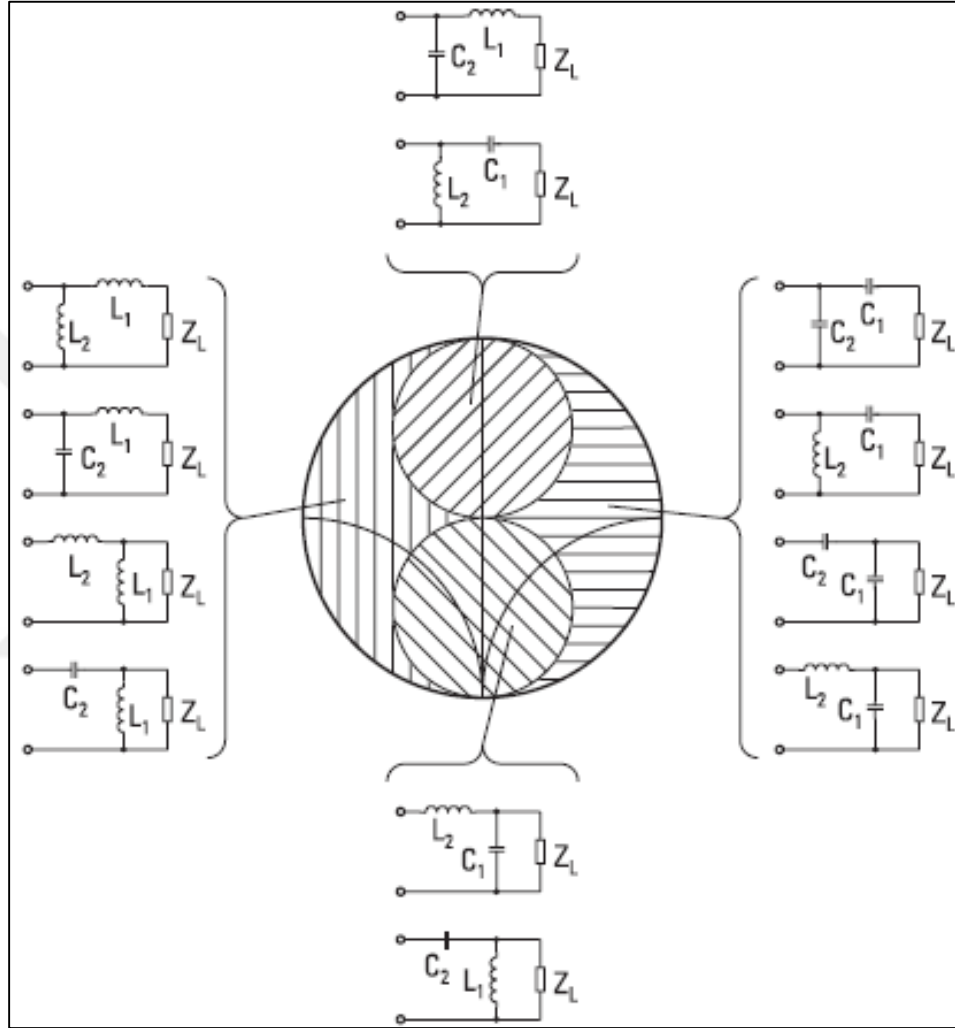
Şekil 4.5.'te indüktans ve kapasitanslar sayesinde yapılan 8 çeşit yük uyumlama devresi gösterilmiştir [35]. Şekil 4.6.'da tekil devre elemanları ile yapılabilecek uyumlamalara örnekler verilmiştir [19].



Şekil 4.6. (a) Seri (b) Paralel elemanlar ile empedans uyumu (yükten uzaklık önemlidir)

Şekil 4.7.'de ise, Şekil 4.5.'e benzer olarak, 2 adet tekil devre elemanı ile yapılabilecek empedans uyumlaması, Smith abağına dayandırılarak verilmiştir.

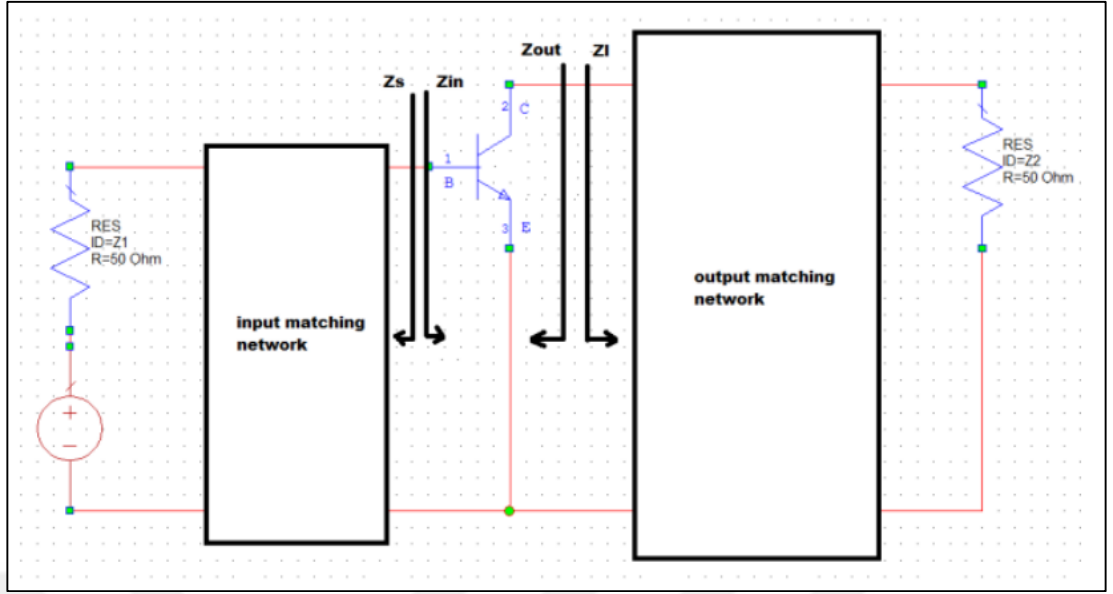
Uyumsuzluk Smith abağının hangi bölgesinde ise o bölgeye özel empedans uyumlama devreleri kullanılabilir [19].



Şekil 4.7. 2 adet tekil devre elemanı ile empedans uyumlama

Uyumlama devreleri ana devreye eklenirken bütün sistemin kazanç, verim, lineerlik, kararlılık, alçak veya yüksek geçiren filtre gibi özelliklerinin değişmemesine önem gösterilmelidir.

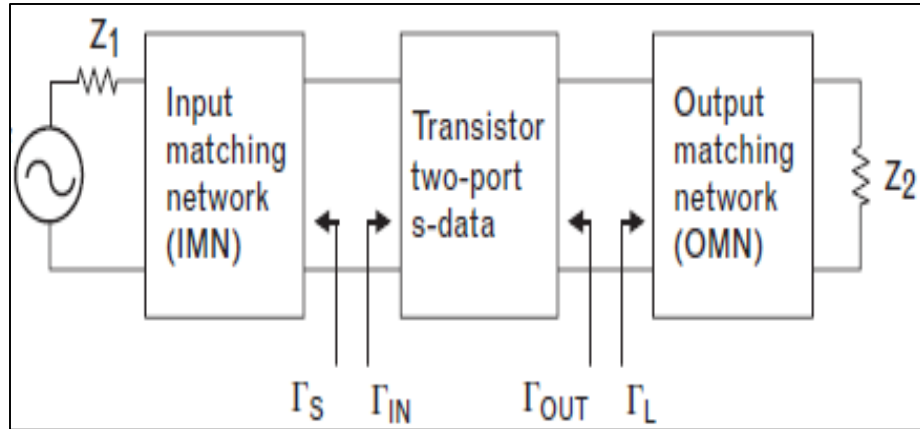
Yukarıdaki şekillerde detaylıca verilen empedans uyumlama tekniğini aşağıdaki devrede uygulayalım:



Şekil 4.8.  $Z_{in}$ ,  $Z_{out}$ ,  $Z_s$  ve  $Z_l$ 'nin gösterildiği bir uyumlama örneği

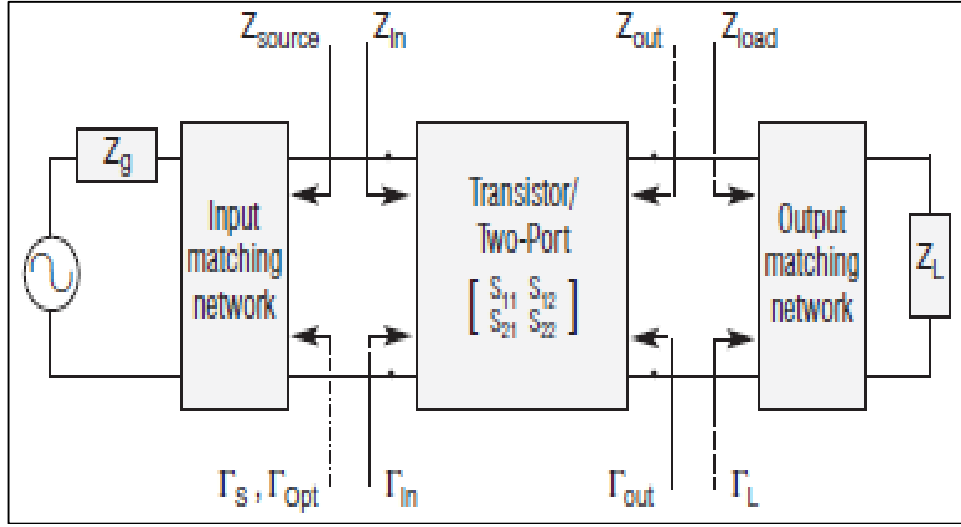
Şekil 4.8.'deki devrede;  $Z_{in}$  transistörün giriş empedansı,  $Z_{out}$  transistörün çıkış empedansı,  $Z_s$  kaynak çıkış empedansı,  $Z_l$  yük giriş empedansıdır ve hepsinin birbirine eşit olması istenmektedir [39].

Z yerine  $\Gamma$  gösterimi için Şekil 4.9. verilebilir [40].



Şekil 4.9.  $\Gamma_{IN}$ ,  $\Gamma_{OUT}$ ,  $\Gamma_s$  ve  $\Gamma_L$ 'nin uyumlama devresinde gösterimi

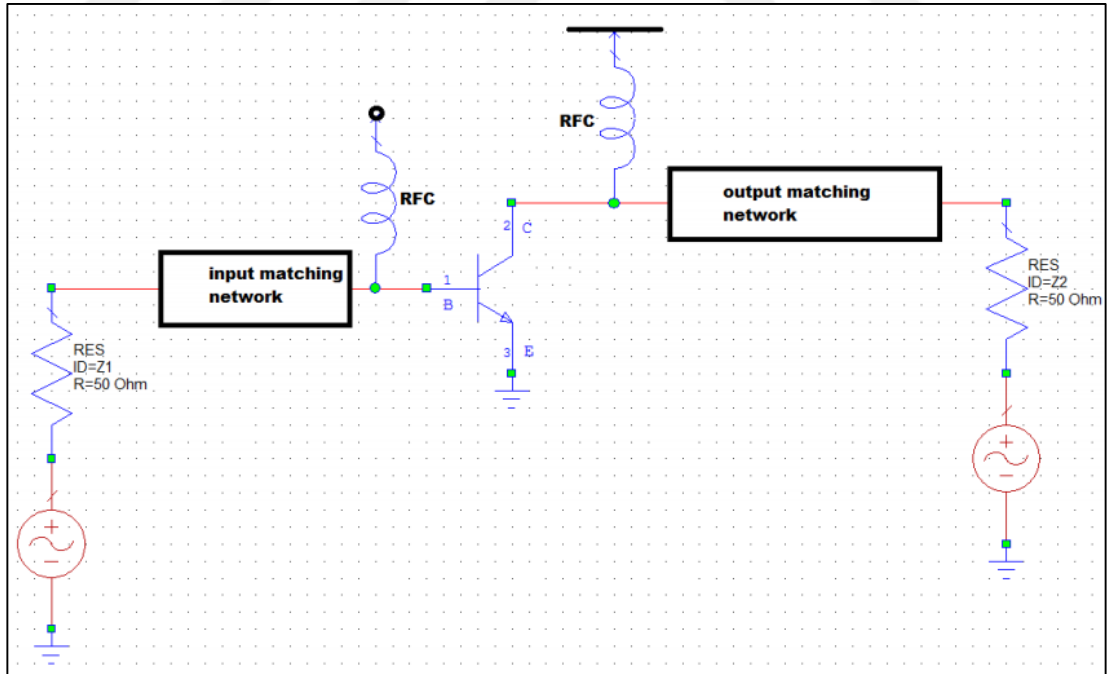
Her iki gösterim için Şekil 4.10. incelenebilir [41].



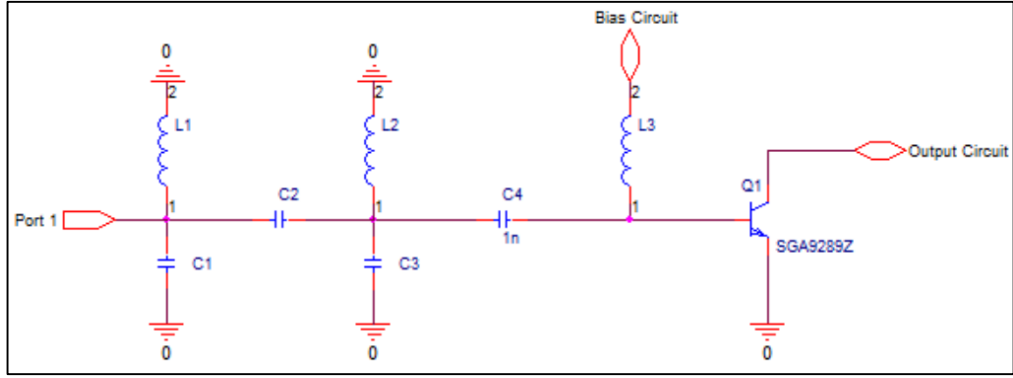
Şekil 4.10. Genel uyumlama devresi

Tekrar Şekil 4.8.'deki devreye dönelim ve detaylandıralım. Şekil 4.11.'de bu devrenin başka bir gösteriliş biçimi verilmiştir.

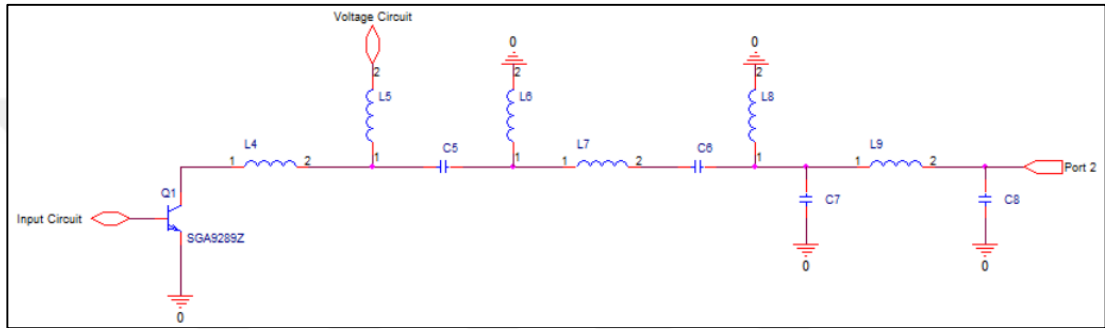
Şekil 4.12.'de giriş uyumlama devresi ve Şekil 4.13.'te çıkış uyumlama devresi verilmiştir.



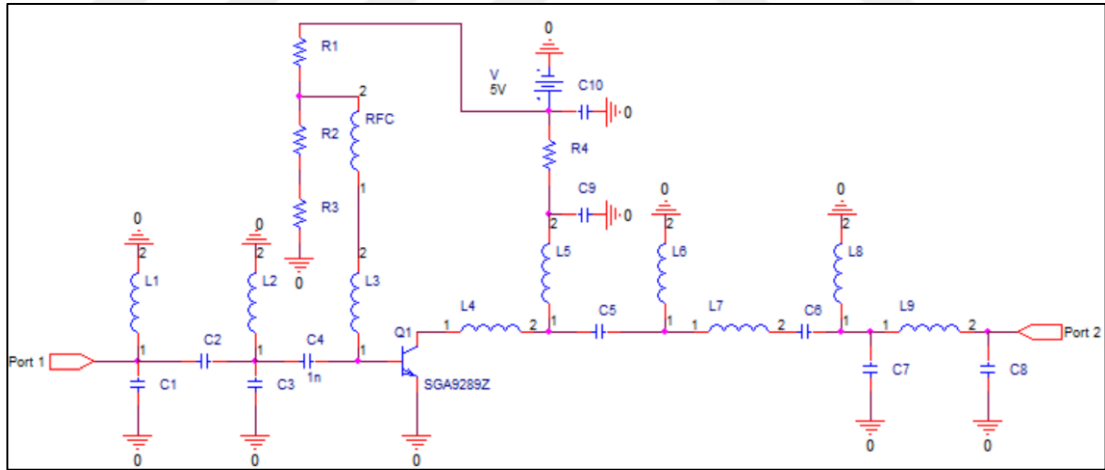
Şekil 4.11. Şekil 4.8.'in bir başka gösteriliş biçimi



Şekil 4.12. Giriş uyumlama devresi



Şekil 4.13. Çıkış uyumlama devresi



Şekil 4.14. Uymlanan devrenin tam hali

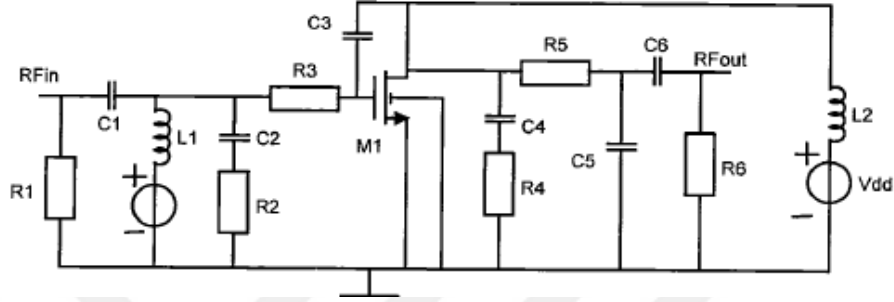
Şekil 4.14.'te empedans uyumu yapılan devrenin tam hali verilmiştir [39].

Şekillerde verilen devrelerdeki besleme devresi (bias circuit), voltaj devresi (voltage circuit) ve tüm devrenin mikroşerit hatlar ile yapılan tam halini incelemek için [39]'a bakılabilir.



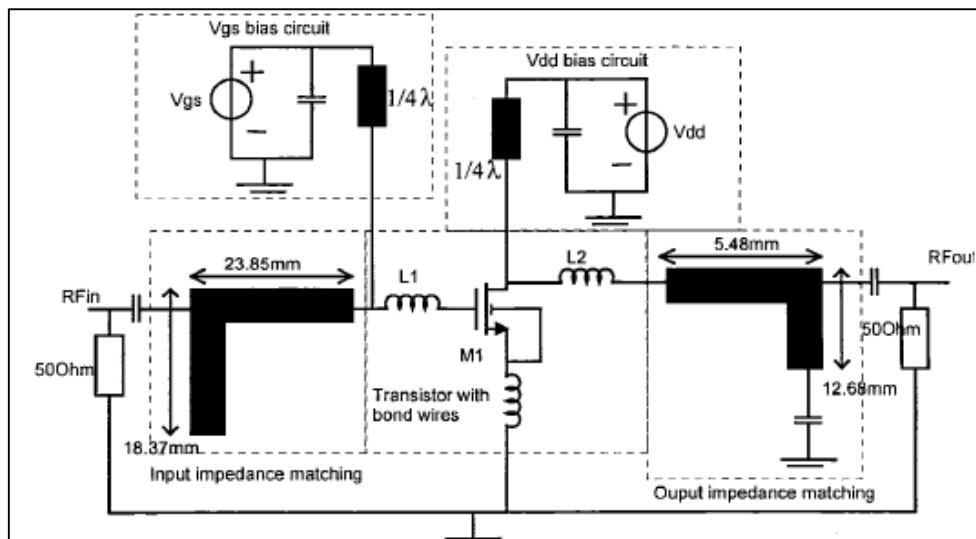
#### 4.1.1. Mikroşerit hatlı empedans uyumu

RF devrelerinde uyumlama yapılırken tekil devre elemanlarının kullanıldığı kadar mikroşerit hatlar da kullanılır. Çok küçük değerdeki kapasite ve indüktans değerleri bulunmadığından onların yerine farklı kalınlık, uzunluk ve  $\epsilon_r$  değerlerine sahip mikroşerit hatlar kullanılır.



Şekil 4.15. MOSFET devresinin tekil elemanlar ile empedans uyumu

Şekil 4.15.'teki devrede R6 çıkışa aktarılan empedans değerini gösterir. Ayrıca RFout değeri de R6 ile yakından ilişkilidir. C1 ve C6 kapasiteleri RF sinyalinin girdiği ve çıktığı kısımlardaki DC sinyali engeller. C2 kapasitesi girişteki parazitik kapasite değerlerini, C3 kapasitesi akaç (drain) ve kapı (gate) arasındaki bağlantı parazitik kapasite değerlerini, C4 çıkış parazitik kapasite değerlerini, C5 çıkış bağlantı parazitik kapasite değerlerini gösterir. L1 ve L2 indüktörleri kapı ve akaç besleyen DC kaynaktaki RF sinyalin devreye girmesini engeller [24].

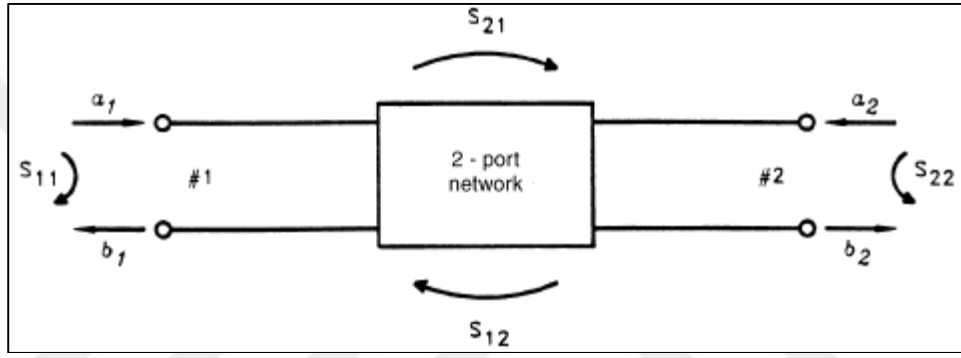


Şekil 4.16. MOSFET devresinin mikroşerit hatlar ile empedans uyumu

Şekil 4.16.'da sadece devre elemanları değil iletim hatları da kullanılarak bir LNA devresi tasarlanabileceği gösterilmiştir. Şekil 4.15. ile Şekil 4.16. aslında aynı devredir. İletim hatlarının uzunluğu ve genişliği ile oynanarak, taban malzemesinin yapısındaki  $\epsilon$  ve  $\mu$  değerleri sayesinde istenilen kapasite veya indüktans değerleri sağlanabilir [24].

Daha detaylı empedans uyumlama örnekleri için [18, 27, 39, 42, 43] nolu kaynaklara bakılabilir.

#### 4.2. S Parametreleri



Şekil 4.17. 2 portlu devre ve S parametreleri

Şekil 4.17.'de verilen S parametreleri;

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} = \Gamma_1 = 2. \text{ taraftan gelen dalga yok iken 1. taraftan geri yansıyan} \quad (4.1)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} = T_{21} = 2. \text{ taraftan gelen dalga yok iken 1. taraftan 2. tarafa geçen} \quad (4.2)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} = \Gamma_2 = 1. \text{ taraftan gelen dalga yok iken 2. taraftan geri yansıyan} \quad (4.3)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} = T_{12} = 1. \text{ taraftan gelen dalga yok iken 2. taraftan 1. tarafa geçen} \quad (4.4)$$

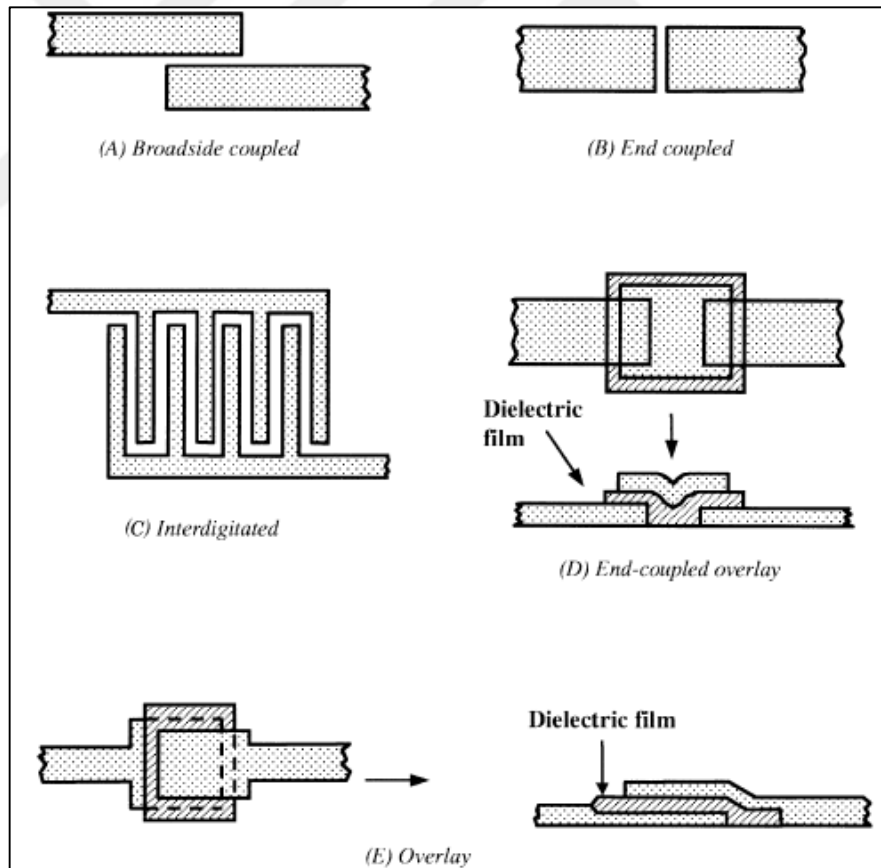
ile tanımlanabilir [35].

$$RL = \text{Geri dönüş kaybı} = 20 \log \left| \frac{a_1}{b_1} \right| = 20 \log \left| \frac{1}{S_{11}} \right| \quad (4.5)$$

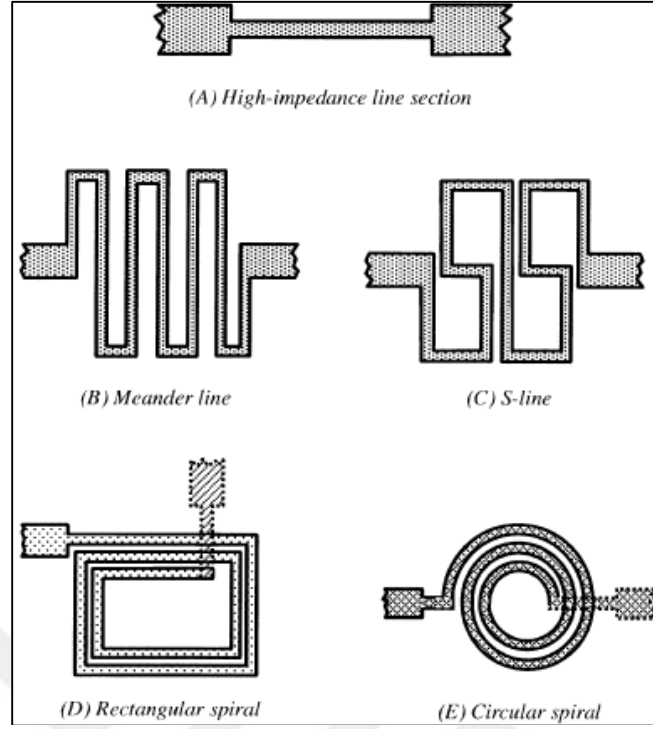
$$IL = \text{Zayıflama} = \alpha = 20 \log \left| \frac{a_1}{b_2} \right| = 20 \log \left| \frac{1}{S_{21}} \right| \quad (4.6)$$

denklemlerinde ise geri dönüş kaybı ve zayıflama formülleri verilmiştir.

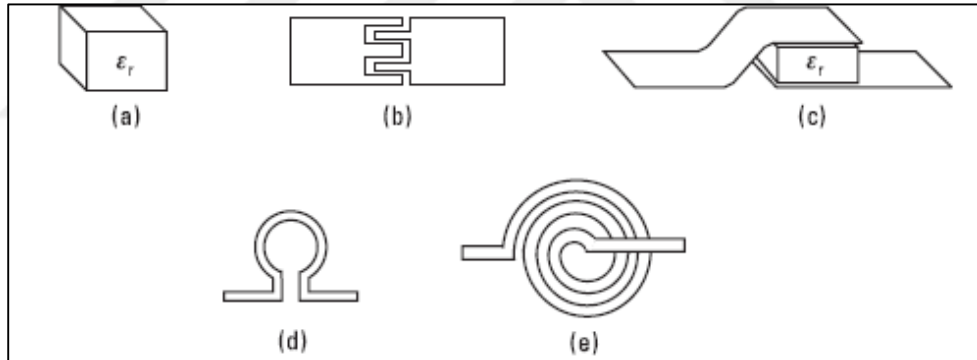
Her devre için değişebilmekle beraber genellikle devrelerde  $S_{21}$  değerinin 20 dB değerine yakın olması istenir.  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  değerlerinin -10 dB,  $S_{12}$  değerinin ise -20 dB altında olması istenir. Bu değerleri ayarlamak için empedans uyumlama devrelerinde olduğu gibi dalga kılavuzlarından veya tekil elemanlardan yararlanılabilir. Her ikisi de aynı devrede kullanılabilir. İlgili düzenlemeleri yaparken empedans uyumunun bozulmamasına ve kararlılık, kazanç, lineerlik ve harcanan güç gibi parametrelerin değişmemesine dikkat edilmelidir [39]. Empedans uyumunda olduğu gibi S parametrelerini de istenen seviyelere çekerken mikroşerit hatlardan ve mikroşerit hatlar sayesinde oluşturulan kapasitans ve indüktanslardan faydalanılır. Şekil 4.18.'de, Şekil 4.19'da [35] ve Şekil 4.20.'de [19] örnek kapasitanslar ve indüktanslar verilmiştir.



Şekil 4.18. Farklı kapasitans gösterimleri



Şekil 4.19. Farklı indüktans gösterimleri



Şekil 4.20. (a) Çip kapasitör (b) Gap (boşluk) kapasitör (c) Yalıtıkanlı metal kapasitör (d) Yuvarlak döngü indüktör (e) Spiral indüktör

Eğer devre olarak band durdurucu filtre gibi devreler yapılacaksa  $S_{11}$  değerinin yüksek,  $S_{21}$  değerinin düşük olması istenebilir. Örneğin; mikrodalga fırın kapağı tasarımı.

S parametrelerinin daha iyi anlaşılması için [82] nolu kaynak incelenebilir.

### 4.3. Kazanç

Kazanç hakkında birden fazla tanım ve ifade vardır. Transducer gain ( $G_t$ ) denilen iletimdeki kazanç, yüke iletilen efektif gücün kaynaktan elde edilen güce oranıdır. İki

portlu sistemlerde available gain yani ulaşılabilir kazanç ise ( $G_{av}$ ), çıkıştan elde edilebilen gücün kaynaktan elde edilebilen güce oranıdır. İlişkili kazanç ise ( $G_{ass}$ ) gürültü etkisi altındaki uyumlama koşullarında elde edilebilir kazançtır [44].

$$G_t = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-\Gamma_S S_{11}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-\Gamma_L \Gamma_{out}|^2} \quad (4.7)$$

$$G_{av} = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-\Gamma_S S_{11}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{|1-\Gamma_{out}|^2} ; \Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_S}{1-\Gamma_S S_{11}} \quad (4.8)$$

$$G_{ass} = \frac{1-|\Gamma_{opt}|^2}{|1-\Gamma_{opt} S_{11}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-\Gamma_L \Gamma_{out}|^2} \quad (4.9)$$

denklemlerinde bu kazançlara ilişkin formüller verilmiştir. Bazı sistemlerde kazanç önemli iken bazı sistemlerde güç tüketimi önemlidir. Güç tüketimi artarsa kazanç artar. Bu nedenle; optimum noktayı bulmak önem kazanır. Daha detaylı bilgi için [39] nolu kaynağa bakılabilir.

Kazanç değerini arttırmak için kaskad olarak bağlanılan düşük güçlü güç kuvvetlendiricileri kullanılabilir.

#### 4.4. Kararlılık

Devrelerin kararlılığı çok önemli bir parametredir. Özellikle kuvvetlendirici tasarımı yapılırken göz önüne alınmalıdır. Kararlılık saçılma (S - scattering) parametreleri yardımıyla hesaplanabilir. Sadece devrenin değil uyumlama devrelerinin ve yüke aktarım yapan kanalların da kararlılığına bakılmalıdır. Şartlı ve şartsız kararlılık olarak temelde ikiye ayrılabilir [44].

$$|\Gamma_{IN}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_L}{1-\Gamma_L S_{22}} \right| < 1 \quad (4.10)$$

$$|\Gamma_{OUT}| = \left| S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_S}{1-\Gamma_S S_{11}} \right| < 1 \quad (4.11)$$

$$|\Gamma_S| < 1 \text{ ve } |\Gamma_L| < 1 \quad (4.12)$$

denklemlerinde kararlılık işlemlerinde kullanılan formüller verilmiştir. Şartsız kararlı olan devre çalışmaya başlarken osilasyona uğramaz. Bir devrenin şartsız kararlı olup olmadığı K faktörünün 1’den büyük olması ile

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} > 1; \Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (4.13)$$

sağlanır. Ayrıca deltanın ( $\Delta$ ) 1’den küçük olması gerekmektedir [44].  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  1’den büyük olduğunda şartsız kararlılık olmaz çünkü  $\Gamma_L=0$  veya  $\Gamma_S=0$  durumu oluşur, dolayısıyla;  $|\Gamma_{IN}|>1$  veya  $\Gamma_{OUT}>1$  olur [44].

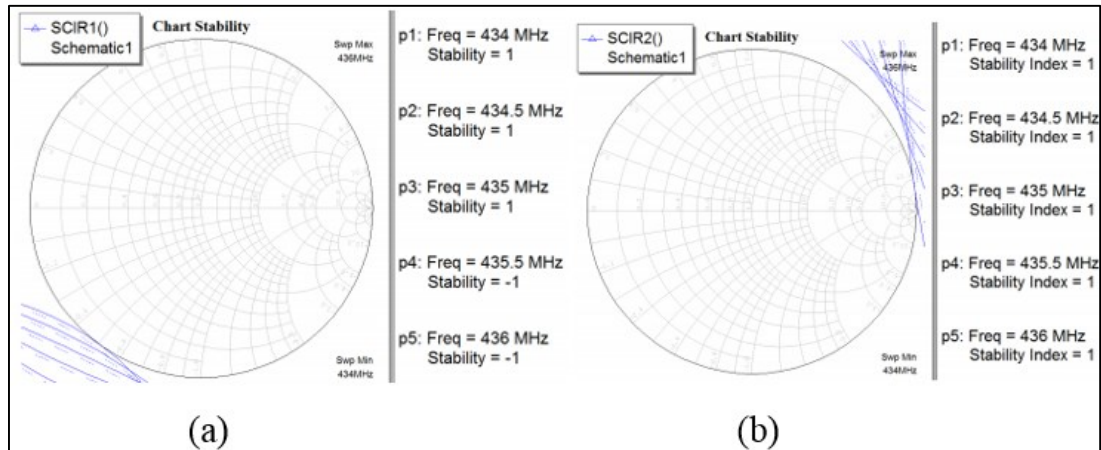
Maksimum Transducer gain ( $G_t$ ),  $\Gamma_{IN}=\Gamma_S^*$  ve  $\Gamma_{OUT}=\Gamma_L^*$  durumunda;

$$\Gamma_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - \Gamma_L S_{22}} \text{ ve } \Gamma_{OUT} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - \Gamma_S S_{11}} \quad (4.14)$$

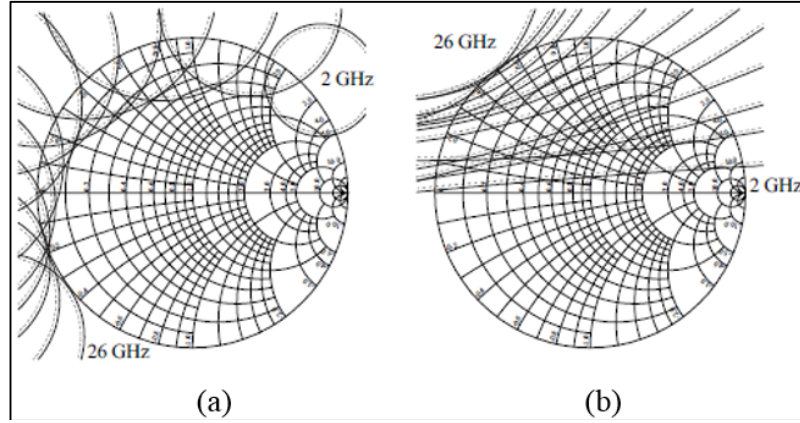
denklemleri oluşur (4.14). Kararlılık için Smith abağındaki kararlılık çemberlerine de bakılabilir.

Şekil 4.21.’de [39, 83] ve Şekil 4.22.’de [44] örnek olarak; kararlılık çemberleri verilmiştir.

Kararlılık daireleri ile Smith abağı arasında kalan kısımlarda devre kararlı olur.

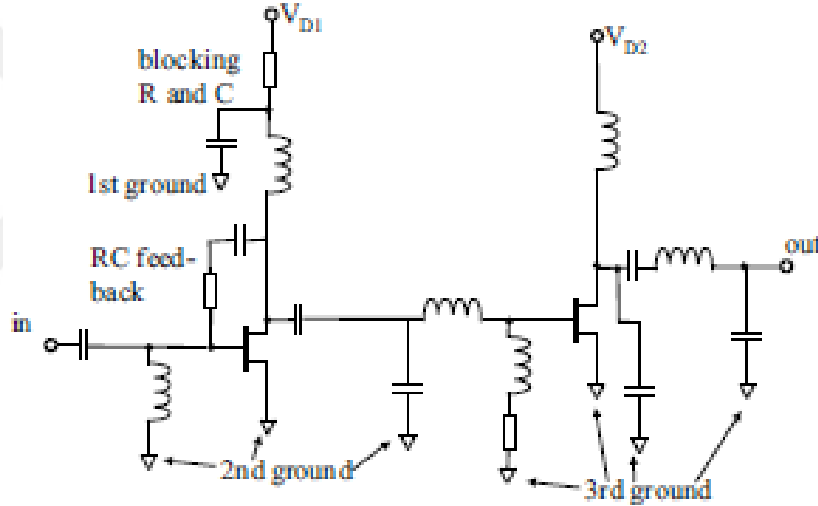


Şekil 4.21. (a) Giriş kararlılık çemberleri (b) Çıkış kararlılık çemberleri



Şekil 4.22. (a) Giriş kararlılık çemberleri – 2 (b) Çıkış kararlılık çemberleri – 2

Kararlılık için toprakların ayrı olması da gerekebilir (Şekil 4.23.) [44].



Şekil 4.23. 3 adet toprağı olan devre

Ayrıca geri besleme de kararlı yapar. Empedans uyumlama, ısıl etkileri minimuma indirme, parazitik kapasite etkilerini sıfırlama, kararlı yapan diğer etkenlerdir [44].

#### 4.5. Diğer Önemli Parametreler

Empedans uyumu, S parametreleri, kazanç ve kararlılık en önemli parametreler olmakla beraber bazen üretilecek olan devreye göre devre tasarımında dikkat edilecek hususlar değişebilir. Bazı devrelerde kararlılık önemli iken bazılarında doğrusallık önemlidir; bazı devrelerde kazanç önemli iken bazılarında çıkış gücü önemlidir. Bazen de devrenin verimli çalışması istenir, kararlılık veya doğrusallığına bakılmaz. Üretilecek olan devreye göre optimum durum belirlenir ve seçimler bu

duruma göre yapılır [39, 84]. Sonuç olarak; diğer önemli parametreleri, doğrusallık, çıkış gücü, dayanıklılık, verimlilik, bozulma oranı, besleme voltajı, voltaj duran dalga oranı, bant genişliği, karşılıklılık, gürültü vs. olarak sayabiliriz [39].

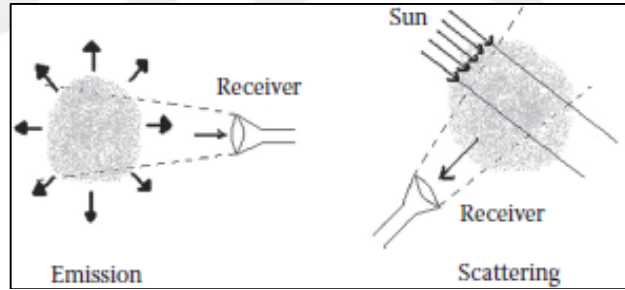
Gürültü terimini açmak gerekirse; rastgele olan elektromanyetik alanlar veya voltajlar gürültü olarak adlandırılır ve bütün radyo sistemlerini bozucu etki yaparlar. Bütün aktif devreler ve kayıplı entegre elemanlar gürültü üretimine katkı yaparlar. İncelenecek devrenin kendisi hatta gürültü azaltıcı devreler dahi bir miktar gürültü üretiminde bulunurlar. Alıcı verici hatlarında eğer gürültü hatta gelen sinyalden daha büyükse sistem doğru çalışmayabilir. Bu nedenle; S/N (signal to noise ratio - sinyal/gürültü oranı) terimi oluşturulmuştur. Bu oran sayesinde radyo hattın kalitesi değişir. Çok düşük sinyalleri algılayabilmek için sistemin de o derece hassas olması gerekmektedir. Radyometre gibi düşük sinyallerden görüntü elde etmek gibi bir amaç varsa LNA gibi özel devreler kullanılmalıdır. LNA yani düşük gürültülü güç kuvvetlendirici bu tip yapılarda temel eleman olarak sayılır. Gürültü farklı çeşitlerde olabilir, örneğin; termal gürültü, darbe gürültüsü, 1/f gürültüsü veya kuantum gürültüsü [19].



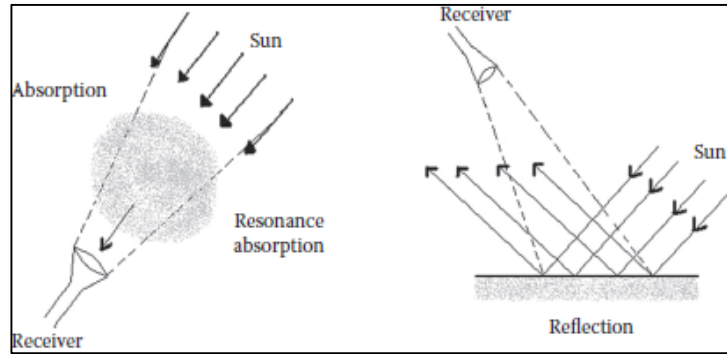
## 5. UZAKTAN ALGILAMA

Uzaktan algılama bilim ve teknoloji yardımıyla bir nevi bilgi toplama olarak düşünülebilir. Elde edilen bilgi; tanımlama, sınıflandırma ve objenin tam olarak ne olduğuna karar verme gibi çeşitli bölümlerde kullanılır. Bu bilgi edinme işlemi kablosuz olarak elektromanyetik dalgalar sayesinde olur. Her frekansta çalışan uzaktan algılama sistemleri yapılabilir fakat atmosferde elektromanyetik dalganın yayılımı bazı frekanslarda zayıflamadan dolayı; engellenir bazı frekanslarda ise hiç etkilenmez ya da bu etki ihmal edilebilir. Bu nedenle; sistemin verimli çalışabildiği frekans pencereleri için üretim yapılmalıdır [10].

Nesnelerin/cisimlerin görüntülenme işlemi farklı ölçümler ile yapılır. Bu ölçümler Bölüm 2.3.'te anlatılan Şekil 5.1.'deki gibi emisyon/yayıcılık, saçılma; Şekil 5.2.'deki gibi yansıtıcılık, emilme gibi ölçümlerdir [10].



Şekil 5.1. Pasif algılamada yayıcılık ve saçılma

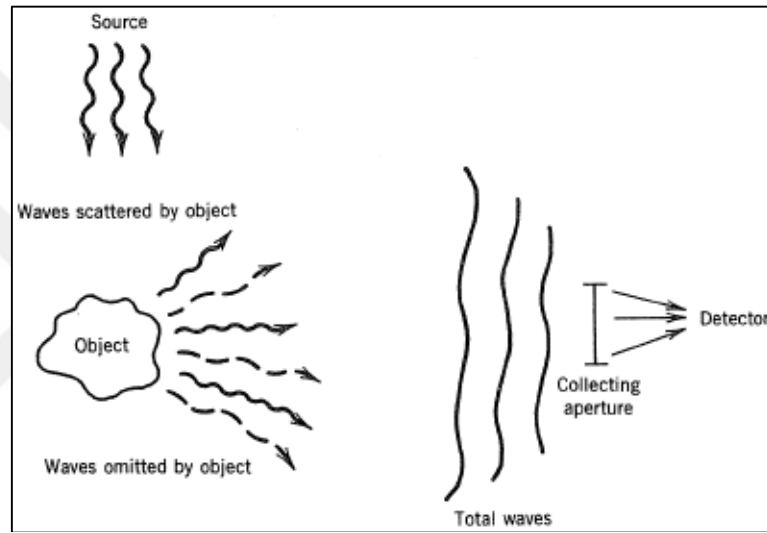


Şekil 5.2. Pasif algılamada emilim ve yansıtım

Uzaktan algılama temel olarak ise ikiye ayrılır: Aktif ve pasif.

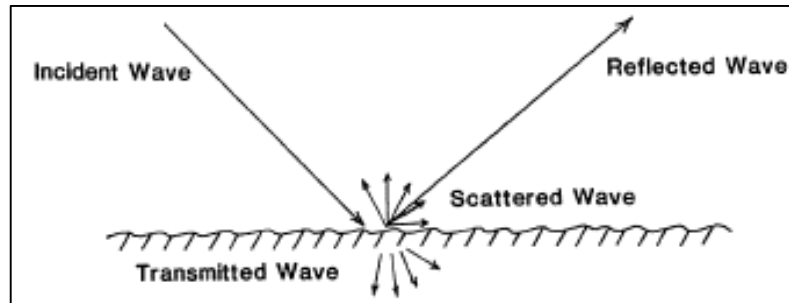
Aktif ve pasif olarak ikiye ayrılan uzaktan algılama ölçümleri uydudan yapılabileceği gibi uçak, helikopter, drone gibi hava taşıtlarına takılarak da yapılır. Ayrıca; yer bazlı tarayıcı uzaktan algılama sistemleri de vardır [10].

Şekil 5.3.'te uzaktan alıcı olarak kullanılan dedektör cismi algılamaya çalışmaktadır. İşlevini gerçekleştirirken kaynaktan cisme çarparak saçılan ışınları ve cisimden doğrudan yayılan ışınları ölçmektedir. Elde edilen toplam ışımının içinde bu iki ışımının yanı sıra cisme çarparak yansıyan ışınlar ve havadaki doğal ışınlar da vardır [11].



Şekil 5.3. Uzaktan algılama sistemlerinde önemli terimleri anlatan bir çizim

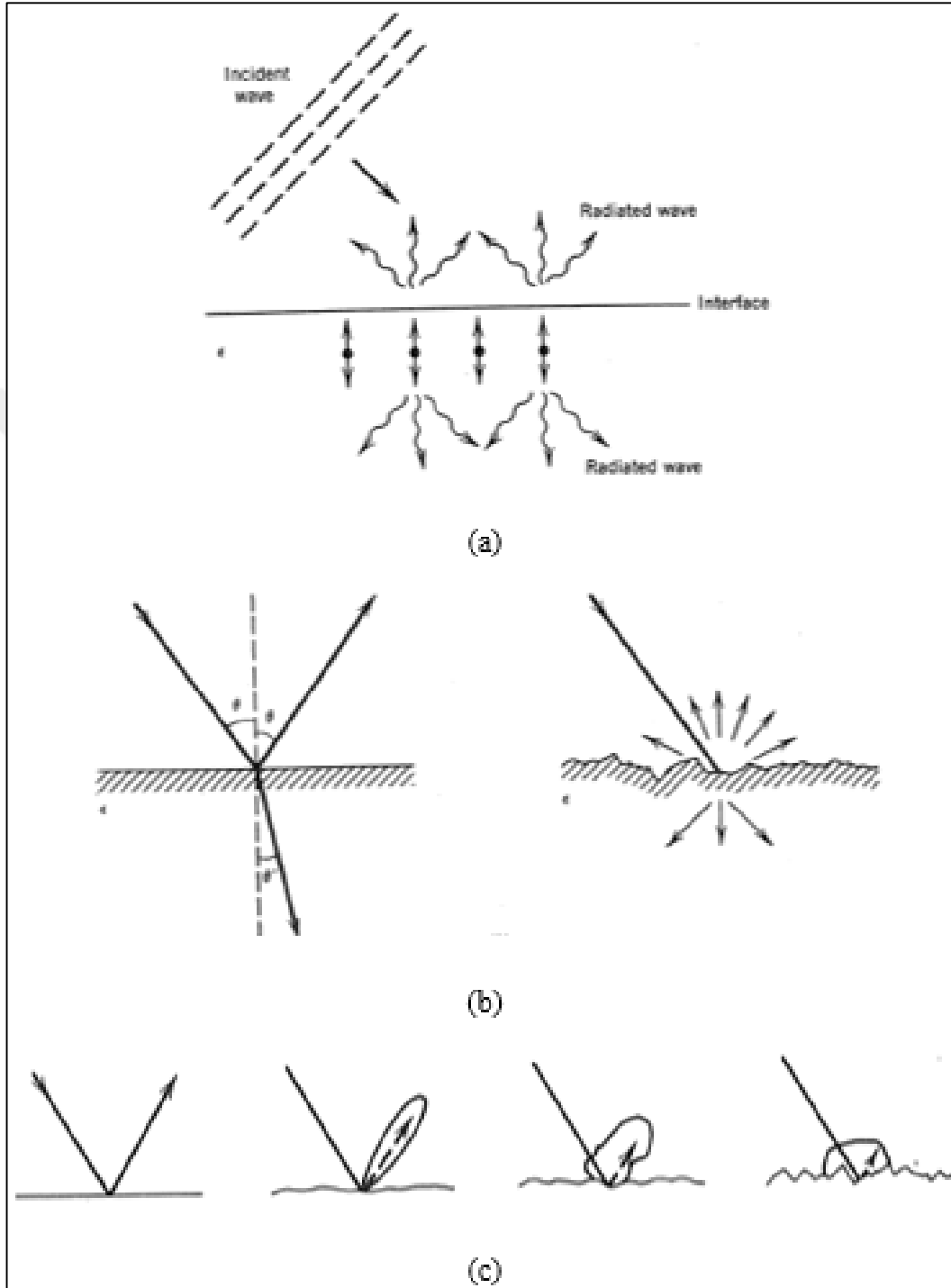
Şekil 5.4.'te saçılan (scattered) ve yansıyan (reflected) dalgalar arasındaki fark daha iyi anlaşılmaktadır [11].



Şekil 5.4. Saçılan ve yansıyan dalgalar

Yansıma ışını, gelen dalganın normalle (N) yaptığı açının aynısını yaparak giderken, saçılma (refraction) ise her yöne doğru gidebilir. Bu saçılma karakteristiğini gelen

dalganın çarptığı yüzey pürüzlüğü önemli ölçüde etkiler. Yansıtıcılık konusunda değinilen saçılma olayı Şekil 5.5.'ten daha iyi anlaşılabilir [11].

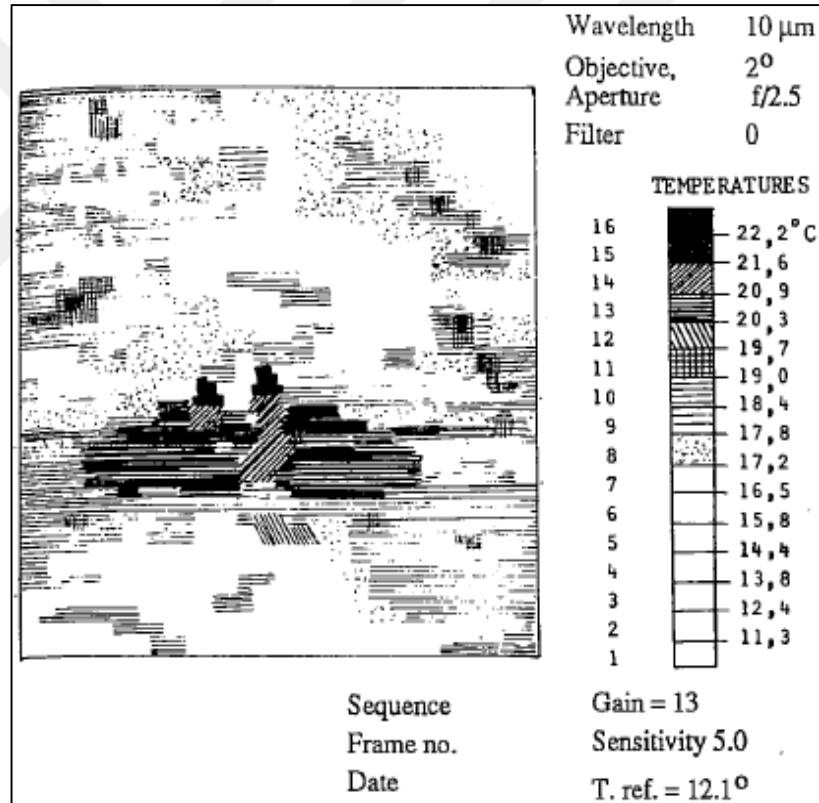


Şekil 5.5. (a) Gelen dalganın bir dielektrik yüzeye çarpmasıyla dipol oluşumu ve bu dipollerin diğer yönlere ışınması (b) Yansıyan (soldaki) ve saçılan (sağdaki) dalgalar (c) Yüzey pürüzlülüğüne göre saçılmalar

Pasif milimetre dalga görüntüleme veya termal görüntüleme cisimlerin görüntüsü ekrana düşerken cisimlerden gelen ışılardan yararlanır. Işımlar çok yoğunsa beyaz görüntü, az veya neredeyse hiç ışıma yok ise siyah görüntü ortaya çıkar.

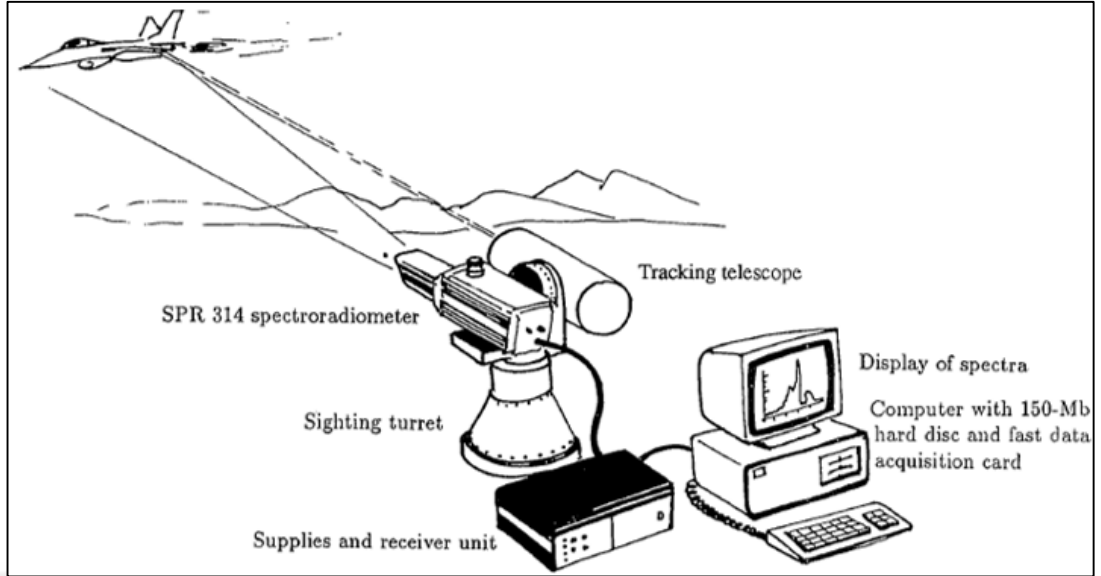
Renk çözünürlüğüne göre ayar değiştirilebilir yani çok yoğun ışıma siyah, az ışıma beyaz seçilebilir. Aralardaki ışıma değerleri ise grinin farklı tonlarında uygulanır. Her pikseldeki görüntü beyazdan siyaha doğru grinin bir tonunu aldığıında; görüntüye tümenden bakıldığıında manalı bir resim belirir.

Şekil 5.6.'da beyazdan siyaha doğru sıcaklık farkları ile elde edilen bir görüntü örneği verilmiştir [15].



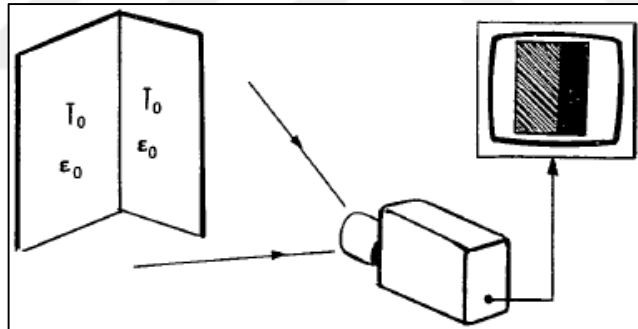
Şekil 5.6. Sıcaklık farkı ile görüntü oluşturulması örneği

Her zaman görüntüyü çizdirmek gerekmez veya yakalanacak olan cisim çok hızlı olabilir. Bu durumda var – yok testi de yapılabilir. Radyometre tarafından algılanan cisim ekrandaki grafikte bir fark meydana getirebilir, Şekil 5.7. [15].



Şekil 5.7. Cismin tespit edilmesi (var-yok testi)

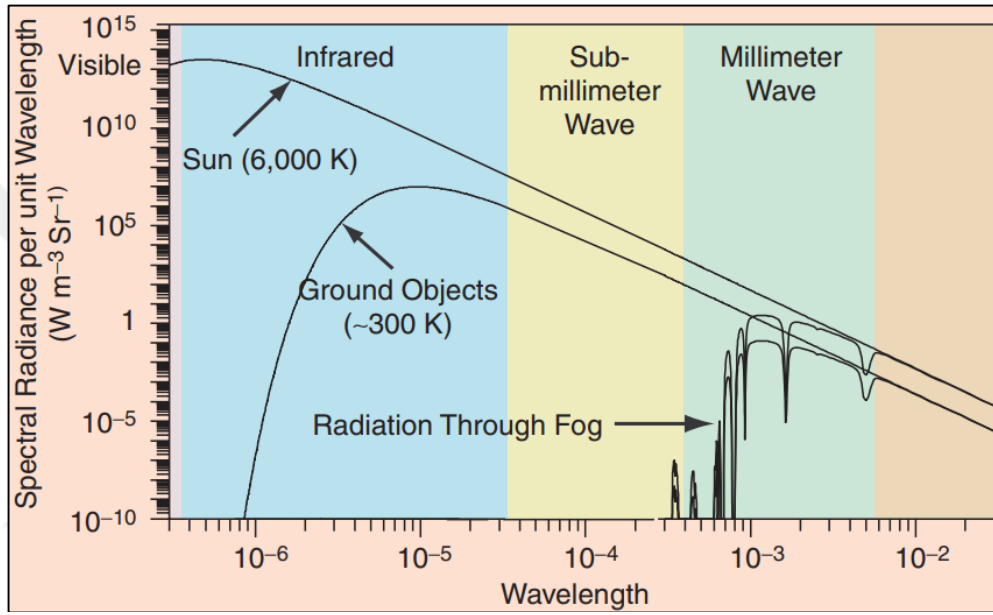
Eğimli yüzeylerdeki yansıma ve yayıcılık değeri farklı olacağından ekranda beliren görüntü de farklı olur. Şekil 5.8.'de açığa göre elde edilen farklı görüntü çizim olarak gösterilmiştir [15].



Şekil 5.8. Cismin tespit edilmesi (açığa göre)

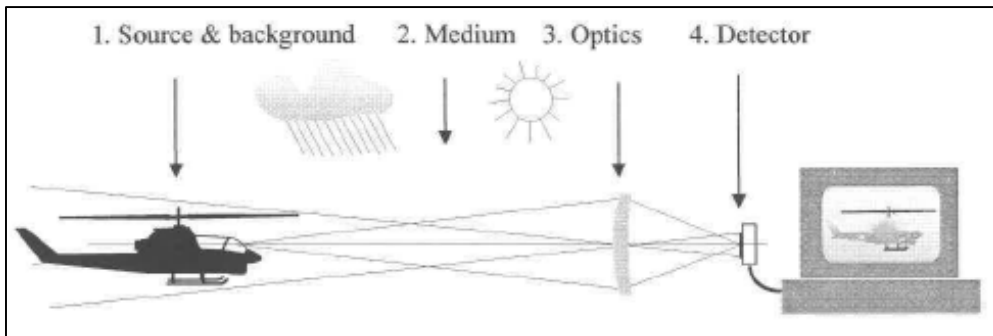
Tüm bu görüntüleme işlemleri yapılırken atmosferdeki hava olayları dikkate alınmalıdır. Yağmur, aşırı yağmur, sis, toz bulutu, dumanlı hava gibi hava durumlarında görüntüleme olayı daha güç yapılabilmektedir. Bu tip atmosferik olaylarda termal veya RADAR gibi görüntüleme cihazları doğru çalışmamakta ya da hiç çalışmamaktadır. 35 GHz, 96 GHz, 140 GHz, 220 GHz, 360 GHz, 680 GHz özel frekans pencereleri bu tip olağanüstü koşullarda kullanılmak üzere keşfedilmiştir. İlginçtir ki; bu özel frekans pencerelerinde pasif milimetre dalga görüntüleme teknolojisi kullanılarak yapılan görüntüleme sistemleri yağmur, aşırı yağmur, sis, toz bulutu, dumanlı hava gibi hava koşullarından etkilenmemekte veya

az etkilenmektedir. Şekil 1.10.'da ve Şekil 5.9.'da, sırasıyla, hava olaylarına göre Zayıflama - Frekans ve Işıma – Dalga boyu grafikleri verilmiştir. Grafiğe göre, milimetre dalga bölgesinden yüksek frekanslarda sisteki yoğun zayıflamadan dolayı hem 300 K'deki hem de 6000 K'deki karacismin ışması alıcıya ulaşamamaktadır. Görüleceği üzere özel frekans ve dalga boyu değerlerinde görüntüleme yapılabilmektedir. Bu değerler çoğunlukla milimetre dalga boylarına denk gelmektedir [1, 6].



Şekil 5.9. Işıma – Dalga boyu grafiği

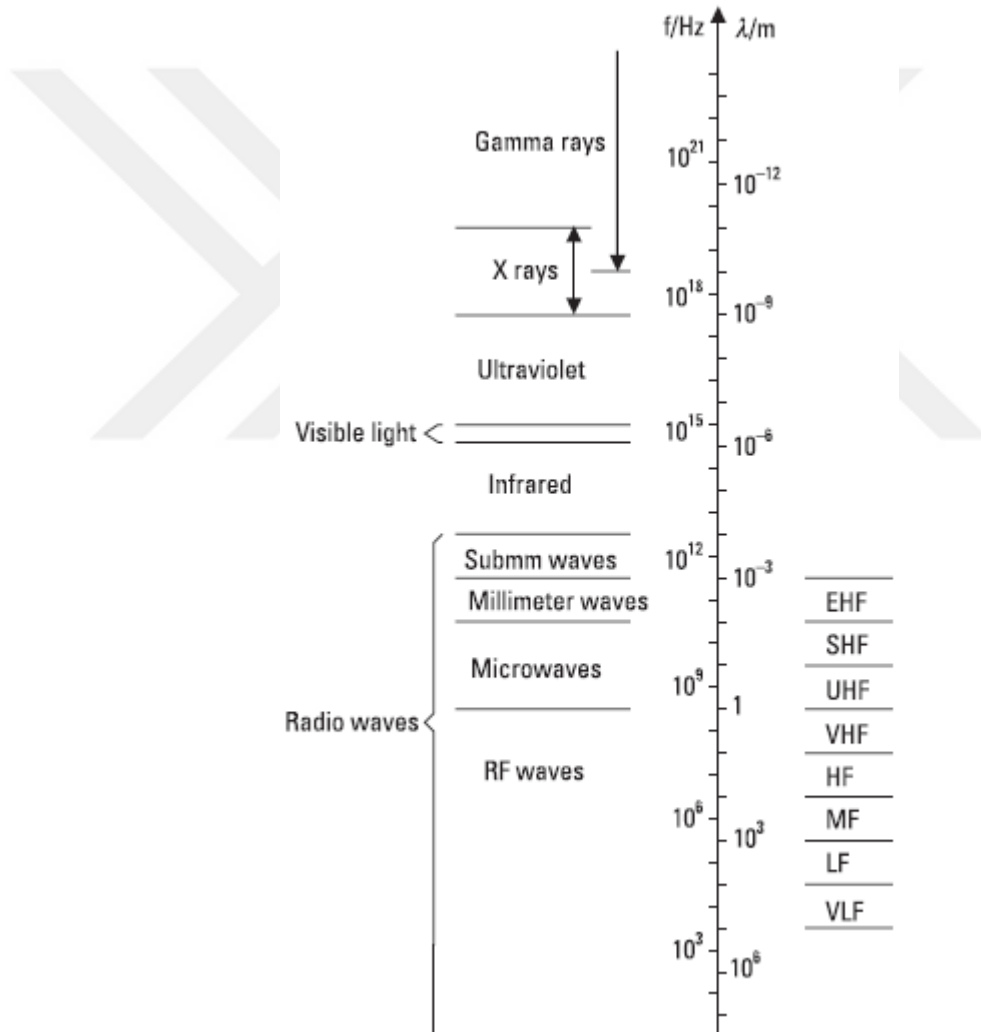
Şekil 5.10.'da hava olaylarına rağmen görüntülenmesi yapılabilen bir helikopterin görüntülenmesi çizim olarak verilmiştir [16].



Şekil 5.10. Radyometre ile helikopterin değişik hava olaylarında görüntülenmesi

## 5.1. Radyo Dalgaları Aralıkları

Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi her frekansta dizayn edilip gerçekleştirilebilir fakat doğru olan bir önceki bölümde tanımlanmış milimetre dalga pencerelerinde çalışacak şekilde tasarım yapmaktır. Çünkü önceki kısımda belirtildiği gibi pasif milimetre dalga görüntüleme sisteminin asıl amacı atmosferik etkilerden dolayı; sinyalde oluşan zayıflamayı engellemektir. Böylece, görüntü oluşturulabilecektir. Şekil 5.11.'de elektromanyetik spektrum verilmiştir. Radyo dalgalarında milimetre dalganın hangi kısma geldiği incelenebilir [19].



Şekil 5.11. Elektromanyetik spektrum

EHF (Extremely High Frequency – Aşırı Yüksek Frekans) olarak adlandırılan bölmeye denk gelen milimetre dalgalar Tablo 5.1.'den de görülebilir [19].

Tablo 5.1. Radyo dalgaları aralıkları

| Frekans aralığı ismi ve frekans aralığı isminin kısaltması | Frekans değeri |
|--|----------------|
| Çok düşük frekans (very low frequency – VLF)               | 3 – 30 kHz     |
| Düşük frekans (low frequency – LF)                         | 30 – 300 kHz   |
| Orta frekans (medium frequency – MF)                       | 300 – 3000 kHz |
| Yüksek frekans (high frequency – HF)                       | 3 – 30 MHz     |
| Çok yüksek frekans (very high frequency – VHF)             | 30 – 300 MHz   |
| Ultra yüksek frekans (ultra high frequency – UHF)          | 300 – 3000 MHz |
| Süper yüksek frekans (super high frequency – SHF)          | 3 – 30 GHz     |
| Aşırı yüksek frekans (extremely high frequency – EHF)      | 30 – 300 GHz   |

HF; yüzey dalgası, gök dalgası, ufuk ötesi radarlarda kullanılır. VHF; çok uzun dalga radarları, yere nüfuz eden radarlarda kullanılır. UHF; çok uzun dalga radarı, balistik füze, erken uyarı radarları, yere nüfuz eden radarlarda kullanılır [85]. Mikrodalga frekanslarında bazı özel isimlendirmeler de mevcuttur. Tablo 5.2.'de bu özel ismi bulunan bant aralıklarının bilgileri kullanım alanları ile birlikte verilmiştir [85].

Tablo 5.2. Radar bant isimleri

| Bant ismi | Açıklama (İngilizce)                  | Frekans değeri | Dalga Boyu     | Kullanım Alanı   |
|-----------|---------------------------------------|----------------|----------------|--|
| L         | Long                                  | 1 – 2 GHz      | 15 – 30 cm     | Uzun menzilli hava trafik kontrol ve arama radarı  |
| S         | Short                                 | 2 – 4 GHz      | 7,5 – 15 cm    | Orta menzilli arama radarı, terminal hava trafik kontrol, uzun menzilli meteoroloji radarı, deniz radarı |
| C         | Comprimise between X and S            | 4 – 8 GHz      | 3,75 – 7,5 cm  | Uzun menzilli takip radarı, uydu   |
| X         | The frequency was a secret during WW2 | 8 – 12 GHz     | 2,5 – 3,75 cm  | Kısa meznilli takip, füze takip radarları, deniz radarı, haritalama, yer arama radarı                    |
| Ku        | Frequency just Under K Band           | 12 – 18 GHz    | 1,67 – 2,5 cm  | Yüksek çözünürlüklü haritalama, uydu   |
| K         | Meaning short in German (Kurtz)       | 18 – 26 GHz    | 1,11 – 1,67 cm | Su buharı tarafından emilmenin yüksek olduğu bant, bulutların tespiti                                    |
| Ka        | Frequency just Above K Band           | 26 – 40 GHz    | 0,75 – 1,11 cm | Yüksek çözünürlüklü haritalama, kısa menzil havalimanı radarı  |



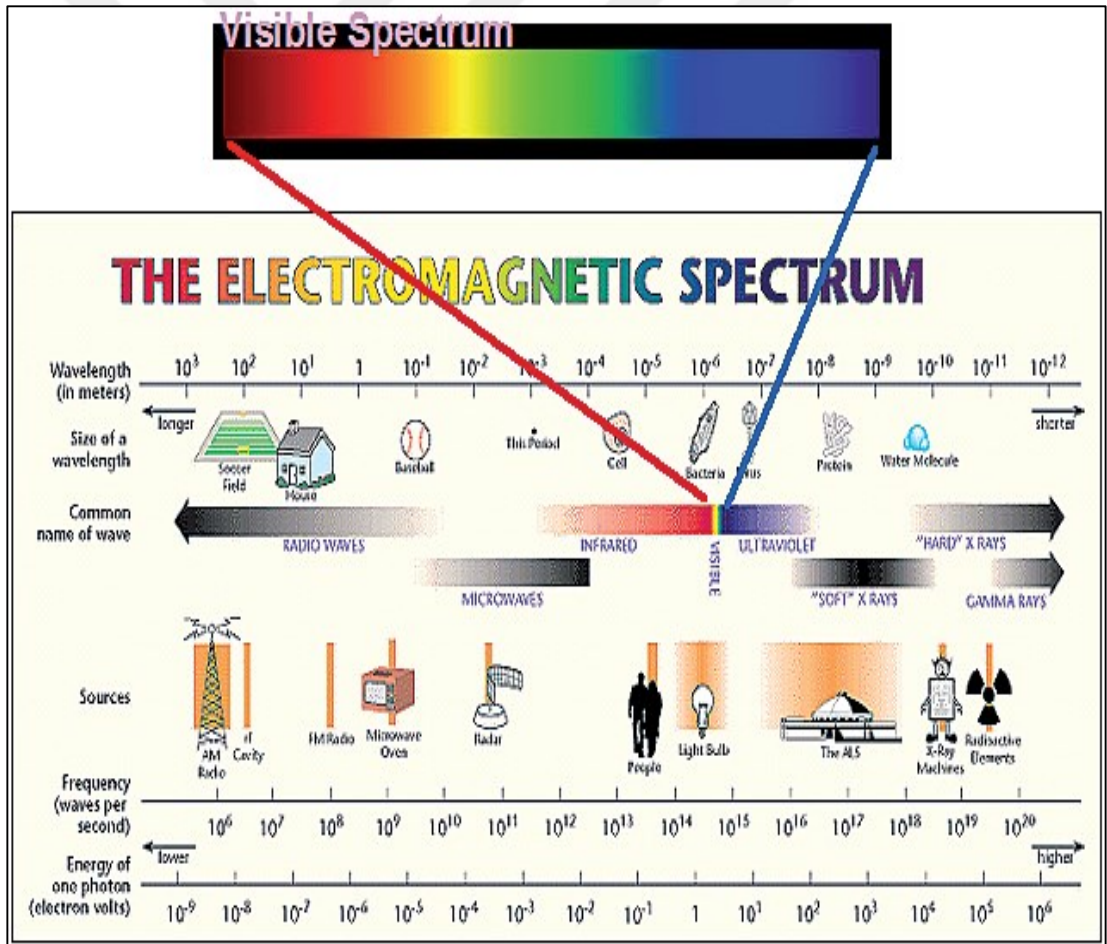
Tablo 5.2.'ye 0,225 – 0,390 GHz frekans aralıkları için P bandı, 36 – 46 GHz frekans aralıkları için Q bandı, 46 – 56 GHz frekans aralıkları için V bandı ve 56 – 100 GHz frekans aralıkları için W bandı eklenebilir [12].

Şekil 5.12.'de, Şekil 5.13.'te [86] ve Şekil 5.14.'te [7, 76] elektromanyetik spektrum, akılda kalıcı olması sebebiyle daha detaylı bir şekilde verilmiştir.

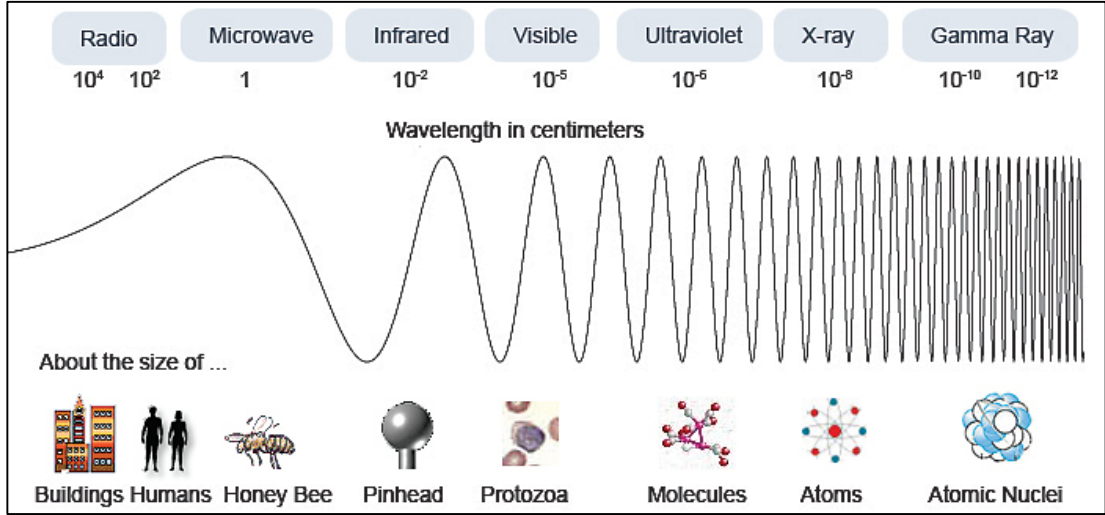
Dalga boyunun (wave length) büyüklüğü kıyas yapabilmek için futbol sahası, ev, hücre, bakteri gibi çeşitli cisimlerle (size of a wave length) birlikte verilmiştir.

Şekil 5.11'deki özel isimler common name of wave kısmında verilmiştir.

Dalganın ilk çıkış noktası olabilecek kaynak (source) verilmiştir.

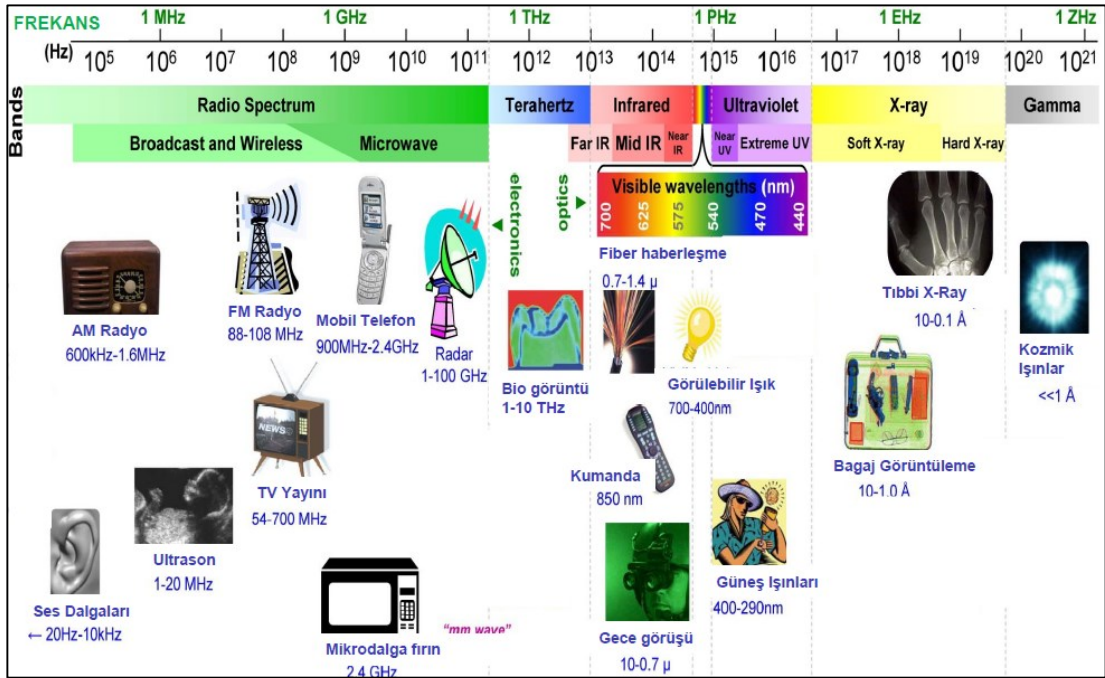


Şekil 5.12. Detaylı elektromanyetik spektrum – 1



Şekil 5.13. Detaylı elektromanyetik spektrum – 2

Başka bir görüntüleme veya tespit işlemi ise kısa mesafeler için yapılır. Örneğin; mayın arama işlemlerinde askeriyelerde sık sık kullanılan dedektörlerin arasında pasif milimetre dalga teknolojisi ile çalışan radyometrik sistemler önemli bir yer tutar. Metallerin yansıtıcılık, toprağın ise emicilik özelliğinin yüksek olması sebebi ile radyometrik alıcı ile taranan mayınlı bir bölgede mayın soğuk olduğundan beyaz, toprak ise sıcak olduğundan siyaha yakın gözüktür [86].

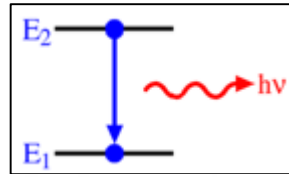


Şekil 5.14. Detaylı elektromanyetik spektrum – 3

Farklı spektrum gösterimleri için [11, 12] nolu kaynaklara bakılabilir.

## 5.2. Enerji Geçişleri

Madde (atom, foton, atom altı parçacık) bir yerden enerji aldığında bir üst seviyedeki enerji seviyesine çıkar, enerji kaybettiğinde ise bir alt seviyedeki enerji seviyesine dūřer. İşte bu geçişler sırasında şekil 5.15.'teki gibi dış ortama bir miktar enerji ışması / elektromanyetik ışıma yapar. Bu ışıma alt seviyeye geçerken daha fazladır [17, 76].



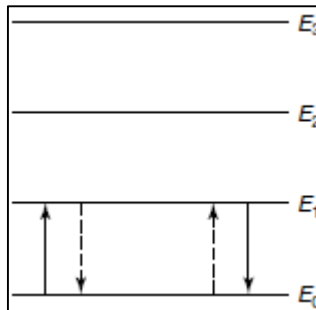
şekil 5.15. Enerji kaybı

19. yūzyıldaki çalışmalarda Einstein, Planck ve Bohr gibi ũnlū bilim adamları tarafından atomik enerji seviyeleri ile ilgili bir takım Őlūmsel gŐzlemler ve bilimsel çalışmalar yapıldı. Bir cisimdeki elektromanyetik ışımanın kaynağının o cisimdeki parçacıkların veya quantaların yer değiştirmesinden kaynaklanabileceği gerçeği bulundu. Bohr (5.1)'i buldu [17].

$$E=hv=hf=\frac{hc}{\lambda} \quad (5.1)$$

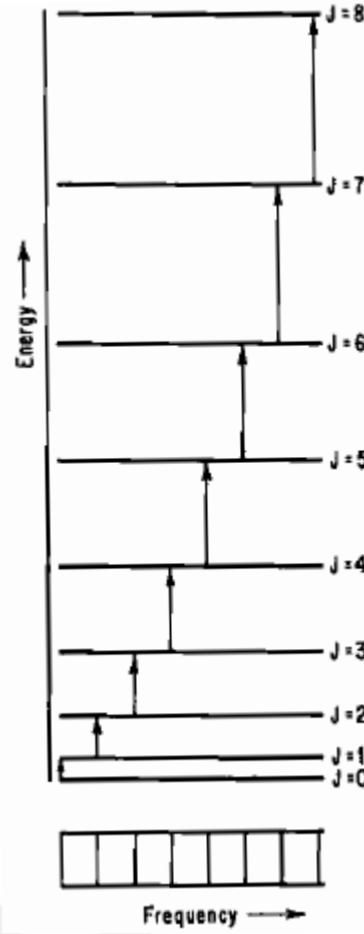
Burada h is Planck sabiti ve v frekanstır.

Her maddenin kendi içinde ayrıık enerji seviyeleri bulunur. Bu enerji seviyeleri şekil 5.16.'da  $E_1, E_2, E_3$  vs. ile gösterilmiştir [17].



şekil 5.16. Enerji seviyeleri

şekil 5.17.'de gŐrũleceđi ũzere her bir enerji seviyesine çıkıldıktan sonra bir sonraki enerji seviyesi için daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır [14].



Şekil 5.17. Enerji seviyelerinde bir üst seviyeye geçme

### 5.3. Uzaktan Algılama Örnekleri

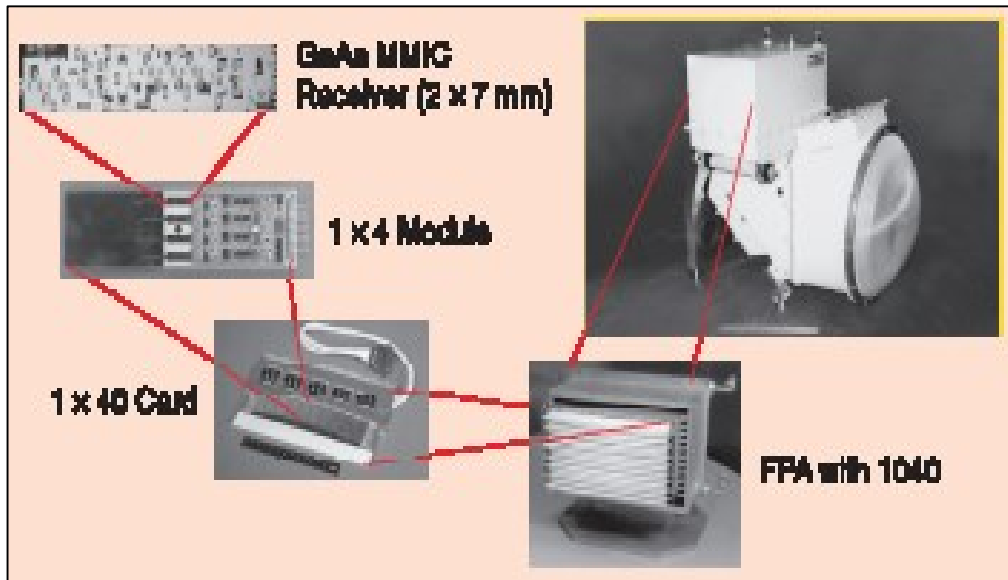
Uzaktan algılama işlemi RADAR, SONAR (SOund Navigation And Ranging) gibi aktif çalışan cihazlar ile de yapılabilir fakat bu çalışma pasif algılama üzerine olduğu için örnekler pasif görüntülemeler üzerine olacaktır. Literatürde hem farklı frekans aralıklarında hem de farklı tarama tiplerinde üretilmiş çeşitli pasif milimetre dalga algılama sistemleri vardır. Bazıları giysi altındaki gizli silahları görmek için tasarlanmıştır ve hastane, gümrük kapıları, kışla, resmi kurumlar, alışveriş merkezleri, hava alanları gibi mekanlarda kullanılır. Bazıları ise sis, duman, toz bulutu gibi durumlarda arka planda olan tehlikeli olayları görüntülemek için tasarlanmıştır ve askeri alanlarda, savunma sistemlerinde kullanılır. Helikopter ve uçaklara entegre edilenleri de vardır. Yine bu sistemler askeri olarak kullanılabilceği gibi çeşitli hava olaylarında iniş yardımı almak amacıyla da kullanılabilir.

### 5.3.1. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 1

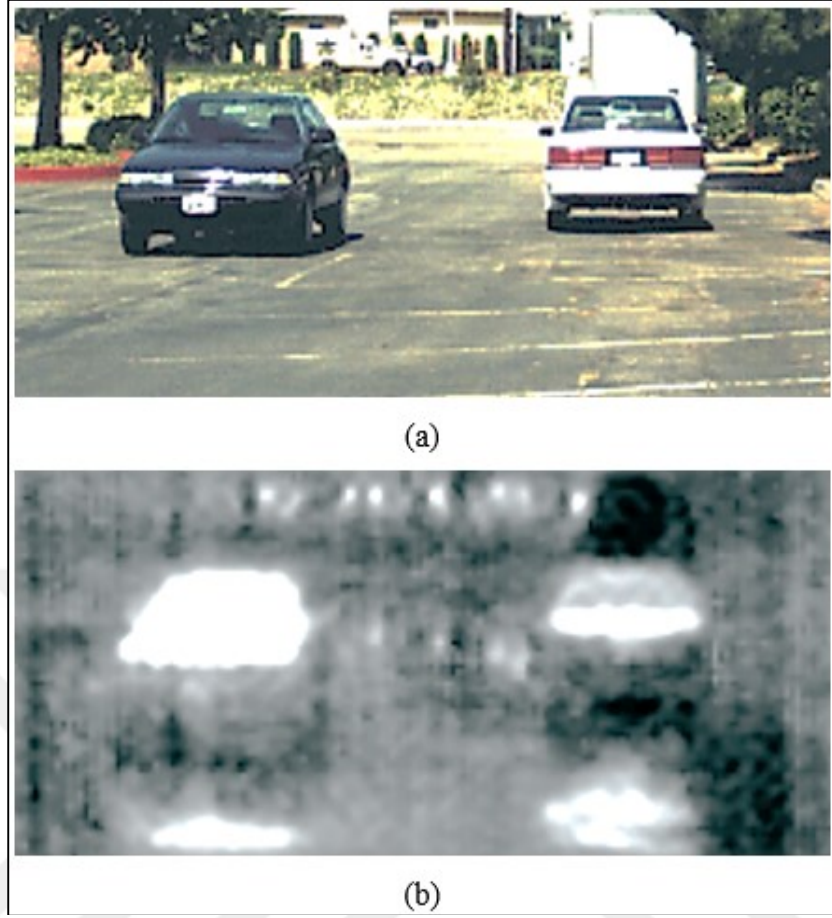
Larry Yujuri ve arkadaşları, pasif milimetre dalga görüntüleme çalışmalarında, 94 GHz frekansında çalışan, Şekil 5.18.'de gösterilen bir alıcı tasarladılar. Bu alıcı hedef görüntüyü sisli veya puslu hava koşullarında görebiliyordu. Uçakların piste inmesi için yardımcı olabiliyordu. Hava alanı pisti üzerinde yaptıkları çözünürlük çalışmaları da vardır [1].

Ayrıca farklı hava koşullarında zayıflama konusunda da çalışmalar yaptılar. İnsan, araba, gemi veya metalik nesne gibi görüntüleri görmek için yerde ve uçakta, Şekil 5.19.'da görüntüsü verilen ölçümleri yaptılar. GaAs MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) teknolojisini kullandılar.

Denizde de Queen Marry gemisi ve zodyak botunu görüntüleme çalışmaları ve insan üzerine sakladıkları silahları algılama çalışmaları makalelerinden incelenebilir. 4 adet MMIC alıcıdan 1 modül oluşturdular ve 260 adet modülü lens kullandıkları görüntüleyici içine yerleştirdiler. Sonuçta toplam 1040 alıcıdan oluşan bir PMMDGS (Pasif Milimetre Dalga Görüntüleme Sistemi) geliştirmiş oldular [1].



Şekil 5.18. L. Yujuri ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi



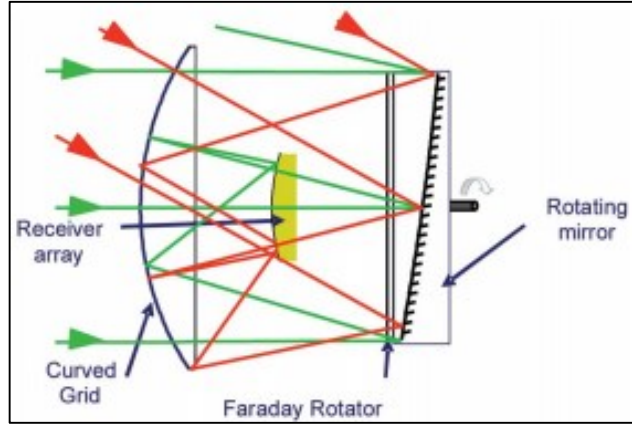
Şekil 5.19. L. Yujuri ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi çalışmalarının (a) Optik görüntüsü (b) radyometrik görüntüsü

### 5.3.2. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 2

Roger Appleby ve arkadaşları, güvenlik ve gözetleme için milimetre dalga ve milimetre dalga altı görüntüleme makalelerinde, giysi altındaki gizli nesnelere görmek için optik döner ayna (Şekil 5.20.) kullandılar.

Helikopterin inişine yardımcı olabilmek için milimetre dalga ile çalışmanın ve gizli nesnelere bulmak için milimetre dalga altı ile çalışmanın en iyi seçenek olduğunu öne sürdüler.

Çalışmalarında 35 GHz ve 94 GHz frekanslarında görüntüleme yapmışlardır [2].



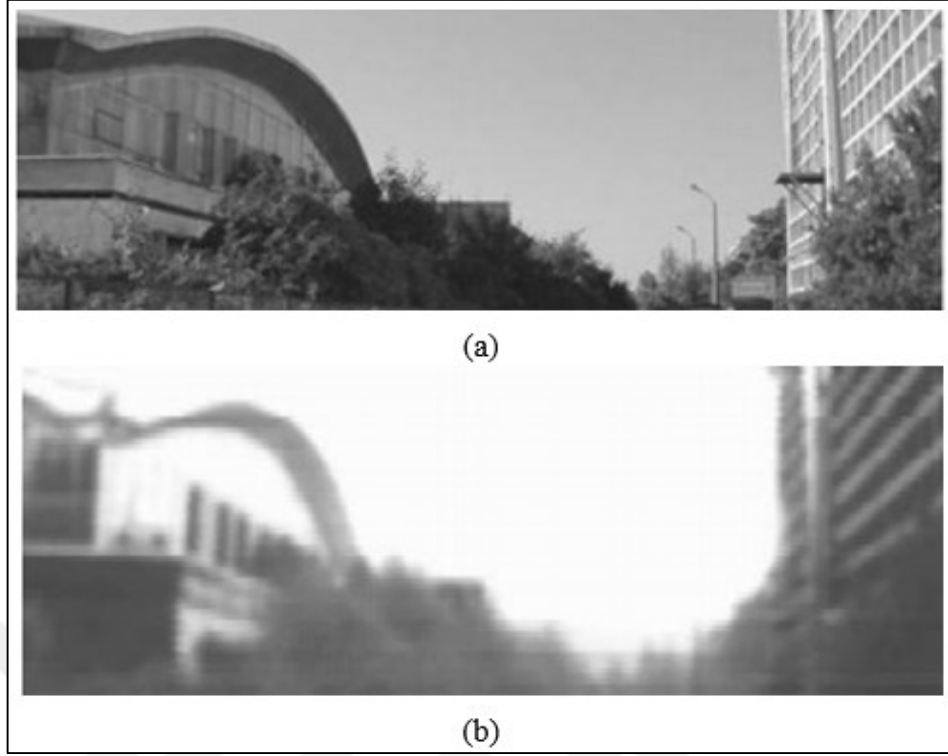
Şekil 5.20. R. Appleby ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi için tasarladıkları optik döner ayna

### 5.3.3. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 3

A. Denisov ve arkadaşları, 33 – 38 GHz frekanslarında ve 8 mm dalga boyunda 32 adet sensör (Şekil 5.21.) ile pasif milimetre dalga görüntüleme sistemine ilişkin bazı ölçümler (Şekil 5.22.) yapmışlardır. 32 adet sensör kalkış eksenini boyunca dizilmiştir, dolayısıyla; sadece azimut ekseninde tarama yapmak görüntüleme için yeterli olacaktır [8].



Şekil 5.21. A. Denisov ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi



Şekil 5.22. A. Denisov ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi çalışmalarının (a) Optik görüntüsü (b) Radyometrik görüntüsü

#### 5.3.4. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 4

S. Yeom ve arkadaşları, W frekans bandında iç ve dış mekanlarda güvenlik uygulamaları için pasif milimetre dalga çalışması yaptılar. Farklı algoritmalarla görüntüleri daha iyi hale getirmeye çalıştılar.

Çalışma konuları daha çok görüntüleme segmentasyon uygulamaktır. Detaylı örnekleri için [87, 88] incelenebilir.

#### 5.3.5. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 5

B. Kapilevich ve arkadaşları, yurt güvenliği ve savunma için çalışan PMMDGS geliştirdiler. 88 – 100 GHz frekanslarında giysilerin altındaki gizli nesnelere görmek için alıcıda LNA, dedektör, video amplifikatörü ve osilatör kullandılar [89]. Tarayıcıya getirdikleri yenilikler arasında bulunan teflon lens, gizli nesnelere tespit etmek için başka bir çalışmada kullanılmıştır [69].



### 5.3.6. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 6

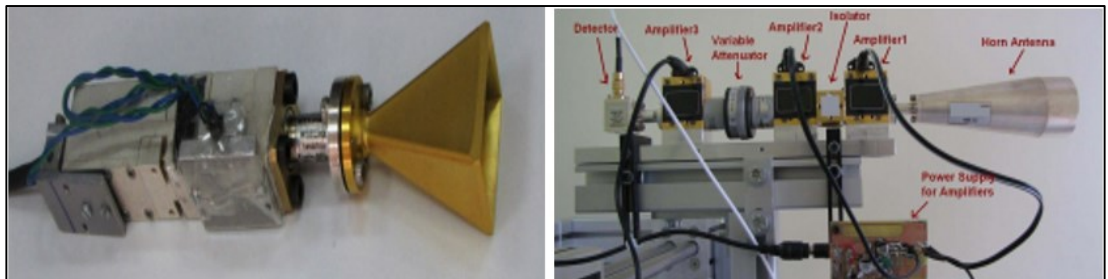
C. Zheng ve arkadaşları, insan vücuduna radyasyon riski olmaksızın iki boyutlu sentetik diyafram interferometrik radyometre tasarladılar ve giysi altındaki silahları saptama için çalışmalar (Şekil 5.23.) gerçekleştirdiler [5].



Şekil 5.23. C. Zheng ve ark. pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi çalışmalarından bir görüntü

### 5.3.7. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 7

A. Vertiy ve arkadaşları, Şekil 5.24.'te verilen sistemlerini 90 – 100 GHz frekansında tasarladılar ve 10 metrelik bir mesafeden giysi altındaki metalik silahı tanıyabiliyordu ve hedef görüntüyü çeşitli hava koşullarında yaklaşık 170 metreden görebiliyorlardı. Bu çalışma için yarı-optik anten de geliştirdiler [3, 4].

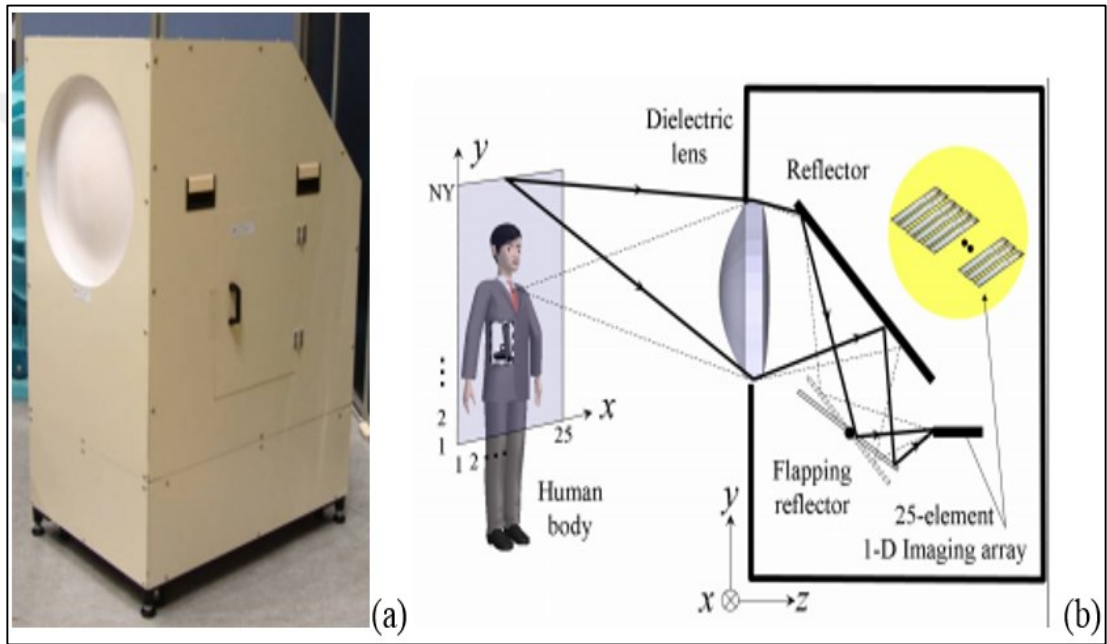


Şekil 5.24. A. Vertiy ve ark. pasif milimetre dalga alıcıları

### 5.3.8. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 8

Şekil 5.25. (a)'da verilen 25 sensör dizi elemanı ve çarpma reflektörü ile 77 GHz milimetre dalga pasif görüntüleme kamerası H. Sato ve arkadaşları [71] tarafından tasarlanmıştır.

Sistemde Şekil 5.25. (b)'de gösterildiği üzere lens ve döner ayna kullanılmıştır. 25 adet sensör azimut ekseninde boyunca dizilmiştir; sadece kalkış ekseninde tarama yapmak görüntü elde etmek için yeterli olacaktır.

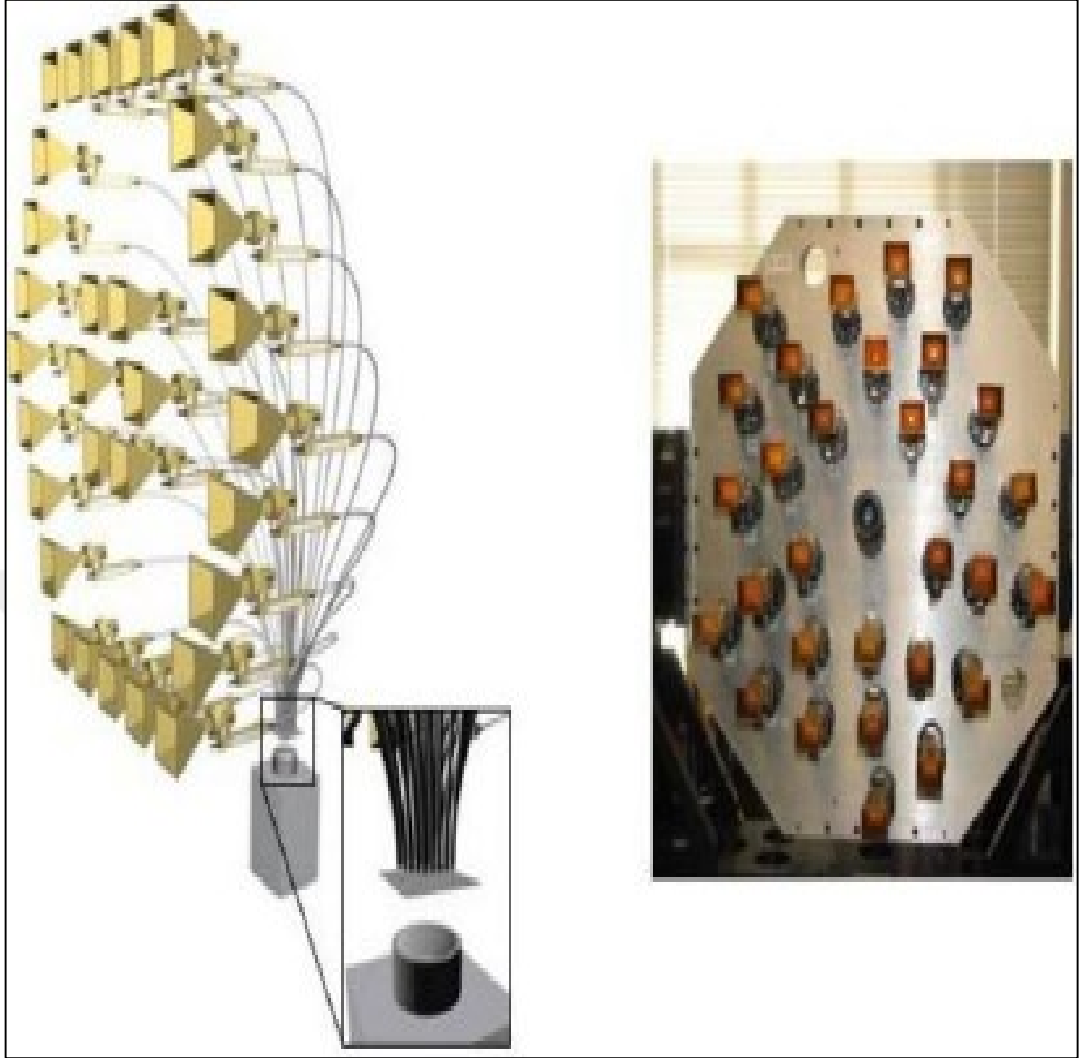


Şekil 5.25. H. Sato ve ark. pasif milimetre dalga alıcılarının (a) Son hali (b) Tarama şeması

### 5.3.9. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 9

Horn (boynuz) antenlerin kullanıldığı ve 30 adet milimetre dalga görüntüleme alıcısının belirli aralıklarla, alansal olarak monte edilmesiyle, Joseph N. Mait ve arkadaşlarının sistemi Şekil 5.26.'daki gibi oluşturulmuştur.

Hiç tarama yapmadan anlık olarak algılama yapabilmektedir. Makalelerinde görüntülemekten değil sadece algılama işleminden bahsedilmektedir [72].

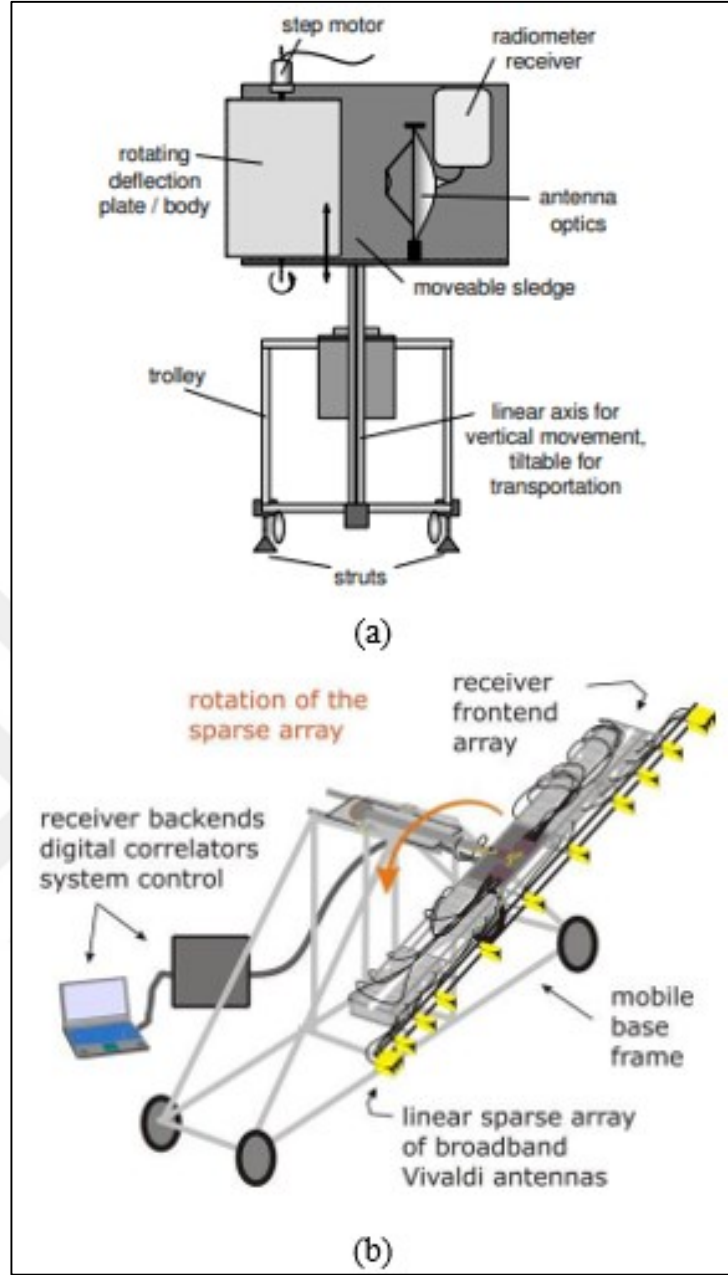


Şekil 5.26. Joseph N. Mait ve ark. pasif milimetre dalga alıcısı

### 5.3.10. Pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi – Örnek 10

Markus Peichl ve arkadaşları tek bir alıcı dedektör ile PMMDSG, Şekil 5.27. (a) yaptıkları gibi bir doğru üzerine birden fazla dedektörü dizi halinde sıralayıp  $180^\circ$  döndürerek de PMMDGS Şekil 5.27. (b) tasarlamışlardır.

Markus Peichl ve arkadaşlarının asıl amaçları patlayıcı malzemeleri tespit edebilmek ve güvenlik için kullanılmasını sağlamaktır [70].



Şekil 5.27. (a) Tek bir alıcı dedektör ve döner ayna ile PMMDGS (b) Sıralı dizi halinde  $180^\circ$  dönme yardımıyla çalışan PMMDGS

#### 5.4. Radyometrik Alıcı Örnekleri

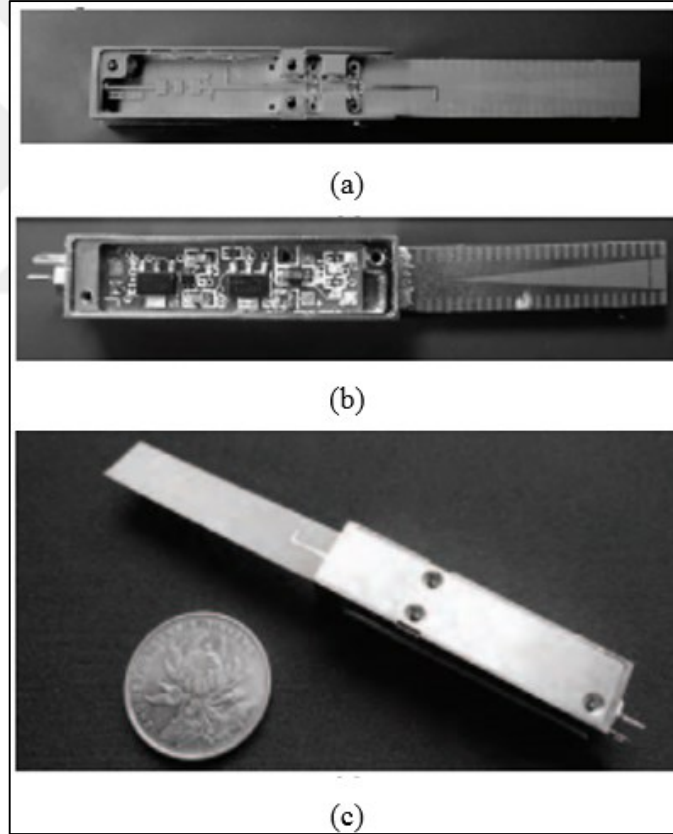
Uzaktan algılama işlemi için üretilen radyometrik alıcılar önceki konularda da bahsedildiği gibi sadece mikroşerit hatlardan oluşan devrelerden ya da sadece dalga kılavuzlarından oluşabilir. Bu ikisinin karışımı ile de radyometrik alıcı üretilebilir.

Bağlantı noktalarında oluşan kayıplar algılamayı imkansız hale getirmediği sürece çeşitli tasarımlar yapılabilir. Aynı şekilde devre ile anten mikroşerit hat üzerinde

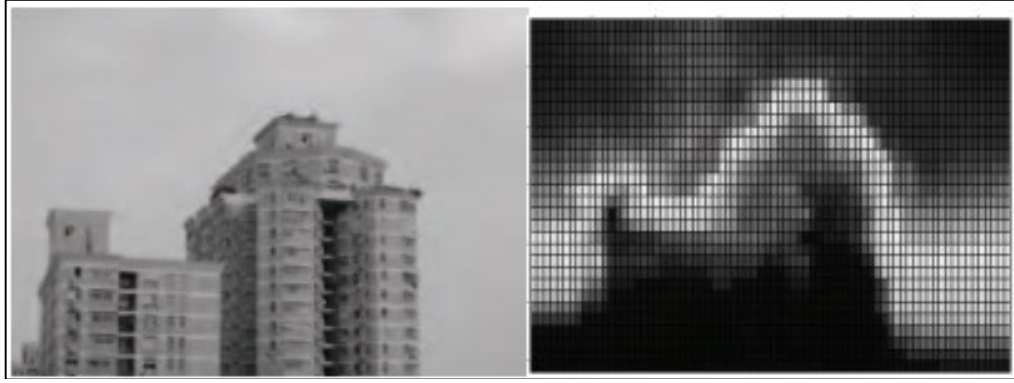
Vivaldi tipi antenlerle birleşebileceği gibi konnektör vasıtasıyla dalga kılavuzu tipi horn antenlerle de birleşebilir. Dedektör ve LNA devreleri çiplerle yapılabileceği gibi tekil elemanlarla da yapılabilir.

#### 5.4.1. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 1

Fuhong Guan ve arkadaşları, iki adet LNA'yı kaskad bağlamıştır ve dedektöre giden kazancı artırmayı amaçlamışlardır. Daha sonra kare-kural dedektörü (square-law detector) kullanmışlar ve DC sinyale çevirilen veriyi video kuvvetlendirici ile güçlendirmişlerdir. Cisimlerden gelen ışığı slot anten ile almaya çalışmışlardır [64]. Şekil 5.28.'de tasarladıkları ve ürettikleri alıcı görülmektedir. Şekil 5.29.'da ise yaptıkları ölçümlerden bir detay paylaşılmıştır.



Şekil 5.28. Radyometrik alıcı (a) Ön görünüş (b) Arka görünüş (c) Boyut



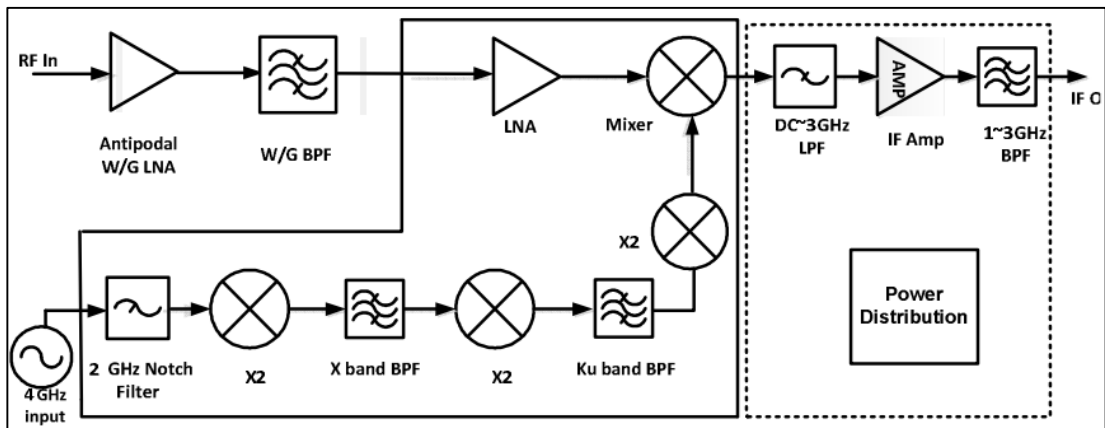
Şekil 5.29. Radyometrik alıcı ile yapılan ölçüm

#### 5.4.2. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 2

Ghulam Mehdi ve arkadaşları, devre ve dalga kılavuzunu birlikte kullanarak bir tasarım gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarım Şekil 5.30.'da verildiği gibi bant geçiren filtre ve LNA dalga kılavuzu, alıcı (receiver) elemanlarla oluşturulan devredir. Çalışma frekansları 34 GHz frekansındır. Şekil 5.31.'de bu devreye ait şema gösterilmiştir [66].



Şekil 5.30. Hem dalga kılavuzu hem de devre içeren radyometrik alıcı



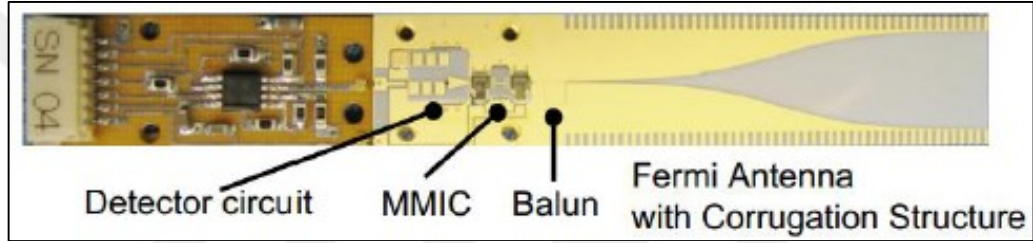
Şekil 5.31. Radyometrik alıcı devre şeması

### 5.4.3. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 3

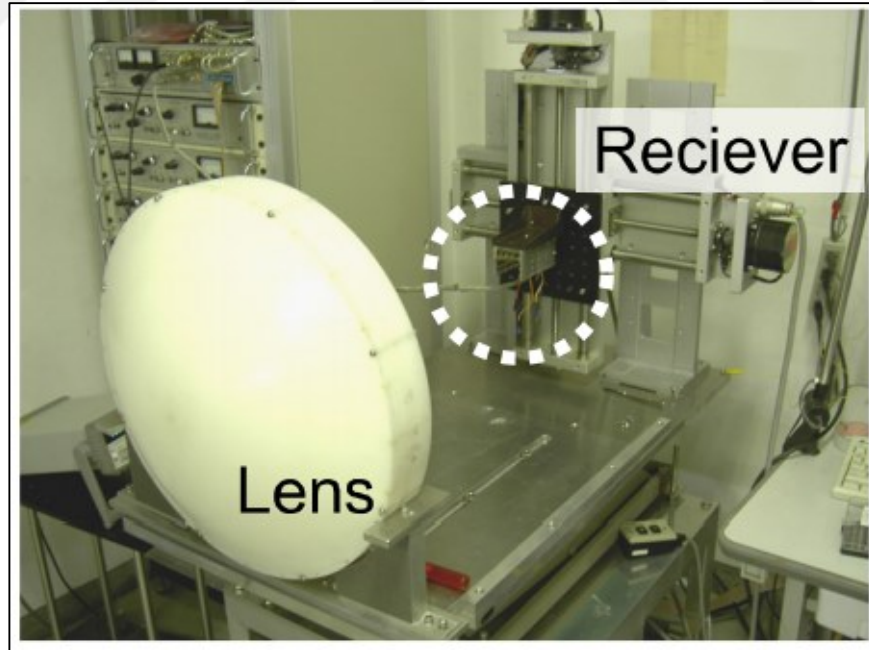
Qiu Jinghui ve Zhang Ruidong, 30 ile 42 GHz frekasları arasında çalışan ve dedektörü devre elemanlarından, LNA'sı ise modülden oluşan bir radyometrik alıcı yapmışlardır [67].

### 5.4.4. Radyometrik alıcı örnekleri – Örnek 4

Şekil 5.32.'de verilen Koji Mizuno ve arkadaşlarının radyometrik alıcısı, MMIC dedektör, balun ve Vivaldi anten benzeri fermi antenden oluşuyor. Şekil 5.33.'te ise PMMDGS ve lens gösterilmiştir [65].



Şekil 5.32. MMIC radyometrik alıcı devresi



Şekil 5.33. MMIC dedektör ile oluşturulan PMMDGS

## **6. OLUŞTURULAN VE KULLANILAN PASİF MİLİMETRE DALGA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİNİN TANITIMI**

Tezde yapılan çalışmaların temelini danışman hocamın liderliğinde alınmış olan Kocaeli Üniversitesi (KOÜ) 2013/18 kodlu Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) bünyesindeki Milimetre Dalga Pasif Görüntüleme Sistemi (MİLGÖR) projesinden yararlanılarak satın alınmış ve gerçekleştirilmiş bileşenler sağlamıştır.

Bu çalışmalar, ilk önce Ukraynalı bir Ar-Ge şirketi olan Iceberg Firması'ndan 96 GHz 'de çalışan bir adet radyometrik alıcının satın alınmasıyla başlamıştır. Ardından, sistemin mekanik tarayıcısı ve hem ekrana görüntü aktarıp hem de sistemin kontrolünü sağlayan yazılımını içeren bileşen partner firma Enova Şirketi'ne yaptırılmıştır. Daha sonra danışman hocamın gerçekleştirdiği bir çalışmayla da parabolik yansıtıcı anten ve denge ağırlıkları tasarlanarak Kartal Sanayi Sitesi'ndeki bir metal işleme firması olan Ermaksan'a yaptırılmıştır. İlgili bütün parçalar temin edildikten sonra bütünleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Böylece; PMMDGS oluşturulmuş oldu ve ölçümlere hazır hale getirildi. Aşağıda; ölçümlerin yapıldığı PMMDGS'nin bölümleri anlatılmaktadır.

PMMDGS'nin bölümlerini; tarayıcı sistem, tarayıcı sisteme takılı olan parabolik yansıtıcı anten ve yansıtıcı antenin odak noktasında bulunan radyometrik alıcı oluşturmaktadır. Bu kısımların her biri kendi içinde de bölümlere ayrılır.

Tarayıcı sistem, azimut ve kalkış eksenlerinde 1 birim ilerleyerek tarama yapan sistemdir. Bunun için 2 eksenli konumlandırıcıdan yardım alır.

Bu tez için yapılan görüntüleme çalışmalarında tarayıcı sistem, tarama işlemine her zaman elde edilecek görüntünün sol-üst köşesinden başlamaktadır. Tarayıcı, azimut ekseninde ayarlanan açı aralığı kadar tarama yaptıktan sonra; 1 birim kalkış ekseninde aşağıya iner ve azimut ekseninde ayarlanan açı aralığı kadar yeniden tarama yapar.



Bu tarama, azimut ekseninde ayarlanan başka bir açı aralığına gelinceye kadar devam eder. Bu konuya 6.1. başlığı altında değinilecektir.

Literatürdeki bazı tarayıcı sistemler ise bütün eksenlerde anteni gezdirmek yerine hareketli lens ve ayna sistemi ile farklı noktalardaki değerleri, sabit duran antene iletebilirler, bu şekilde yine tam tarama yapılmış olur. Bu tarz tarayıcı sistemlere ait örnekler Bölüm 5.3.'te verilmişti.

Tarayıcı sistemin ucunda bulunan yansıtıcı anten, uzaklarda bulunan cisimlerden gelen ışınları toplamak için kullanılır. Toplanan ışınları odak noktasında bulunan radyometrik alıcıya gönderir.

Bu odak noktası radyometrik alıcının horn veya açıklık antenin ağzına denk gelmemekte, alıcının herhangi bir noktasında olabilmektedir. Bu noktanın bulunması da Bölüm 6.2.2.'de anlatılmıştır.

Radyometrik alıcının en önünde kendisine ait horn veya açıklık anten gibi ayrı bir anteni bulunur. Aslında; bu anten ve parabolik yansıtıcı yüzey parabolik yansıtıcı anteni oluşturmaktadır.

Radyometrik alıcı ise dört katlı kaskad yapılı LNA, dedektör, video kuvvetlendirici ve alçak geçiren filtre devrelerinden oluşan ayrı bir cihazdır. Genelde aktif devrelerin birleşimi ile oluşur. En uç kısmında parabolik yansıtıcı antenle paylaşılan kendine ait bir anteni vardır. Bu anten ya mikroşerit ya da horn anten olabilir.

Radyometrik alıcıda ise piramit horn anten kullanılmıştır. Bu anteni devreye en az kayıpla entegre etmek için ilk tasarımlarda konnektörlerden faydalanılabilir. Dalga kılavuzu ile LNA tasarlanırsa horn anten kullanıldığında ve mikroşerit devreler ile LNA tasarlanırsa Vivaldi tipi anten kullanıldığında konnektöre gerek kalmadan radyometrik alıcının her bir katmanı tek bir baskı devrede bulunabilir.

Farklı tasarımlar Bölüm 5.4.'te verilmişti.

Pasif milimetre dalga görüntüleme sisteminin en son kısmında ise bilgisayara aktarma işlemini yapan cihaz bulunur.

Her pikseldeki değer DC değeri olarak bilgisayara aktarılır ve matrissel olarak saklanır. Matristeki her bir nokta siyah – beyaz dengesi gözetilerek gri tonunda bir renge karşılık gelir. En çok ışıma algılanan bölüm siyah veya beyaz olarak kullanıcının seçimine bırakılabilir.

Grinin farklı tonlarında elde edilen resmin kontrast değerini artırmak için gerek MatLab Programı gerekse Microsoft Office Picture Manager Programı kullanılabilir.

Elde edilen son fotoğraf antenin tarama yaptığı bölgenin nihai radyometrik görüntüsüdür.

Optik ve kızılötesi görüntüleme sistemlerinin yetersiz kaldığı çeşitli hava olaylarında, örneğin; sis, yağmur, toz bulutu gibi, tamamlayıcı sensör olarak çalışması için kullanılan PMMDGS sayesinde arka planda bulunan görüntü net bir şekilde elde edilir.

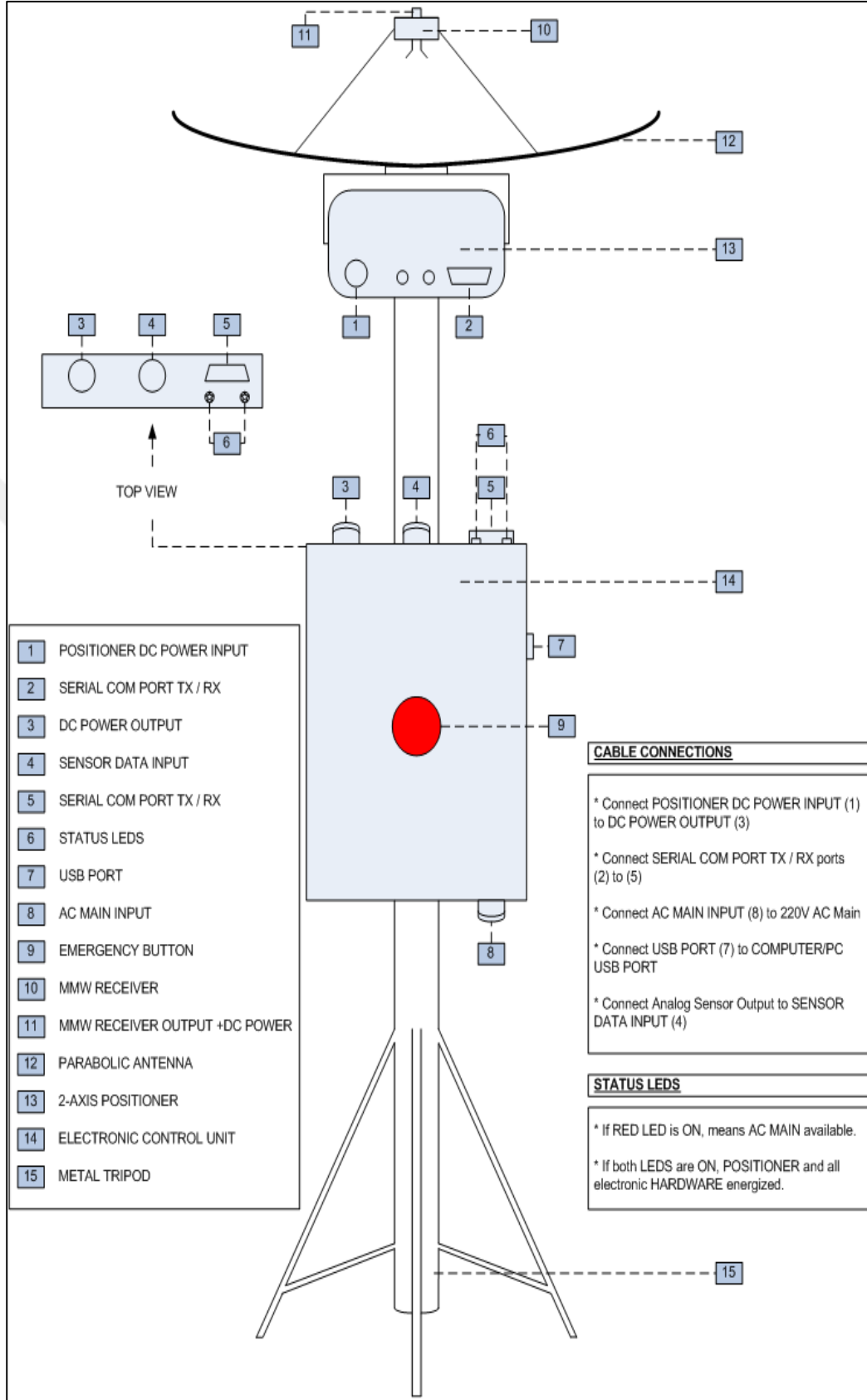
Bu çalışmada ise, radyometrik alıcının çalışmamız sırasında bir takım arızalar vermesi neticesinde sadece açık havada görüntüleme çalışmaları yapılmıştır.

### **6.1. Tarayıcı Sistem**

Tarayıcı sistemi, 2 eksenli konumlandırıcı, konumlandırıcının çalıştırıldığı ve görüntülerin bilgisayara aktarıldığı Pasif MiliMtere Dalga Görüntüleme Programı (PMMDGP - PMMWIP (Passive Millimeter Wave Imager Program)) ve üç ayakta (tripod) oluşmaktadır.

Tarayıcı sistemin; yansıtıcı anten ve radyometrik alıcı ile olan şematik görüntüsü Şekil 6.1.'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 6.1.'de Şekil 6.1.'deki sistem parçalarının türkçeleri verilmiştir.

Şekil 6.1.'de verilen sistemin kablo bağlantılarının açıklamaları da türkçe olarak Bölüm 6.5.'te açıklanmıştır.

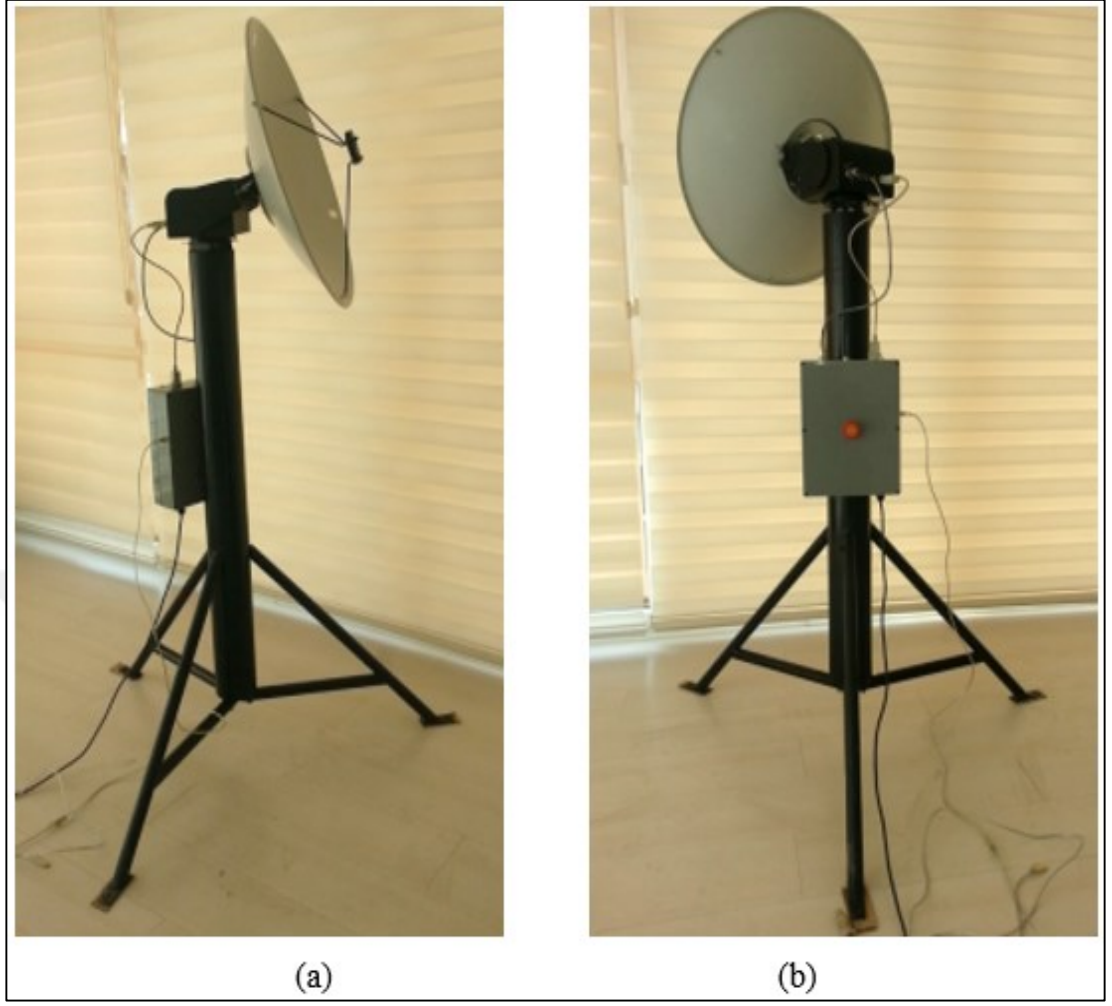


Şekil 6.1. Tarayıcı sistem şeması

Tablo 6.1. Tarayıcı sistem şemasının türkçe çevirisi

| Numara | Çeviri                           |
|--------|----------------------------------|
| 1      | Konumlandırıcı DC güç girişi     |
| 2      | Seri haberleşme portları Tx/Rx   |
| 3      | DC güç çıkışı                    |
| 4      | Sensör bilgi girişi              |
| 5      | Seri haberleşme portları Tx/Rx   |
| 6      | Durum LED göstergeleri           |
| 7      | USB portu                        |
| 8      | Ana AC girişi                    |
| 9      | Acil durum güç durdurma butonu   |
| 10     | Radyometrik alıcı                |
| 11     | Radyometrik alıcı çıkışı, DC güç |
| 12     | Parabolik yansıtıcı anten        |
| 13     | 2 eksenli konumlandırıcı         |
| 14     | Kontrol ünitesi                  |
| 15     | Metal üç ayak                    |

Şekil 6.2.'de PMMDGS'ye ait tarayıcı sistemin üç ayağa bağlı haldeyken parabolik yansıtıcı antenin takılı olduğu durumda yandan ve arkadan çekilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.2. Parabolik yansıtıcı ve tarayıcı sisteme ait (a) Yan görünüş (b) Arka görünüş

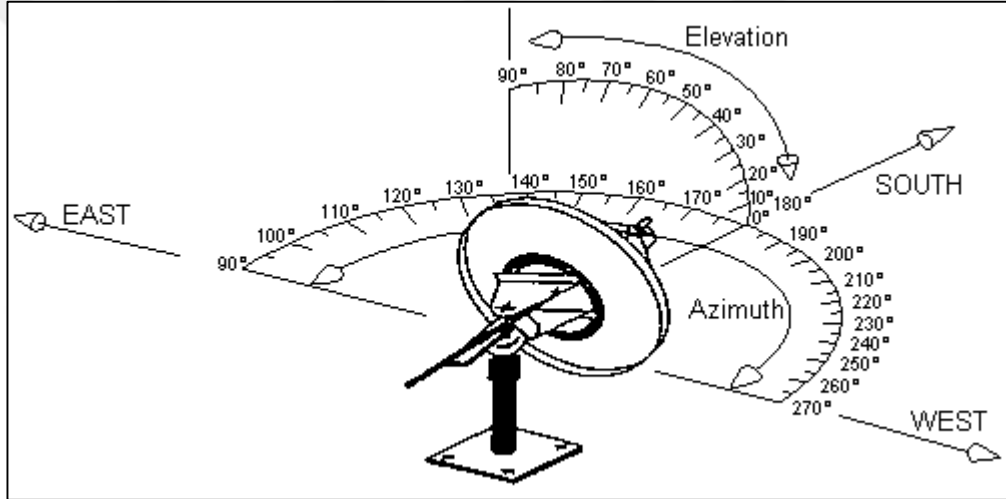
Şekil 6.2.'de tarayıcı sistemin tasarlandığı partner şirket Enova'da geçici olarak takılan bir parabolik yansıtıcı ile beraber görüntüsü verilmiştir. O esnada radyometrik alıcı henüz yerine takılmamıştı. Üç ayak, kontrol ünitesi, 2 eksenli konumlandırıcı (motor) ve parabolik yansıtıcı açıkça görülebilmektedir.

Burada kullanılan parabolik yansıtıcı ölçümlerde kullanılan ve özel olarak üretilen alüminyum yansıtıcı değildir. Sistem ilk çalıştırılmaya başlandığında kullanılan geçici bir yansıtıcıdır.

Bu aşama da ilk olarak, şirkette bir ısı sensörü tarayıcıya takılarak içinde kaynamış su bulunan kabın görüntüsü elde edilmiş ve 2 eksenli konumlandırıcının çalışıp çalışmadığı test edilmiştir.

### 6.1.1. 2 eksenli konumlandırıcı motor

Tarayıcı sistemin mekanik parçasını oluşturan 2 eksenli konumlandırıcı, azimut yani yatay ekseninde 120 derece tarayabilmektedir. Tam güneyi 0 derece kabul edersek -60 dereceden 60 dereceye kadar tarayabilmektedir. Toplamda, 0 dereceyi de hesaba katarsak 121 derece taramaktadır. Tarayıcı her pikseldeki ışınları algılayıp dataları sıradaki devreye aktarmaktadır fakat ilk ve son noktadaki değerleri almadığı saptanmıştır. Bu da demektir ki; yatayda maksimum 119 derece tarama yapılabilmektedir. Şekil 6.3.'te azimut ve kalkış eksenleri detaylıca verilmiştir [90]. Bu açı sistemi uydu haberleşmesi ve yayınlarının alınmasında kullanılan bir sistemdir.

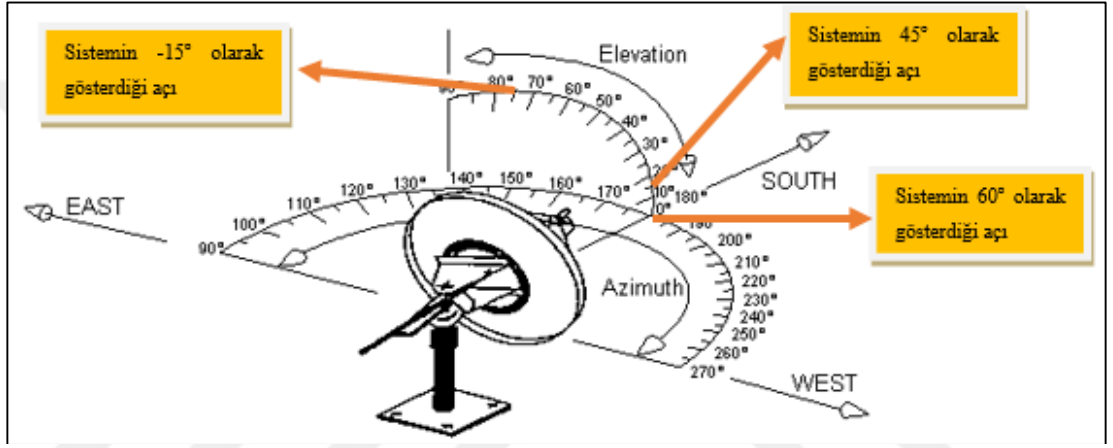


Şekil 6.3. 2 eksenli konumlandırıcının kullandığı azimut ve kalkış eksenleri

Sistemin taramasını kontrol eden programın (PMMDGP) konumlandırma açıları Şekil 6.3.'te verilen standart konumlandırma sisteminden farklılık göstermektedir. Bu açıların standart açı sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu bölümde, ilgili açı dönüşümü anlatılacaktır. Sistemin 2 eksenli konumlandırıcısı, kalkış ekseninde en geniş 90 derece aralıkta tarama yapabilmektedir. -15 dereceden başlayıp 75 dereceye kadar tarama yaptığı gözlenen tarayıcı sistem (yine 0 dereceyi de hesaba katarsak) 91 derecede tarama yapar fakat en uç noktadaki değerleri almadığı gözlemlenirse 89 derece tarama yaptığı söylenebilir.

Kalkış ekseninde açıların yerleşimi bakımından literatürden farklı bir durum gözlemlenmektedir. Şekil 6.3.'e göre 0 derece olan kalkış açısını 60 derece

göstermektedir. 75 derece olan açığı ise -15 derece göstermektedir. Aynı şekilde, -15 derece olan açığı 75 derece göstermektedir. Yani açıların artırılmasını ters yönde yapmaktadır. Bu durumda tarayıcının taradığı açıların literatüre uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için tarama yaptığı açının -1 ile çarpılıp 60 eklenmesi gerekir. Örneğin; 45. dereceyi tarıyor gözüküyorsa; -1 ile çarparsak -45, 60 ile toplarsak 15. derecenin taradığı gerçek derece olduğu açığa çıkar. Ayrıca geriye doğru tarama yaptığı söylenebilir. Çünkü önce 75. dereceyi sonra 74. dereceyi taramaktadır. Daha detaylı bilgi için Şekil 6.4. incelenebilir.



Şekil 6.4. Sistemin gösterdiği değer ile gerçek değer kalkış ekseninde incelenmesi

Gerçek açığı  $\theta_g$ , sistemin kendi tanımladığı açığı  $\theta_s$  dersek;

$$\theta_g = -\theta_s + 60^\circ \quad (6.1)$$

elde edilir.

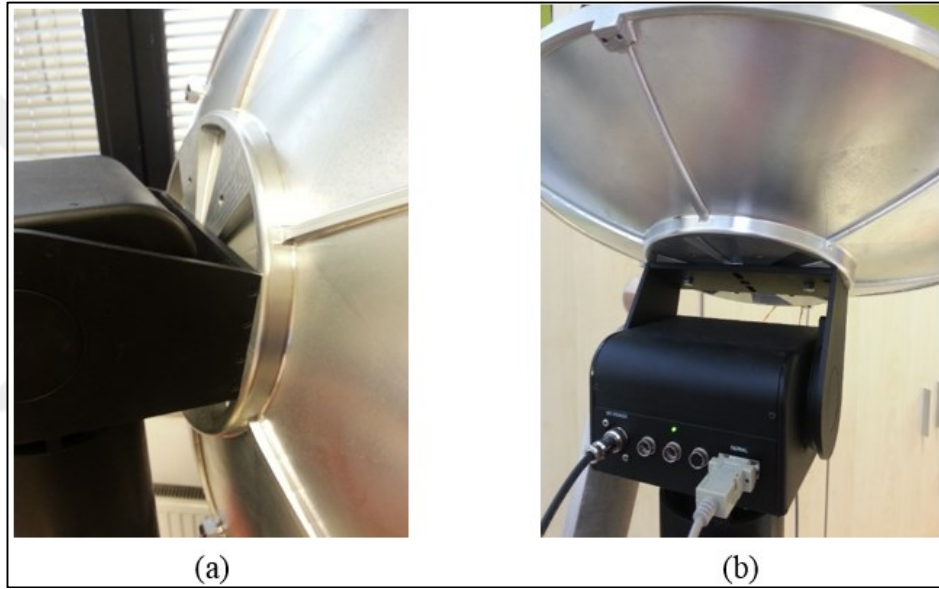
Azimut ekseninde ise literatürde Şekil 6.4.'e bakarsak güneyin 180 derece olduğu görülmektedir. PMMDGS üzerinde GPS (Global Positioning System) sensörü bulunmadığından yönleri algılayamamaktadır. Parabolik yansıtıcı anten nereye çevrilirse çevrilsin tam karşılığı 0 derece olarak almaktadır. Ölçümler güneye doğru yapıldığından tam karşılığı azimut ekseninde 0 dereceyi değil 180 dereceyi göstermelidir. O halde, -60 derece ile 60 derece arasında değil 120 derece ile 240 derece arasında tarama yapıldığı söylenebilir. Gerçek açığı  $\phi_g$ , sistemin kendi tanımladığı açığı  $\phi_s$  dersek;

$$\phi_g = \phi_s + 180^\circ \quad (6.2)$$

elde edilir.

Sonuç olarak; tarayıcı sistemimize bağlı bulunan 2 eksenli konumlandırıcı, gerçek açı sistemine göre azimut ekseninde 120 derece ile 240 derece arasında artan yönlü tarama; kalkış ekseninde 75 ile -15 derece arasında azalan yönlü tarama yapmaktadır.

Şekil 6.5.'te 2 eksenli konumlandırıcının yandan ve arkadan çekilen görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.5. Ölçümlerde kullanılan yeni parabolik yansıtıcı antenin bağlı olduğu 2 eksenli konumlandırıcıya ait (a) Yan görünüş (b) Arka görünüş

Şekil 6.5.'teki fotoğraflarda 2 eksenli konumlandırıcının soldaki besleme girişi ve sağdaki seri portu (Tx/Rx) net bir şekilde görülmektedir. Bilgisayardan PMMDGP sayesinde verilen komutlar önce kontrol ünitesine sonra Tx/Rx portuna gönderilir. Programda girilen görüntü çözünürlük ayarına göre azimut ve kalkış eksenlerinde tarama yapan 2 eksenli konumlandırıcı her birim ilerleyişinde programa “istenilen noktadayım” anlamında mesaj gönderir ve akabinde yeni noktaya ilerlemesine dair komut gelir.

Bu komutlar silsilesi sonucunda tarama tamamlanır.



Taramalar her zaman sol üstten başlar sağ altta biter. Sol üst ve sağ alt değerlerin ne olacağı kullanıcı tarafından program vasıtasıyla belirlenir.

2 eksenli konumlandırıcının taradığı yeri tayin etmek için Tx/Rx portundan komut gönderiliş - alış esnasında, tarayıcı sistemin ucunda bulunan parabolik yansıtıcı anten topladığı verileri odak noktasına bağlı olan radyometrik alıcının horn veya mikroşerit antenine gönderir.

Aktif devrelerden oluşan radyometrik alıcıda gerçekleşen işlemler neticesinde Şekil 6.1.'de 11 numara ile gösterilen “Radyometrik alıcı çıkışı, DC güç” üzerinden alınan veriler işlenmek için bilgisayara başka bir kablo üzerinden aktarılır.

Böylece; taranılan her pikselde ne kadar değer olduğu PMMDGP üzerinde görülmüş olur.

Güç girişi ile seri port girişi arasında kalan girişler 2 eksenli konumlandırıcının içinde yer alan motorlarla (servo motor) ilgilidir ve değiştirilmesine gerek yoktur.

2 eksenli konumlandırıcının teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- İki Eksende Servo Motorlu Kontrol
- Açısal Çözünürlük: 0,1–1 derece arası ayarlanabilir
- Azimut Tarama Aralığı: 120 dereceden küçük
- Kalkış Tarama Aralığı: 90 dereceden küçük
- Yazılımla Ayarlanabilen Tarama Hızı
- Seri Port Haberleşme (RS-232 / RS-485)
- Yük Kapasitesi: 5 kg'dan küçük
- Metal 3 Ayak Taşıma Düzeneği (Yük Kapasitesi: 20 kg'dan küçük)

Kontrol Ünitesinin teknik özellikleri de aşağıda verilmiştir:

- Harekete Senkron Analog Veri Örnekleme (0,1 – 1 derece adım aralığı)

- USB Bağlantı Arayüzü (PC bağlantısı)
- Seri Port Bağlantı (Servo-Motor Ünitesi ile)
- DC Güç Kaynağı- (DC 24V, 5V)
- 220 VAC ile Çalışma
- DIN Ray Montaj Özelliği

### **6.1.2. Pasif MiliMetre Dalga Görüntüleme Programı (PMMDGP)**

Standart bir tarama program vasıtasıyla şöyle kontrol edilebilir: 2 eksenli konumlandırıcının bağlı bulunduğu PMMDGP tarayıcı sistemin taradığı derece aralıklarını bize göstermektedir.

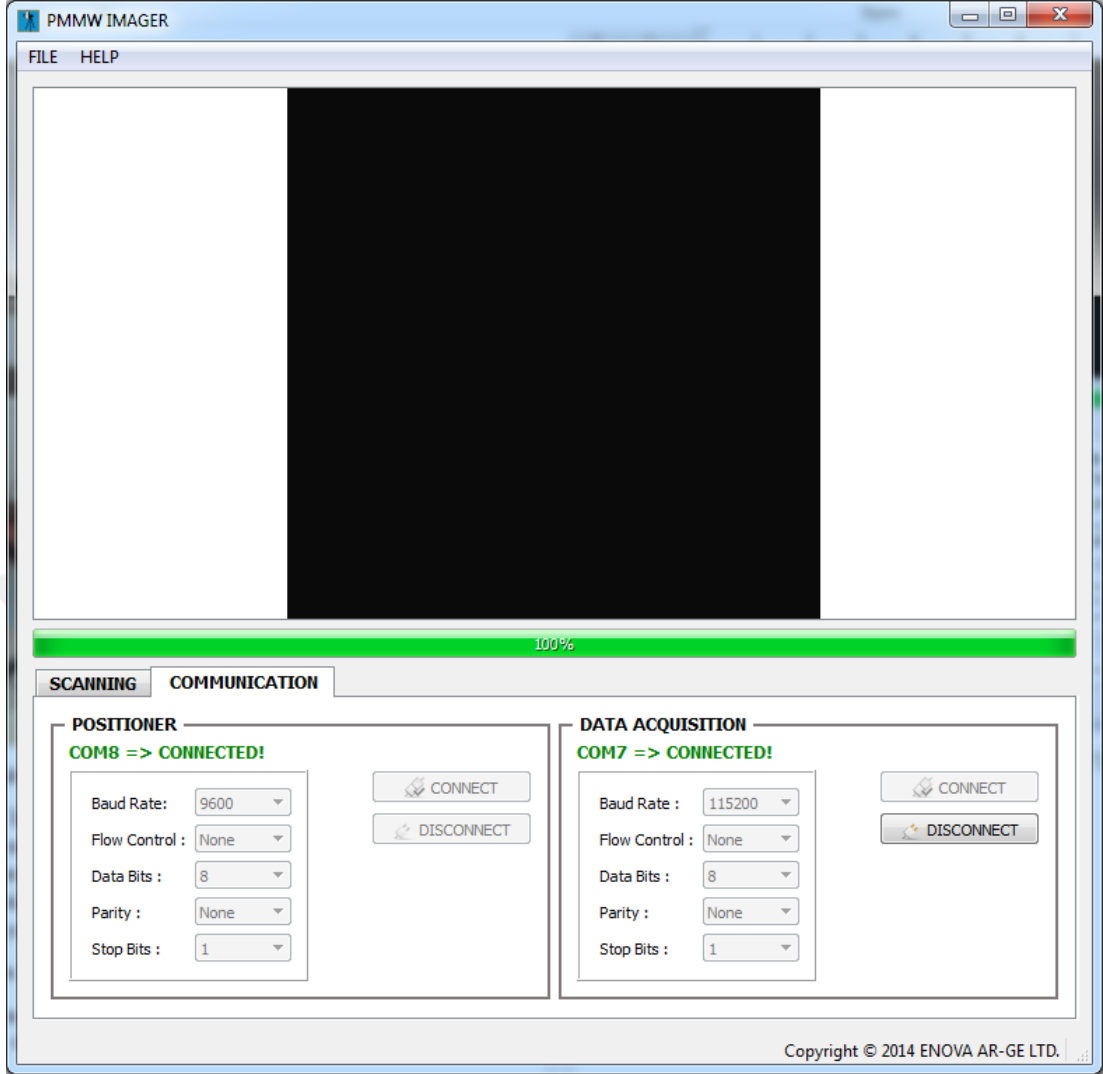
Sistem bağlantıları yapıldıktan sonra program açılır ve COMMUNICATION sekmesine tıklanır.

Bilgisayarın boşta olan haberleşme portlarından bir tanesine, bilgisayardan konumlandırıcıya bilgilerinin gönderilmesi için port ataması otomatik olarak yapılır (POSITIONER kısmı).

Boşta olan diğer porta ise konumlandırıcıdan bilgisayara bilgi gönderilmesi için port ataması yine otomatik olarak yapılır (DATA ACQUISITION kısmı).

Şekil 6.6. incelendiğinde, POSITIONER sekmesi için COM8 portunun, DATA ACQUISITION sekmesi için COM7 portunun o tarama için atandığı görülebilir.

Baud Rate, Flow Control, Data Bits, Parity, Stop Bits (Veri İletişim Hızı, Akış Kontrolü, Veri Bitleri, Parite, Stop Bitleri) gibi bilgiler otomatik olarak gelmektedir, ayrıca bilgilerin kullanıcı tarafından da seçilmesine imkan vardır.



Şekil 6.6. PMMDGP Communication (Haberleşme) sekmesi

2 Eksenli tarama sisteminin USB portunu bilgisayara bağladıktan sonra PMMDGP'ye ait üç adet kurulum dosyası bilgisayara kurulur ve COMMUNICATION sekmesinden önce POSITIONER (konumlandırıcı) kısmının CONNECT (bağlan) göstergesi tıklanır daha sonra DATA ACQUISITION (veri işleme) kısmının CONNECT göstergesi tıklanır.

Her iki alanda da CONNECTED! yazıyorsa sistem bilgisayara bağlanmış demektir. DISCONNECT (bağlantının kapatılması) yapılırken ise ters yönde adımlar izlenir.

Önce DATA ACQUISITION kısmının DISCONNECT göstergesi tıklanır sonra POSITIONER kısmının DISCONNECT göstergesi tıklanır.

### 6.1.2.1. Konum Kalibrasyonu işlemi

COMMUNICATION bağlantıları yapıldıktan sonra SCANNING sekmesine geçiş yapılabilir.

İlk ayarlanması gereken CALIBRATION (kalibrasyon) bölümünden sistemin kalibrasyonunun yapılmasıdır.

CALIBRATE göstergesine tıklanıldığında tarama sisteminin 2 eksenli konumlandırıcısı, parabolik yansıtıcı anteni önce azimut ekseninde en sola getirir, burdan en sağa döndürür; sonra kalkış ekseninde en yukarı çevirir ve en aşağı indirir.

Bu şekilde iki eksende; 121 derece (azimut eksen) ve 91 derece (kalkış eksen) dönerek sınır noktalarını belirler.

Bu bilgileri kontrol ünitesindeki işlemciye iletir. Buradan da bilgisayar programına bilgiler ulaşır.

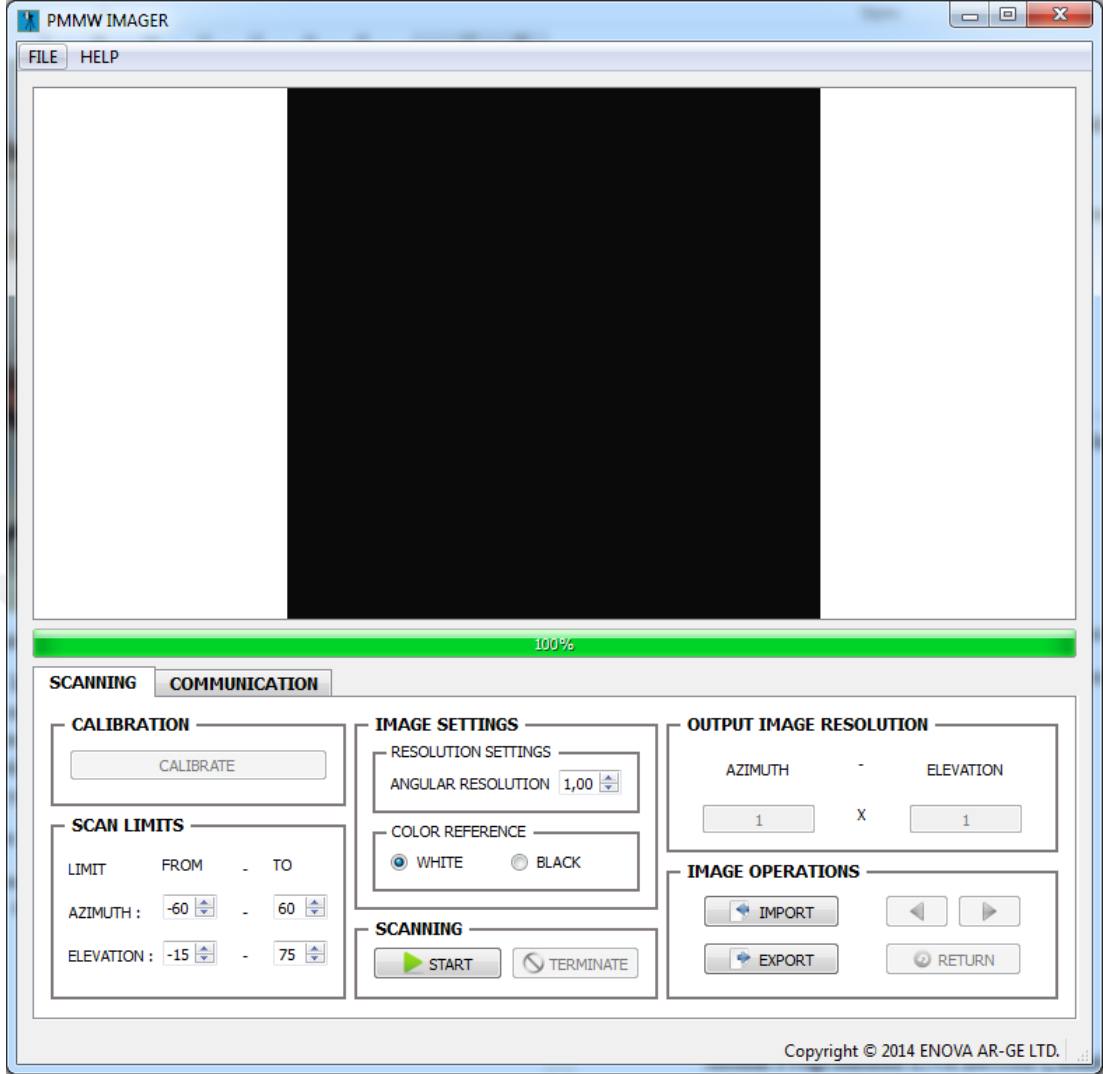
Bu aşamada; antenin bir yere çarpmasına ve dönme motorlarını kastırmamasına dikkat edilmelidir.

Motorların güvenliğini denge ağırlıkları sağlamaktadır, bu konu Bölüm 6.2.1.'de anlatılacaktır.

Acil durum için “Acil durum güç durdurma butonu” kullanılmalıdır.

Şekil 6.7.'de SCANNING (tarama) sekmesi ve CALIBRATION bölümü görülebilir. Ayrıca her iki eksendeki tarama limitleri (programa göre) görülmektedir.

Tekrar etmek gerekirse; tarama limitleri, standart konumlandırmaya göre azimut ekseninde 120 derece ila 240 derece arasında; kalkış ekseninde 75 ila -15 derece arasındadır.



Şekil 6.7. PMMDGP Scanning sekmesi

IMAGE SETTINGS (görüntü ayarları) bölümü; RESOLUTION SETTINGS (çözünürlük ayarları) ve COLOR REFERENCE (renk referansı) olarak ikiye ayrılır. RESOLUTION SETTINGS kısmında açısal çözünürlük (ANGULAR RESOLUTION) ayarı yapılır.  $0,1^{\circ}$  'den  $1,0^{\circ}$  'ye kadar  $0,1^{\circ}$  aralıklarla 10 adet değerden biri seçilebilir. En ince ayar  $0,1^{\circ}$  olduğu durumdur.

Bu durumda tarama hızı,  $1,0^{\circ}$  olduğu duruma göre hem azimut hem de kalkış ekseninde yavaşlamaya neden olacağı için 100 kat daha yavaş olur ama daha fazla piksel değeri (yüksek çözünürlük) ölçülür. Böylece; OUTPUT IMAGE RESOLUTION (çıkış görüntü çözünürlüğü) kısmında görülen taranılan cisme veya görüntüye ait resmin çözünürlük değeri yükselmiş olur.

Daha önceden bahsedildiği gibi (programa göre) azimut ekseninde -60 dereceden 60 dereceye yapılan tarama (toplam 121 derece fakat uç kısımlar alınmıyordu, dolayısıyla; 119°) 0,1° açısal çözünürlük ayarında  $\frac{119^\circ}{0,1^\circ}=1190$  piksel değerine karşılık gelir. Kalkış ekseninde ise (programa göre) -15 dereceden 75 dereceye (toplam 91° fakat uçlar alınmıyordu, dolayısıyla; 89°) 0,1° açısal çözünürlük ayarında  $\frac{89^\circ}{0,1^\circ}=890$  piksel değerine karşılık gelir.

Sonuçta, bir taramada en fazla 1190×890 piksel çözünürlükte görüntü elde edilir. Bu görüntü kalitesi HD (yüksek çözünürlük 1280×720 piksel) kalitesinden yüksektir.

1190×890 piksel çözünürlükte görüntünün elde edilmesi işlemi yaklaşık 4 saat sürebilmektedir. Bu esnada hava sıcaklığı veya hava olayları değişebilmektedir. Hava sıcaklığı veya olayının değişmediği taramalar çok az da olsa daha hassas olabilmektedir.

Taranması istenen bölge sınırları tahmin edilerek açı değerleri ayarlanabilir. Bu sayede, istenmeyen bölgelerin taranması engellenir ve süreden önemli ölçüde tasarruf edilir. En iyi yöntem tarama bölgesini kısaltmak fakat çözünürlüğü maksimum düzeyde (açısal çözünürlüğü 0,1° yapmak) tutmaktır.

COLOR REFERENCE kısmında ise ışımının maksimum olduğu noktanın beyaz veya siyah renkle temsil edileceğine karar verilir. Kullanıcı istediği rengi seçebilir.

Yansıtıcılığın çok olduğu metal yüzeyler gibi yerlerden optik bölgede güneş yansımalarından dolayı gözümüz bu nesneyi parlak veya beyaz görür. Buna en yakın görüntü de maksimum sinyalin beyaz olarak seçildiği durumdur. Bu nedenle, genelde bu mod seçilir. Ara değerler grinin farklı tonlarında kullanıcıya aktarılacaktır.

IMAGE OPERATIONS (görüntü işlemi) kısmından ise oluşturulan görüntü .tif uzantılı formatta dışarı aktarılabilir (EXPORT) veya daha önceden oluşturulan bir görüntü programda görüntülenmek istenirse ya da bilgilerine erişilmek istenirse programa aktarılabilir (IMPORT).

EXPORT özelliği daha çok kullanılmaktadır. Çünkü oluşturulan görüntünün bilgilerine başka programlar vasıtasıyla da ulaşılip bu görüntü işlenebilir (örneğin; Windows Office Picture Manager Programı).

Programın masaüstü simgesi Şekil 6.8.'de verilmiştir.



Şekil 6.8. PMMDGP masaüstü simgesi

### 6.1.3. Üç ayak (tripod)

Yerden yaklaşık 1,5 m yüksekliğe sahip olan ve üç adet demir ayak üzerinde bulunan metalik parçadır.

Üzerinde kontrol ünitesi, 2 eksenli konumlandırıcı, parabolik yansıtıcı anten, radyometrik alıcı ve bağlantı kabloları vardır.

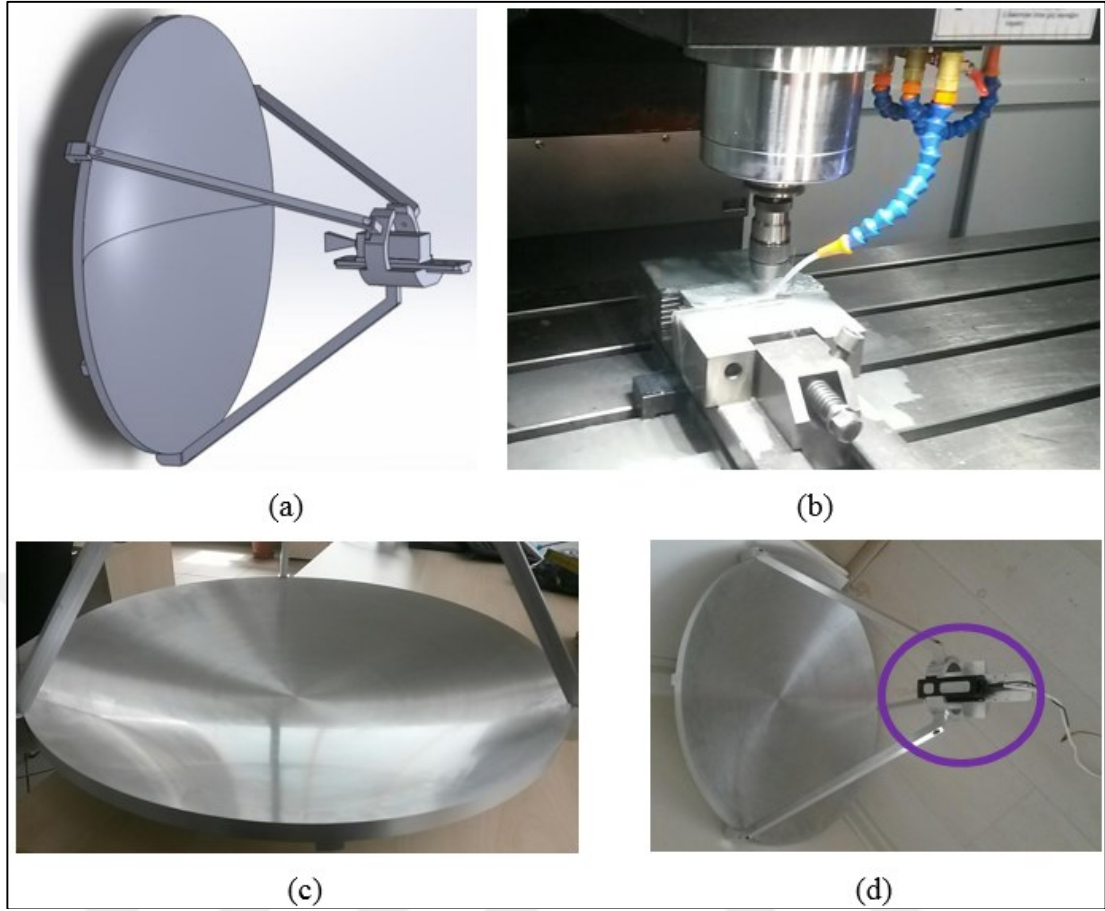
Üç ayağın sağlam olması taşıyacağı malzemeleri tutabilmesi açısından çok önemlidir.

Ayrıca; ağır olması gerekmektedir çünkü parabolik yansıtıcı anten tarama yaparken sistemin sallanmaması gerekir, bu nedenle; demirden imal edilmiştir.

## 6.2. Parabolik Yansıtıcı Anten

Bu tez kapsamında pasif algılama işlemini gerçekleştirecek olan 96 GHz frekansında çalışan radyometrik alıcının yerleştirileceği parabolik yansıtıcı anten, danışman hocam Doç. Dr. Alp Oral Salman tarafından tasarlanarak  $f/D=0,5$  olacak şekilde, yansıtıcı çapı  $D=0,5$  m ve odak uzaklığı  $f = 0,25$  m olarak yine kendisi tarafından Ermaksan Şirketi'ne çok hassas bir şekilde yaptırılmıştır.

Antenin görüntüleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 6.9.'dan da görüldüğü gibi mükemmel bir yüzey pürüzsüzlüğüne sahiptir.



Şekil 6.9. (a) Antenin Solidworks Programı'nda çizilen resmi (b) Parabolik yansıtıcı antenin yapım aşaması (c) Elde edilmiş olan hassas yüzey pürüzsüzlüğü (d) Bitmiş parabolik yansıtıcı anten ve odak noktasındaki radyometrik alıcı

Parabolik yansıtıcı antenin 2 eksenli konumlandırıcıya bağlanmış haldeki görüntüleri daha önceden Şekil 6.5.'te verilmişti. Bölüm 6.4. Tüm Sistem konu başlığı altında da görüntüler verilecektir.

### 6.2.1. Denge ağırlıkları

PMMDGS'ye ait parabolik yansıtıcı antenin takılı olduğu, özellikle yukarıya doğru sistem kalibrasyonu veya normal tarama yapması esnasında, 2 eksenli konumlandırıcının motor kısmında kasmalar olması sebebi ile denge ağırlıkları yaptırılmış ve yansıtıcı antenin tam ters istikametine momenti eşitleyebilmek için entegre edilmiştir.

Sisteme takılacak olan antenin ağırlığına ve boyuna göre farklı denge ağırlıkları kullanılabileceğinden ikisi silindirik olmak üzere üç çeşit denge ağırlığı mevcuttur.



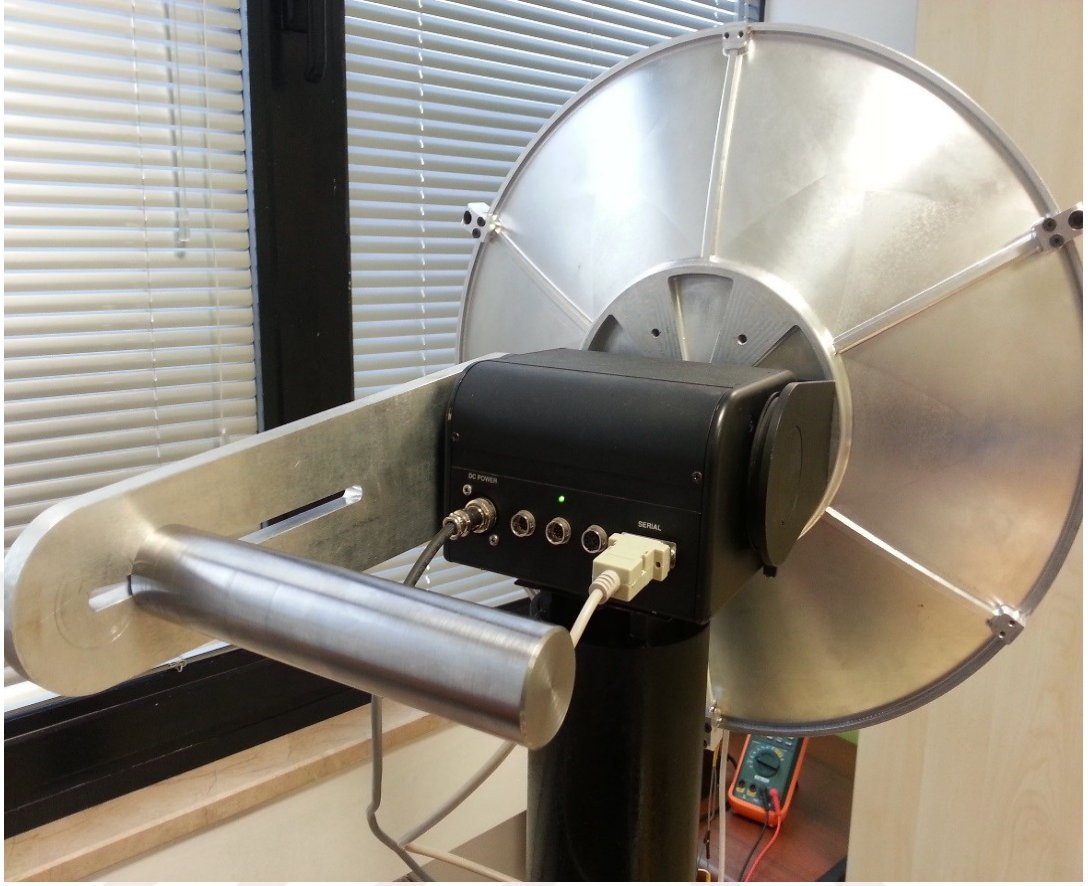
2 eksenli konumlandırıcının motorunda bulunan dişlilerden her derece için (çözünürlüğe göre her  $0,1^\circ$  için) tarama yapılırken kasıldığını gösteren sesler gelmekteydi ve bu durum dişlinin atabilme ihtimalini getirmekteydi, bu nedenle; denge ağırlıklarının üretilmesi ve entegre edilmesi kararlaştırılmıştır.

Şekil 6.10.'da denge ağırlıkları görülebilir.



Şekil 6.10. Denge ağırlıkları

Şekil 6.10.'da verilen denge ağırlıklarının antene entegre edilmiş hali Şekil 6.11.'de görülmektedir.



Şekil 6.11. Denge ağırlıklarının sisteme entegre edilmesi

### **6.2.2. Radyometrik alıcının, parabolik yansıtıcı antenin odak noktasına, doğru konumda yerleştirilmesi**

Iceberg Phonon Şirketi'nden satın alınmış olan radyometrik alıcının (Şekil 6.15. (a)), başka bir çalışmada danışman hocam tarafından tasarlanmış olan parabolik yansıtıcı antende yerleştirilmesi çalışmaları kapsamında alıcının parabolik yüzeyden ne kadar uzakta olduğunun belirlenmesi gerekiyordu.

Bu amaçla; iki adet ölçüm gerçekleştirildi (Şekil 6.12.).

Bu ölçümlerde, sistemimizin el verdiği en büyük kalkış açısı olan  $\theta=75^\circ$  olacak şekilde anten konumlandırılmıştır.

İlk ölçümde, alıcının kendi kazağı üzerinde çanağın merkezinden (en çukur noktasından) olacak şekilde 18,9 cm ile 31,5 cm arasında toplam 19 farklı noktada alıcının çıkış voltajı ölçümleri alınmıştır.

Bu ölçümde maksimum voltajın 19,5 cm 'de 1200 mV olarak gözlemlendiği görülmüştür. Ancak, ilk ölçümde (Şekil 6.13. (a)) tepe noktasını gözlemleyecek kadar veri alınmamasından dolayı alıcı daha küçük mesafelere kaydırarak ikinci bir ölçüm gerçekleştirilmiştir.

İkinci ölçümde (Şekil 6.13. (b)) ölçüm noktalarının (12 adet) Lorentz eğri uygunlaştırmasının sonucunda maksimum voltajın 19,1 cm 'de 1735 mV olduğu bulunmuştur.

Bu mesafe değeri kolay kullanım açısından yuvarlanarak 20 cm olarak belirlenmiştir.

Görüldüğü gibi bu değer parabolik yansıtıcı antenin odak noktası ile çakışmamaktadır. Bunun sebebi; horn antenin bir açıklık anten olması ve bu antenin alıcı yüzeyinin, hornun ağzından alıcıya doğru daha içerde bir noktada bulunmasıdır. Dolayısıyla; horn anten ve radyometrik alıcının parabolik yansıtıcı antenin odak noktasından çanağa daha yakın bir noktada maksimum sinyali vermesi beklenir.

Gerçekten de ölçümde horn anten ağzının çanağın gerçek odak noktasında (25 cm) değil onun yerine 20 cm'de yani gerçek odak noktasından çanağa yakın 5 cm daha içeride olduğu bulunmuştur.

Bu ölçüm sonucunda; alıcının en yüksek sinyal verdiği doğru konumuna yerleştirilmesi sağlanmıştır.

1. ölçüm ve 2. ölçümlerde, alıcının maksimum voltaj değerleri arasındaki farklılık alıcının farklı zamanlardaki kararsızlığından kaynaklanmaktadır.

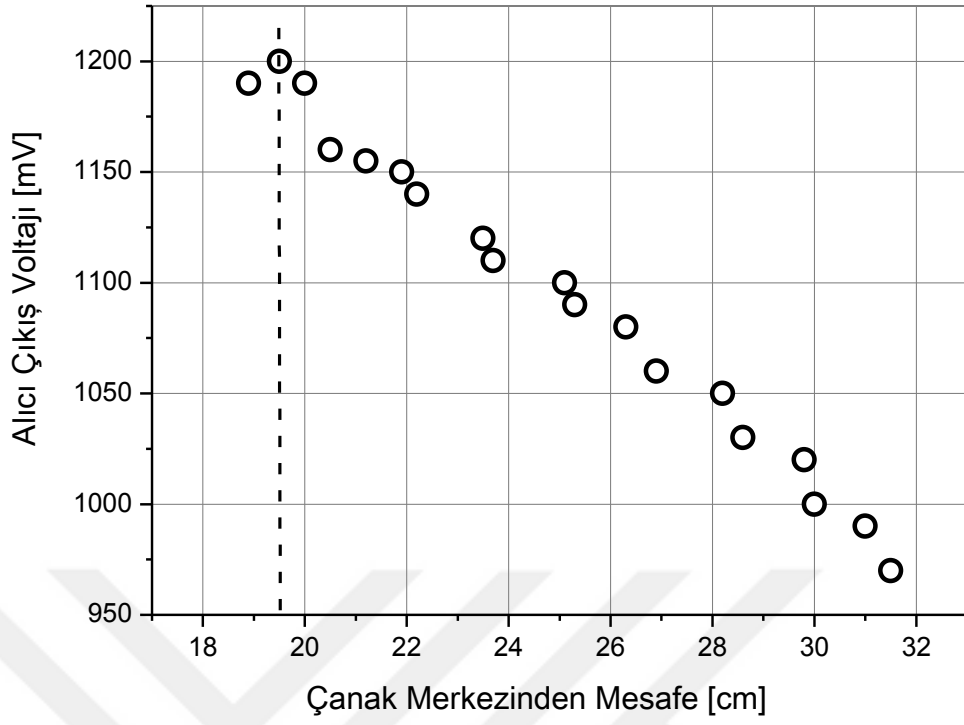


(a)

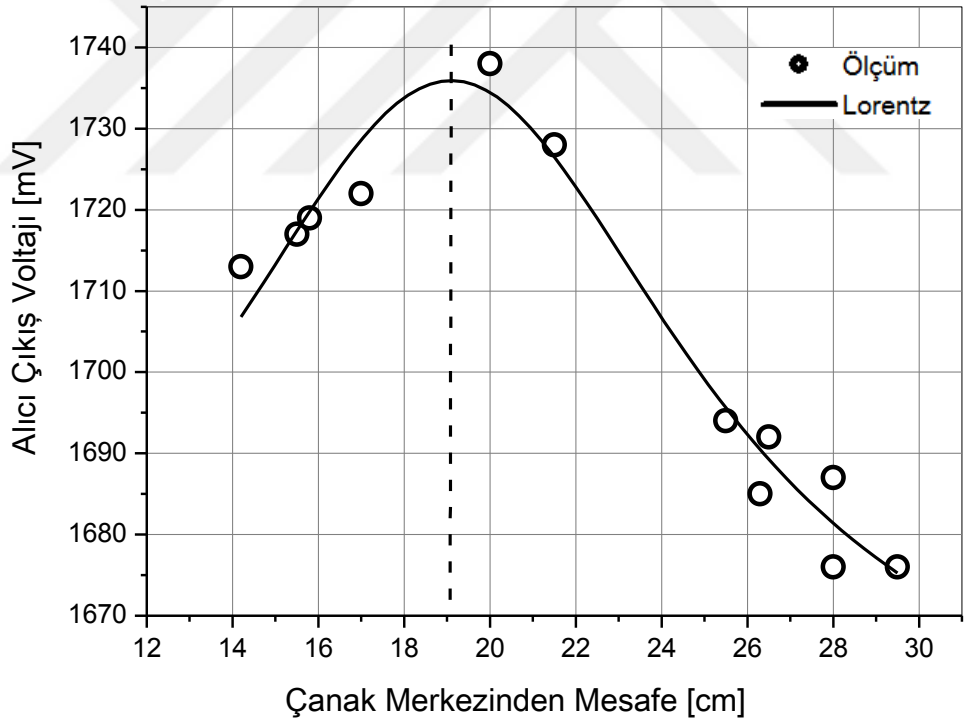


(b)

Şekil 6.12. (a) Radyometrik alıcının, parabolik yansıtıcı antenin odak noktasına, doğru konumda yerleştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen ölçüm (b) Alıcının çıkış voltaj değerinin multimetre ile okunması



(a)

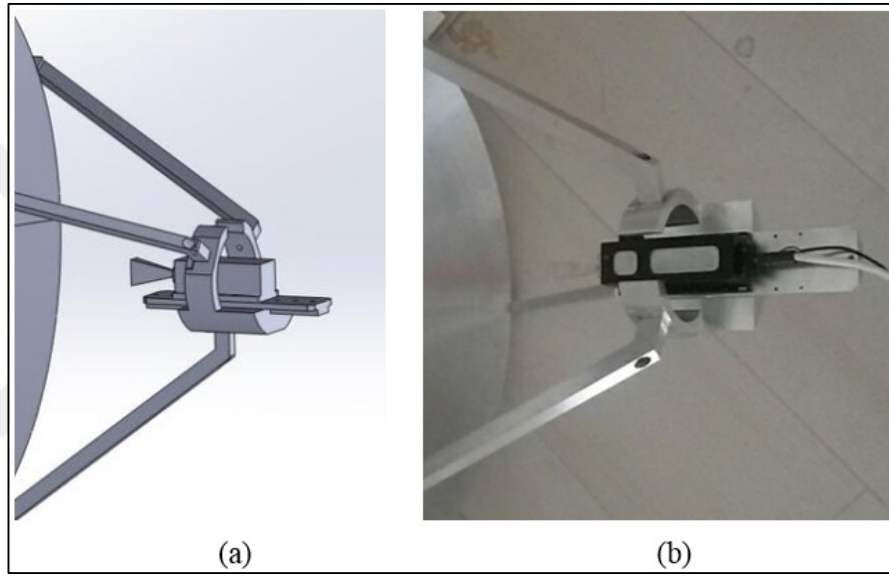


(b)

Şekil 6.13. Alıcının doğru konumunun bulunması için yapılan ölçümler sonucunda elde edilen, alıcının mesafesine göre çıkış voltajı grafikleri (a) 1. ölçüm (b) 2. ölçüm

Radyometrik alıcının, parabolik yansıtıcı antenin odak noktasına, doğru konumda yerleştirilmesi konusu üzerine; “Pasif Milimetre Dalga Görüntüleme Sistemi için Radyometrik Alıcının Parabolik Yansıtıcı Antendeki Doğru Konumunun Belirlenmesi” isimli bir adet uluslararası makale ‘Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi’ne gönderilmiştir ve şu anda inceleme aşamasındadır.

Şekil 6.14.’te üzerinde radyometrik alıcı varken 14 cm’den 32 cm’e kadar kayabilen kızak sistemi, (a) Solidworks çizimi ve (b) optik fotoğraf olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Kızak sisteminin (a) Solidworks çizimi (b) Optik fotoğraf

### 6.3. Radyometrik Alıcı

Ukrayna’da kurulu olan Iceberg Phonon Şirketi’nden 96 GHz (3 mm dalga boyuna sahip), pasif milimetre dalga görüntüleme sistemine entegre edilecek bir radyometrik alıcı satın alınmıştır. Bu satın almada danışman hocam Doç. Dr. Alp Oral Salman yürütücülüğündeki ve benim de yardımcı araştırmacı olarak görev aldığım KOÜ BAP 2013/18 kodlu MİLGÖR projesi desteği kullanılmıştır.

Şekil 6.15. (a)’da 96 GHz (W Bant) frekansında çalışan radyometrik alıcı ve alıcının üzerindeki horn anten bağlıyken fotoğrafı, (b)’de alıcının RF devre şematiği, (c)’de ise radyometrik alıcı kendisini besleyen güç kaynağı, güç bağlantı kabloları ve SMA konnektörlü voltaj çıkışı ile birlikte gösterilmiştir.

Alıcı, kendisine bağılı olan horn antenle kullanılabilirdiği gibi horn antenin çıkartılmasıyla oluşan açıklık anteni ile de kullanılabilir.

Şekil 6.15. (d)'de açıklık anteni gösterilmiştir.

Antenden sonra 4 adet kaskad bağılı LNA, dedektör ve video kuvvetlendirici devreleri vardır. Alıcının RF devresini besleyen güç kaynağı ile alıcı arasındaki bağlantı bir kablo kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, alıcının çıkış voltajı bir kablo ve ona bağılı bir SMA konnektörle dışarı taşınır.

Ukrayna'da gerçekleştirilen bu devredeki LNA kısımları çiplerden oluşmaktadır. Dedektör ve video kuvvetlendirici kısımları ayrıık elemanlarla gerçekleştirilmiştir.

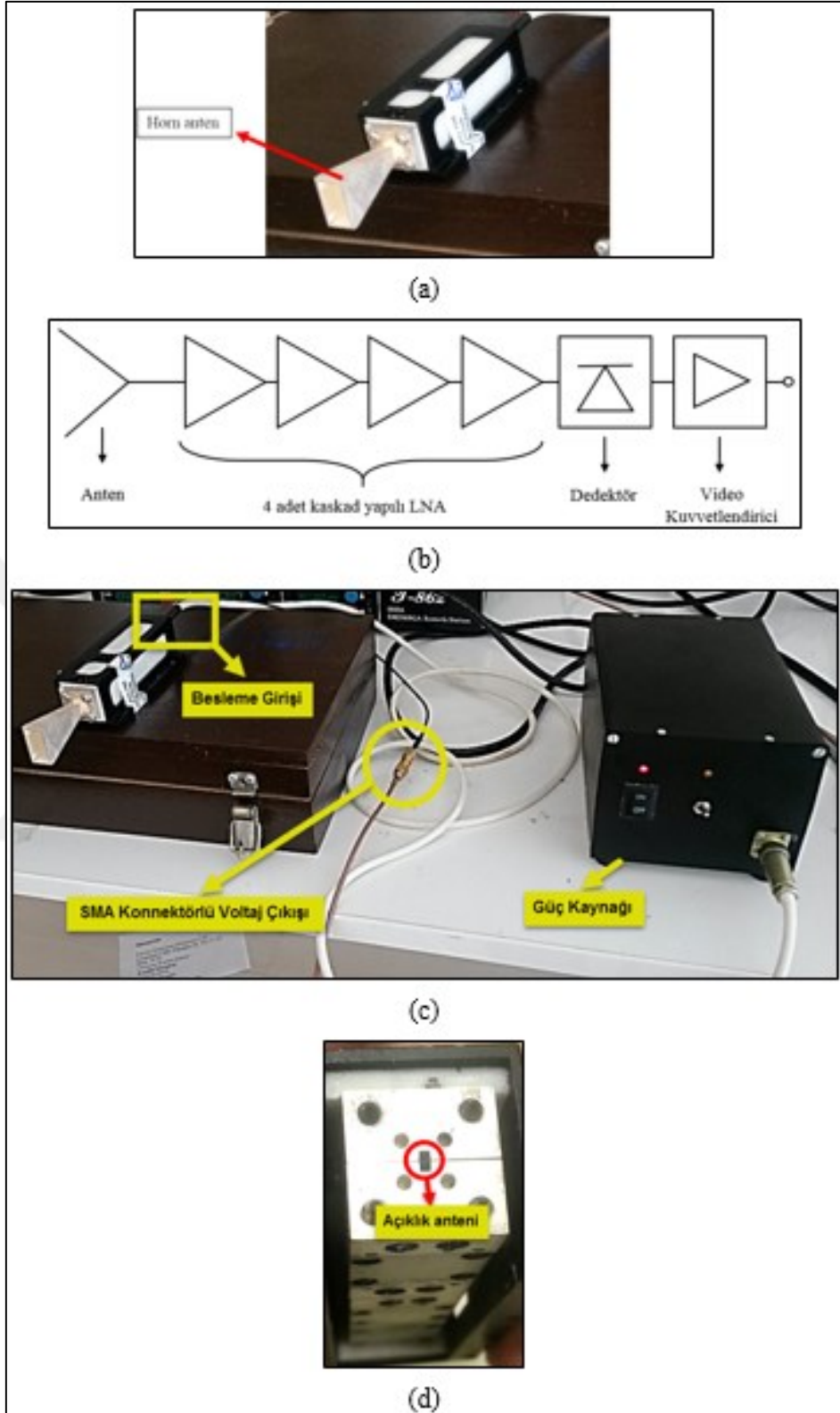
Bu devreler dışarıdan bir elektromanyetik girişim olmaması için Faraday kafesi görevi gören bir alüminyum kutu içerisinde yer almaktadır. Kutunun içerisinde de devreleri sabitlemek amacıyla sabitleyici köpük (strafor) kullanılmıştır.

Firmadan gelen radyometrik alıcının basit bir testi bulunmaktadır: Alıcı ısındıktan sonra horn antenin önüne el getirildiğinde çıkış voltajı 10 – 20 mV seviyesinde kalmalıdır. Bu durum alıcının uygun olarak çalıştığını gösterir. İkinci aşamada; alıcı gökyüzüne Zenith doğrultusunda tutulur. Bu durumda da; çıkış voltajı 100 – 200 mV arasında ölçülür.

Bu ölçümler bir voltmetre yardımıyla yapılır.

Radyometrik alıcının ilk olarak TÜBİTAK MİLTAL'deki (Milimetre Dalga ve Terahertz Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı) hali hazırda bulunan alt yapıya takılmasıyla ilk görüntüleri alınmıştır.

Sonra, alıcı KOÜ MİLTEK Laboratuvarı'mıza getirilerek kendi sistemize (PMMDGS) takılmış ve kendi tarayıcı sistemimizle asıl ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler Bölüm 7.'de anlatılacaktır.



Şekil 6.15. (a) 96 GHz radyometrik alıcı ve üzerindeki horn anten güç kaynağına bağlıken (b) RF devre şematiği (c) Radyometrik alıcı ve kendisini besleyen güç kaynağı, güç bağlantı kabloları ve SMA konnektörlü voltaj çıkışı ile birlikte (d) Açıklık anteni



Satın alınan radyometrik alıcının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir:

1. 3 mm Bandı Radyometrik Alıcı

- a) Frekans Aralığı, GHz : 82 – 102
- b) Bantgenişliği, GHz (maks.) : 20
- c) Gürültü Sayısı (ENR), maks dB : 5
- d) Kazanç, dB : 72
- e) Entegrasyon Zamanı : 10 saniyede 32 nokta
- f) Besleme Voltajı, V : +12; +2 V

2. Horn Anten: Rus standartlarında, alıcı frekansı ile uyumlu

3. Amerikan - Rus standardı dalga kılavuzu dönüştürücü adaptörü, alıcı frekansı ile uyumlu

4. Alıcının DC Güç Kaynağı ve Kablosu : +12; +2 V

**6.3.1. Radyometrik alıcının güç kaynağı**

Radyometrik alıcının RF devresini beslemek amacıyla firma bir güç kaynağını da beraberinde sağlamıştır.

Bu güç kaynağı Şekil 6.16.'da görülmektedir.

RF devresinin ihtiyacı olan çeşitli voltaj değerleri 4 pinli bir çıkış ve kablosu vasıtasıyla alıcıya ulaştırılır. Ayrıca, panelin üzerinde 2 adet anahtar bulunmaktadır. Bu anahtarların açma – kapama sırası önem arz etmektedir.

Bu sıralama şu şekildedir:

Radyometrik alıcı çalıştırılacağı zaman önce 1 numaralı anahtar açılır daha sonra 2 numaralı anahtar açılır. Kapanırken ise tam tersi uygulama yapılır ve önce 2 numaralı anahtar kapatılır sonra 1 numaralı anahtar kapatılır.

Bu öncelik sırası Şekil 6.17.'deki gibi güç kaynağının üzerine de yazılmıştır.

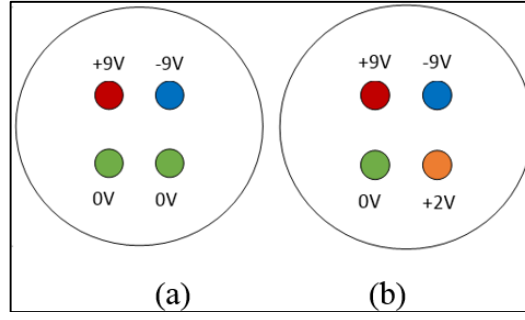


Şekil 6.16. 96 GHz radyometrik alıcının güç kaynağı



Şekil 6.17. 96 GHz radyometrik alıcının güç kaynağının üstten görünüşü

Şekil 6.18.'de alıcıya besleme voltajlarını ileten güç kablosunun pin şeması görülmektedir. Güç devresinin çıkış voltajları laboratuvarında ölçülmüştür. Ölçülen bu voltajlar aşağıdaki gibidir: Alıcının 4 adet çıkış pininden sol üst köşedeki her zaman +9 V, sağ üst köşedeki her zaman -9 V, sol alt köşedeki ise her zaman toprak yani 0 volt gösterir. 2. anahtar açılmadığında yani açık devre iken sağ alt köşedeki pin 0 voltu gösterirken; 2. anahtar açıldığında (akım geçmeye başladığında) +2 voltu gösterir.



Şekil 6.18. 96 GHz radyometrik alıcının 4 pinli çıkışı (a) 2. anahtar kapalıyken (b) 2. anahtar açıkken

Radyometrik alıcının güç kaynağında bulunan 2. anahtar yardımıyla alıcıya +2 V beslemesi gelir. Alıcıda bulunan hassas malzemeleri ani gerilim risklerinden korumak amacıyla bu şekilde bir çift anahtarlama sistemi tasarlanmıştır.

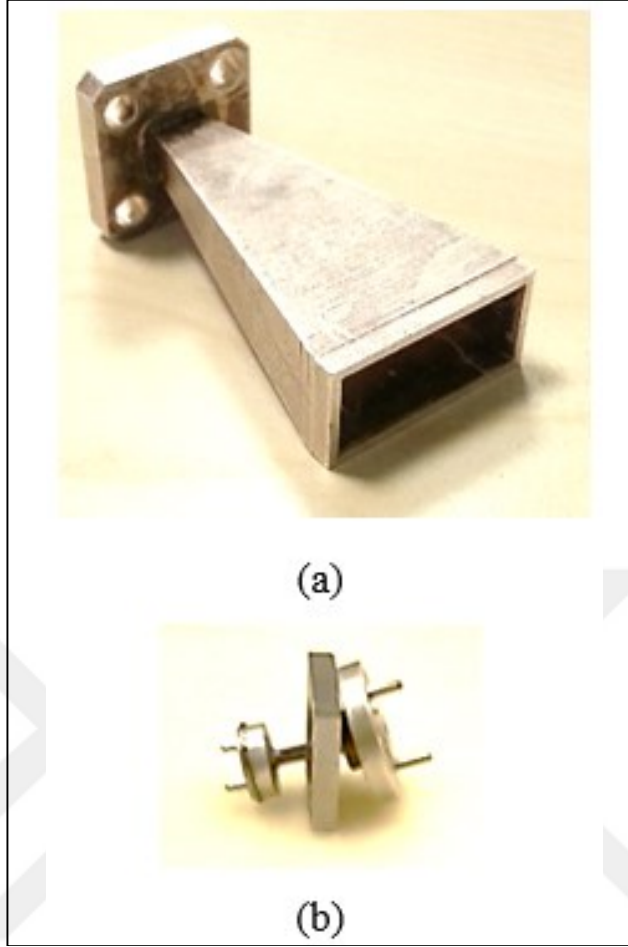
### 6.3.2. Radyometrik alıcının horn anteni

Firma alıcıya tümleşik olarak bir adet bu bantta Rus standardında çalışan piramit horn anteni de göndermiştir. Rus standardının tam frekans bandı bilinmemekle beraber Amerikan W bandına denk gelmektedir. Ayrıca, Şekil 6.19. (b)'de gösterilen Rus standardından Amerikan standardına dönüştürücü bir dalga kılavuzu parçası da gönderilmiştir. Ancak, bu parça anten ölçümlerinde kullanılmak üzere verildiği için sisteme bağlanmamıştır.

Radyometrik alıcıda Şekil 6.19. (a)'da gösterilen 3,5 cm uzunluğundaki WR10 horn anten kullanılmıştır.

Horn anten varken veya yokken farklı görüntüler alınmıştır. Horn antenin kazancının yüksek olduğu fakat yönlendiriciliğinin düşük olması sebebi ile tam verim alınamamış ve ölçümlerin önemli bir kısmı antensiz yani sadece alıcının kendisi ile yapılmıştır.

Alıcının kendisinde LNA, dedektör, alçak geçiren filtre ve video kuvvetlendirici vardır.



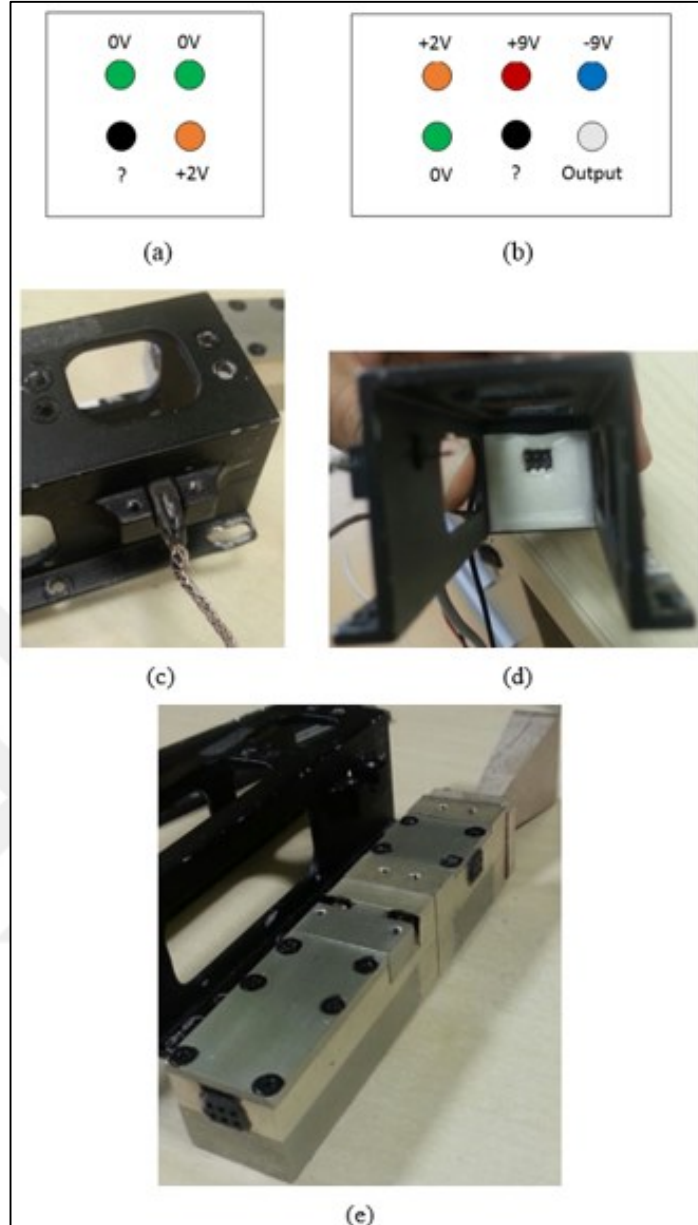
Şekil 6.19. (a) 96 GHz radyometrik alıcının horn anteni (b) Rus standardından Amerikan standardına dönüştürücü bir dalga kılavuzu parçası

### 6.3.3. Radyometrik alıcının giriş – çıkış pinleri

Alıcının arka tarafında ve sağ yanında olmak üzere; 2 grup pin bulunur.

Arkasındaki pinler güç kaynağından gelen girişler ve alıcının elde ettiği her piksel için voltaj değerlerini görüntü işleme kartına gönderen diğer bir deyişle PMMDGP'ye gönderen çıkışlardır. Yandaki pinler ise +2 V besleme girişi ve topraklamadır.

Şekil 6.20.'de bu giriş ve çıkışlar gösterilmiştir.



Şekil 6.20. 96 GHz radyometrik alıcının (a) Yan pin grubu (b) Arka pin grubu (c) Yan pinlerinin bağlantı girişi (d) Arka pinlerinin bağlantı girişi (e) Strafor ve koruyucudan çıkartılmasıyla yan ve arka pin girişleri

Siyah pinler (? olan pinler) pin grubunun sabitlenmesine yardımcı olması için oluşturulmuştur.

Output pininden veya radyometrik alıcının arka kısmından çıkan üçüncü bir kablo vasıtasıyla alıcı çıkış voltajı alınır ve daha sonra görüntüyü oluşturacak pikseller olarak kontrol ünitesi aracılığıyla bilgisayara aktarılır.

#### 6.4. Tüm Sistem

PMMDGS'nin tüm bölmeleri Şekil 6.21.'de detaylıca gösterilmiştir [74].

PMMDGS; üç ayak, 2 eksenli konumlandırıcı, parabolik yansıtıcı anten, antenin odak noktasında bulunan alıcı tutucusu, radyometrik alıcı ve elektronik kontrol ünitesi bölümlerinden oluşmaktadır.

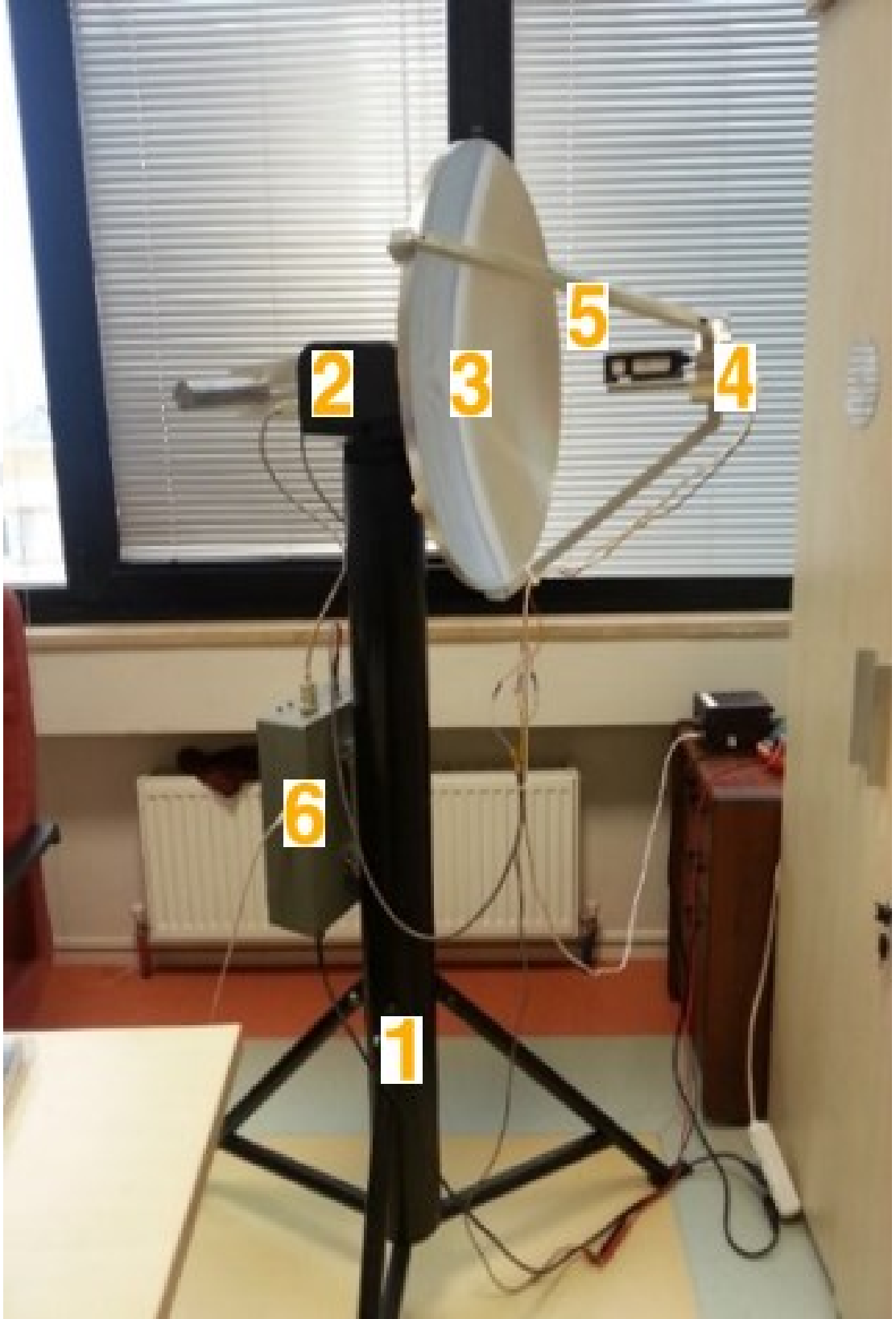
Ölçümler; radyometrik alıcının horn anteni ile ve horn antenin çıkarıldığı açıklık anteni ile de yapılabilir.

Her iki anten yapısının paternleri ve kazançları başka bir çalışmada danışman hocam tarafından incelenmiştir.

Bu çalışmada piramit hornun 96 GHz 'deki kazancı yaklaşık 20 dB , hüzme genişlikleri de her iki düzlemde  $12,3^\circ$  ve  $18^\circ$  olarak bulunmuştur.

Piramit hornun bağlı olduğu parabolik yansıtıcı anten yapısının, bu çalışmada; kazancı da 96 GHz'de yaklaşık 40 dB, hüzme genişlikleri de iki düzlemde  $0,9^\circ$  ve  $2,2^\circ$  olarak gözlemlenmiştir.

Hornsuz açıklık antenin kazancının ise aynı çalışmada yaklaşık 7 dB , hüzme genişliklerinin de iki düzlemde  $62^\circ$  ve  $125^\circ$  olduğu bulunmuştur.



Şekil 6.21. PMMDGS, tüm sistem (1) Üç ayak (2) 2 eksenli konumlandırıcı (3) Parabolik yansıtıcı anten (4) Antenin odak noktasında bulunan alıcı tutucusu (5) Radyometrik alıcı (6) Elektronik kontrol ünitesi

## 6.5. Bağlantı

PMMDGS bağlantısının yapılması için ilk önce kontrol ünitesi ile 2 eksenli konumlandırıcının bağlantısı yapılır. Bunun için önce kontrol ünitesinin DC Power (güç) çıkışı ile 2 eksenli konumlandırıcının DC Power girişi birleştirilir. Daha sonra Serial port (seri giriş) için aynı birleştirme yapılır. Yapılan bu bağlantıların sonucunda üç ayağın arkasında asılı halde bulunan kontrol ünitesi ile 2 eksenli konumlandırıcının bağlantısı tamamlanmış olur. Kontrol ünitesinden çıkan fiş prize takıldığında 2 eksenli konumlandırıcıya da enerji gelir.

Bilgisayara PMMDGP kurulduktan sonra bilgisayarın USB portundan kontrol ünitesine bir yazıcı kablosu ile bağlantı yapıldığında bilgisayar bağlantısı da tamamlanmış olur.

Parabolik yansıtıcı antenin odak noktasına yerleştirilen radyometrik alıcının beslemesi kendisine ait güç kaynağı ile yapılır. Güç kaynağının fişi prize takılır ve güç kaynağının çıkışı, radyometrik alıcının arkasında bulunan 6 pinli girişe takılır. Bu sayede radyometrik alıcıya güç verilmesi de sağlanmış olur. Radyometrik alıcının yanında bulunan 4 adet pinden oluşan pin grubu radyometrik alıcının arka kısmından içeri kendi üzerinde bulunan dahili kablosuyla bağlanır.

Radyometrik alıcının arkasından çıkan üçüncü bir kablo bulunur ve bu kablo kontrol ünitesine bağlanır. Elde edilen görüntüler (her piksele düşen voltaj değeri) kontrol ünitesinden USB bağlantısı yardımıyla bilgisayara aktarılır. PMMDGP sayesinde oluşan görüntü ekranda belirir. Bu aşamada bilgisayarın USB portu ile kontrol ünitesinin bağlantısının yapıldığı kablodan verilerin iki yönlü olarak gidip geldiğine dikkat edilmelidir. Zaten bu port Serial porta içten bağlıdır ve Serial port Tx/Rx olarak adlandırılır. Parabolik yansıtıcı antenin taraması gerektiği konumlar bilgisayardan sisteme aktarılırken sistemden de bilgisayara taranılan noktaların voltaj değerleri aktarılır.

Radyometrik alıcıdan çıkan üçüncü kablo kontrol ünitesine bağlanmadan önce ölçülen değerleri veren aktif ucu paralel bağlantı ile multimetreye de bağlanabilir. Böylece tarama işlemi bitmeden elde edilen voltaj değerleri anlık takip edilebilir.



## 7. PASİF MİLMETRE DALGA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ ÖLÇÜMLERİ

PMMDGS ölçümlerinin ilk kısmı TÜBİTAK Milimetre Dalga ve Terahertz Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda (MİLTAL) bulunan alt yapı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardından; alıcı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Milimetre Dalga, Elektromanyetik ve Güvenlik Teknolojileri (MİLTEK) Laboratuvarı'na getirilip tarayıcı sistemimize takılmış ve asıl ölçümler gerçekleştirilmiştir.

MİLTAL'de yapılan ölçümün sebebi; tarama sistemimizin henüz gerçekleşmemiş olması fakat radyometrik alıcının elimize geçmiş olmasından ve benzer bir tarama sisteminin MİLTAL'de bulunmasından ayrıca alıcıyı bir an önce test etme isteğinden kaynaklanmaktadır.

Ölçüm MİLTAL'de bulunan tarayıcı sistemdeki orijinal alıcı çıkartılarak yerine bizim alıcımızın bağlanmasıyla gerçekleştirildi.

Görüntü senaryosu olarak laboratuvarın önündeki bir açıklık alan, bahçe kullanıldı. Şekil 7.1.'de görüntülenen senaryonun optik ve alıcımızla gerçekleştirilmiş pasif milimetre dalga görüntüsü yer almaktadır.

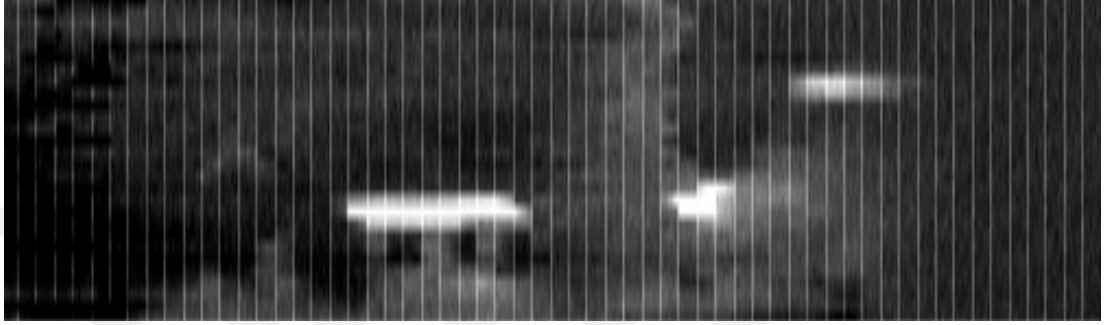
Şekil 7.2.'deki görüntüde; Şekil 7.1.'de bulunan nesnelerin karşılaştırılması verilmiştir. Elde edilen görüntülerde metal çatılardan gökyüzünün soğukluğunun yansması çok parlak olarak görülmektedir.

Optik görüntüde açıkça fark edilemeyen camlar bu frekanstaki yayıcılıklarının farklı olmasından dolayı pasif görüntüde siyah olarak daha net gözlemlenmektedir. Görüntünün ortasındaki ağaç da çok net bir şekilde pasif görüntüde ayırt edilebilmektedir.

Şekil 7.2.'de bulunan dikey çizgilerin sebebi; sistemden kaynaklanan bir hatadan ötürüdür.

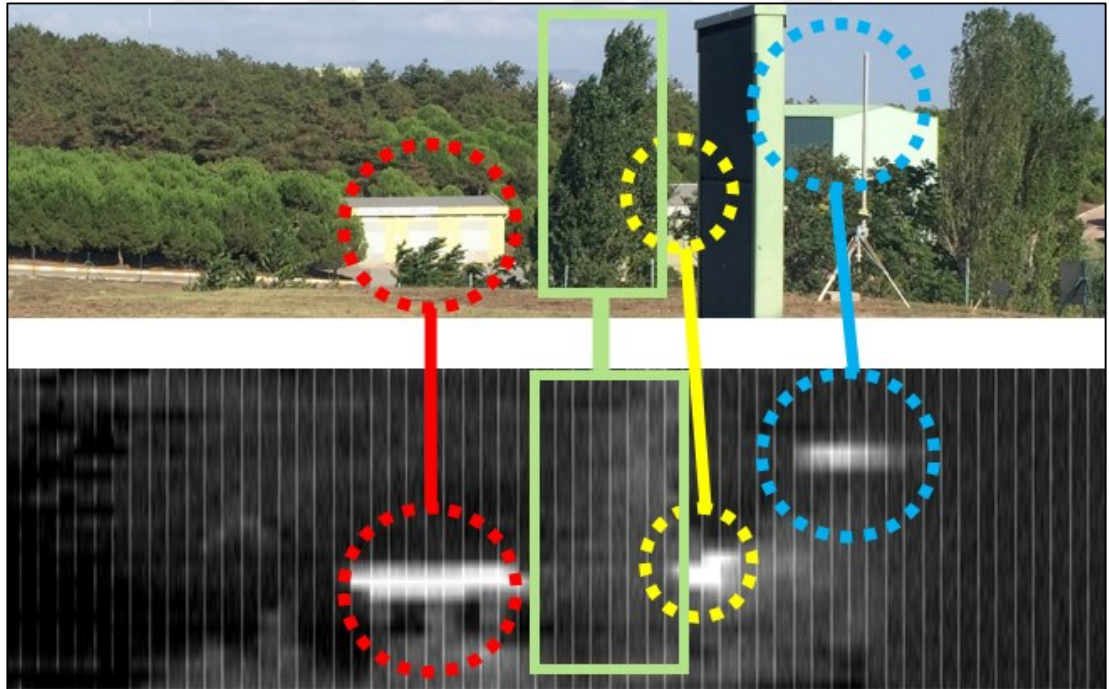


(a)



(b)

Şekil 7.1. (a) Optik görüntü (b) Radyometrik alıcının kaydettiği ekran görüntüsü



Şekil 7.2. Optik görüntü ile radyometrik alıcının kaydettiği ekran görüntüsünün karşılaştırılması

Optik görüntü standart kamerada bulunan düzlemsel bir CCD sensör dizisi ile tek çekimlik fotoğraf sayesinde elde edilmiştir. Radyometrik alıcı görüntüsü ise azimut ve kalkış eksenlerinde eğimli bir tarama yaparak görüntü oluşturur. Dolayısıyla;

radyometrik alıcının görüntüsü optik kameranın görüntüsünden bir miktar kayma gösterebilir. Optik kamerada panoramik çekim yapılırsa radyometrik alıcı sayesinde oluşturulan görüntü yakalanabilir.

96 GHz'lik radyometrik alıcının kendi tarayıcı sistemimizle birleştirilerek yapılan ölçümleri ise aşağıda verilmiştir. Ölçümler MİLTEK Laboratuvarı'nın camından dışarıya doğru yapılmıştır (Şekil 7.3.).

Yaklaşık 65 metre uzakta bulunan fakülte dekanlık binasının görüntüleri elde edilmiştir. Ölçümler farklı günlerde, farklı hava sıcaklıklarında, gün içinde farklı saatlerde yapılmıştır.



(a)

Şekil 7.3. Ölçümler yapılırken çekilmiş fotoğraflar



(b)

Şekil 7.4. (Devam) Ölçümler yapılırken çekilmiş fotoğraflar

Radyometrik alıcıdaki horn antenin kazancının yüksek olması ve hüzme genişliğinin çok dar olması parabolik yansıtıcının küçük bir bölümünden sinyal alınmasına sebep olur. Bu nedenle; horn antensiz açıklık anten ile ölçümler yapılmıştır. Horn antenli yapılan ölçümlerde sadece gökyüzü ve bina kontrast farkının gözlemlenmiş olmasının ve binanın ayrıntılarının elde edilememiş olmasının sebebi budur. Yine aynı sebepten radyometrik alıcının açıklık anten ile yapılan denemeleri daha iyi sonuç vermiştir ve binanın ayrıntıları daha iyi anlaşılmıştır.

Ölçümler gerçekleştirilirken hava sıcaklığı, hava durumu gibi çeşitli parametreler de kayıt edilmiştir. Her ölçüm için aşağıdaki bilgiler tek tek not edilmiştir.

Tarih - Saat - Hava durumu – Yer – Sıcaklık °C - Meteoroloji Genel Müdürlüğü -  
Kayıt adı

Ayrıca optik görüntüler eklenmiştir.

### 7.1. Ölçüm 1

İlk ölçüm horn anten alıcıya bağlıyken elde edilmiştir. Tarama sırasında, PMMDGS'nin 2 eksenli konumlandırıcısının açısal çözünürlüğü  $0,5^{\circ}$  'dir. PMMDGP'de tarama yapması için gereken açılar, azimut ekseninde -20 ila 20 derece arası, kalkış ekseninde ise 30 ila 75 derece arasındadır. Bu açılar programdaki açılardır; Şekil 6.3.'te tanımlanan gerçek değerdeki açılar ise (6.1) ve (6.2) denklemlerine göre azimut ekseninde 160 dereceden 200 dereceye, kalkış ekseninde ise 30 dereceden -15 dereceyedir. Görüntü çözünürlüğü  $79 \times 89$  pikseldir.

Tarama sonucunda elde edilen ham görüntü Şekil 7.4. (b)'de verilmiştir. Elde edilen ham görüntü tam net değildir ve siyah - beyaz dengesini insan gözü yakalayamamaktadır. Bu nedenle; önce içerisinde görüntü işleme komutları bulunan bir MatLab koduyla görüntü iyileştirme çalışmaları yapılmış (Ek-C) fakat standart görüntü işleme programlarının çok daha iyi sonuç vermesinden dolayı bu programların kullanılarak iyileştirmeler yapılmasına karar verilmiştir.

Kamera ile çekilen optik görüntü ve Microsoft Office Picture Manager Programı ile yapılan iyileştirme sonucu elde edilen son görüntü Şekil 7.4. (a) ve (c)'de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere; sadece gökyüzü ve bina kontrast farkı kabaca gözlemlenmiş, bina detayları elde edilememiştir.

Gökyüzünün parlaklık sıcaklığının yerdeki nesnelere göre çok daha düşük olmasından dolayı gökyüzü yerden daha parlak olarak görüntülenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.5. Ölçüm 1; (a) Optik görüntü (b) Ham radyometrik görüntü (c) İşlenmiş radyometrik görüntü



(c)

Şekil 7.6. (Devam) Ölçüm 1; (a) Optik görüntü (b) Ham radyometrik görüntü (c) İşlenmiş radyometrik görüntü

Ölçümlerin kaydedildiği dosya adları özel bir koda göre tanımlanmıştır. Dosya adındaki son 4 hane ölçümün bitiş saatini göstermektedir. Bu demektir ki; verilen bilgilere göre ölçüm 13:39'da başlamış ve 13:41'de bitmiştir. Ölçüm 2 dakika sürmüştür. Ölçümün kısa sürmesinin nedeni açısal çözünürlüğün yeterince iyi olmaması ve taraması yapılan bölgenin küçük olması olarak söylenebilir. Bu ölçümün dosya adı şudur:

24.11.2016 - 13:39 - hava açık - İzmit - 12 °C - MGM - dosya adı: 2411161341

## 7.2. Ölçüm 2

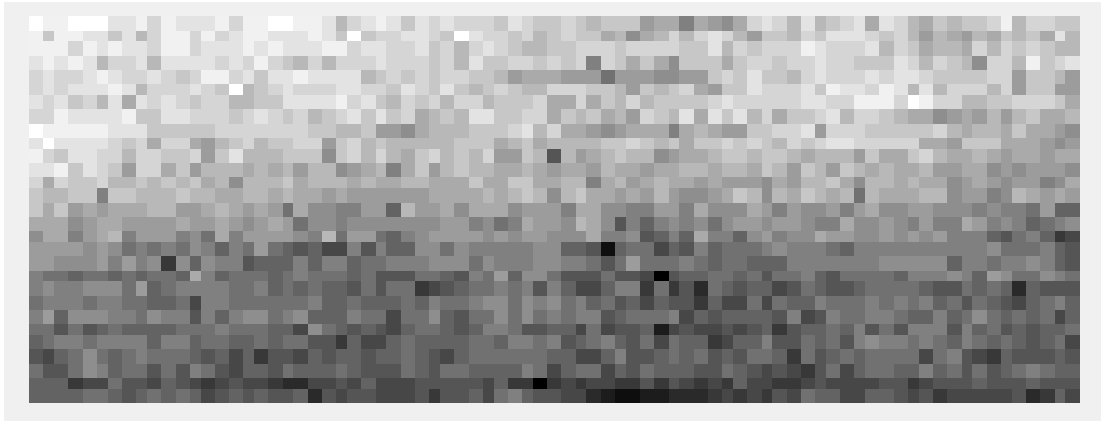
Radyometrik alıcının önünde bulunan horn antenin çıkartılmasıyla daha iyi sonuçlar elde edileceği konu başında belirtilmişti. Bu nedenle; ölçüm 2'de aradaki farkı görmek için hem horn antenli hem de horn anten çıkartılarak elde edilen açıklık antenli ölçümler yapılmıştır.

Tarama sırasında, PMMDGS'nin 2 eksenli konumlandırıcısının açısal çözünürlüğü  $0,5^\circ$ 'dir. PMMDGP'de azimut ekseninde tarama yapması istenen açılar  $-20$  ila  $20$  derece arası, kalkış ekseninde tarama yapması istenen açılar ise  $60$  ila  $75$  derece arasındır. Bu açılar programdaki açılardır; gerçek değerdeki açılar ise azimut ekseninde  $160$  dereceden  $180$  dereceye, kalkış ekseninde ise  $0$  dereceden  $-15$  dereceyedir.

Görüntü çözünürlüğü  $79 \times 29$  pikseldir. Şekil 7.5.'te, optik görüntü, görüntü işleme yapılmış horn antenli sistemden elde edilen ölçümün görüntüsü ve horn antensiz, açıklık anten ile elde edilen ölçümün görüntüsü verilmiştir.



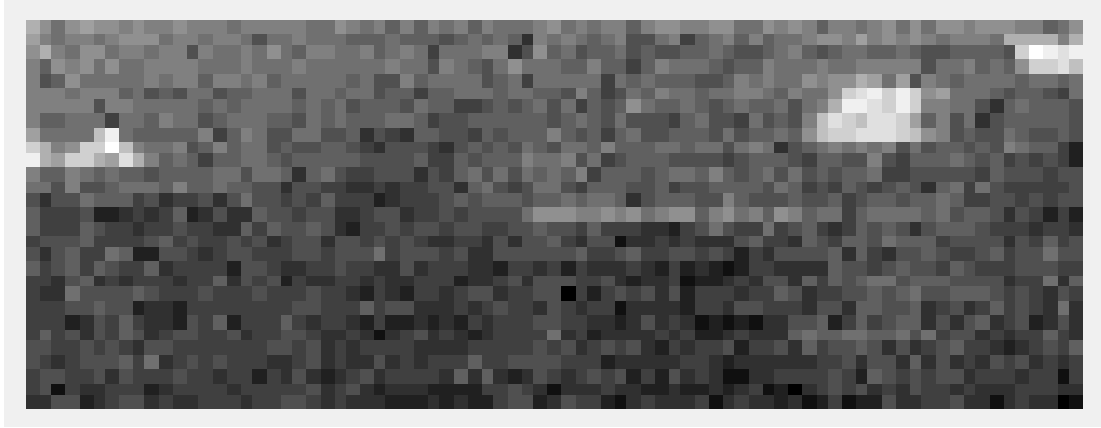
(a)



(b)

Şekil 7.7. Ölçüm 2; (a) Optik görüntü (b) Horn anten bulunan radyometrik alıcının elde ettiği görüntü (c) Horn anten bulunmayan radyometrik alıcının elde ettiği görüntü





(c)

Şekil 7.8. (Devam) Ölçüm 2; (a) Optik görüntü (b) Horn anten bulunan radyometrik alıcının elde ettiği görüntü (c) Horn anten bulunmayan radyometrik alıcının elde ettiği görüntü

Horn antenli ve horn antensiz gerçekleştirilen ölçüm şartları aşağıda sırasıyla yer almaktadır.

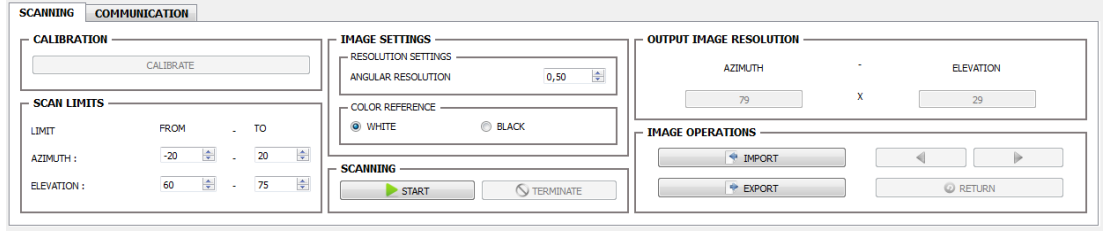
30.11.2016 - 14:00 - hava çok bulutlu - İzmit - 6,2 °C - MGM - dosya adı: 3011161405

30.11.2016 - 14:07 - hava çok bulutlu - İzmit 6,2 °C - MGM - dosya adı: 3011161412

Bu noktada, anlaşılıyor ki; horn antenin verimsiz çalışmasından dolayı; elde edilen görüntüde sadece gökyüzü – yer kontrastı gözlemlenmekte, başka bir ayrıntı seçilememektedir.

Horn anten bulunmayan radyometrik alıcının elde ettiği görüntüde ise gökyüzü - yer kontrastının yanında gökyüzü soğukluğunun çatılardan yansısıyla binanın çatıları, çatıda bulunan camlar ve binanın köşesinde bulunan yaklaşık 45 derecelik eğimler daha net bir şekilde görülebilmektedir.

Şekil 7.6.'da ölçüm 2'ye ait PMMDGP tarama ayarları ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.9. Ölçüm 2; tarama ayarları

### 7.3. Ölçüm 3

Ölçüm 3'te, ölçüm 1 ve 2'ye göre aynı çözünürlükte kalmasına rağmen taranılan bölge genişletilmiştir bu da tarama süresinin de 5 dakikadan 15 dakikaya yükselmesine neden olmuştur. Tarama sırasında, PMMDGS'nin 2 eksenli konumlandırıcısının açısal çözünürlüğü  $0,5^{\circ}$ 'dir.

PMMDGP'de azimut ekseninde tarama yapması istenen açılar -30 ila 30 derece arası, kalkış ekseninde tarama yapması istenen açılar ise 0 ila 75 derece arasıdır. Bu açılar programdaki açılardır; gerçek değerdeki açılar ise azimut ekseninde 150 dereceden 210 dereceye, kalkış ekseninde ise 60 dereceden -15 dereceyedir. Görüntü çözünürlüğü  $119 \times 89$  pikseldir.

30.11.2016 - 14:50 - hava kapalı - İzmit  $6,3^{\circ}\text{C}$  - MGM - dosya adı: 3011161505

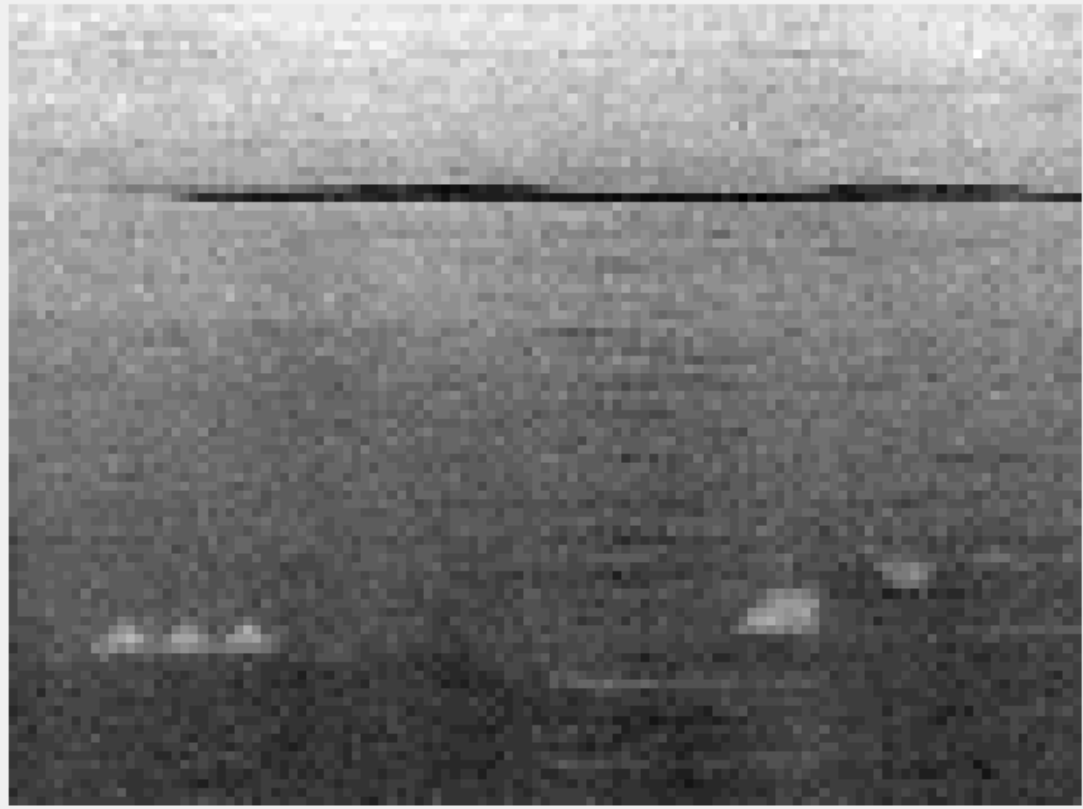
Şekil 7.7.'de optik görüntü ve işlenmiş PMMDGS görüntüsü verilmiştir.

Radyometrik görüntüsüne bakıldığında gökyüzü - yer kontrastının yanında çatıdaki cam ve metalik aksamlara ek olarak görüntü bölgesinin genişletilmesiyle gelen, yine çatıdaki eğimli bölgeler eski görüntülere ek olarak gelmiştir.

Taramanın üst kısmında yer alan siyah çizgiler tarayıcının yanlışlıkla önüne geçilmesinden dolayı oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 7.10. Ölçüm 3; (a) Optik görüntü (b) Radyometrik görüntü

#### 7.4. Ölçüm 4

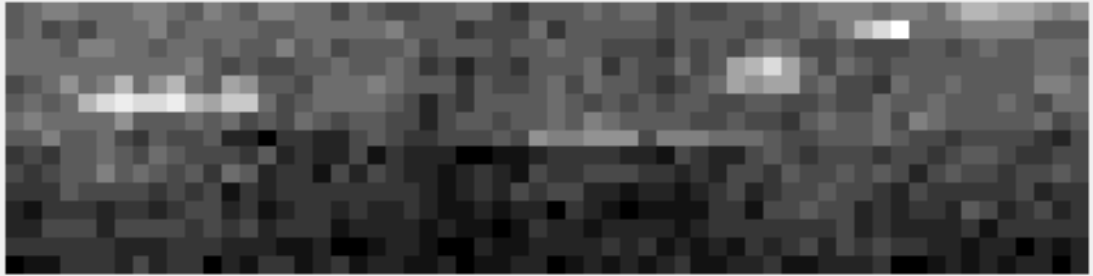
Tezimizin en önemli kısmı olan çözünürlük çalışması ölçüm 4'te gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümde farklı çözünürlükler de ölçümler gerçekleştirilmiştir. Toplam 5 adet ölçüm alınmıştır:

Sırasıyla  $1,00^\circ$ ,  $0,70^\circ$ ,  $0,50^\circ$ ,  $0,30^\circ$  ve  $0,10^\circ$  çözünürlüklerinde alınan ölçümlerin ölçüm süreleri de gitgide artmıştır.

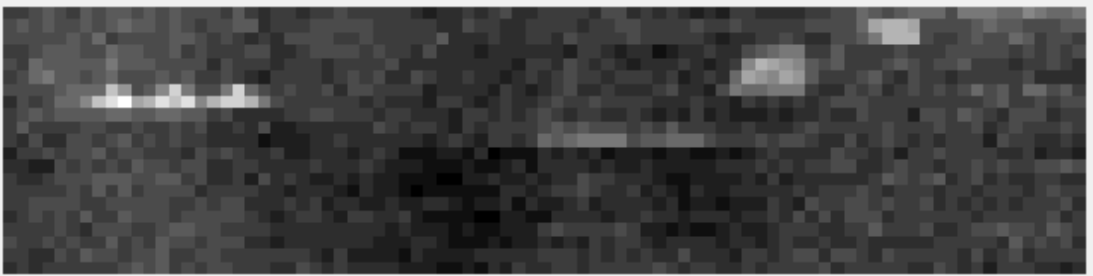
Çözünürlüklerinin sıralaması Şekil 7.8.'de belirtildiği üzere; azimut  $\times$  kalkış eksenleri olarak,  $60 \times 15$ ;  $86 \times 21$ ;  $120 \times 30$ ;  $200 \times 50$  ve  $600 \times 150$  piksel olarak artan çözünürlüklerdedir.

PMMDGP'de azimut ekseninde tarama yapması istenen açılar  $-30$  ila  $30$  derece arası, kalkış ekseninde tarama yapması istenen açılar ise  $60$  ila  $75$  derece arasındır. Bu açılar programdaki açılardır; gerçek değerdeki açılar ise azimut ekseninde  $150$  dereceden  $210$  dereceye, kalkış ekseninde ise  $0$  dereceden  $-15$  derecededir.

Ölçüm 4'teki ölçümler 01.12.2016 tarihinde hava çok bulutlu iken yapılmıştır.

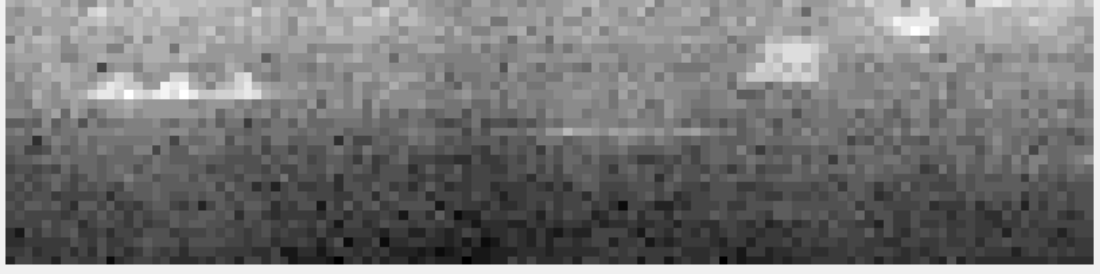


(a)

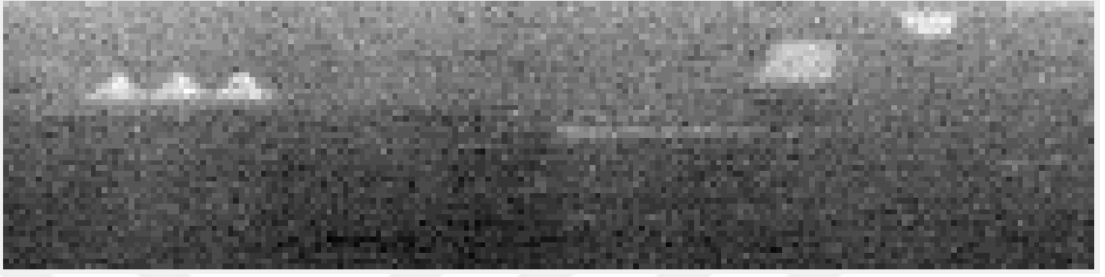


(b)

Şekil 7.11. Ölçüm 4; farklı çözünürlüklerdeki ölçümler (a)  $60 \times 15$  (b)  $86 \times 21$  (c)  $120 \times 30$  (d)  $200 \times 50$  (e)  $600 \times 150$  piksel



(c)



(d)



(e)

Şekil 7.12. (Devam) Ölçüm 4; farklı çözünürlüklerdeki ölçümler (a)  $60 \times 15$  (b)  $86 \times 21$  (c)  $120 \times 30$  (d)  $200 \times 50$  (e)  $600 \times 150$  piksel

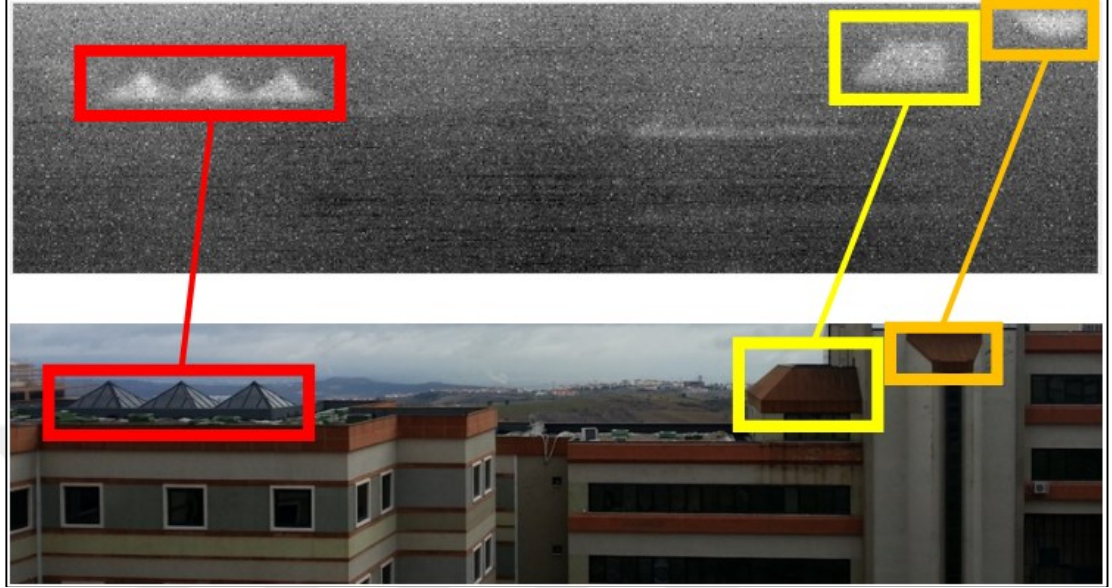
Ölçüm 4 için optik görüntü Şekil 7.9.'da verilmiştir.



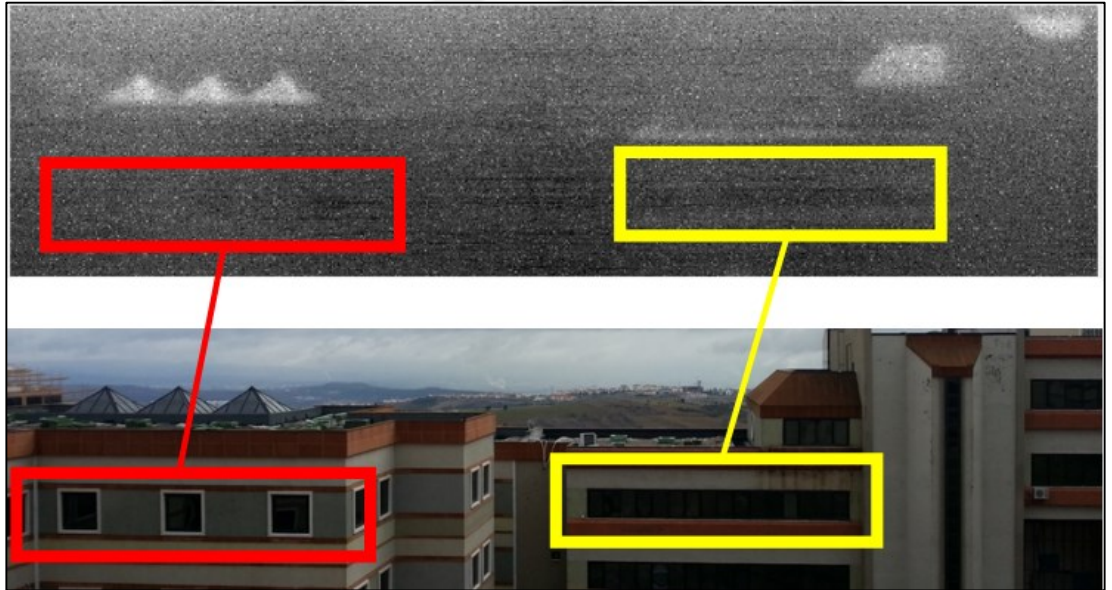
Şekil 7.13. Ölçüm 4; optik görüntü

Açısal çözünürlüğün  $0,10^\circ$  olduğu ölçümde en net PMMDGS görüntüsü elde edilmiştir. Öyleki; hem binanın çatıları, hem çatıdaki camlar hem de binanın duvarlarında bulunan pencereler ile camların ayrımları yapılabilmektedir.

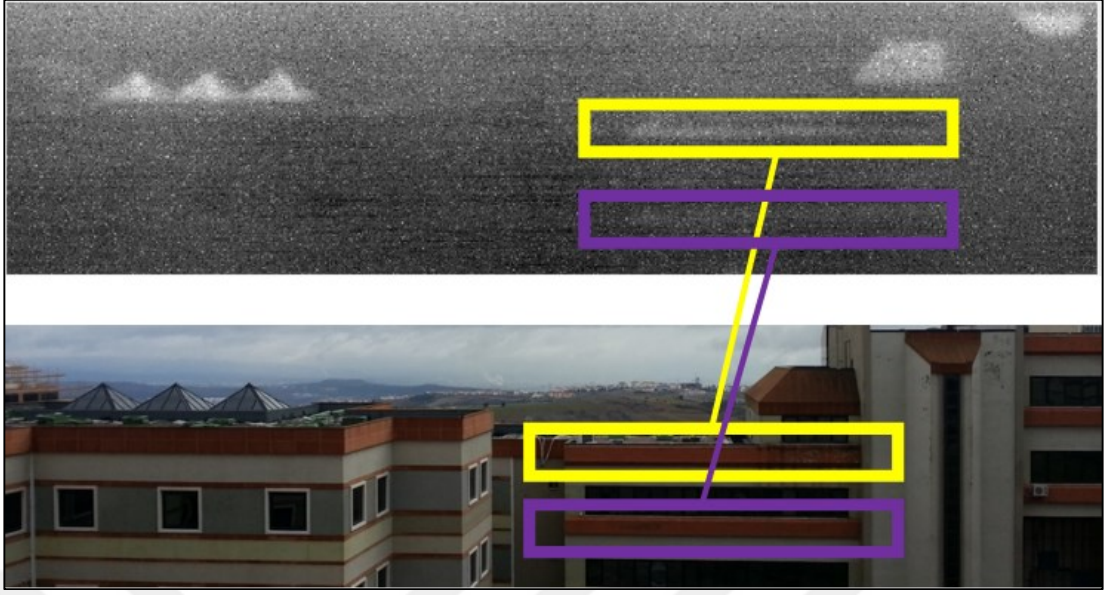
Şekil 7.10., Şekil 7.11. ve Şekil 7.12.'de; çözünürlüğün en iyi olduğu 4. ölçüm ile optik görüntüler karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.14. Ölçüm 4; optik görüntü ile PMMDGS görüntüsünün karşılaştırılması – 1



Şekil 7.15. Ölçüm 4; optik görüntü ile PMMDGS görüntüsünün karşılaştırılması – 2



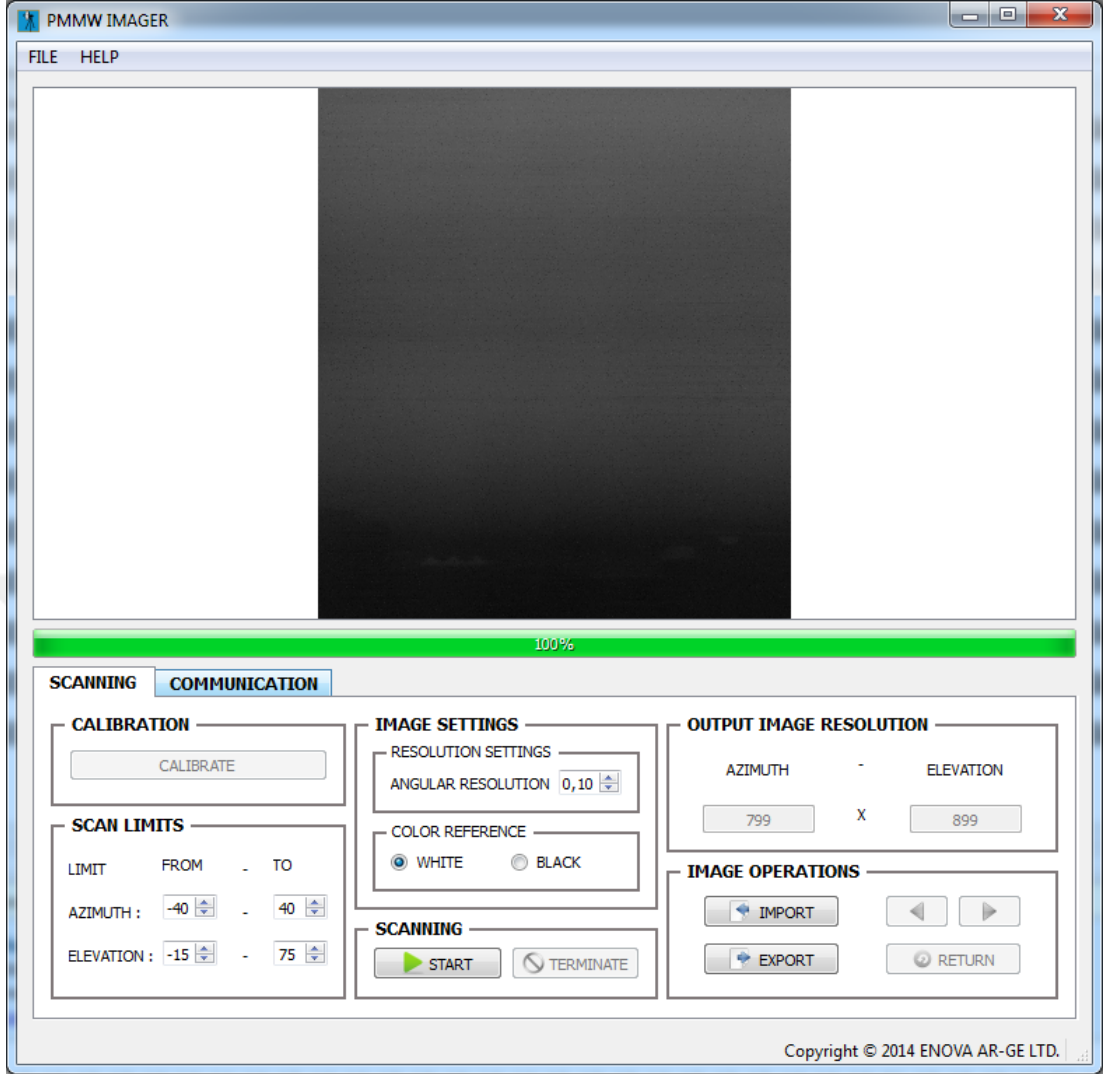
Şekil 7.16. Ölçüm 4; optik görüntü ile PMMDGS görüntüsünün karşılaştırılması – 3

### 7.5. Ölçüm 5

Ölçümlerden elde edilen görüntüler kaydedilirken sıkıştırma oranı en düşük olan kayıt türünden faydalanılmıştır. Bu kayıt türü .tif uzantılı olarak bilinmektedir. Bu sayede çözünürlükteki kayıplar minimuma indirilecektir.

Microsoft Office Picture Manager Programı'nda düzenleme yapılmadan doğrudan elde edilen PMMDGS görüntüsü ölçüm 5 için Şekil 7.13.'teki PMMDGP ekran görüntüsünden incelenebilir. Tarama sırasında, PMMDGS'nin 2 eksenli konumlandırıcısının açisal çözünürlüğü  $0,1^{\circ}$ 'dir.

PMMDGP'de azimut ekseninde tarama yapması istenen açılar  $-40$  ila  $40$  derece arası, kalkış ekseninde tarama yapması istenen açılar ise  $-15$  ila  $75$  derece arasıdır. Bu açılar programdaki açılardır; gerçek değerdeki açılar ise azimut ekseninde  $140$  dereceden  $220$  dereceye, kalkış ekseninde ise  $75$  dereceden  $-15$  dereceyedir. Ölçüm süresi toplam 3 saat 49 dakika sürmüştür ve hava sıcaklığı  $8,7^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ölçüm 5 sonucunda;  $799 \times 899$  piksel çözünürlükte ve Microsoft Office Picture Manager Programı'nda işlenmesiyle; yapılan tüm taramalar arasındaki en iyi radyometrik görüntü elde edilmiştir.



Şekil 7.17. Ölçüm 5; PMMDGP ekran görüntüsü (görüntünün çok büyük bir kısmını gökyüzü oluşturmaktadır)

Şekil 7.14. (a) ve (b)'de, ölçüm 5'te elde edilen ve Şekil 7.13.'te tam görüntüsü görüntü işleme yapılmadan önce program görüntüsü üzerinden verilen radyometrik görüntünün, kırılma işleminden ve görüntü işleme yapıldıktan sonra elde edilen PMMDGS görüntüsü sonra da optik görüntüsü verilmiştir. Gökyüzünün fazla oranda yer kaplaması sebebi ile görüntünün bir kısmı üst taraftan kırılmıştır.

02.12.2016 - 11:00 - hava çok bulutlu - İzmit 8,7 °C - MGM - dosya adı:  
0212161449





(a)



(b)

Şekil 7.18. Ölçüm 5; (a) Optik görüntü (b) PMMDGS görüntüsü

Şekil 7.14.'te verilen ölçüm 5 görüntülerinin radyometrik ve optik görüntüleri, kırılma işlemi olmaksızın Şekil 7.15. (a) ve (b)'de verilmiştir.



(a)

Şekil 7.19. Ölçüm 5 için kırılma işlemi yapılmamış (a) Görüntü işleme yapılmış radyometrik görüntü (b) Optik görüntü



(b)

Şekil 7.20. (Devam) Ölçüm 5 için kırılma işlemi yapılmamış (a) Görüntü işleme yapılmış radyometrik görüntü (b) Optik görüntü

## **8. 35 GHZ FREKANSINDA ÇALIŞAN RADYOMETRİK ALICININ TASARIM VE GERÇEKLEME ÇALIŞMALARI**

96 GHz frekansında çalışan radyometrik alıcının başarılı olarak gerçekleştirilen test ve ölçümlerinden sonra; aynı sistemle bütünlük sağlayarak tarama yapabilen ve yerli bir radyometrik alıcının tarafımızdan yapılmak istenmesi amacıyla 35 GHz frekansında çalışan radyometrik alıcı tasarımına ve üretimine karar verilmiştir. Buradaki amaç, böyle bir sistemde yurt dışına bağılılığı azaltmak ve herhangi bir arıza durumunda müdahale edebilmektir. 96 GHz yerine 35 GHz frekansından başlamaktaki amaç ise hem parçalarına daha kolay ulaşabilmek ve ucuz olarak satın alabilmek hem de tasarımının daha kolay olmasıdır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için 96 GHz'deki alıcıda olduğu gibi (6. 15. (b)) 1 adet 35 GHz frekansında çalışan antene, 1 adet veya kaskad bağlanması halinde 1'den fazla yine 35 GHz frekansına uygun düşük güçlü güç kuvvetlendiriciye (LNA), 1 adet dedektöre ve 1 adet video kuvvetlendiriciye ihtiyaç vardır. Tüm bu gerekenler ayrı ayrı yapıp konnektörler ile bağlanabileceği gibi tek bir baskı devre kartı üzerinde de yapılabilir. İki farklı yöntem ayrı ayrı uygulanabileceği gibi konnektörlü yapıyı her bir katın çalışmasını test etmek için gerçekleştirip, en sonda konnektörler yerine devre yollarıyla birleştirilmiş ve tek bir karttan oluşan yapıya ulaşmada, yapıyı bir ön tasarım olarak değerlendirmek mümkündür. Aşağıda; alıcının her bir katının tasarım ve gerçekleştirme aşamaları anlatılmıştır.

### **8.1. Radyometrik Alıcı Anteni**

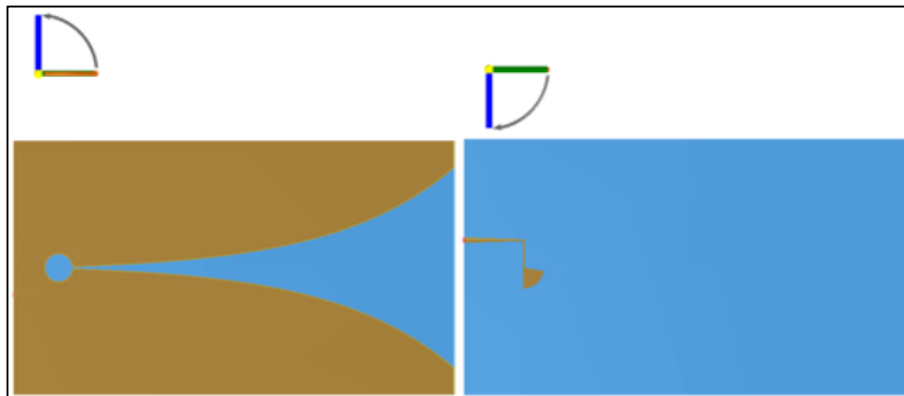
Radyometrik alıcının tasarımı, nihayetinde tek bir bakır baskı devre kartı üzerinde olacak şekilde planlandığından radyometrik alıcının uç kısmına yerleştirilecek olan antenin de bakır baskı devre kartı üzerinde olması gerektiği düşünüldü. Bu nedenle; mikroşerit anten tasarlanması gerekti. Mikroşerit antenler araştırıldı ve 2 adet mikroşerit anten tasarımı yapıldı. Bunlardan ilki Vivaldi fed anten diğeri ise antipodal Vivaldi antendir.

Son olarak; devre parçalarının konnektörlerle birbirine bağlandığı, ayrık yapıda kullanılacak bir Ka bant horn anten satın alınmıştır. Bu antenin çıkışı, LNA'nın girişi 2,92 mm olduğu için aynı tipte seçilmiştir. Tüm bu 3 antenin tasarımları aşağıdaki konularda anlatılmıştır [49, 68].

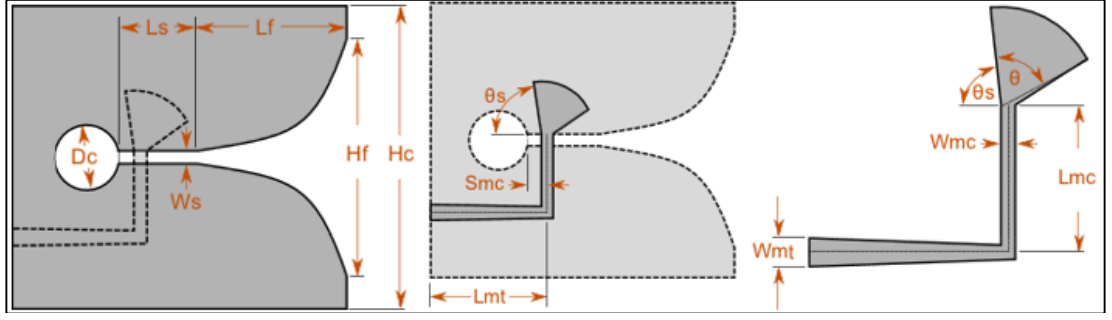
### 8.1.1. Vivaldi fed anten

Nihai tasarımda devrelerin tek bir baskı devre kartı üzerinde olması planlandığı için, kullanılacak radyometrik alıcının uç kısmına bağlanacak olan anten tipi, baskı devre anten olarak LNA devresine doğrudan bağlanabilecektir. Vivaldi fed antenlerin bu proje için uygun olacağı görülmüştür. Zira konuyla ilgili araştırılan makale veya bildirilerin çoğunda Vivaldi antenler görülmektedir. Antenna Magus Programı vasıtasıyla çeşitli antenler oluşturulmuştur [8, 64, 65, 68, 70]. Aşağıda, bu antenlerden Vivaldi fed anten tasarımı anlatılmaktadır.

Vivaldi fed antenler Antenna Magus'ta denenmiştir. Öncelikle; 35 GHz'de çalışan bir Vivaldi fed anten (Şekil 8.1.) Antenna Magus Programı'nda tasarlanmış ve ölçülerinin kodlamaları Şekil 8.2.'de verilmiştir. Antenna Magus, girilen çalışma frekansı değerine (35 GHz) göre anten ölçülerini optimum şekilde kendisi önermektedir. Burada ise, önerilen değerlerden elde edilmiş empedans ve VDDO grafiklerine bakılmış ve istenen değerleri sağlamak için boyutlarla bir miktar oynanmıştır. İyileştirilmelerden sonra elde edilmiş son boyutlar da Tablo 8.1.'de verilmektedir.



Şekil 8.1. Tasarlanan 35 GHz baskı devre Vivaldi fed antenin ön ve arka görüşleri



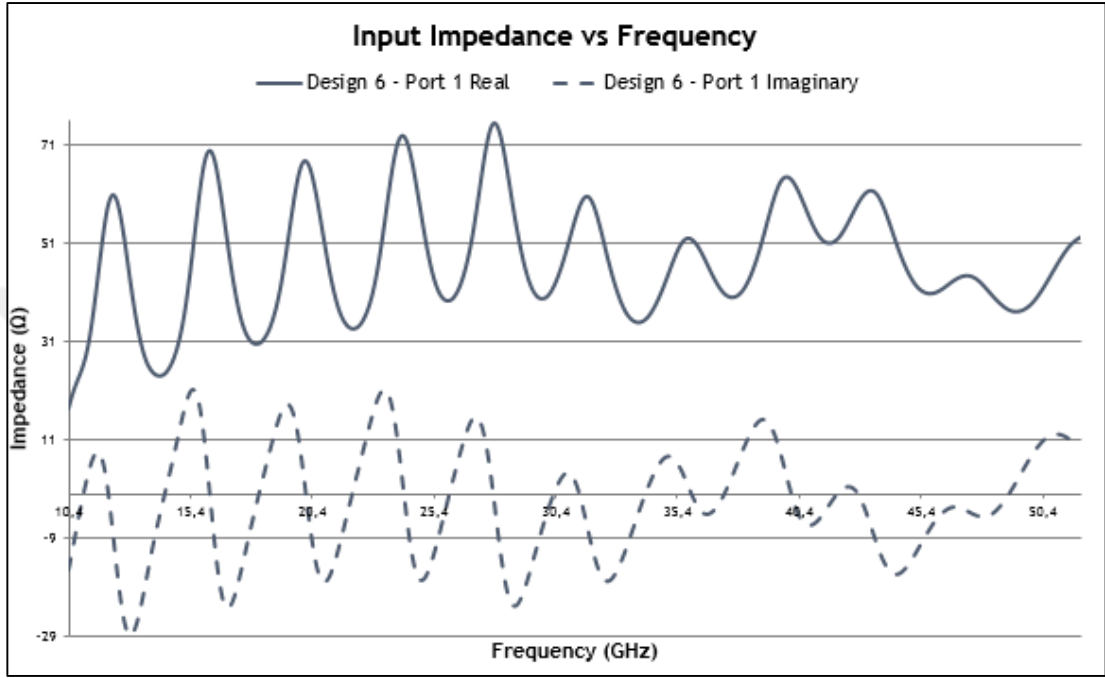
Şekil 8.2. Tasarlanan 35 GHz baskı devre Vivaldi fed antenin ölçüleri

Tablo 8.1. Baskı devre Vivaldi fed antenin benzetim sonucunda elde edilmiş boyutları ve alt taban özellikleri

| İsim          | Açıklama  | Değer               |
|---------------|---|---------------------|
| Hf            | Yayılma yüksekliği                                  | 12,68 mm            |
| Lf            | Yayılma uzunluğu                                    | 24,21 mm            |
| Hc            | İletkenin yüksekliği                                | 16,14 mm            |
| Dc            | Kavite çapı   | 1,731 mm            |
| Smc           | Boşluktan mikroşerit kuplörün merkezine olan mesafe | 51,31 $\mu\text{m}$ |
| Lmc           | Mikroşerit kuplörün uzunluğu                        | 1,731 mm            |
| Wmc           | Mikroşerit kuplörün genişliği                       | 102,6 $\mu\text{m}$ |
| Lmt           | Konik mikroşerit hattın uzunluğu                    | 3,782 mm            |
| Wmt           | Konik mikroşerit hattın genişliği                   | 347,0 $\mu\text{m}$ |
| Ls            | Slot çizgisinin uzunluğu                            | 102,6 $\mu\text{m}$ |
| Ws            | Slot çizgisinin genişliği                           | 76,12 $\mu\text{m}$ |
| Rs            | Mikroşerit eklentinin yarı çapı                     | 1,305 mm            |
| $\theta$      | Mikroşerit eklentinin başlangıç açısı               | 90°                 |
| $\theta$      | Mikroşerit eklentinin açısı                         | 80°                 |
| Hs            | Alt taban yüksekliği                                | 146,4 $\mu\text{m}$ |
| $\epsilon_r$  | Alt tabanın dielektrik sabiti                       | 3,27                |
| $\tan \delta$ | Alt tabanın kayıp tanjantı                          | 0                   |
| Ft            | Yayılmamanın açılma oranını belirleyen faktör       | 130                 |
| X             | Antenin toplam uzunluğu                             | 28,05 mm            |
| Y             | Antenin yüksekliği                                  | 16,14 mm            |
| Z             | Alt tabanın yüksekliği                              | 146,4 $\mu\text{m}$ |

Empedans değerinin, çalışma frekansında (35 GHz) giriş olarak rezistif 50 ohm 'a yakın olması gerekmektedir.

şekil 8.3.'te verilen giriş empedans grafiği de antenin bu özelliği sağladığını göstermektedir.

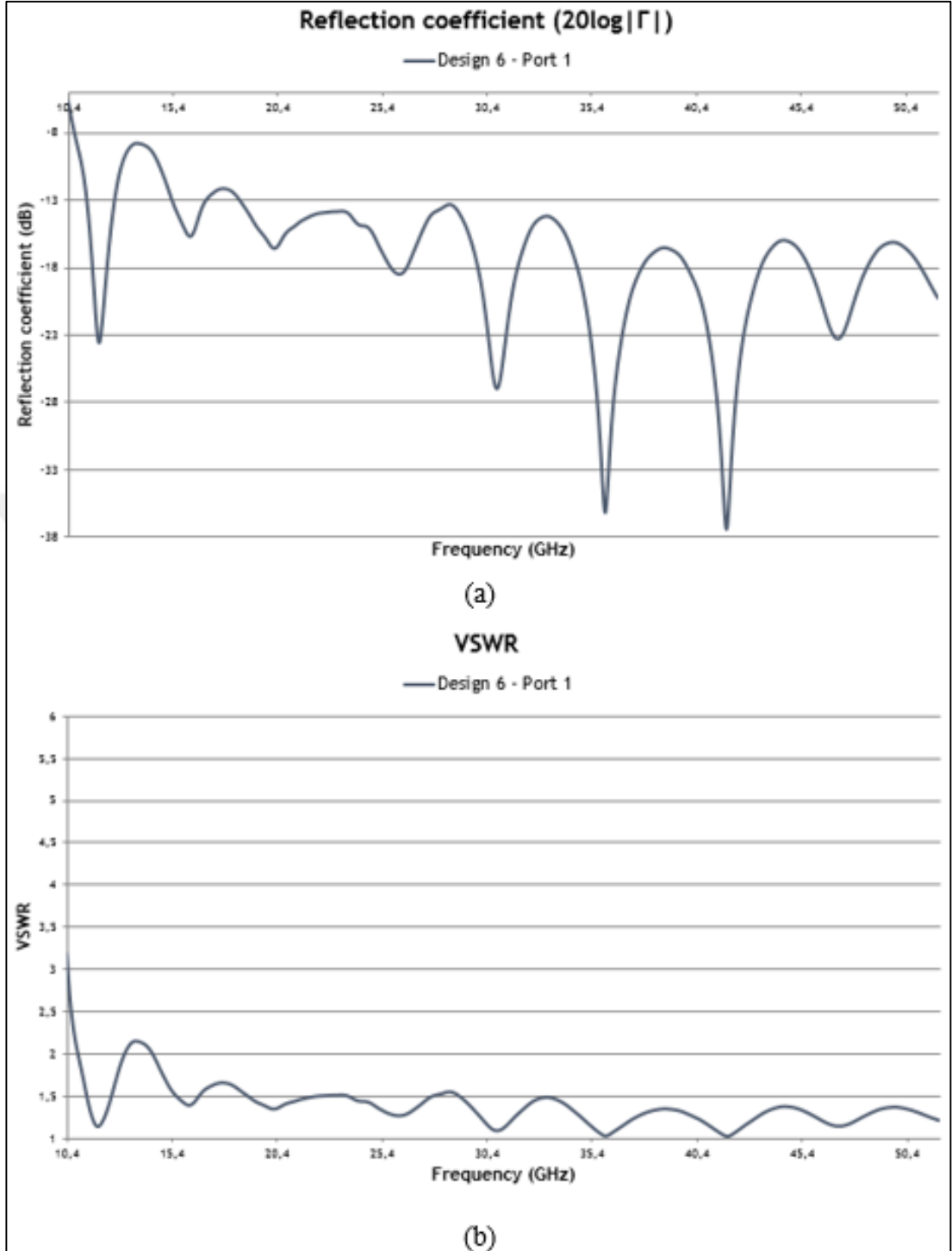


şekil 8.3. Baskı devre Vivaldi fed antenin giriş empedansının frekansa bağlı değeri

şekil 8.4.'te baskı devre Vivaldi fed antenin benzetimi sonucunda elde edilen (a)  $S_{11}$  ve (b) VDDO grafikleri verilmiştir.

Grafiklere bakıldığında antenin 14 GHz'ten sonra çalıştığı gözlemlenmektedir.

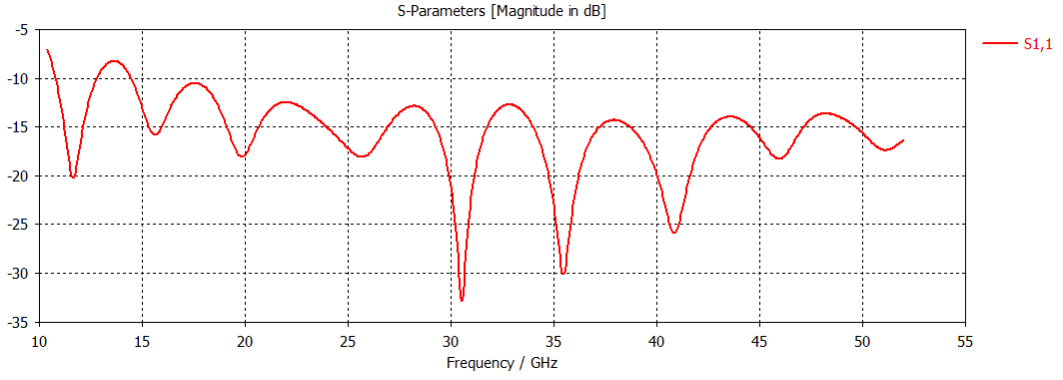
Bu frekans değerinden sonra  $S_{11}$  değerinin -10 dB 'nin altına düştüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca VDDO, 2'nin altına düşmektedir.



Şekil 8.4. Baskı devre Vivaldi fed antenin (a)  $S_{11}$  (b) VDDO grafikleri

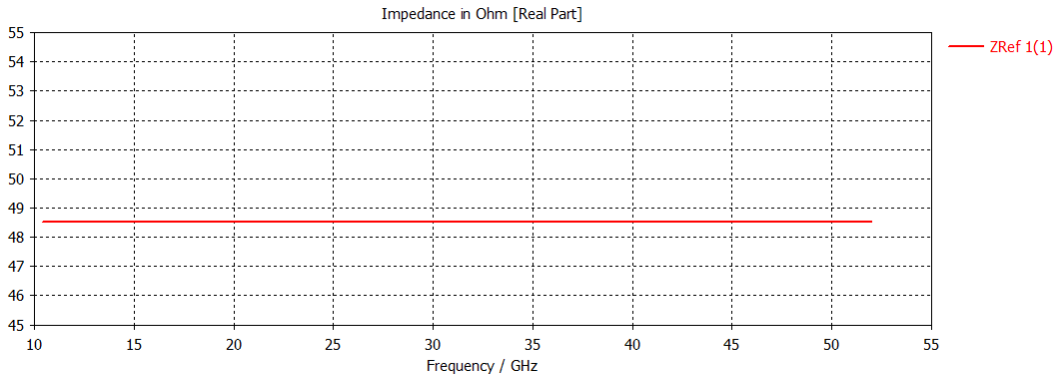
Antenna Magus Programı'na göre hem daha hassas sonuç vermesi hem de doğrulama yapmak amacıyla, kullanılması düşünülen Vivaldi fed anten, CST Programı'na da aktarılmış ve incelenmiştir. CST Programı'ndaki anten parametreleri Şekil 8.5. - Şekil 8.8. arasında verilmiştir.





Şekil 8.5. Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen  $S_{11}$  grafiği

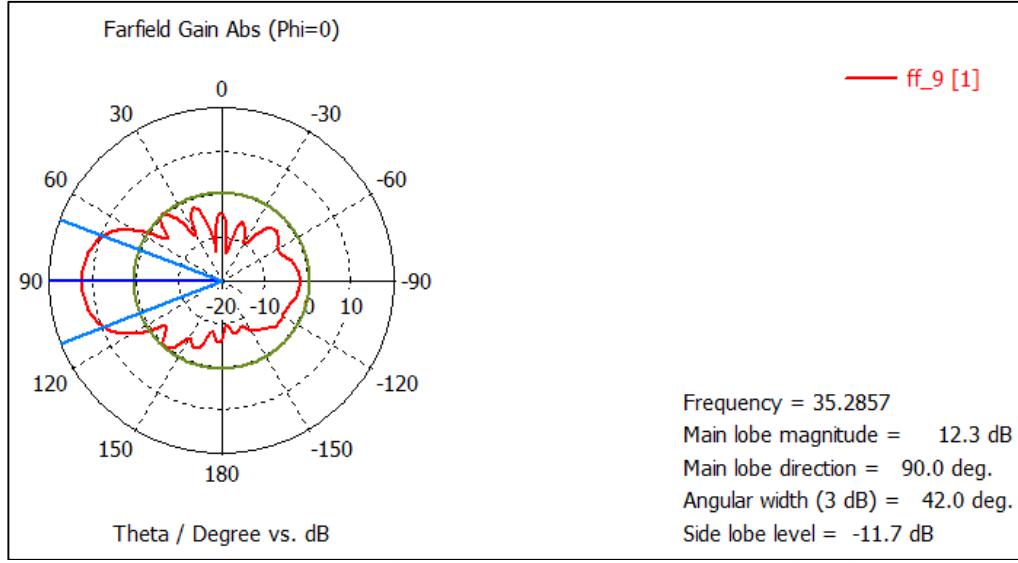
Şekil 8.4. (a)'da verilen Antenna Magus Programı'ndan elde edilen girişteki yansıma grafiği  $S_{11}$  ile CST Programı'nda elde edilen Şekil 8.5.'te verilen girişteki yansıma grafiği  $S_{11}$  birbirine çok yakın çıkmıştır.



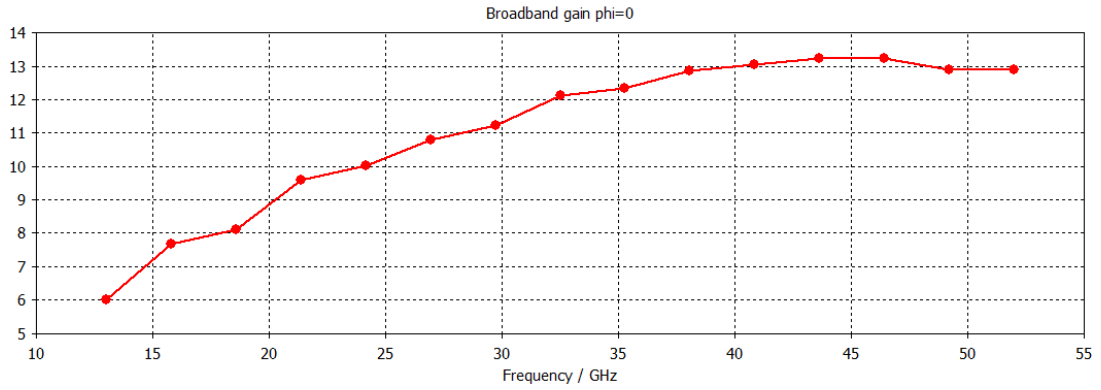
Şekil 8.6. Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen giriş empedans grafiği

Antenin tek bir portu vardır o da besleme portudur; diğer bir deyişle horn veya açık ağzından aldığı sinyalleri devreye aktardığı porttur. Bu nedenle; CST Programı'nda 1 adet port eklenmiştir. TEM modunda yayılma söz konusudur. Zaman Domeini (Time domein) analizi yapılmıştır. Antenna Magus ve CST Programları'nda anten oluşturur ve dizayn ederken 3,27 epsilon değerine sahip plaka kullanmıştır. Giriş empedansının değeri Şekil 8.6.'dan da anlaşılacağı gibi 48,5 ohm 'dur. Ancak; Antenna Magus'ta bu değer çok fazla salınım yapmaktaydı (Şekil 8.3.).

35,2857 GHz frekansındaki anten ışınma paterni Şekil 8.7.'de, kazanç grafiği ise Şekil 8.8.'de verilmiştir. Anten kazancı, genel olarak frekansla artmaktadır. 35 GHz'deki değeri 12 dB civarındadır.



Şekil 8.7. Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen ışıma paterni



Şekil 8.8. Vivaldi fed anten için CST Programı'ndan elde edilen kazanç grafiği

Tüm yapılan benzetim çalışmalarına rağmen, Tablo 8.1.'e bakıldığında tasarlanmış olan Vivaldi fed antenin bazı boyutlarının ve plaka kalınlığının mikrometre hassasiyetinde olmasından dolayı; antenin pratikte yapılmasının çok zor olacağı düşünülmüş ve kullanımından vazgeçilmiştir. Bu antenle ilgili yapılan benzetim çalışmaları; “Designing a Vivaldi Fed Antenna for Passive Millimeter Wave Imaging System in Ka Band” ismi verilen bir adet uluslararası bildiri ‘International Conference on Engineering Technology and Innovation’ adlı konferansta sunulmuş [45] ve “35 GHz Vivaldi Fed Antenna Design for Passive Millimeter Wave Imaging System in Ka Band” ismi verilen bir adet uluslararası makale ‘Journal of Electrical Engineering Dergisi’nde [46] yayımlanmıştır.

### 8.1.2. Antipodal Vivaldi anten

Yukarıda incelenen Vivaldi tipi antenin gerçekleştirilemeyecek kadar küçük olması bir başka baskı devre anteni olan antipodal Vivaldi [47, 91] antenin benzetimine başlanmasına sebep olmuştur.

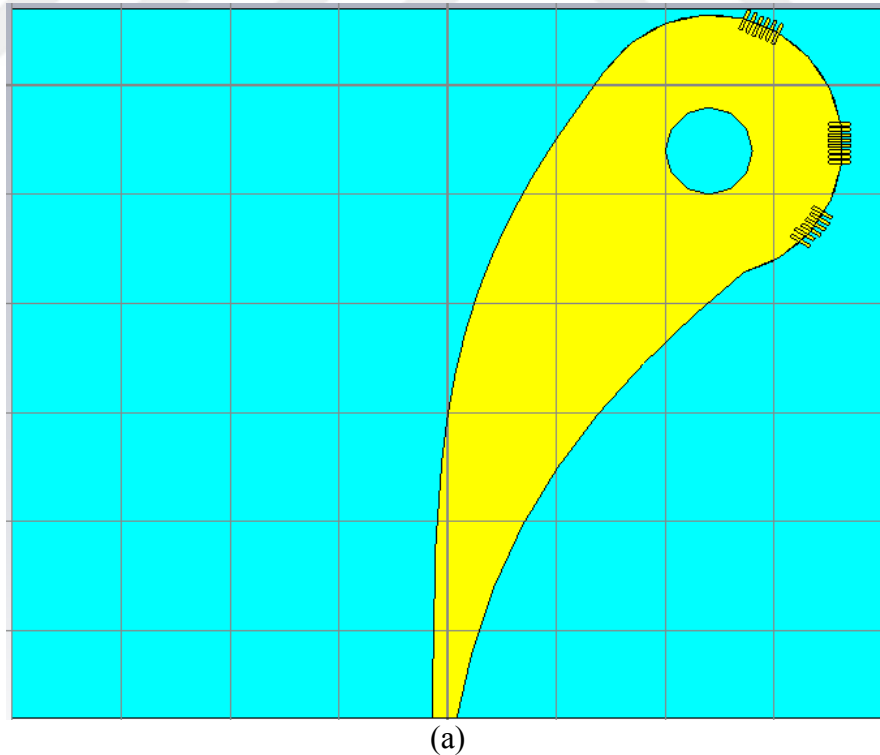
Vivaldi antenin bir kısmı bakır plakanın bir yüzeyinde, diğer kısmı diğer yüzeyinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde olan antenlere antipodal Vivaldi anten denilmektedir.

Şekil 8.9.'da antipodal Vivaldi anten geometrisinin CST görünümleri verilmiştir.

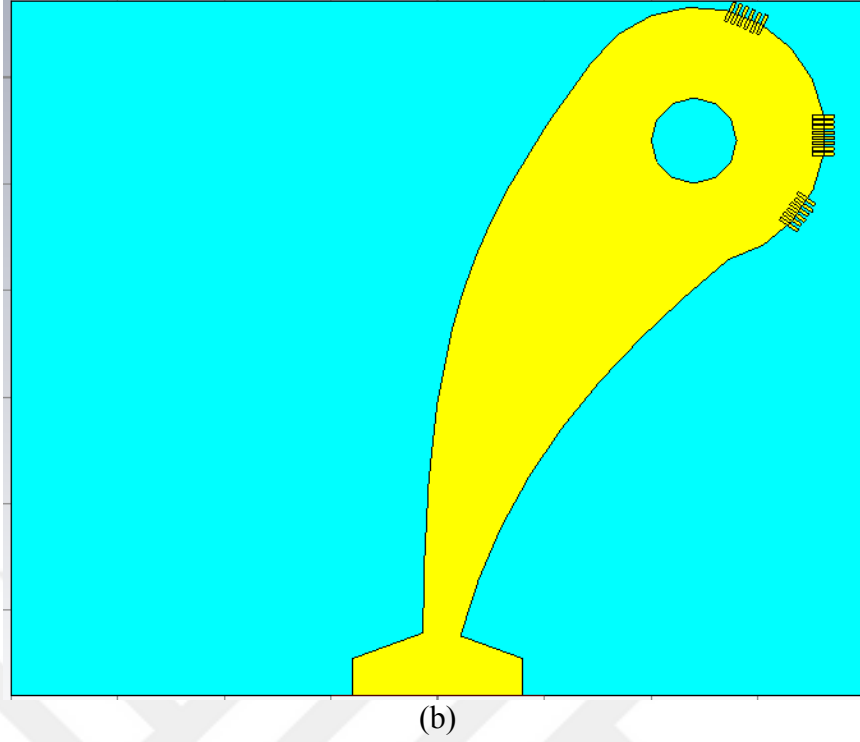
Plaka boyutları 65 mm×80 mm'dir.

Dielektrik malzeme olarak 0,009 tan  $\delta$  değerine ve 0,76 mm kalınlığa sahip olan Diclاد880 kullanılmıştır.

Baskı devre kartının kalınlığı 0,04 mm'dir [47].



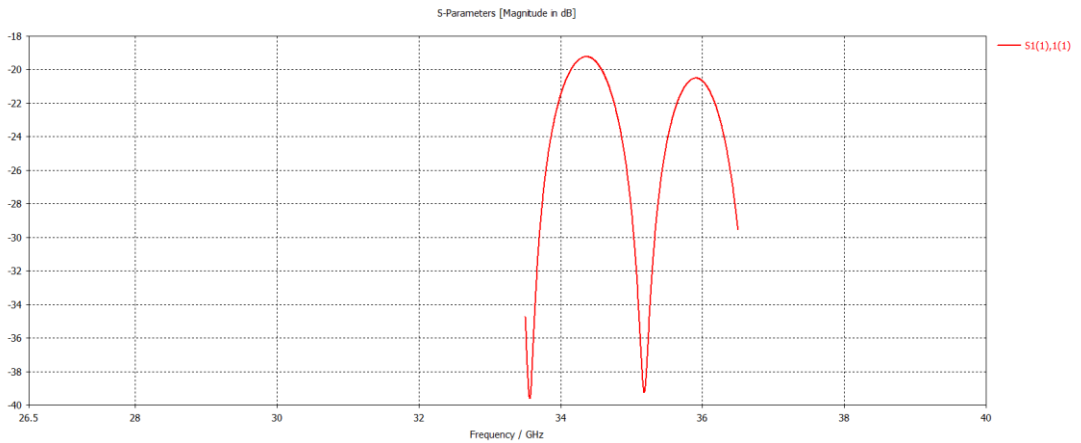
Şekil 8.9. Antipodal Vivaldi antenin (a) Ön (b) Arka yüzü



Şekil 8.10. (Devam) Antipodal Vivaldi antenin (a) Ön (b) Arka yüzü

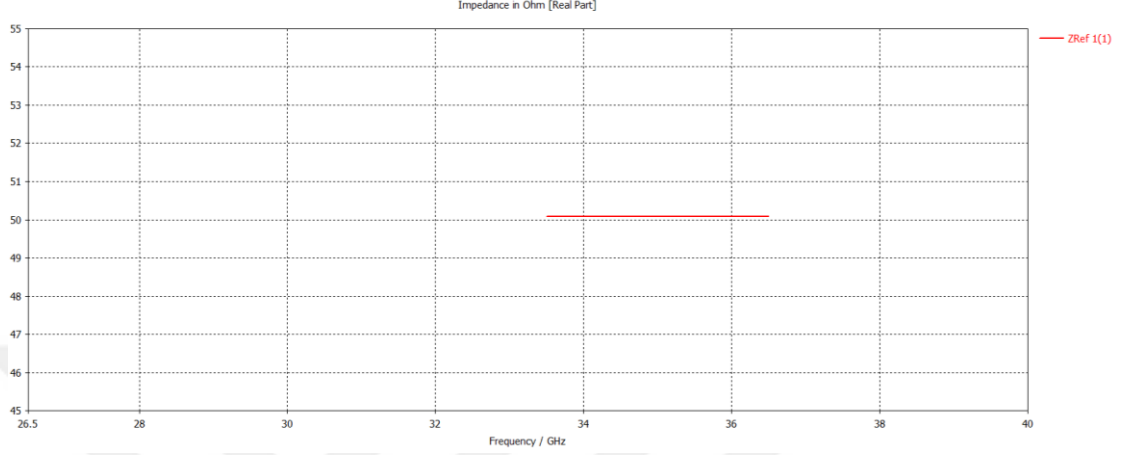
Frekans yüksek olduğundan CST Programı'nda yapılan analizler 20 GHz gibi geniş frekans aralığında yapıldığında 1 gün sürebilmektedir. Bu sebeple; analiz yapılırken frekans taraması aralığı kısa tutulmuştur.

Şekil 8.10.'da  $S_{11}$  grafiği verilmiştir. TEM modu yayıldığından  $S_{11}$  (1,1) ölçülmüştür.



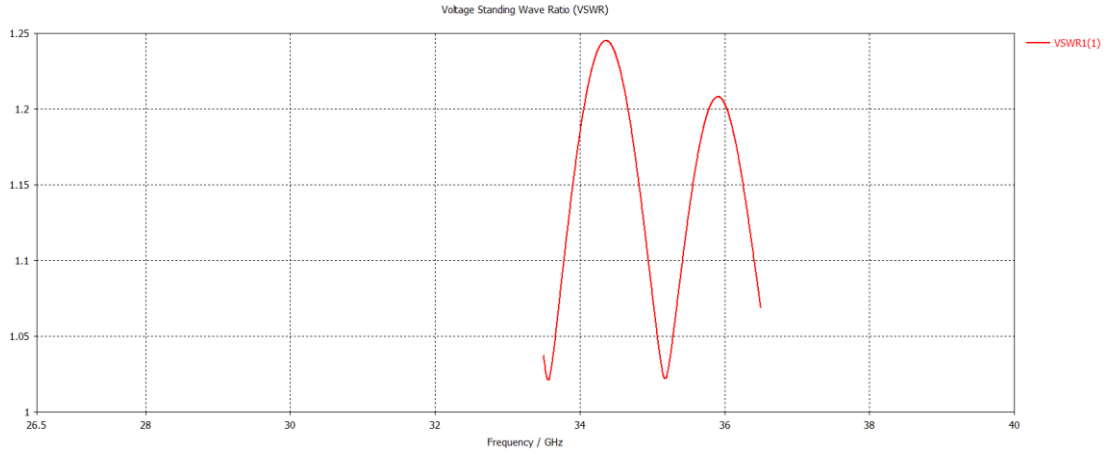
Şekil 8.11. Antipodal Vivaldi antenin CST Programı'ndan alınan  $S_{11}$  grafiği

$S_{11}$  değerinin genel olarak 35 GHz frekansı civarlarında -10 dB'nin altında olduğu, 35 GHz'de ise -32 dB olduğu görülmektedir. Şekil 8.11.'de ise referans empedans değerinin 50 ohm'a yakın (50,07 ohm) olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 8.12. Antipodal Vivaldi antenin CST Programı'ndan alınan referans empedans grafiği

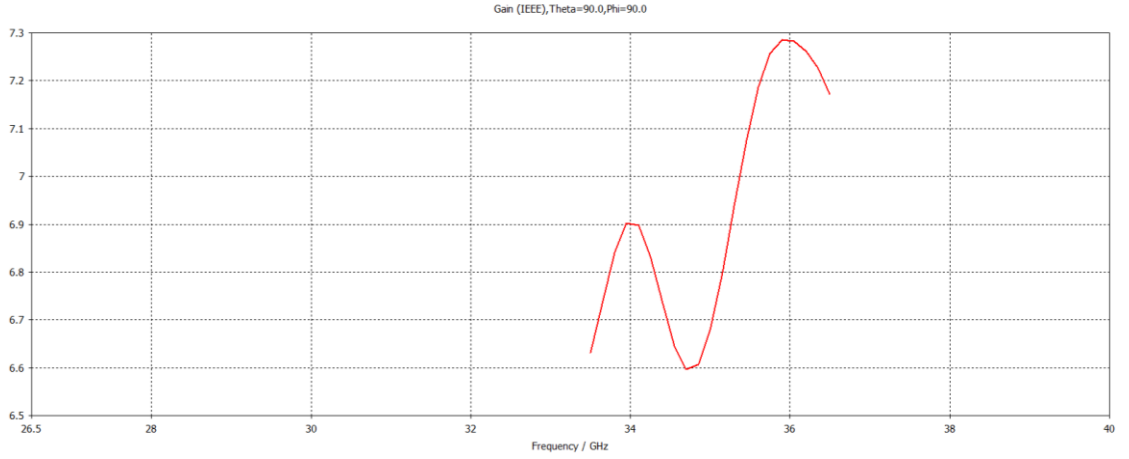
Şekil 8.12.'de voltaj duran dalga oranının (VDDO) 2'nin altında olduğu, 35 GHz frekansı için ise 1,05 civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 8.13. Antipodal Vivaldi antenin CST Programı'ndan alınan VDDO grafiği

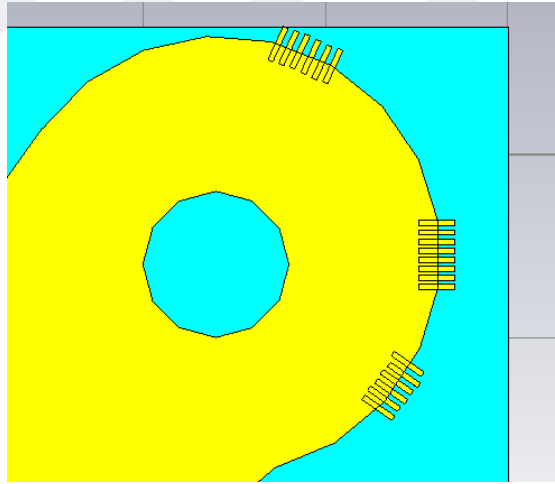
Kazanç değeri 35 GHz frekansında yaklaşık 7 dB (6,82 dB) olarak CST Programı'ndan Şekil 8.13.'teki gibi elde edilmiştir.

Bu kazanç değeri planlanan kazanç değerinden daha düşüktür.



Şekil 8.14. Antipodal Vivaldi antenin CST Programı’ndan alınan kazanç grafiği

Antenin kazancının artması, kazanç grafiğinin tepe kısmının düz olması, elektrik ve manyetik alan dağılımının düzenli olması için anten yapraklarının merkezine çapı 8 mm olan dairesel yarıklar ve anten uçlarına 0,3 mm kalınlığında, 2 mm uzunluğunda çizgisel eklentiler yapılmıştır [47, 91]. Bu yarıklar ve çizgisel eklentiler Şekil 8.14.’te net olarak verilmiştir.

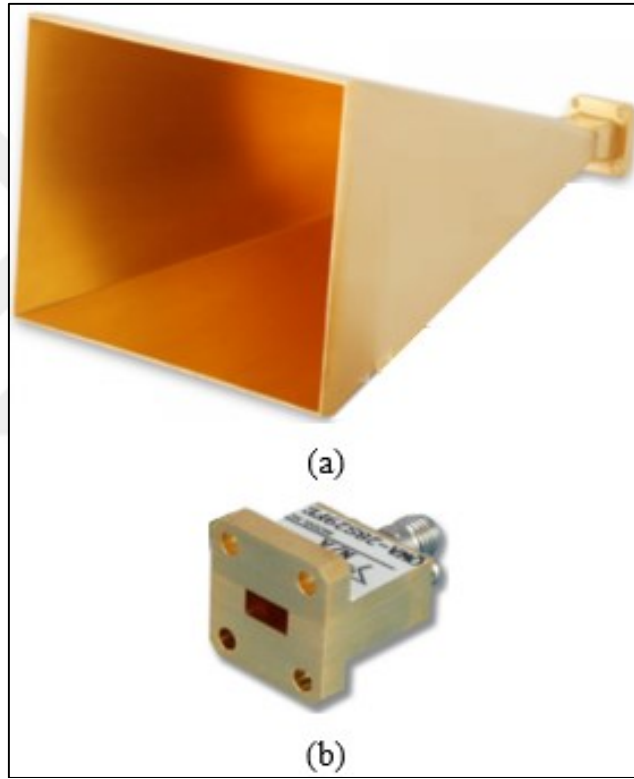


Şekil 8.15. Antene uygulanan yarıklar ve çizgisel eklentiler

Bu anten tasarımı benzetimlerinin çıktılarından faydalanılarak “Antipodal Vivaldi Antenna for Passive Imaging Technology in Ka Frequency Band” ismi verilen 1 adet ulusal hakemli (TR dizin) makale ‘Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi’nde (Sakarya University Journal of Science)’ 2018 yılında yayımlanmıştır [47].

### 8.1.3. 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 anteni

Alıcı tasarımının ilk aşaması olan alıcı devreleri arasındaki bağlantının, konnektörlerle yapıldığı parçalı yapıda kullanılacak antenin tipi, 2,92 mm çıkışı olan bir Ka bant horn antendir. Çünkü parçalı yapıda devre elemanları da 2,92 mm konnektörlerle birbirine bağlanacaktır. Bu amaçla; Quinstar Firması'ndan 35 GHz frekansına uygun Quinstar QWH-APRS00 anteni satın alınmıştır. Bu antenin horn kısmı Şekil 8.15. (a)'da [48], eş eksensliden dalga kılavuzuna geçiş kısmı (b)'de [92] gösterilmiştir.



Şekil 8.16. (a) 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 anten (b) QWA-28S29ME0 eş eksensliden dalga kılavuzuna geçiş kısmı

İlgili anten Ka bandında (WR28) çalışacak, dolayısıyla; 35 GHz frekans bölge aralığında olacaktır. Antenden sonra yine dalga kılavuzu şeklinde bir devre, örneğin; düşük güçlü güç kuvvetlendiricinin dalga kılavuzlu devresi gelirse anten bu devreye doğrudan bağlanabilecek fakat bakır plakaya kurulu bir devre gelecekse bağlantı için ayrı bir aparat, konnektör (Şekil 8.15. (b)) gerekecektir.

Satın alınan antenin horn kısmının kodu QWH-APRS00, eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının kodu ise QWA-28S29ME0'dir. Bu kodlandırmaların daha iyi anlaşılması için açıklayıcı bilgiler Ek-D'de verilmiştir.

35 GHz Quinstar QWH-APRS00 antenin pasif milimetre dalga görüntüleme sisteminde bulunan diğer devrelere bağlanmasını sağlayan bir adet eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş parçasına ihtiyacı vardır. Bu ihtiyaç sadece dalga kılavuzu şeklinde devreler kullanılmadığında ortaya çıkar. Bir sonraki bölümde anlatılacak olan HMC1040LP3CE çip entegresi kullanılarak üretilecek olan LNA devresinin antene bağlanabilmesi için QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmına gereksinim vardır. HMC1040LP3CE çip entegresi kullanılarak üretilen LNA, 2,92 mm bağlantı konnektörüne sahiptir. QWH-APRS00'ın çıkışı dalga kılavuzu tipindedir. Bu nedenle; dalga kılavuzu çıkışını 2,92 mm konnektöre çeviren bir yapının bulunması gereklidir. QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmında '29' terimi 2,92 mm'yi karşılar. '28' terimi ise WR28'e uygunluğunu belirtir.

Dalga kılavuzu giriş – çıkışlı düşük güçlü güç kuvvetlendiricilerinin maliyeti, 2,92 mm bağlantı konnektörü kullanılarak veya SMA adaptörü kullanılarak üretilen düşük güçlü güç kuvvetlendiricilerinin maliyetinden daha fazla olmaktadır. Daha sonra üretimi yapılacak olan LNA devresi QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmı sayesinde 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 antenine bağlanabilecektir. Böylece tasarruf edilecektir.

LNA devresinin çıkışına ise yine 2,92 mm bağlantı konnektörüne sahip dedektör devresi bağlanabileceği gibi ikinci bir QWA-28S29ME0 dalga kılavuzundan eş eksenliye geçiş kısmı kullanılarak tekrar WR28 dalga kılavuzu tipine dönüştürme yapılarak dalga kılavuzu tipli bir dedektör bağlantısı da yapılabilir. Zira dalga kılavuzu tipli LNA devresinin maliyeti gibi dalga kılavuzu tipli dedektör devreleri de maliyetli olmaktadır.

## **8.2. Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi Yapılan, 35 GHz Frekansında Çalışan LNA**

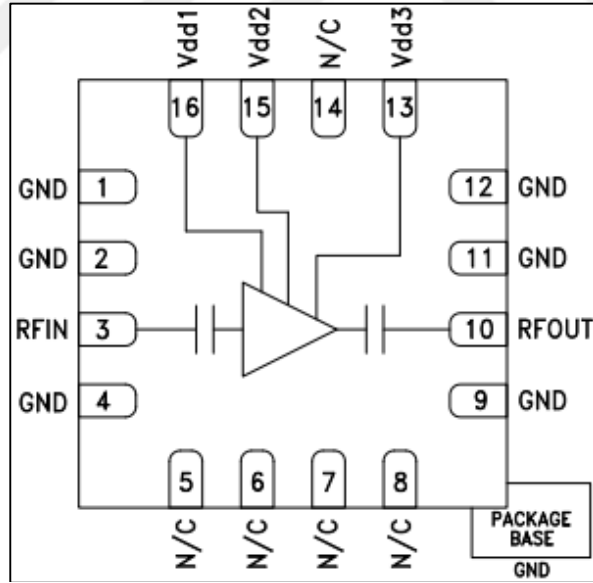
Iceberg Phonon Firması'ndan satın alınan, 96 GHz frekansında çalışan radyometrik alıcının yerli olmaması ve iç kısmına müdahale etmemize fazla imkan



vermemesinden dolayı, yerleştirilme çalışmaları kapsamında; tasarımı ve malzeme temini daha kolay olan, bir önceki milimetre dalga penceresinde (35 GHz) çalışan bir radyometrik alıcının tasarlanıp gerçekleştirilmesi düşünülmüştür. Bu kapsamdaki ilk çalışma, düşük güçlü güç kuvvetlendiricisi (LNA - Low Noise Amplifier) kısmının yapımı olmuştur. Bu LNA'yı gerçekleştirmek için Analog Devices Firması'ndan (Hittite Microwave Products) HMC1040LP3CE çipinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu devrenin başarılı olması durumunda radyometrik alıcıda art arda 4 adet LNA bağlanarak kaskad yapısının oluşturulması planlanmıştır.

Genel olarak; bir LNA'nın hangi özelliklere sahip olması gerektiği Bölüm 3.1.'de anlatılmıştır. Bu çipin kullanılma sebebi; Ka Bantta (26,5 GHz – 40 GHz) çalışabilmesi, kazancının yüksek olması (20 dB) ve bacak bağlantı yapısının SMD tipte olmasıdır. Çipin çalışma aralığı ise 24 GHz ile 43,5 GHz arasında verilmiştir [63].

HMC1040LP3CE çipinin diyagramı Şekil 8.16.'da verilmiştir.



Şekil 8.17. HMC1040LP3CE çip diyagramı

Vdd voltaj girişleri 4 V'a kadar dayanabilmekle beraber çalışma voltajları eşit ve 2,4 V olarak alınmalıdır. 3 nolu pin RFIN ve 10 nolu pin RFOUT pinleridir.

N/C olarak adlandırılan pinlerin herhangi bir bağlantısı yoktur, bu pinler Roger 4350 veya Arlon 25fr adlı tabanlara daha iyi tutunmasını sağlamak için kullanılırlar. Diğer

pinler ise toprak (ground – GND) olarak adlandırılır. SMD paket olan ve toplamda 16 mm<sup>2</sup> yer kaplayan HMC1040LP3CE çipi tabana yüzey montajı (Top Layer) olarak yerleştirilecektir.

Bilgisayfasında kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:


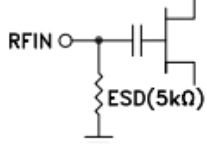
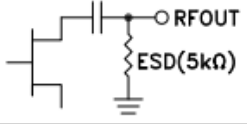

- Noktadan noktaya iletişim (Point-to-Point Radios)
- Test araçları (Test Instrumentation)
- Uydu (SatCom Transponders)
- Endüstriyel sensörler (Industrial Sensors)

Çipin üç farklı çalışma frekansı kümesine göre gruplandırılmış, farklı parametre değerlerine göre bilgileri Tablo 8.2.'de ve pin açıklamaları Tablo 8.3.'te verilmiştir.

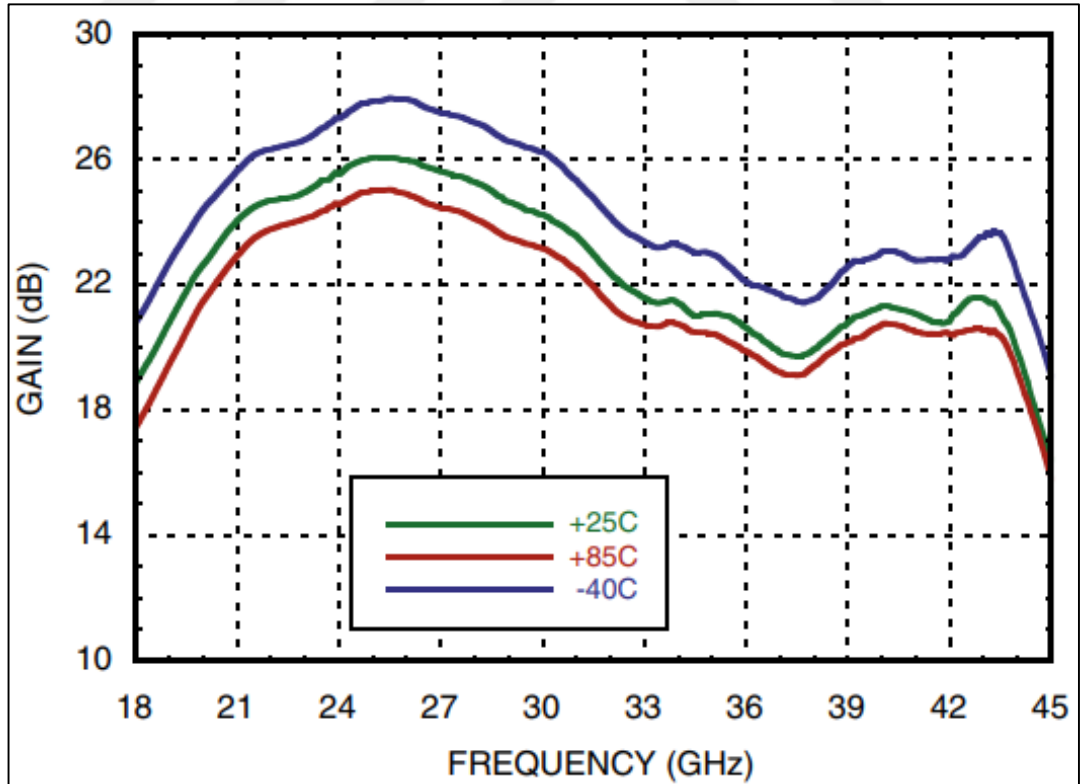
Tablo 8.2. HMC1040LP3CE çipinin 3 farklı çalışma frekansı kümesine göre gruplandırılmış, farklı parametre değerlerine göre bilgileri

| Parameter   | Min.      | Typ.  | Max. | Min.        | Typ.  | Max. | Min.        | Typ.  | Max. | Units |
|---|-----------|-------|------|-------------|-------|------|-------------|-------|------|-------|
| Frequency Range   | 24 - 27.5 |       |      | 27.5 - 33.5 |       |      | 33.5 - 43.5 |       |      | GHz   |
| Gain [1]  | 22        | 25    |      | 20          | 23    |      | 17          | 20    |      | dB    |
| Gain Variation over Temperature                               |           | 0.022 |      |             | 0.021 |      |             | 0.021 |      | dB/°C |
| Noise Figure [1]  |           | 2.7   | 3.2  |             | 2.2   | 2.7  |             | 2.7   | 3.2  | dB    |
| Input Return Loss   |           | 11    |      |             | 12    |      |             | 10    |      | dB    |
| Output Return Loss  |           | 16    |      |             | 13    |      |             | 10    |      | dB    |
| Output Power for 1 dB Compression                             |           | 12    |      |             | 12    |      |             | 12    |      | dBm   |
| Saturated Output Power (Psat)                                 |           | 14    |      |             | 14    |      |             | 14    |      | dBm   |
| Output Third Order Intercept (IP3)                            |           | 22    |      |             | 22    |      |             | 24    |      | dBm   |
| Supply Current (I <sub>dd</sub> )<br>(V <sub>dd</sub> = 2.5V) |           | 70    | 85   |             | 70    | 85   |             | 70    | 85   | mA    |
| [1] Board loss subtracted out.                                |           |       |      |             |       |      |             |       |      |       |

Tablo 8.3. HMC1040LP3CE çipinin pin açıklamaları

| Pin Number         | Function         | Description  | Interface Schematic   |
|--------------------|------------------|--|---|
| 1, 2, 4, 9, 11, 12 | GND              | These pins and package bottom must be connected to RF/DC ground.   |  |
| 3                  | RFIN             | This pin AC coupled and matched to 50 Ohms   |  |
| 5-8, 14            | N/C              | The pins are not connected internally; however, all data shown herein was measured with these pins connected to RF/DC ground externally. |   |
| 10                 | RFOUT            | This pin AC coupled and matched to 50 Ohms   |  |
| 13, 15, 16         | Vdd3, Vdd2, Vdd1 | Drain bias voltages for the amplifier. See Application Circuit for required external componnets.   |  |

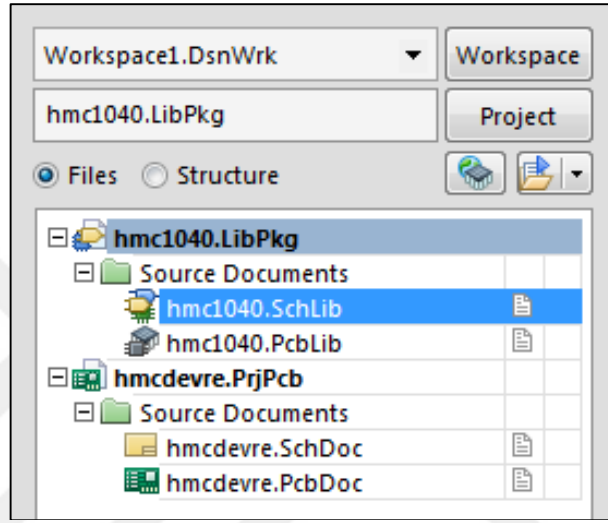
Bilgisayfasına göre farklı sıcaklıklar için HMC1040LP3CE çipinin kazanç değerleri Şekil 8.17.'de verilmiştir.



Şekil 8.18. HMC1040LP3CE çipinin kazanç grafiği

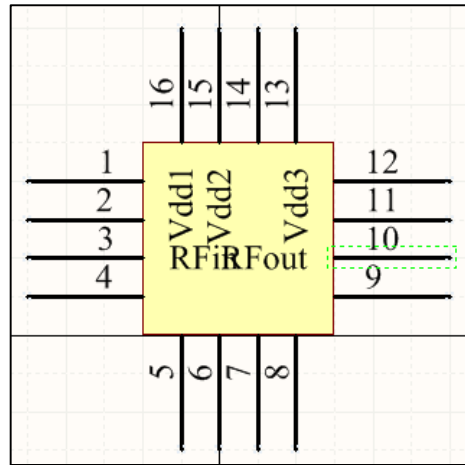
### 8.2.1. Altium Programı'nda kütüphane ekleme ve çizim

Şematik çizimleri Altium Programı'nın 2016 versiyonu kullanılarak yapılmıştır. Çip, program içinde yer almadığı için öncelikle Altium Library kısmına çip kütüphanesi eklenmiştir. Bu işlem için önce Altium Programı içinde Şekil 8.18.'deki gibi 'Integrated Library' projesi oluşturulmuş ve bu proje içine şematik ve PCB boş bir şekilde .schlib ve .pcb lib olarak aktarılmıştır.



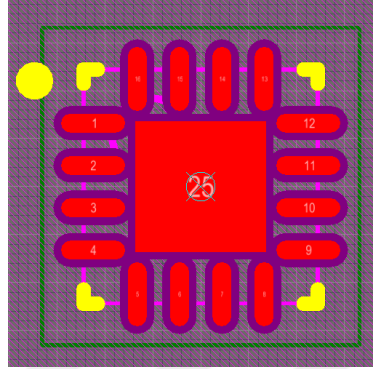
Şekil 8.19. Altium Programı'nda "Integrated Library Project" oluşturma

Proje içindeki .schlib dosyasına HMC1040LP3CE çipinin bilgisayarındaki verilere göre Şekil 8.19.'daki şematik çizim yapılmıştır.



Şekil 8.20. Altium Programı'nda "Integrated Library Project" içindeki .schlib şematiği

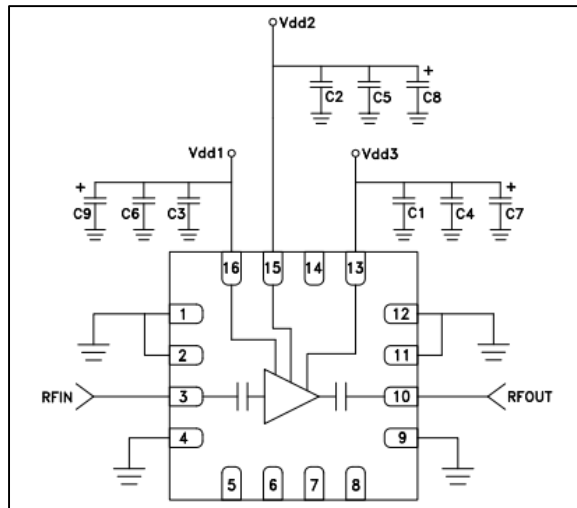
Altiumda kütüphane oluştururken şematikten sonra PCB çizimi Şekil 8.20.'deki gibi yapılır. PCB çizimi gerçek görüntüye uygun olmalıdır. Baskı devre yapılırken, tabandaki delikler ve bakır kısımlar bu çizime göre yapılacaktır. Şematikte yer alan her pin PCB'ye özenle aktarılmıştır.



Şekil 8.21. Altium Programı'nda "Integrated Library Project" içindeki .pcb lib PCB'si

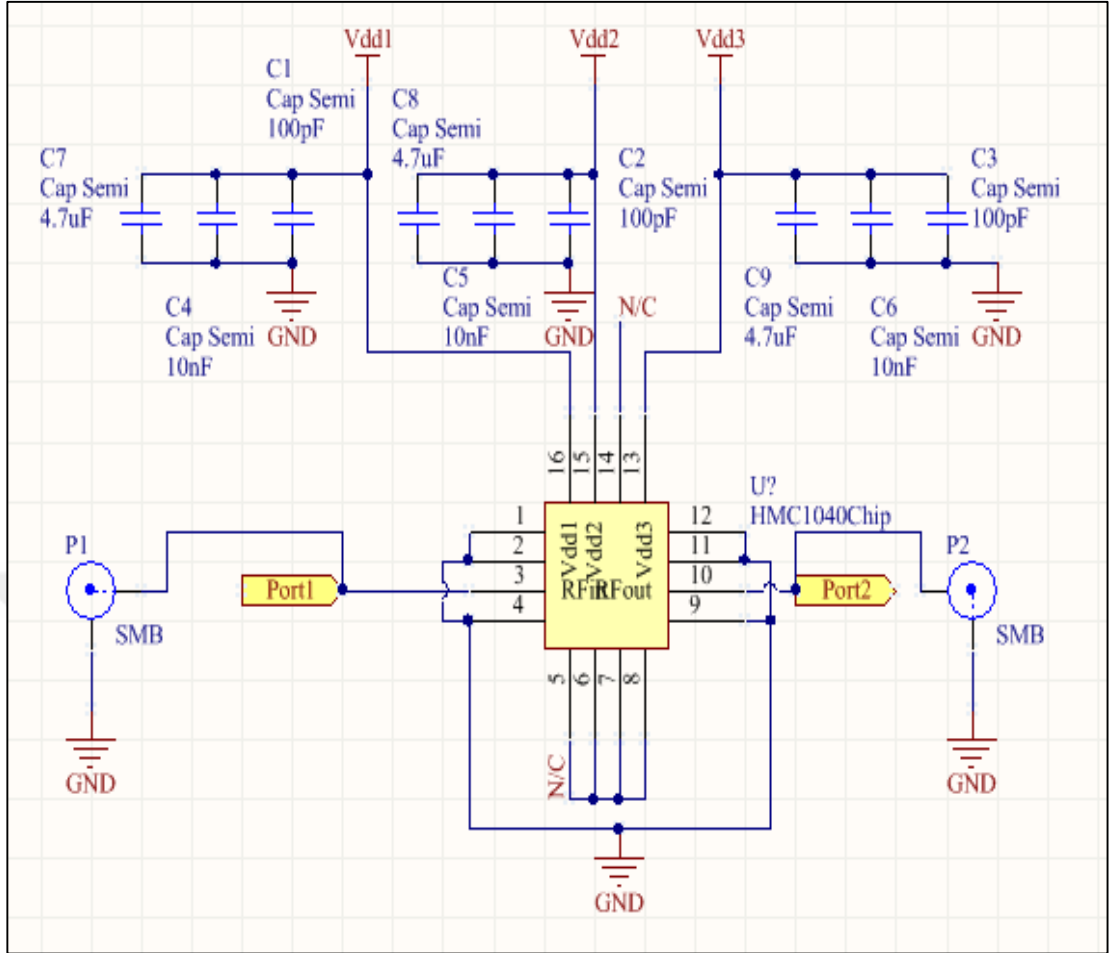
Şematik ve PCB kütüphanesi çip için oluşturulduktan sonra birbirine bağlanır ve asıl devre çizimine geçilir.

Bilgisayfasındaki şematik ve Altium Programı'nda çizilen şematik Şekil 8.21.'de verilmiştir.



(a)

Şekil 8.22. (a) Çipin bilgisayarfasında yer alan şematik (b) Altium Programı'nda oluşturulan şematik



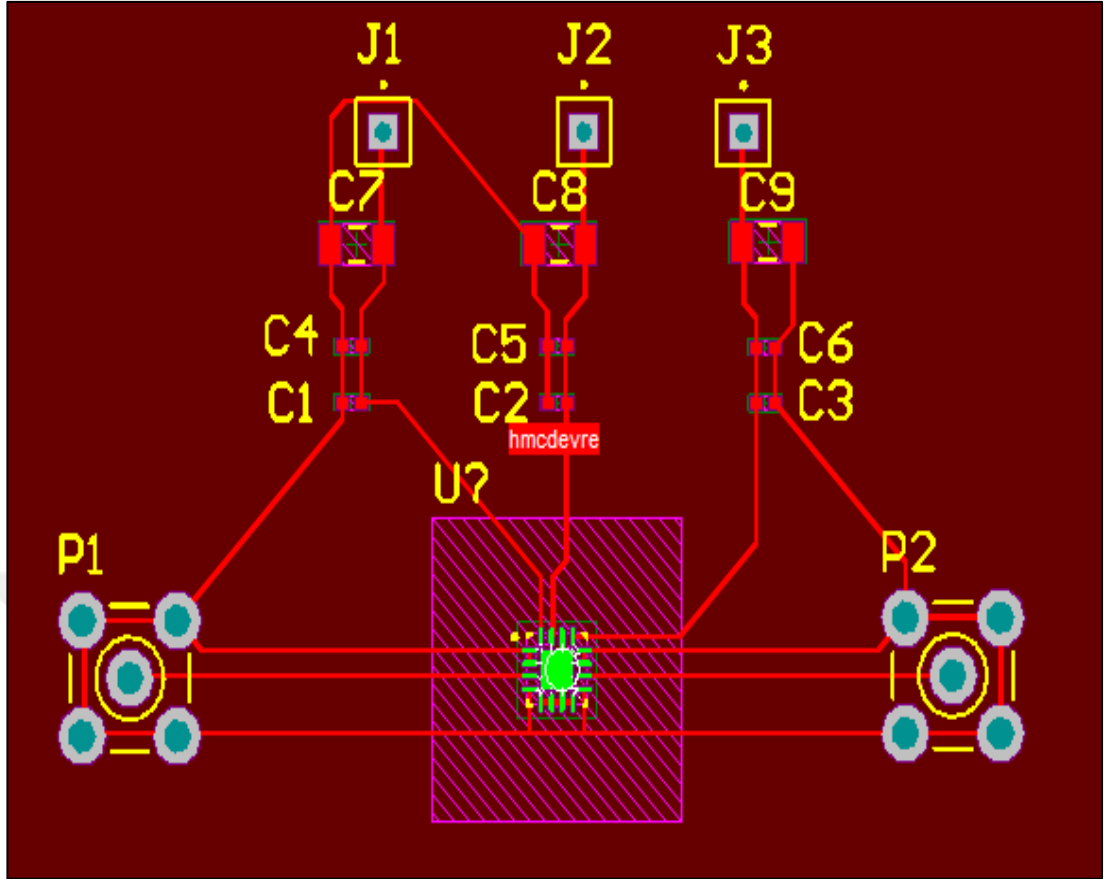
(b)

Şekil 8.23. (Devam) (a) Çipin bilgisayfasında yer alan şematik (b) Altium Programı'nda oluşturulan şematik

Kapasitelerden C1-C6 402 kılıf, C7-C9 1206 kılıftır.

Voltaj değerleri (Vdd) 2,4 V ve P1, P2 konnektörleri 2,92 mm bağlantı elemanlarıdır.

Şekil 8.22.'de Altium Programı'nda oluşturulan ilk PCB devresi çizimi görülmektedir.



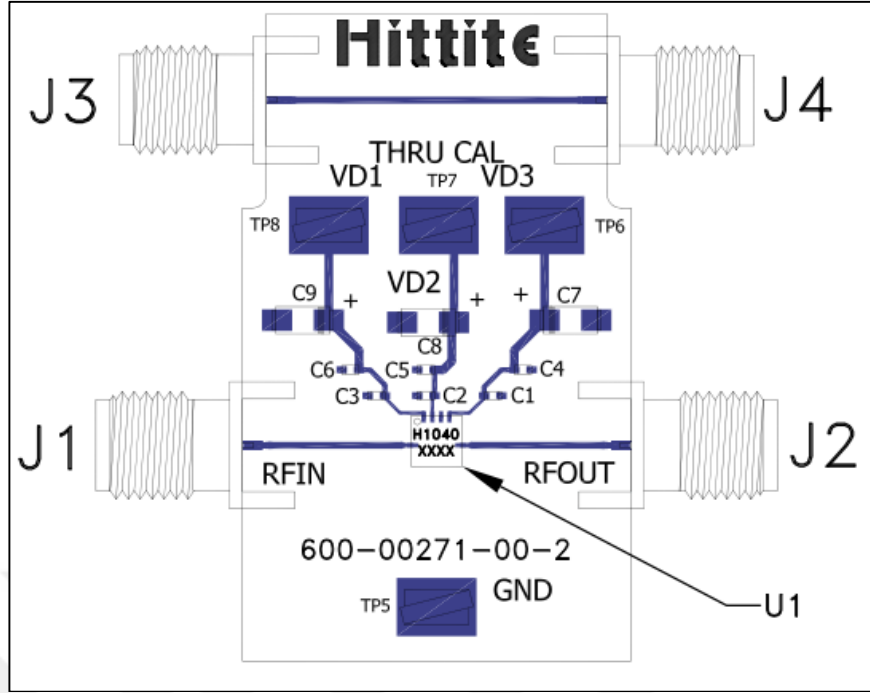
Şekil 8.24. Altium Programı'nda oluşturulan ilk PCB devresi çizimi

Hittite Firması'nın çip ile ilgili bilgisayarfasında yer alan ve diğer devre elemanlarını da içinde barındıran PCB devresi Şekil 8.23.'te verilmiştir.

Çipin satış ücreti (2018 yılı 2. yarısı için; 1 dolar = 5 TL) 180 TL (36 dolar) civarındaydı.

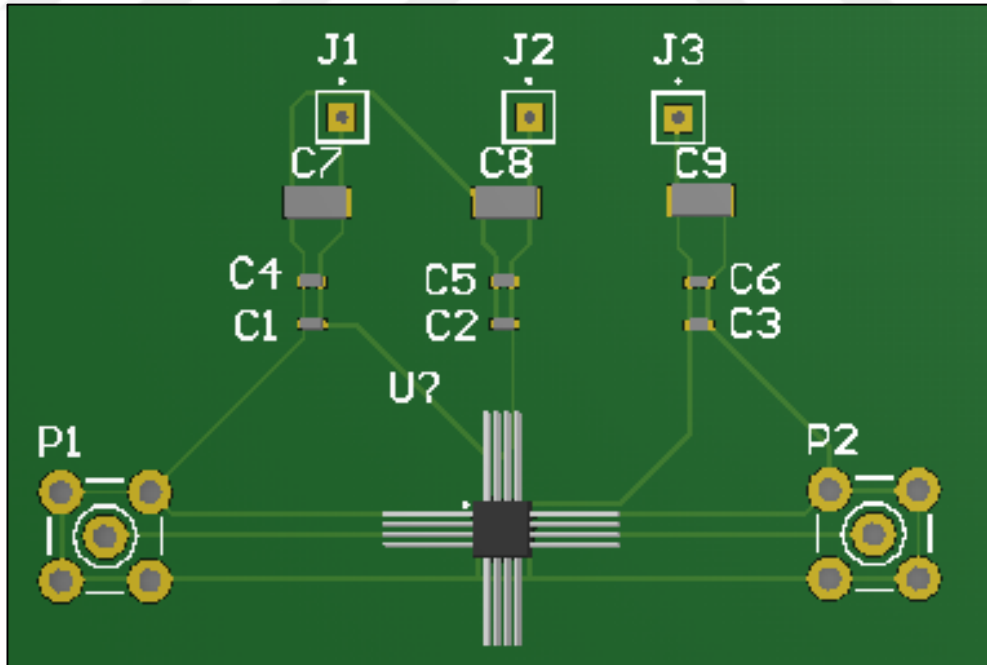
Analog Devices Firması çipi ve 8. 21. (a)'da verilen devresi ile beraber hazır halde de satmaktadır.

Çipi ve Şekil 8.21. (a)'da verilen devresi ile beraber hazır halde sunulan satış ücreti ise 2500 TL'ye (500 dolar) kadar çıkmaktadır. Ancak; tabiki amacımız hazır devreyi almaktan ziyade, 35 GHz frekansında çalışacak olan radyometrik alıcının, önemli parçalarından olan LNA devresini, sadece çipini alarak yapmaktır.



Şekil 8.25. HMC1040LP3CE çipinin bilgisayfasındaki PCB devresi

Altium Programı'nda çizilen devrenin ilk PCB devresinin üzerine devre elemanları yerleştirilmiş hali Şekil 8.24.'te verilmiştir.

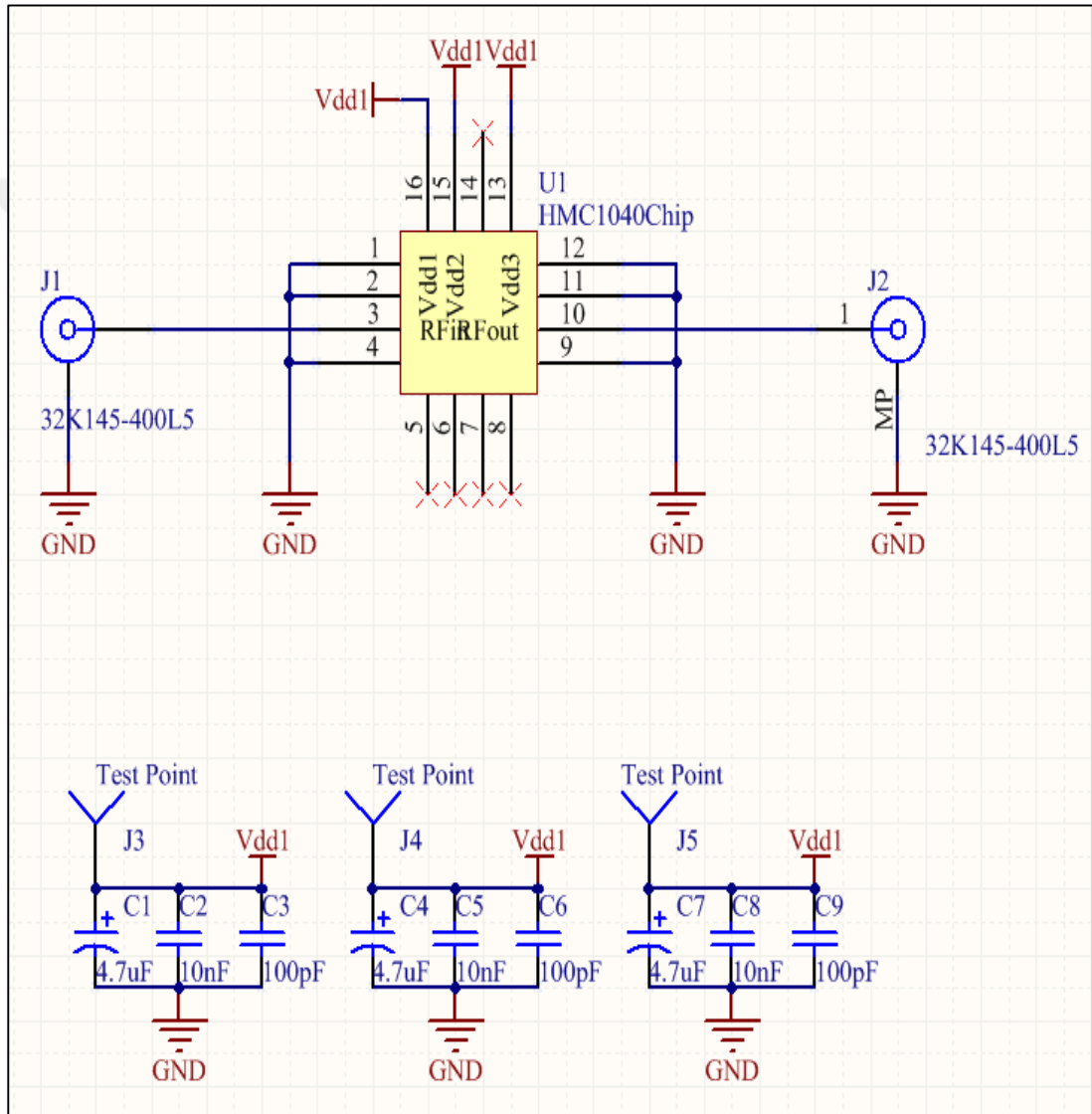


Şekil 8.26. Altium Programı'nda oluşturulan devrenin ilk PCB devresinin üzerine devre elemanlarının yerleştirilmiş hali

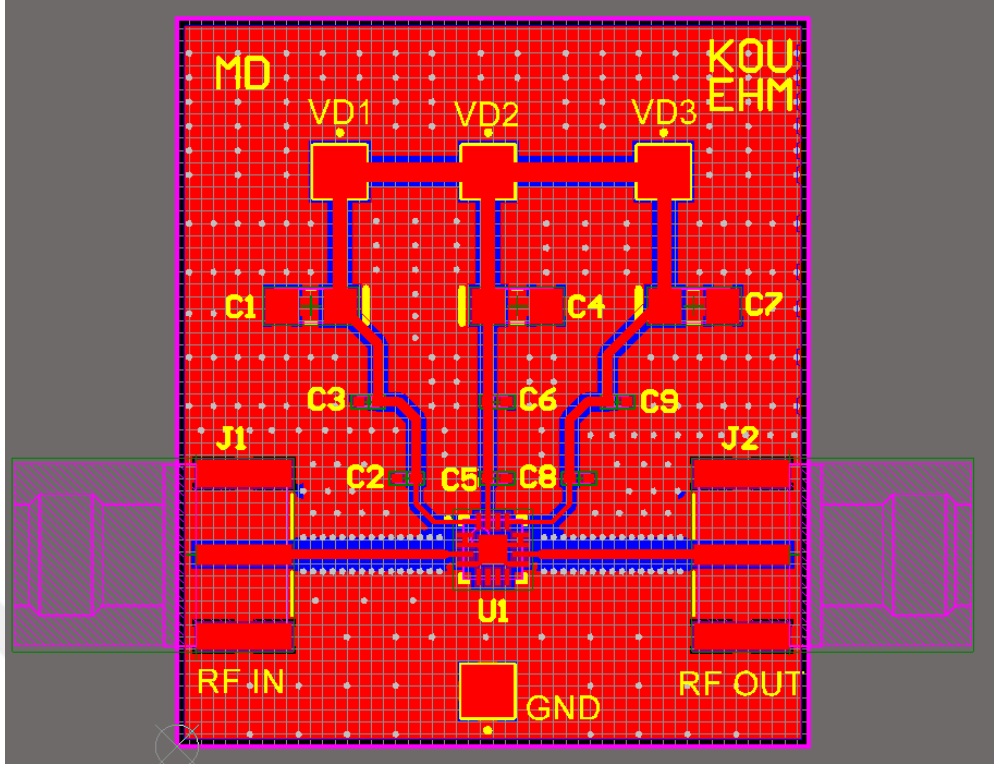


HMC1040LP3CE çipi kullanılarak oluşturulan ve 35 GHz frekansında çalışan LNA devresinin toprak kısımlarının genişletilmiş, konnektörlerinin de sola ve sağa bağlantısının yapılmış ve devre hatlarının boyutlarına dikkat edilerek çizilmiş son halleri, şematik ve PCB devresi olarak; sırasıyla Şekil 8.25. ve Şekil 8.26.'da verilmiştir.

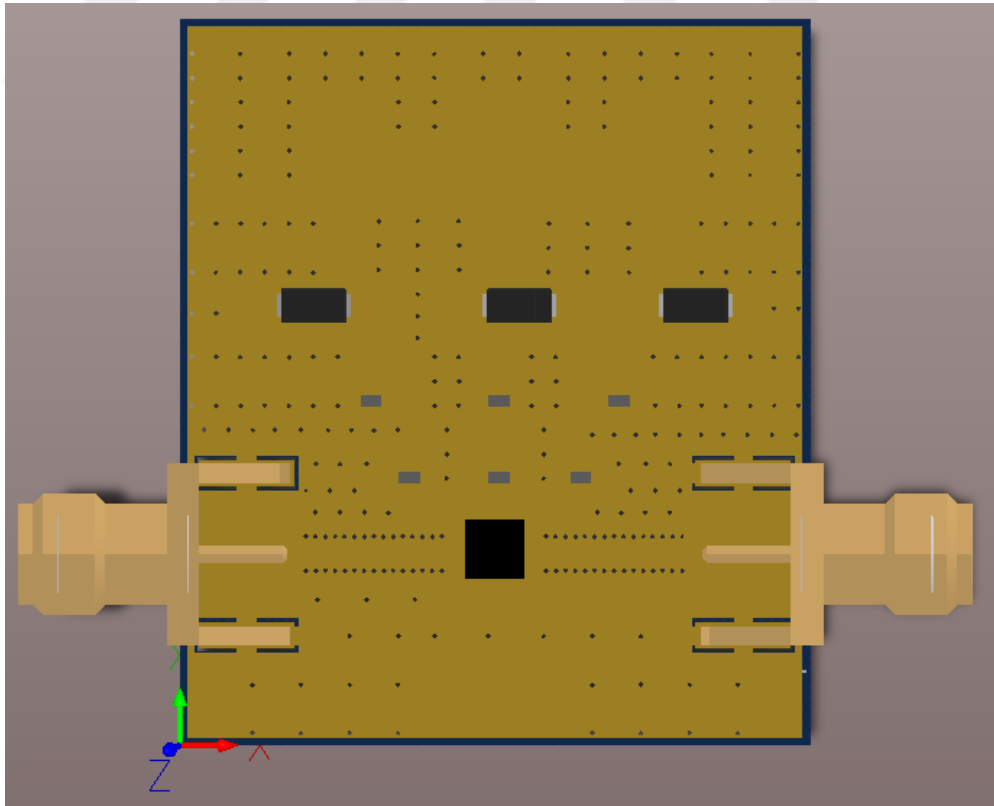
Şekil 8.27.'de ise 3 boyutlu PCB devresi verilmiştir.



Şekil 8.27. Altium Programı'nda oluşturulan son versiyonun şematik devresi



Şekil 8.28. Altium Programı'nda oluşturulan son versiyonun PCB devresi



Şekil 8.29. Altium Programı'nda oluşturulan son versiyon PCB devresinin 3 boyutlu olarak üstten görünüşü

Devre tasarımı yapılırken yol kalınlıklarına dikkat edilmiştir. Çipin bacaklarına giderken yollar küçültülmüş, 2,92 mm konnektöre giderken yollar büyütülmüştür. Geri kalan yollar en az kayıp olacak şekilde bilgisayarfası ve 'TXLine Programı'na göre anahat empedans değerinin 50 ohm olmasına özen gösterilecek şekilde belirlenmiştir.

Konnektör girişleri kalınlaştırılmış, çip girişi ise inceltilmiştir. Bunun nedeni; parçaların kolayca lehimlenebilmesidir.

Çipin üst kısmında değeri 100 pF olan kapasiteler (C2, C5, C8), çipin yük dengesini sağlayan kapasitelerdir ve çipe çok yakın konuşlandırılmak durumundadırlar.

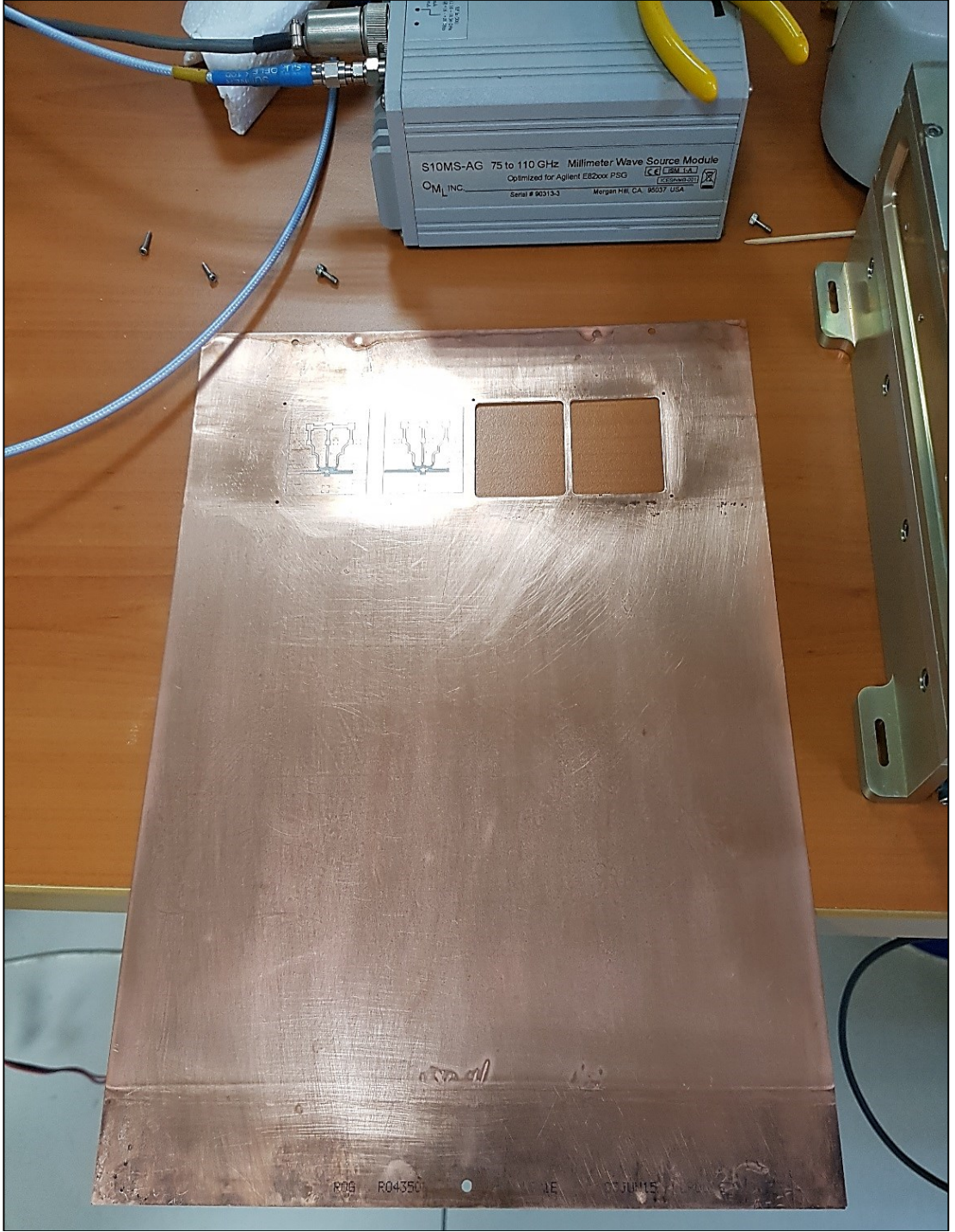
Tantalum kapasiteler ise güç kaynağına yakın olmak zorundadırlar.

### **8.2.2. TÜBİTAK MİLTAL'de LNA imalatı**

Yukarıda tasarımı yapılan devrenin elemanlarının devreye dizimi TÜBİTAK MİLTAL alt yapısı kullanılarak beraberce yapılmıştır.

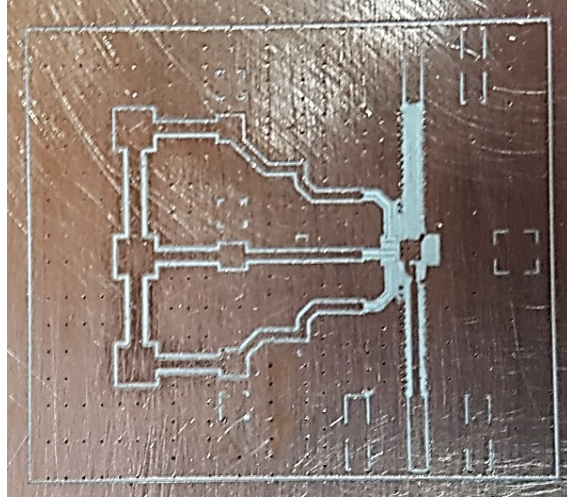
Baskı devre hali (PCB – Printed Circuit Board) Altium Programı'nda tasarlanıp TÜBİTAK'a çizimleri gönderilen LNA devresi, bilgisayarfasındaki gereksinimlere uygun olarak Rogers 4350 baskı devre bakır kartına basılmıştır.

Şekil 8.28.'de baskı devreler verilmiştir. 2 adeti kesilip çıkarılmıştır, 2 adeti ise henüz kart üzerindedir.



Şekil 8.30. Baskı devre kartındaki LNA'nın görüntüsü

Basılan tek bir LNA'nın görüntüsü Şekil 8.29.'da verilmiştir.



Şekil 8.31. Basımı yapılan tek bir LNA'nın görüntüsü

Şekil 8.30.'da LNA kartına HMC1040LP3CE çipi entegre edilmektedir. Malzemeler çok hassas ve küçük olduğu için oldukça dikkatli bir şekilde yerleştirme yapmak gerekmektedir.



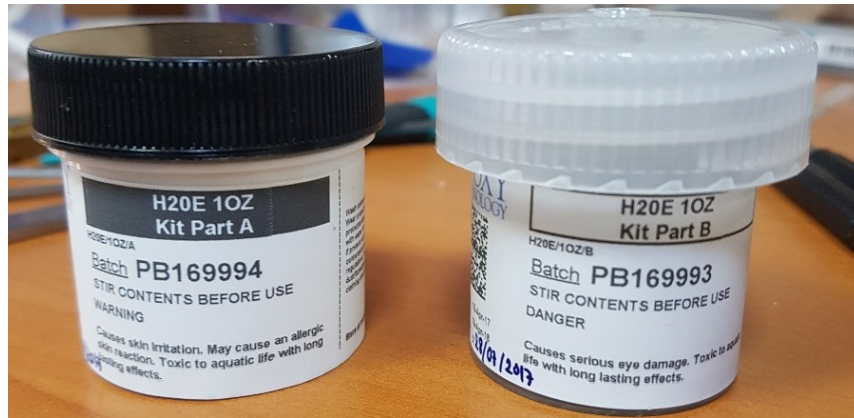
Şekil 8.32. HMC1040LP3CE çipinin entegre edilmesi

Çip bağlantısı yapılan LNA'nın görüntüsü Şekil 8.31.'de verilmiştir.



Şekil 8.33. LNA'nın ve çipin görüntüsü

Çipin lehimlemesi yapılırken kullanılan kimyasal malzemeler Şekil 8.32.'de verilmiştir. Şekil 8.33.'te ise lehim yapılırken faydalanılan büyüteç verilmiştir.



Şekil 8.34. Lehim amacıyla kullanılan kimyasal malzemeler



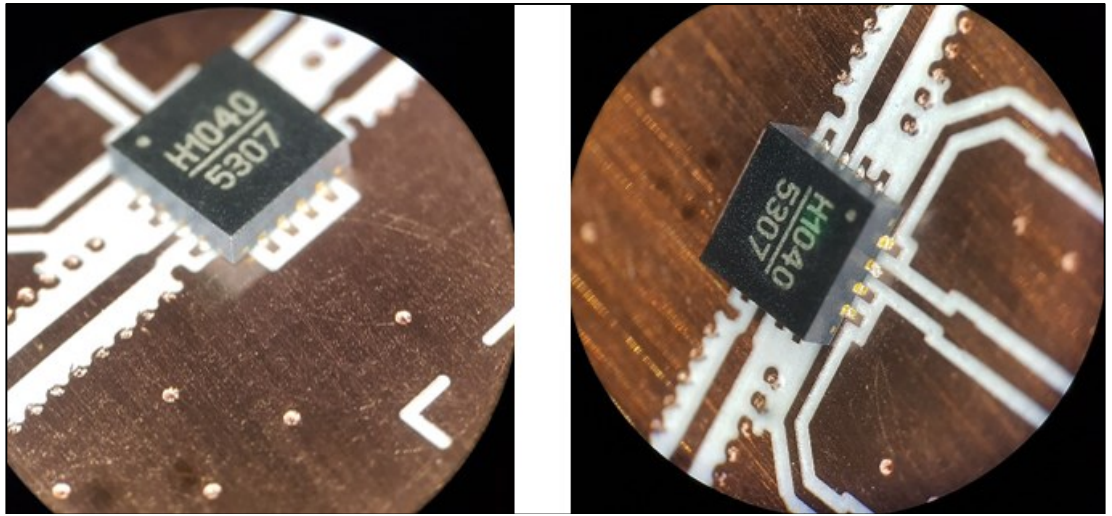
Şekil 8.35. Çipin bağlantısı yaparken kullanılan büyüteç

Kartın en önemli malzemesi olan çipin bağlantısı yapıldıktan sonra, elektronik büyüteç ile kontrol işlemi de yapılır.

Şekil 8.34.'te elektronik büyüteç ve Şekil 8.35.'te bu elektronik büyüteç sayesinde elde edilen LNA görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8.36. Kontrol amaçlı kullanılan elektronik büyüteç



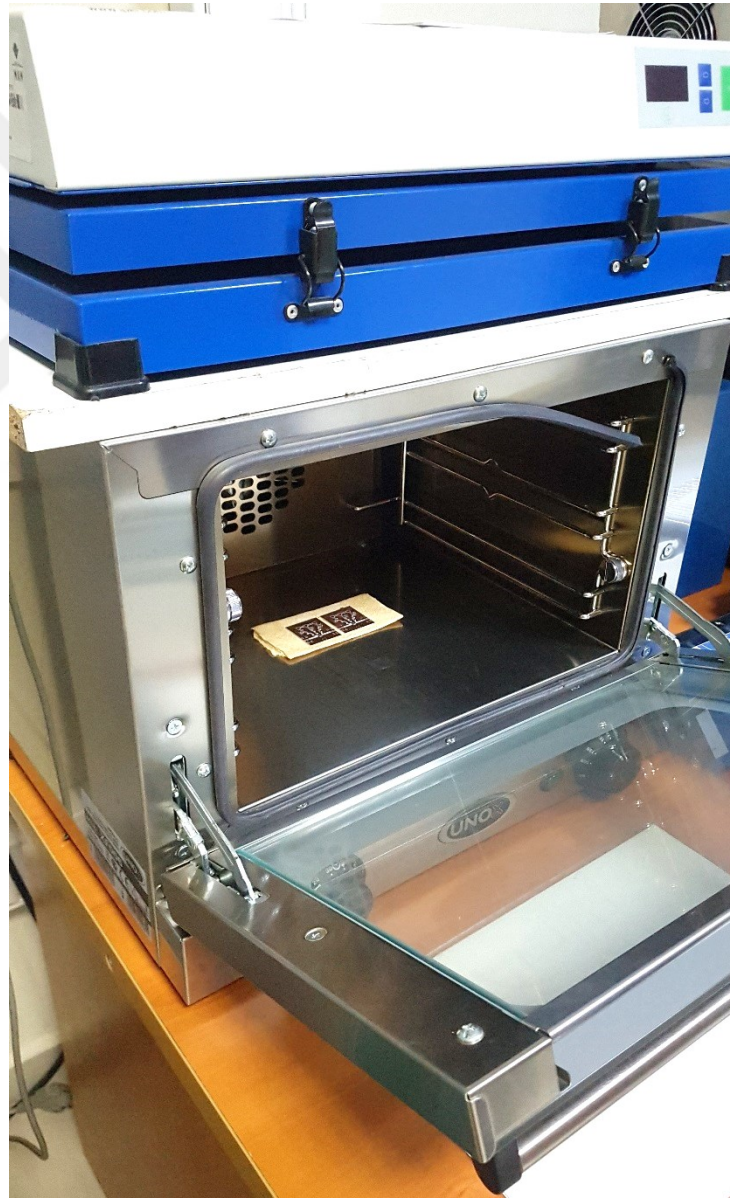
Şekil 8.37. Elektronik büyüteç ile LNA'nın iki farklı yönden elde edilen görüntüleri



Elektronik büyütecin amacı çip bacaklarının devre kartında doğru yerlere lehimlenip lehimlenmediğinin test edilmesidir. Elektronik büyüteç eğimli olarak büyütme yapmaktadır. Dolayısıyla; çipin bacakları daha net görülebilmektedir.

Çip lehiminden sonra kapasitörlerin lehimine geçilir. Her bir LNA için 9 adet kapasite lehimlenir.

Bir sonraki aşama fırınlama aşamasıdır. Lehimlemelerin tamamlanması için 30 dk fırında kurutma yapılır. Şekil 8.36.'da fırına sürülen LNA devreleri gösterilmiştir.



(a)

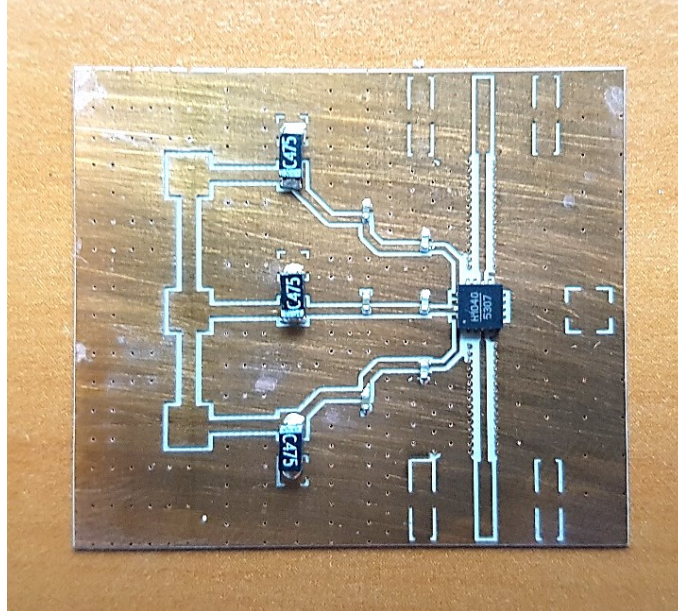
Şekil 8.38. (a) Kuruması için fırına verilen LNA devreleri (b) Fırının içinden bir görüntü



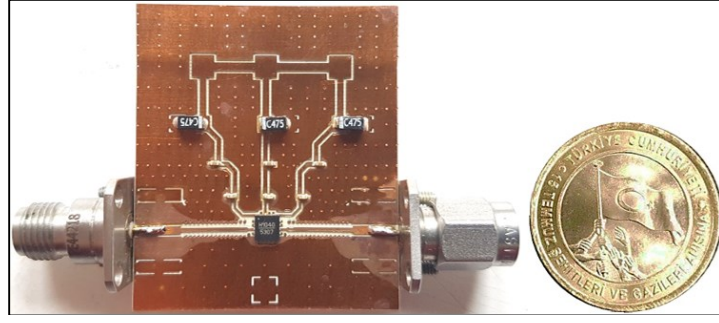
(b)

Şekil 8.39. (Devam) (a) Kuruması için fırına verilen LNA devreleri (b) Fırının içinden bir görüntü

Fırından çıkartılan LNA devresine ait görüntü Şekil 8.37.'de verilmiştir. Besleme, toprak ve 2,92 mm konnektör bağlantıları yapılmak üzere bir sonraki aşamaya geçilir.



Şekil 8.40. Çip ve kapasite bağlantıları yapılan LNA

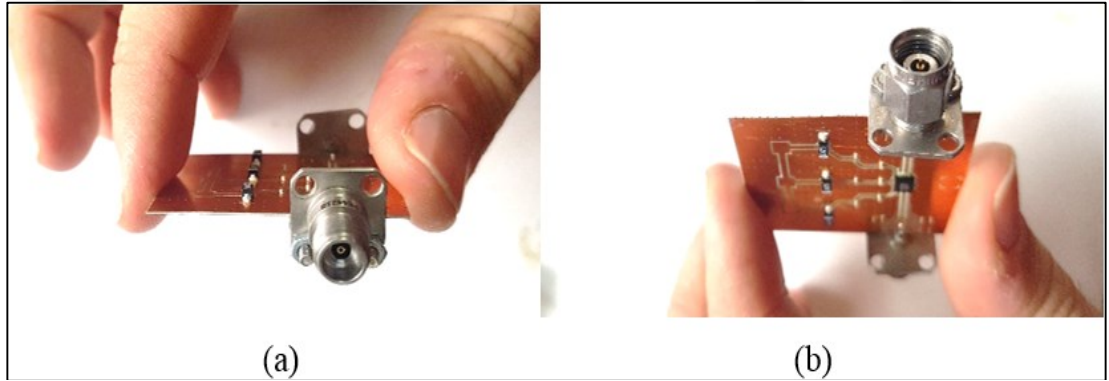


Şekil 8.41. Erkek ve dişi 2,92 mm konnektör bağlantıları yapılan LNA ve 1 Türk Lirası (TL (₺))

Şekil 8.38.'de sol taraftaki konnektör dişi, sağ taraftaki konnektör erkektir. Kart boyutları 3,2 cm eninde ve 3,7 cm boyundadır. Bu konnektörler daha net olarak Şekil 8.39.'da gösterilmiştir.

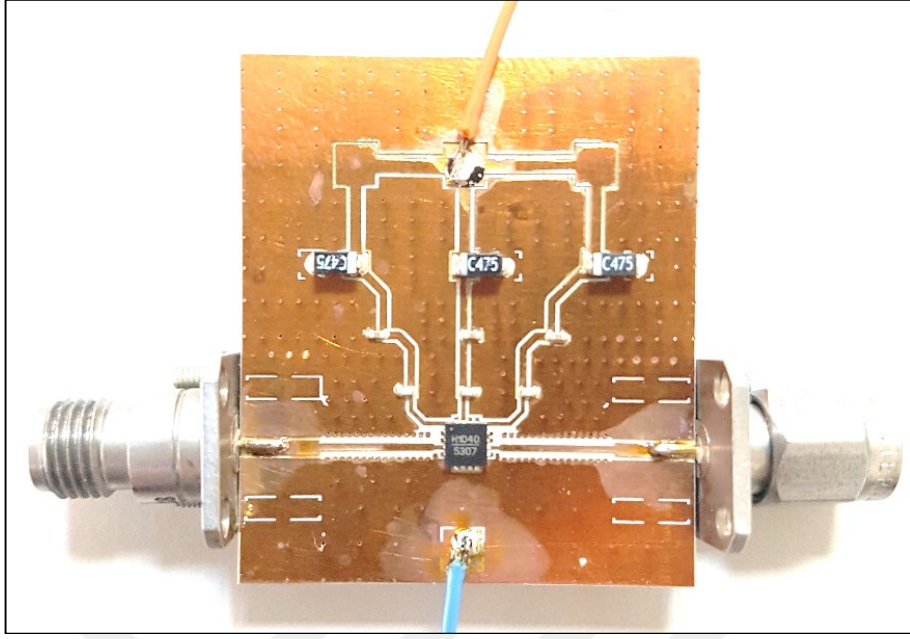
Üretilirken bu şekilde tasarlanmasının amacı; sol taraftan erkek uçlu radyometrik alıcının anteninin eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının girecek olmasıdır.

Sağ taraf ise girişi dişi uçlu olarak tasarlanacak olan dedektöre bağlanacaktır, bu sebeple; erkek olarak yapılmıştır.



Şekil 8.42. (a) Sol (b) Sağ konnektörler

Şekil 8.40.'ta besleme ve toprak bağlantıları yapılmıştır.



Şekil 8.43. Tüm bağlantılarıyla hazır olan LNA

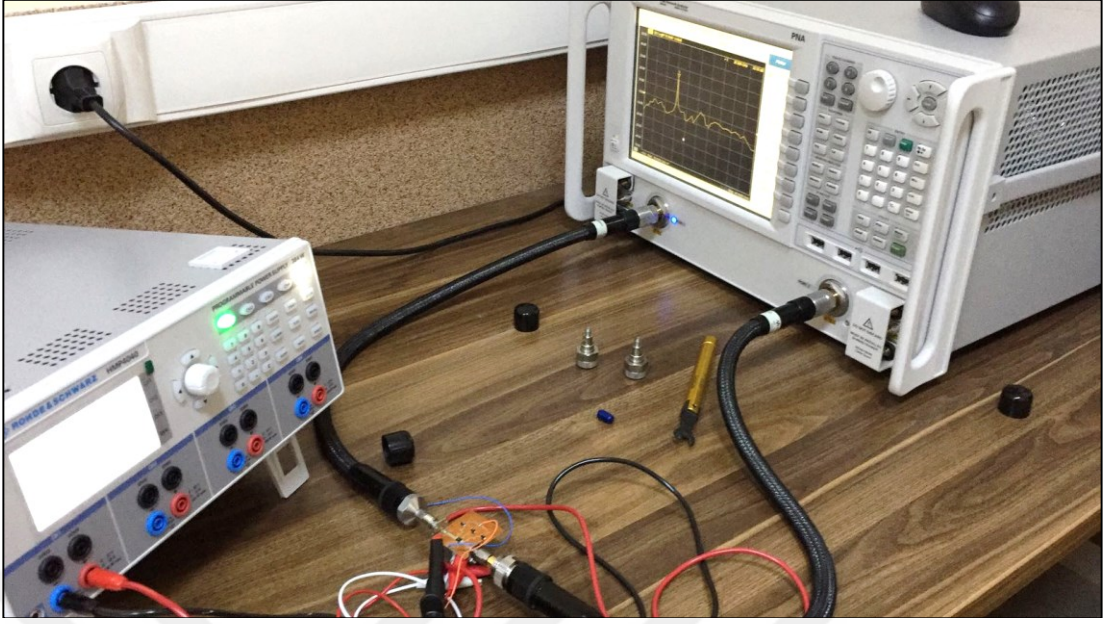
### 8.2.3. Laboratuvarında Vektör Network Analizör (VNA) ile LNA ölçümü

VNA bağlantısı yapmak için Şekil 8.41.'de gösterilen 35 GHz frekansını destekleyen kabloya ihtiyaç vardır.



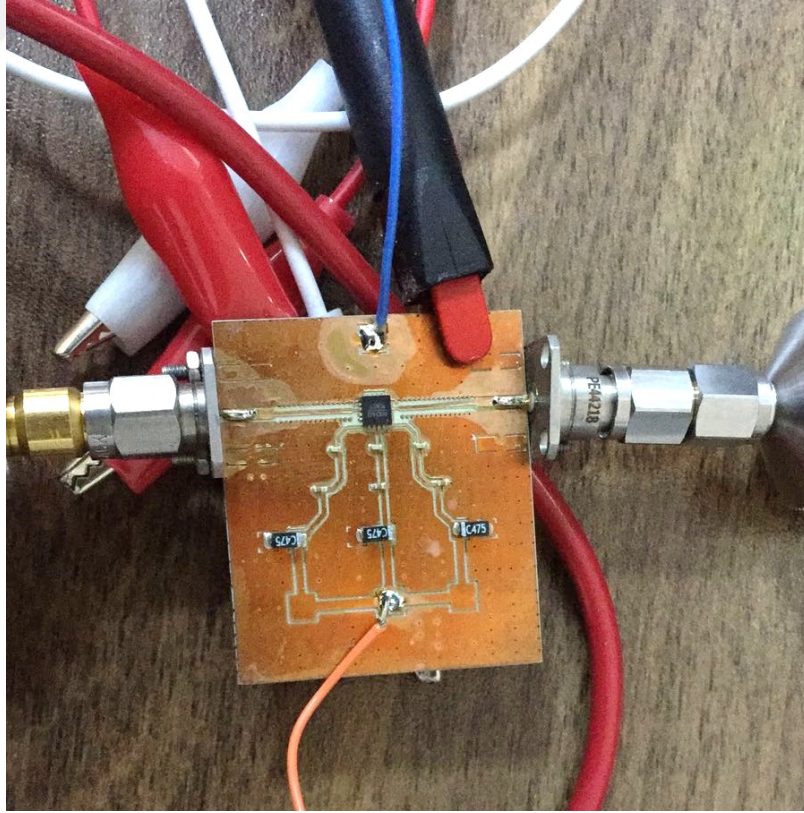
Şekil 8.44. VNA bağlantı kablosu

Şekil 8.42.'de güç kaynağı ve VNA bağlantısı yapılan LNA devresinin ölçüm görüntüsü verilmiştir. LNA devresi, cihazların ve kabloların arasında çok küçük bir devre olarak fotoğrafta yerini almıştır.



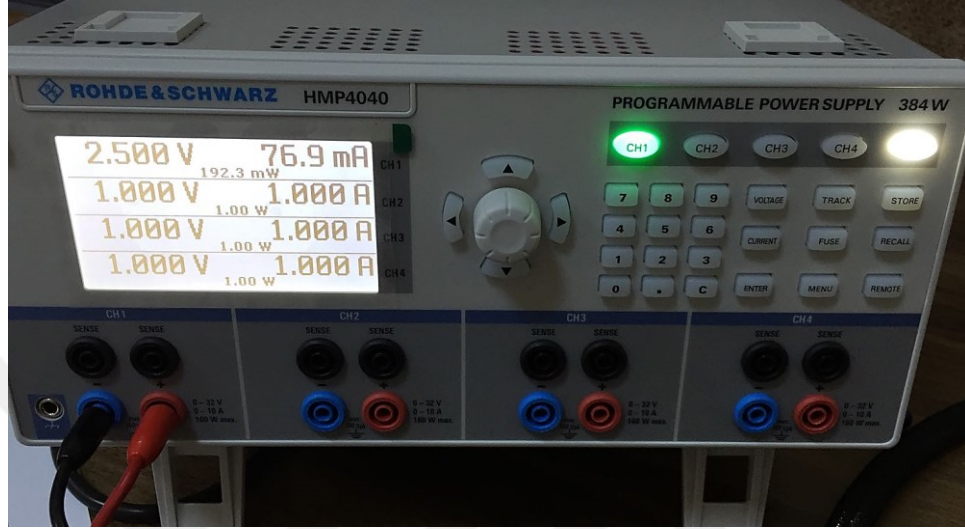
Şekil 8.45. Ölçüm görüntüsü

Güç kaynağı ve VNA bağlantısı yapılan LNA devresinin, daha yakından verilen görüntüsü Şekil 8.43.'tedir.



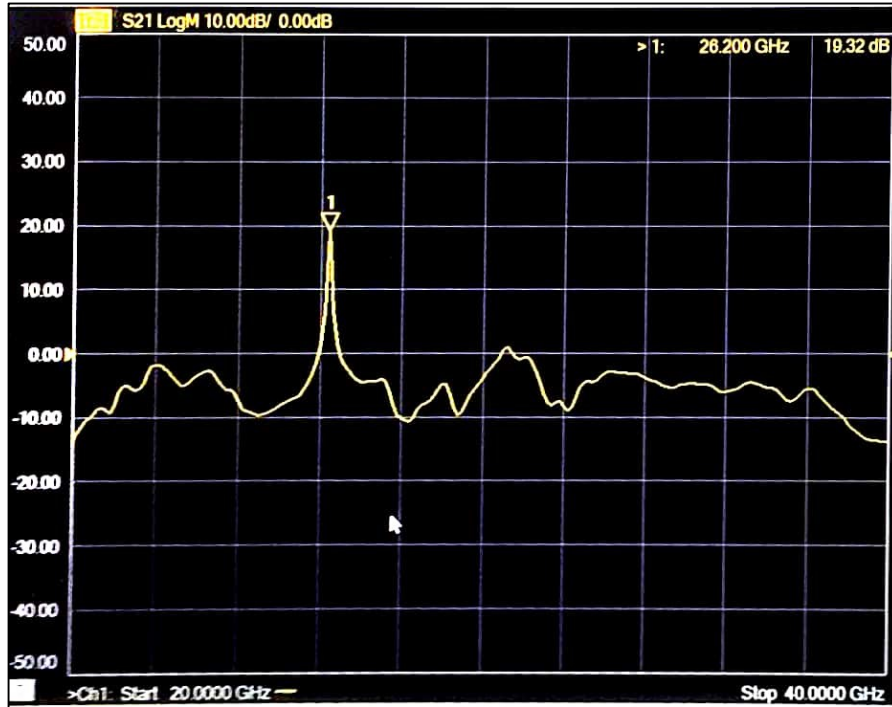
Şekil 8.46. Güç kaynağı ve VNA bağlantısı yapılan LNA

Devreye verilen gerilim ve devrenin çektiği akım Şekil 8.44.'te güç kaynağı üzerinden gösterilerek aktarılmıştır. Devre, bilgisayarfası verilerine uygun bir şekilde 2,5 V ile beslenmiş ve yine bilgisayarfasında verilen akım değerlerine (tipik 70 mA, maks. 80 mA, Tablo 8.2.) yakın bir akım çekmiştir, 76,9 mA.



Şekil 8.47. Güç kaynağı ile verilen gerilim ve kaynaktan çekilen akım

Vektör network analizörü (VNA) ekranından elde edilen grafik Şekil 8.45.'te verilmiştir. Grafik  $S_{21}$  (kazanç) değerini göstermektedir.



Şekil 8.48. VNA ekranındaki  $S_{21}$  (kazanç) grafiğinin görüntüsü

Firmanın, bilgisayfasında verdiği grafiğe göre (Şekil 8.17.); çip, çalışma frekans aralığında (18 GHz – 45 GHz), 18 dB ile 28 dB arasında değişen, geniş bantlı bir kazanç vermektedir. Ölçümde ise; yalnızca 26,2 GHz keskin frekansında 19,32 dB değerine sahip bir kazanç değeri elde edildi. Bu beklenmedik durumun sebepleri şu şekilde tartışılabilir:

İlk olarak; Rogers 4350 ( $\epsilon_r=3,66$ ) alt taşının çok esnek ve ince olmasından dolayı; özellikle; 2,92 mm konnektörlerinin, devre elemanlarının ve devre yollarının ince olmasından kaynaklı karta tutunma zorluklarının bulunması ve karttan kalkmalarıdır. Bu durumu önlemek için kartın önce sert bir zemine monte edilmesiyle konnektörlerin oraya bağlanmaları gerçekeştirilebilir. Dolayısıyla; kartın bükülmemesi sağlanabilecektir. İkinci olarak; devre yollarının değişken kalınlıklarda olması bir empedans uyumsuzluğu getirmiş olabilir. Bu iki sebepten keskin bir frekans haricinde kazancın elde edilemediği düşünölmektedir. Ayrıca; bilgisayfasında önerilen devredeki through (doğrudan, kesintisiz) kalibrasyon yolunun devreye eklenmemiş olması nedeniyle; empedans uyumu hakkında bir ölçüm yapılamamıştır. Bu yolun olmaması, elde edilen sinyalin hat üzerinden geçip geçemeyeceğinin test edilememesine neden olmuştur. Devre elemanlarının yoldan kalkması ve tekrar laboratuvar olanaklarının kullanılamaması devrede bir yenileme yapılmasına müsaade etmemiştir.

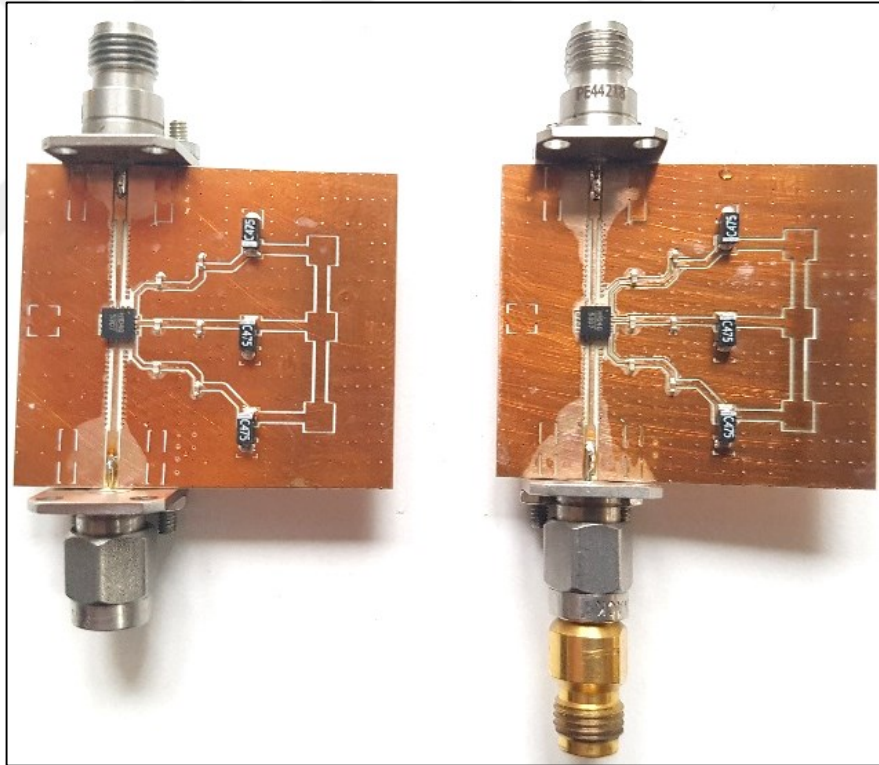
İlerideki zamanlarda; 35 GHz frekansında çalışan LNA'nın gerçekeştirilmesinde, TÜBİTAK MİLTAL'de kullanılmakta olan büyüteçler ve fırının MİLTEK Laboratuvarı'na dahil edilmesi ve devrelerin kendi olanaklarımızla yapılması durumunda daha iyi sonuçlara varılacağı düşünölmektedir. Ancak LNA; 35 GHz frekansında kullanılmayıp 26,2 GHz frekansında kullanılmak istenirse bu devre rahatlıkla hizmet verebilecektir.

PMMDGS'yi oluşturan elemanlardan LNA'yı antene ve dedektöre bağlarken kullanılabilir bağlantı tipleri (konnektörden konnektöre veya dalga kılavuzundan konnektöre) tartışılarak "The Connection Types to Minimize Loss of Gain Between Low Noise Amplifier and Antenna" başlıklı 1 adet uluslararası bildiri '3. International Organic Electronic Material Technologies (OEMT)' adlı konferansta sunulmuştur [49].

#### 8.2.4. Kaskad LNA

Bir PMMDGS'nde antenden algılanan sinyal o kadar düşüktür ki, ancak; birden fazla LNA devresinin art arda bağlanması (kaskad yapı) sayesinde kazancın yükseltilmesiyle görüntünün elde edilmesi mümkün olur. Bu amaçla; yukarıdaki LNA tasarımı baz alınarak kaskad yapı, 2, 3 veya 4 adet LNA'nın art arda bağlanmasıyla aşağıda anlatılan iki yolla yapılabilir. İlki, birkaç LNA'nın konnektörlerle art arda bağlanmasıyla, diğeri ise; LNA'ların tek bir kartta birbirine bağlanmasıyla. Bu şekilde; kazanç artırma yoluna gidilebilir. Şekil 8.46.'da kaskad bağlanmaya hazır 2 adet LNA verilmiştir.

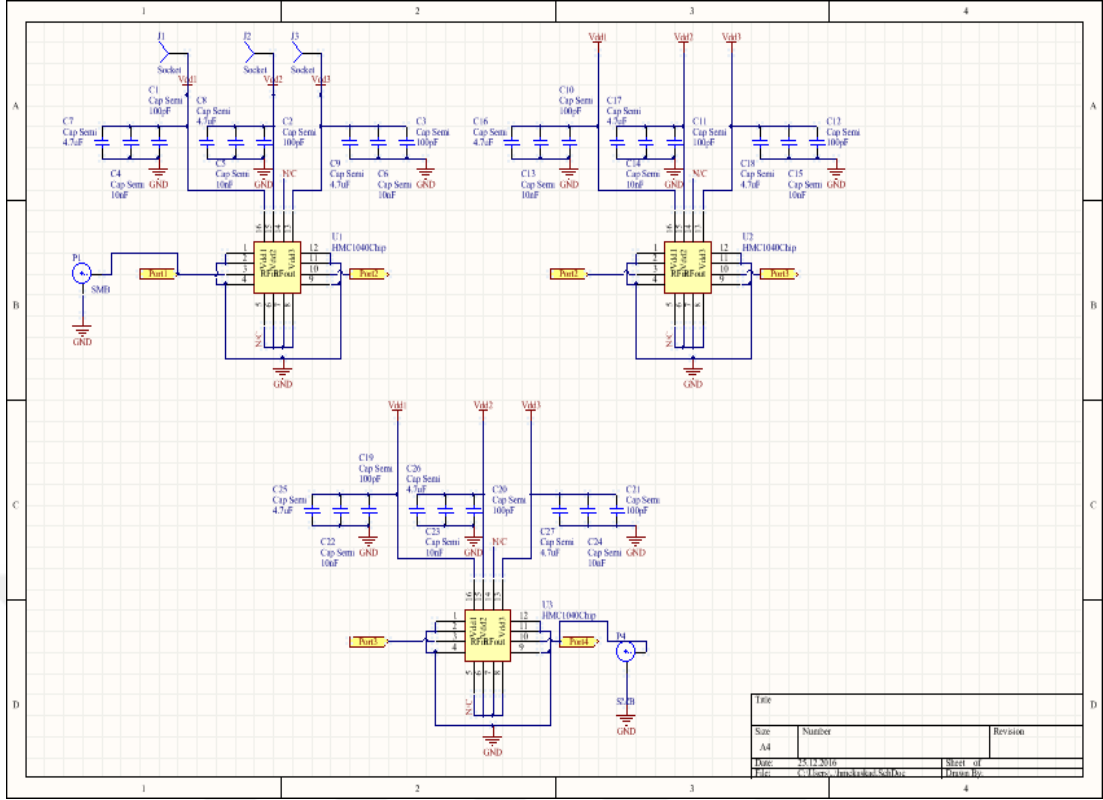
Bu aşamadan sonra birleştirilmiş ve kazancı artırılmış kaskad LNA yapısı dedektör devresine bağlanabilir.



Şekil 8.49. Kaskad bağlanmaya hazır 2 adet LNA devresi

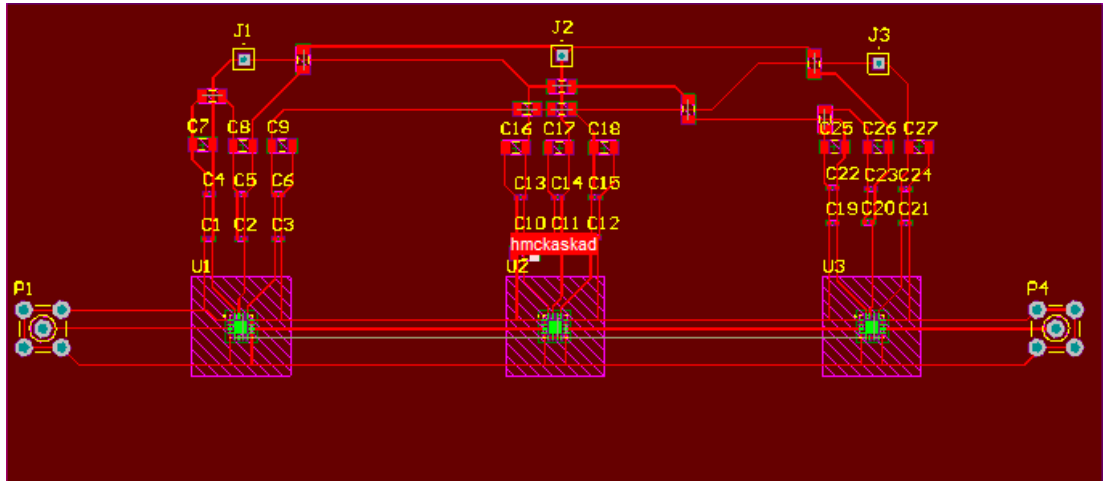
Şekil 8.47.'de, tek kartta tasarlanmış 3 LNA'lı kaskad devre şematiği verilmiştir. Tek kart yapısı sayesinde; her bir LNA'nın konnektörle bağlanıldığı durumdaki konnektör kayıplarının önüne geçilmiş olunur.





Şekil 8.50. Altium Programı'nda oluşturulan kaskad yapılı LNA şematik devresi

Şekil 8.48.'de, 3 adet LNA'nın kaskad bağlandığı devre PCB olarak verilmiştir. Tasarlanan bu kaskad devre, tekil LNA'nın yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı; istenilen frekansta çalışmaması üzerine üretilmemiştir.



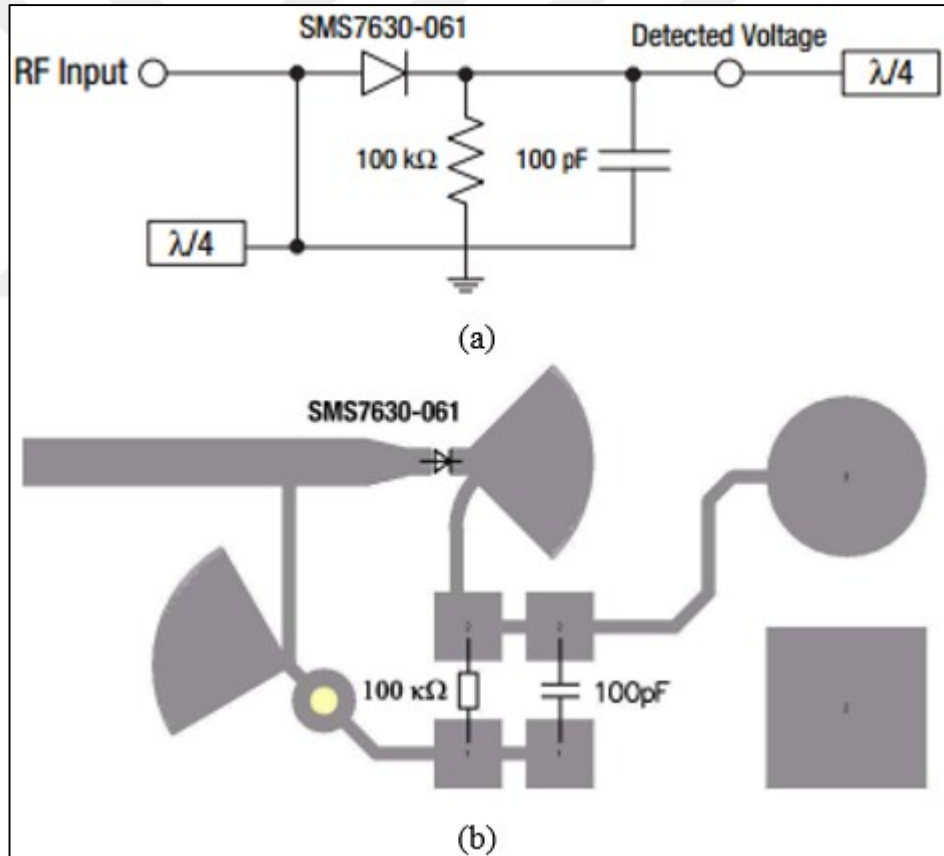
Şekil 8.51. Altium Programı'nda oluşturulan kaskad yapılı LNA PCB devresi

Piyasada kutulanmış, hazır Ka bant LNA'lar satılmaktadır. Dalga kılavuzu girişli – çıkışlı olan bu yapılardan Quinstar Firması'nın ürettiği LNA'nın özellikleri Ek-E'de verilmiştir. Ancak fiyatları çok yüksek olduğu için ve iç yapısına müdahale etmek

mümkün olmadığı için yerli tasarıma gidilmiştir. LNA tasarımında bir başka yol ise boyutları aşırı küçük olan, ancak nano teknolojilerle karta monte edilebilecek MMIC tipi LNA'lardır. Bununla ilgili bilgiler de Ek-E'de verilmiştir.

### 8.3. 35 GHz Frekansında Çalışan Dedektör için Gerçekleştirilen Ön Çalışmalar

Bir PMMDGS'nde kaskad LNA'larla yükseltilecek giriş sinyali bir dedektör tarafından doğrultulur. Bu dedektörün seçimi ile ilgili bir çalışma yapılmış ve Türkiye'deki MPLus Firması'ndan SMS7630\_061 [59] ve DMK2790\_000 [60] model dedektörleri tedarik edilmiştir. Bu iki dedektörden boyut olarak devreye daha kolay monte edilebileceği düşünülen SMS7630\_061 dedektörünün bilgisayarda verilen uygulama devre şeması ve PCB devresi sırasıyla Şekil 8.49.'da verilmiştir.



Şekil 8.52. SMS7630-061 dedektörünün bilgisayarda verilen uygulama devre (a) Şeması (b) PCB'si

İlk etapta dedektör devresinin ve LNA devresinin ayrı ayrı basılıp konnektörlerle birleştirilerek denenmesi daha sonra aynı PCB'ye basılması planlanmıştır. Bu şekilde; devreleri birbirine bağlayan konnektörlerden ve onların meydana getirdiği

kayıplardan kurtulunmuş olunacaktır. Aynı zamanda bu yolla boyut da küçülerek yekpare bir yapıya geçilebilmektedir.

Tasarlanacak olan bu dedektörün alçak geçiren filtreye ve video kuvvetlendiriciye bağlanması planlanmıştır. Video kuvvetlendiricinin çıkışı ise tarayıcı sistemdeki kontrol ünitesine bağlanacaktır.

Dedektörlerin temin edilmesine rağmen, LNA devrelerinin istenilen düzeyde geliştirilememiş olması ve zamansal kısıtlardan dolayı radyometrik alıcının dedektör katı gerçekleştirilememiştir.

Piyasada Quinstar Firması'nın dalga kılavuzu veya konnektör girişli – çıkışlı hazır dedektör ve alçak geçiren filtre ürünleri de mevcuttur. Bu ürünlerle ilgili bilgi Ek-E'de bulunmaktadır.

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında; PMMDGS'nden elde edilen görüntülerin analizinde ve algılanan sinyalin doğasının anlaşılmasından hareketle ilk önce karacisim ışması modellenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmış, ardından; PMMDGS'nin oluşturulması kapsamında faaliyetlerde bulunulmuştur. 96 GHz frekansında çalışan radyometrik alıcı tedariki, alıcının daha önceden tasarlanan parabolik yansıtıcı antene entegrasyonu ve donanım ve yazılımı bir partner firmadan satın alınmış tarayıcı sisteme dahil edilip çalıştırılması gerçekleştirilmiştir. Sistem bir araya getirildikten sonra Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan laboratuvarında (MİLTEK Laboratuvarı) birçok ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler neticesinde; karşıdaki senaryonun 96 GHz pasif milimetre dalga görüntüleri elde edilmiştir. Elimizdeki PMMDGS'nin dünyadaki örneklerine göre oldukça yüksek çözünürlükte (1190×890 piksel) olması elde edilen görüntülerin orijinalliğini sağlamıştır. Aynı zamanda; aynı senaryonun farklı çözünürlüklerdeki görüntüleri taranarak çeşitli analizler yapılmıştır.

Satın alınan 96 GHz'lik radyometrik alıcının yabancı bir ürün olması bizi yerli bir tasarıma yönlendirdi. İki adet milimetre dalga penceresi olan 35 GHz ve 96 GHz'lik pencerelerden 35 GHz frekansındaki pencerede çalışacak radyometrik alıcının devre elemanlarının daha ucuz ve yapımının daha kolay olmasından dolayı; ilk etapta bu frekansta tasarımların yapılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda bazı LNA tasarımları ve gerçeklemeleri yapılmıştır. Bu frekanstaki bir PMMDGS'ne ait LNA Türkiye'de ilk defa gerçekleştirilmektedir. Ancak; teknik imkansızlıklardan ve zaman kısıtlarından dolayı tasarlayıp gerçekleştirdiğimiz LNA, PMMDGS yapısı haline getirilemedi.

Bu sistemin; ileriki zamanlarda geliştirilmesi ve yeniliklerin eklenmesi sayesinde farklı alanlarda kullanılabilecek olması; helikopter, uçak, drone gibi hava taşıtlarına entegre edilerek kullanım alanının genişlemesi, pasif milimetre dalga projelerinin önemini ne denli yüksek olduğunu göstermektedir.

Bu tez sayesinde; pasif görüntüleme sistemlerinin ülkemizde de üretilebileceği ve akademik çalışmalara konu olabileceği gösterilmiştir.

Tez içerisinde, sadece pasif görüntüleme ile ilgili değil, bulunduğumuz konumdaki kalkış açısına göre gökyüzü sıcaklık profili de elde edilmiştir.

Nihayetinde; üretilmesi ve kullanılması sayesinde; ülkemizin güvenliğine ek katkı sağlayacak; üretilmesi ve satılması sayesinde ülkemizin ekonomisine destek olacak bir sistem geliştirilmiştir. Akademik alanda da farklı çalışmaların kapısı aralanmış ve hem aktif devre üretiminde hem de pasif sistem üretiminde, özellikle milimetre dalga boylarında çalışabilen sistemlerin gelişmesinde öncü olunmuştur.

Çalışılan PMMDGS'nin görüntü tarama hızı bu haliyle (tek alıcılı sistem) çok yavaştır. İleride, eğer 35 GHz'lik radyometrik alıcı başarıyla gerçekleştirilebilirse; 16, 32 veya 64 adet alıcının bir kama üzerine dizilerek parabolik yansıtıcı antenin önüne konulduğu bir boyutlu dizi tasarımıyla (ki bunun örnekleri literatürde vardır) sadece azimut ekseninde tarama yaptırılarak, tarama zamanı oldukça düşürülebilir hatta bir CCD optik alıcıda olduğu gibi 2 boyutlu bir dizi kullanılırsa; sistem ile gerçek zamanlı, senaryonun hareketli görüntülerinin elde edilmesi de mümkün olabilecektir.

Bu 2 boyutlu dizinin RF devrelerinin, MMIC'lere aktarılmasıyla da sistem çok daha küçülüp hafifleyecek ve sistemin drone gibi hava araçlarına entegre edilmesi mümkün olabilecektir.

Bu tezin finansmanı, tez sırasında yürütülmekte olan Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (KOÜ-BAP) kapsamındaki 2013/18 kodlu "Milimetre Dalga Görüntüleme Sistemi" projesi, Yüksek Öğrenim Kurumu (YÖK)'nun Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) ve TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu)'ın başarılı yüksek lisans öğrencilerine doktora öğrenimi gerçekleştirmesi için aktardığı 2228-B kodlu (2211 genel kodlu) doktora bursu ile sağlanmıştır.

Bu tezin finansal desteğinin alındığı, danışman hocamın yürütücülüğündeki KOÜ-BAP 2013/18 nolu proje kapsamında aynı zamanda MİLTEK Laboratuvarı'nın kurulması çalışmaları yürütülmüş ve bu çalışmalarda aktif olarak rol alınmıştır.

Laboratuvar ve proje hakkındaki bilgiler detaylıca Ek-F’de verilmiştir. Ayrıca; tez sırasında yine danışman hocamın yürüttüğü KOÜ-BAP 2014/06 “Mikrodalga / Milimetre Dalga Yansız Odasının Kurulumu” isimli proje kapsamında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’ne yapılmakta olan 3 metrelik, 900 MHz – 20 GHz aralığındaki bir yansız odanın kurulum çalışmalarına destek verilmiştir (Ek-G).



## KAYNAKLAR

- [1] Yujiri L., Shoucri M. and Moffa P., Passive Millimeter-Wave Imaging, *Microwave Magazine IEEE*, 2003, **4**(3), 39-50.
- [2] Appleby R., Anderton R. N., Millimeter-Wave and Submillimeter-Wave Imaging for Security and Surveillance, *Proceedings of the IEEE*, 2007, **95**(8), 1683-1690.
- [3] Vertiy A., Ozbek S., Pavlyuchenko A., Tekbas M., Kizilhan A., Cetinkaya H., Unal A., Panin S. B., Short and Long Range Passive Imaging in Millimeter-Wave-Band, *IEEE General Assembly and Scientific Symposium, XXX<sup>th</sup> URSI*, Ankara, 13-20 August 2011.
- [4] Vertiy A., Ozbek S., Pavlyuchenko A., Tekbas M., Kizilhan A., Cetinkaya H., Unal A. and Panin S. B., Passive Radiometric Imaging Systems in Millimeter Wavelength Range, *IEEE General Assembly and Scientific Symposium, XXX<sup>th</sup> URSI*, Ankara, 13-20 August 2011.
- [5] Zheng C., Yao X., Hu A., Miao J., A Passive Millimeter-Wave Imager Used for Concealed Weapon Detection, *Progress In Electromagnetics Research B*, 2013, **46**, 379-397.
- [6] Duixian L., Brian G., Ulrich P., Janusz G., *Advanced Millimeter-Wave Technologies, Antennas, Packaging and Circuits*, Wiley Publishing, New Jersey, 2009.
- [7] Bölükbaş D., RF İz Azaltım Teknikleri İleri Eğitim Sunumu, *Milli Savunma Bakanlığı, Savunma Sanayi ve Teknoloji Eğitim Merkezi Komutanlığı*, Çankaya, Ankara.
- [8] Denisov A., Gorishnyak V., Kuzmin S., Miklashevich V., Obolonskv V., Radzikhovsky V., Shevchuk B., Yshenko B., Uliz'ko V., Son J., Some Experiments Concerning Resolution of 32 Sensors Passive 8 mm Wave Imaging System, *20<sup>th</sup>. International Symposium on Space Terahertz Technology (ISSTT) (National Radio Astronomy Observatory)*, Virginia, 20-22 April 2009.
- [9] David J. D., *EM Detection of Concealed Targets*, Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, 2010.
- [10] Kumar K. P., *Ground-Based Microwave Radiometry and Remote Sensing, Methods and Applications*, CRC Press, 2014.
- [11] Elachi C., *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*, Wiley Series in Remote Sensing, New Jersey, 1987.

- [12] Ulaby F. T., Moore R. K., Fung A. K., *Microwave Remote Sensing, Active and Passive, Volume 1, Microwave Remote Sensing Fundamentals and Radiometry*, Artech House Inc., Massachusetts, 1981.
- [13] Jones, R. V., *Most Secret War*, Hodder and Stoughton: Coronet Books, London, 1978.
- [14] Jamieson J. A., McFee R. H., Plass G. N., Grube R. H., Richards R. G., *Infrared Physics and Engineering*, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1963.
- [15] Gaussorgues G., Chomet S., *Infrared Thermography*, Chapman & Hall, United Kingdom, 1994.
- [16] Riedl M. J., *Optical Design Fundamentals for Infrared Systems*, 2nd ed., Tutorial Texts in Optical Engineering, SPIE, 2006.
- [17] Stuart B., *Infrared Spectroscopy Fundamentals and Applications*, Analytical Techniques in the Sciences (AnTS), Wiley, New Jersey, 2004.
- [18] Pozar D. M., *Microwave Engineer*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 1998.
- [19] Raisanen A. V., Lehto A., *Radio Engineering for Wireless Communication and Sensor Applications*, Mobile Communication Series, Artech House, Massachusetts, 2003.
- [20] Skou N., Le V. D., *Microwave Radiometer Systems*, Design and Analysis, Second Edition, Artech House, Massachusetts, 2006.
- [21] Helfenstein M., Moschytz G. S., *Circuits and Systems for Wireless Communications*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2002.
- [22] Lott U., Schmatz M., 2 GHz Monolithic Low Noise Amplifier Using Lower than 1V Supply Voltage, *Proceedings of the IEEE Wireless Communications Conference*, Mumbai, India, 17-19 December 1997.
- [23] Kucera J. J., Lott U., Low-Power Silicon BJT LNA for 1,9 GHz, *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1998, **8**(3), 136–137.
- [24] Leenaerts D., Tang J., Vaucher C., *Circuit Design for RF Transceivers*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2001.
- [25] Kodkani R. M., Design of 2,4 GHz and 5 GHz RFIC Front-End Components in CMOS and SiGe HBT Technologies, M.Sc. Thesis, West Virginia University, USA, 2002.
- [26] Pedro J. C., Carvalho N. B., *Intermodulation Distortion in Microwave and Wireless Circuits*, Artech House, Massachusetts, 2003.



- [27] Razavi B., Rappaport T. S., *RF Microelectronics*, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, University of California, Los Angeles, 1998.
- [28] Maas S. A., *The RF and Microwave Circuit Design Cookbook*, Artech House, Massachusetts, 1998.
- [29] Wing O., *RF Integrated Circuits for Wireless Communications*, Lecture 5, Fudan University, China, 21 July 2008.
- [30] Crols J., Steyaert M. S. J., A 1,5 GHz Highly Linear CMOS Downconversion Mixer, *IEEE Journal of Solid State Circuits*, 1995, **30**(7), 736-742.
- [31] Hull C. D., Meyer R. G., A Systematic Approach to the Analysis of Noise in Mixers, *IEEE Transactions on Circuits and Systems – Fundamental Theory and Applications*, 1993, **40**(12), 909-919.
- [32] Maas S. A., *Nonlinear Microwave and RF Circuits*, 2nd ed., Artech House, Massachusetts, 2003.
- [33] Davis W. A., Agarwal K., Chang K., *Radio Frequency Circuit Design, A Wiley-Interscience Publication*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2001.
- [34] Pennock S. R., Shepherd P. R., *Microwave Engineering with Wireless Applications*, School of Electronic and Electrical Engineering, University of Bath, McGraw-Hill, New York, 1998.
- [35] Chang K., *RF and Microwave Wireless Systems*, Texas A&M University, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2000.
- [36] Dorf R. C., Chen W. K., *The Circuits and Filters Handbook*, 2nd ed., University of California, CRC Press, Florida, USA, 2003.
- [37] Carr J. J., *Secrets of RF Circuit Design*, 3rd ed., TAB Electronics Technical Library, New York, 11 December 2000.
- [38] Paulino J., Bluetooth Technology, Design and Simulation of a Transceiver, *ADS Design Seminar*.
- [39] Duman M., UHF RF Power Amplifier Design and Implementation for Small Satellites, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul, 2013, 335730.
- [40] Gilmore R., Besser L., *Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems, Volume II, Active Circuits and Systems*, Artech House Microwave Library, Massachusetts, 2003.
- [41] Henkes D. D., *LNA Design Uses Series Feedback to Achieve Simultaneous Low Input VSWR and Low Noise*, Applied Microwave & Wireless, 1998.

- [42] Meyer R. G., Mack W. D., A 1-GHz BiCMOS RF Front-End Integrated Circuit, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 1994, **29**, 350-355.
- [43] Karanicolas A. N., A 2,7 V 900 MHz CMOS LNA and Mixer, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 1996, **31**, 1939-1944.
- [44] Golio C. M., *The RF and Microwave Handbook*, CRC Press LLC, Florida, USA, 2001.
- [45] Duman M., Salman A. O., Designing a Vivaldi Fed Antenna for Passive Millimeter Wave Imaging System in Ka Band, *International Conference on Engineering Technology and Innovation (ICETI)*, Sarajevo, 22-26 March 2017.
- [46] Duman M., Salman A. O., 35 GHz Vivaldi Fed Antenna Design for Passive Millimeter Wave Imaging System in Ka Band, *Journal of Electrical Engineering*, 2017, **5(6)**, 340-343.
- [47] Duman M., Salman A. O., Antipodal Vivaldi Antenna for Passive Imaging Technology in Ka Frequency Band, *Sakarya University Journal of Science (SAUJS)*, 2018, **22(4)**, 1130-1134.
- [48] Quinstar Technology, QWH-APRS00 Horn Antenna Datasheet, <https://quinstar.com/shop/antenna-products/horn-antennas/premium-standard-gain-horns-qwh/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [49] Duman M., Salman A. O., The Connection Types to Minimize Loss of Gain Between Low Noise Amplifier and Antenna, *3. International Organic Electronic Material Technologies (OEMT)*, Kırklareli, Turkey, 20-22 September 2018.
- [50] Wang W., Fathy A. E., Wang X., Novel antenna using substrate integrated waveguide for passive millimeter-wave focal plane array imaging, *IEEE International Wireless Symposium IWS*, China, 22-26 March 2014.
- [51] Chen Z. N., *Antennas for Portable Devices*, John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, 2007.
- [52] Huang K., Edwards D. J., *MillimetreWave Antennas for GigabitWireless Communications, A Practical Guide to Design and Analysis in a System Context*, John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, 2008.
- [53] Kumar G., Ray K. P., *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, Massachusetts, 2003.
- [54] Gupta K. C., Hall P. S., *Analysis and Design of Integrated Circuit – Antenna Modules*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2000.
- [55] Carr J. J., *Antenna Toolkit*, 2nd ed., Newnes, 2001.

- [56] Balanis C. A., *Anten Teorisi Analiz ve Tasarım*, 3. baskı, Nobel Yayınları, Wiley, New Jersey, 2013.
- [57] Quinstar Technology, QLW-24403336, QLW-33505540 Low Noise Amplifiers Datasheets, <https://quinstar.com/shop/amplifier-products/low-noise-amplifiers/millimeter-wave-broadband-low-noise-amplifiers-qlw/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [58] Qorvo Triquint Semiconductor, TGA4508 Low Noise Amplifiers Datasheet, <https://www.qorvo.com/products/p/TGA4508> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [59] Skyworks Solutions, SMS7630-061 Detector Datasheet, <http://www.skyworksinc.com/Product/512/SMS7630-061> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [60] Skyworks Solutions, DMK2790-000 Detector Datasheet, <https://store.skyworksinc.com/Products/Detail/DMK2790000-Skyworks-Solutions-Inc/180409/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [61] Quinstar Technology, QEA Detector Datasheet, <https://quinstar.com/shop/receiver-products/broadband-detectors/broadband-detectors-qea/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [62] Quinstar Technology, QFL Low Pass Filter Datasheet, <https://quinstar.com/shop/waveguides-related-products/filters/low-pass-filters-qfl/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [63] Hittite, Analog Devices, HMC1040LP3CE Low Noise Amplifier Datasheet, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/hmc1040.pdf> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [64] Guan F., Yang M., Sun S. X., A Ka-Band High Sensibility Wideband Millimeter Wave Receiver used for Imaging Application, *RF and Microwave System Laboratory, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, China*, 08-11 May 2010.
- [65] Mizuno K., Matono H., Wagatsuma Y., Warashina H., Sato H., Miyanaga S., Yamanaka Y., New Applications of Millimeter-Wave Incoherent Imaging, *IEEE*, Long Beach, USA, 17 June 2005.
- [66] Mehdi G., Anyong H., Fu Y., Tongfei Y., Miao J., Khan Z. B., A Modular Ka-Band Front-End Receiver for Passive Imaging System, *16th International Multi Topic Conference (INMIC)*, Lahore, Pakistan, 19 December 2013.
- [67] Jinghui Q., Ruidong Z., Design and Analysis of 8mm Radiometer Used for Passive Millimeter-Wave Image System, *International Workshop on Imaging Systems and Techniques (IST)*, Shenzhen, China, 11-12 May 2009.
- [68] Duman M., Salman A. O., 35 GHz Frekanslı Radyometrik Algılayıcı için Anten Seçimi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.

- [69] Kapilevich B., Litvak B., Shulzinger A., Passive Non-Imaging Mm-Wave Sensor for Detecting Hidden Objects, *IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems (COMCAS)*, Tel Aviv, Israel, 21-23 October 2013.
- [70] Peichl M., Dill S., Jirousek M., Süß H., Near-Field Microwave Imaging Radiometers for Security Applications, *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)*, Berlin, 02-05 June 2008.
- [71] Sato H., Sawaya K., Mizuno K., Uemura J., Takeda M., Takahashi J., Yamada K., Morichika K., Hasegawa T., Hirai H., Niikura H., Matsuzaki T., Nakada J., Development of 77 GHz Millimeter Wave Passive Imaging Camera, *IEEE SENSORS*, Christchurch, New Zealand, 25-28 October 2009.
- [72] Mait J. N., Schuetz C. A., Shi S., Prather D. W., Martin R. D., Curt P. F., Bonnett J., Minimum Bias Design for a Distributed Aperture Millimeter Wave Imager, *GlobalSIP*, Austin, TX, USA, 03-05 December 2013.
- [73] Duman M., Salman A. O., Theoretical Investigation of Blackbody Radiation for the Passive Millimeter wave Imaging System, *IEEE 2. International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, Ankara, Turkey, 19-21 October 2018.
- [74] Duman M., Salman A. O., Obtaining the Sky - Temperature Depending on Voltage Value by the Passive Millimeter Wave Imaging System, *Int. Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition (APMAS)*, Muğla, Turkey, 22-26 April 2017.
- [75] Duman M., Salman A. O., Obtaining the Sky - Temperature Depending on Voltage Value by the Passive Millimeter Wave Imaging System, *Acta Physica Polonica A*, 2018, **134**(1), 346-348.
- [76] Kaytaç G., İz Azaltma Teknikleri, Kızılötesi İz Azaltıcı Teknolojilere Giriş Sunumu, *Satem, TÜBİTAK MAM*, Gebze, Kocaeli, 2010.
- [77] Riedl M. J., *Fundamental Approach to IR Optical System*, USA, 1993.
- [78] Lienhard IV J. H., Lienhard V J. H., *A Heat Transfer Textbook*, 3rd ed., Phlogiston Press, Cambridge, 22 January 2006.
- [79] Çengel Y., Turner R., Cimbala J., *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*, 5th ed., Mc Graw Hill Edu., New York, 2017.
- [80] Shaeffer D. K., Lee T. H., A 1,5 V, 1,5 GHz CMOS Low Noise Amplifier, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 1997, **32**, 745-759.
- [81] Fraden J., *Handbook of Modern Sensors Physics, Designs and Applications*, Advanced Monitors Corporation, 3rd ed., Springer, Germany, 2010.

- [82] Ishii T. K., *Handbook of Microwave Technology, Vol 2, Applications*, Department of Electrical and Computer Engineering, Milwaukee, Wisconsin, Academic Press, 1995.
- [83] Duman M., Küçük Boyutlu Uydular için Tasarlanan ve UHF Bandında Çalışan A Sınıfı RF Güç Kuvvetlendiricisinin Kararlılık Analizi, *Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Konferansı (ICETAS)*, Afyon, Türkiye, 21-22 Nisan 2016.
- [84] Duman M., Küçük Boyutlu Uydular için UHF Bandında Çalışan A Sınıfı RF Güç Kuvvetlendiricisi Tasarımı ve Gerçeklenmesi, *Uluslararası Multidisipliner Konferansı (IMUCO)*, Antalya, Türkiye, 21-22 Nisan 2016.
- [85] Bölükbaş D., Radar Sistemleri Mühendisliği Ders Notları, *Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü, Elektronik ve İletişim Mühendisliği Bölümü, Deniz Harp Okulu*, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [86] Guide Book on Detection Technologies and Systems for Humanitarian Demining, *Geneva International Centre for Humanitarian Demining*, Geneva, 2006.
- [87] Yeom S., Lee D., Son J., Jung M., Jang Y., Jung S., Lee S., Real-Time Outdoor Concealed-Object Detection with Passive Millimeter Wave Imaging, *Opt. Express*, 2011, **19**(3), 2530-2536.
- [88] Yeom S., Lee D., Jang Y., Lee M., Jung S., Real-Time Concealed-Object Detection and Recognition with Passive Millimeter Wave Imaging, *Opt. Express*, 2012, **20**(9), 9371-9381.
- [89] Kapilevich B., Litvak B., Einat M., Shotman O., Passive Mm-Wave Sensor for In-Door and Outdoor Homeland Security Applications, *International Conference on Sensor Technologies and Applications*, Valencia, Spain, 14-20 October 2007.
- [90] URL-1: <http://blog.novaeletronica.com.br/como-apontar-antena-para-satelite-usando-o-google-maps/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [91] Türkmen-Küçüksarı Ö., Çimen S., Çakır G., Effect of the Different End Shapes on the Gain Flatness of the Antipodal Vivaldi Antenna, *10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO2017)*, Bursa, Turkey, 01 January 2017.
- [92] Quinstar Technology, QWA-28S29ME0 Waveguide to Coax Adapters Datasheet, <https://quinstar.com/shop/waveguides-related-products/transitions-adapters/waveguide-to-coax-adapters-qwa/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [93] Quinstar Technology, WR28 – 2,92 mm Connector Convertor Datasheet, <https://quinstar.com/waveguides-related-products/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).

- [94] Diamonds Engineering, DAMS 7100, FSM-5, Antenna Measurement Studio Computer Program, DE730 (Reference Antenna) Datasheets, <https://www.diamondeng.net> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2018).
- [95] Duman M., Güney-Duman M., Güney T., Akıllı Sistemler için Frekans Seçici Yüzey Analizi ile Oluşturulmuş Bant Durduran Filtre Tasarımı, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler Ve Uygulamaları (ASYU) Konferansı*, Düzce, Türkiye, 29 Eylül - 01 Ekim 2016.
- [96] Duman M., Altın Oran Kuralı ile Oluşturulan Metal Plaka Bant Geçiren Filtre ve Altın Oran Kuralı'nın Filtreye Etkisi, *IEEE 24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları (SİU) Kurultayı*, Zonguldak, Türkiye, 16-19 Mayıs 2016.
- [97] Duman M., Güney-Duman M., Design of Band Stop Filter with Frequency Selective Surfaces Analysis by Implementing the Golden Ratio Rule, *Journal of Materials Science and Engineering B*, 2017, 7(2), 77–80.
- [98] Duman M., Güney-Duman M., Design of Band Stop Filter with Frequency Selective Surfaces Analysis by Implementing the Golden Ratio Rule, *International Conference on Engineering Technology and Innovation (ICETI)*, Sarajevo, 22-26 March 2017.
- [99] Duman M., Controlling Servo Motors with Speech Recognition by Using 802.15.4 Wireless Protocol ZigBee, *3. International Organic Electronic Material Technologies (OEMT)*, Kırklareli, Turkey, 20-22 September 2018.
- [100] Duman M., Linear Predictive Coding in MatLab to Communicate with Zigbee, *3. International Organic Electronic Material Technologies (OEMT)*, Kırklareli, Turkey, 20-22 September 2018.
- [101] Duman M., Çelik B., IEEE 802.15.4 Standardına Uygun ZigBee ile Kablosuz Haberleşme Uygulaması ve Servo Motor Kontrolü, Lisans Bitirme Projesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (Gebze Teknik Üniversitesi), Mühendislik Fakültesi, Gebze, Kocaeli, 2011.
- [102] Duman M., To Design Flat Scattering Parameters at the UHF Band by Using AWR Program, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.
- [103] Duman M., Applying Micro Strip Lines Instead of Passive Elements Like Inductances and Capacitances, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.
- [104] Sato M., Sato H., Hirose T., Kobayashi H., Sawaya K., Mizuno K., Antipodal LTSA with Corrugation for 94-GHz Band Passive Millimeter-Wave Imager, *Asia-Pacific Microwave Conference*, Bangkok, 12 December 2007.
- [105] Evans G., McLeish C. W., *RF Radiometer Handbook*, Artech House, Dedham, Massachusetts, 1977.

- [106] NIST Technical Note 1551, *Technology Administration, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology*, USA, 2008.
- [107] Penick T., *Microwave and Radio Frequency Engineering*, Tei Controls, Austin, USA, 2004.
- [108] Penick T., *Electromagnetic Engineering*, Tei Controls, Austin, USA, 2000.
- [109] Zheng L., Gilreath L., 4. Design and Analysis of a W-Band Detector in 0,18- $\mu\text{m}$  SiGe BiCMOS, *Topical meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems SiRF*, New Orleans, Louisiana, USA, 11-13 January 2010.
- [110] Yang J., Wang J., Li L., A New Algorithm for Passive Millimeter-Wave Image Enhancement, *2nd International Conference on Signal Processing Systems*, Dalian, China, 05-07 July 2010.
- [111] Liangchao L., Jianyu Y., Junli W., An Improved Viterbi Algorithm for PMMW Moving Targets Detection, *International Forum on Information Technology and Applications*, Chengdu, China, 15-17 May 2009.
- [112] Pilard R., Gloria D., Giancesello F., Pennec L. F., Person C., 94 GHz Silicon Co-Integrated LNA and Antenna in a Mm-Wave Dedicated BiCMOS Technology, *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, Anaheim, USA, 23-25 May 2010.
- [113] Gilreath L., Jain V., Yao H., Zheng L., Heydari P., A 94-GHz Passive Imaging Receiver Using a Balanced LNA with Embedded Dicke Switch, *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, Anaheim, USA, 23-25 May 2010.
- [114] Kosugi T., Sugiyama H., Matsuzaki H., Murata K., Nakamura M., Satoh H., Throngnumchai K., A 140-GHz Quad-Receiver IC and Sub-Assembly for Compact Passive Imaging Sensors, *IEEE/MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Anaheim, USA, 23-28 May 2010.
- [115] Mao Y., Schmalz K., Borngräber J., Scheytt J. C., A 245 GHz CB LNA in SiGe, *6th European Microwave Integrated Circuit Conference*, Manchester, UK, 10-11 October 2011.
- [116] Zhang Y., Shi S., Martin R., Yao P., Shreve K., Prather D. W., Multilayer Liquid Crystal Polymer Based RF Frontend Module for Millimeter Wave Imaging, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, Memphis, USA, 06-11 July 2014.
- [117] Kholmatov A., Hacizade F., Riza D., Vertiy A. A., Pavlyuchenko A. V., Milimetre-Dalga Bandı için Pasif Veri Toplama Sistemi ve İlgili Görüntü İşleme Yöntemleri, *IEEE 21. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları (SİU)*, Haspolat, KKTC, 24-26 Nisan 2013.

- [118] Cheng D. K., *Field and Wave Electromagnetics*, 2nd ed., Syracuse University, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, USA, 1983.
- [119] Cripps S. C., *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Artech House, Boston, 1999.
- [120] Yarman B. S., *Design of Ultra Wideband Power Transfer Networks*, İstanbul University, College of Engineering, İstanbul, Turkey, 2010.
- [121] Munk B. A., *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design*, Wiley, New Jersey, 2000.
- [122] Wu T. K., *Frequency Selective Surface and Grid Array*, Wiley, New Jersey, 1995.
- [123] Sung, H. H., Frequency Selective Wallpaper for Mitigating Indoor Wireless Interference, PhD Thesis, The University of Auckland, New Zealand, 2006.
- [124] Mudar A. J., Nader B., A New Technique for Design of Low-Profile, Second-Order, Bandpass Frequency Selective Surfaces, *IEEE Transactions on Antennas And Propagation*, 2009, **57**(2), 452-459.
- [125] Türköz M. S., *Elektronik*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [126] Çimen S., Design of Planar Dual Band Frequency Selective Surface, *12. Uluslararası Akdeniz Mikrodalga Sempozyumu (MMS)*, İstanbul, 02-05 Eylül 2012.
- [127] Hemming L. H., *Electromagnetic Anechoic Chambers a Fundamental Design and Specification Guide*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2002.
- [128] Tsang L., Kong J. A., Ding K., *Scattering of Electromagnetic Waves*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2000.
- [129] Hayt W. H., Buck J. A., *Engineering Electromagnetics*, 6th ed., McGraw Hill, New York, 2001.
- [130] Matthew S., *Elements of Electromagnetic*, 3rd ed, Oxford University Press, UK, 08.01.2000.
- [131] Hummel R. E., *Electronic Properties of Materials*, 3rd ed., Springer-Verlag, New York, 2001.
- [132] Paul C. R., *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2006.





**EKLER**

## Ek-A

Bölüm 2’de verilmiş olan karacisim ışıması konusuna yönelik grafiklerin yazılan MatLab koduyla (Şekil A.1.) analitik incelenmesi ve doğrulanması yapılmış, ayrıca grafikler; teorik eşitlikler ve literatürdeki grafiklerle karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmada, Planck ışıma yasasının temel eşitlikleri olan (2.5) ve (2.9), ayrıca; yüksek ve düşük frekans yaklaşımları olan (2.32) Wien ve (2.34) Rayleigh-Jeans formlarını veren eşitlikler ve karacisim ışıması teorik grafikleri olan Şekil 2.4. ve Şekil 2.8.; yazılan MatLab kodu ile elde edilmiştir.

Elde edilen grafikler Planck ışıma yasası için frekans eksenine göre Şekil A.2. (a), dalga boyu eksenine göre Şekil A.2. (b); Wien yer değiştirmesinin görülebildiği Wien ışıma yasası için frekans eksenine göre Şekil A.3. (a), 35 GHz ve 96 GHz frekanslarının da içinde bulunduğu Rayleigh-Jeans ışıma yasası için Şekil A.3. (b) ve Planck ışıma yasasından elde edilen dalga boyuna bağlı olan ışımanın frekans eksenine göre grafiği Şekil A.4. (a), frekansa bağlı olan ışımanın dalga boyu eksenine göre grafiği Şekil A.4. (b) grafiklerinde verilmiştir.

Bu karşılaştırmının detayları [73]’te verilmiştir.

Teorik olarak verilen eşitliklerle çizdirilmiş grafiklere (Şekil 2.4. ve Şekil 2.8. grafiklerine) benzer grafikler elde edilmiştir. Ancak; buradaki en önemli sonuç, 35 GHz ve 96 GHz frekanslı milimetre dalga pencerelerinde alıcı tarafından alınan sinyalin değerinin çok küçük olduğunun görülmesidir. Bu nedenle; antenden elde edilen sinyal, art arda 4 adet LNA’nın kaskad bağlanmasıyla yükseltip 80 dB kazançla ancak ölçülebilir bir sinyal elde edilebilmektedir.

Ek olarak; 35 GHz’de alınan sinyal gücü 96 GHz’deki sinyalden daha küçüktür ve bu nedenle; 35 GHz’de daha fazla kuvvetlendirmeye ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılabilir.

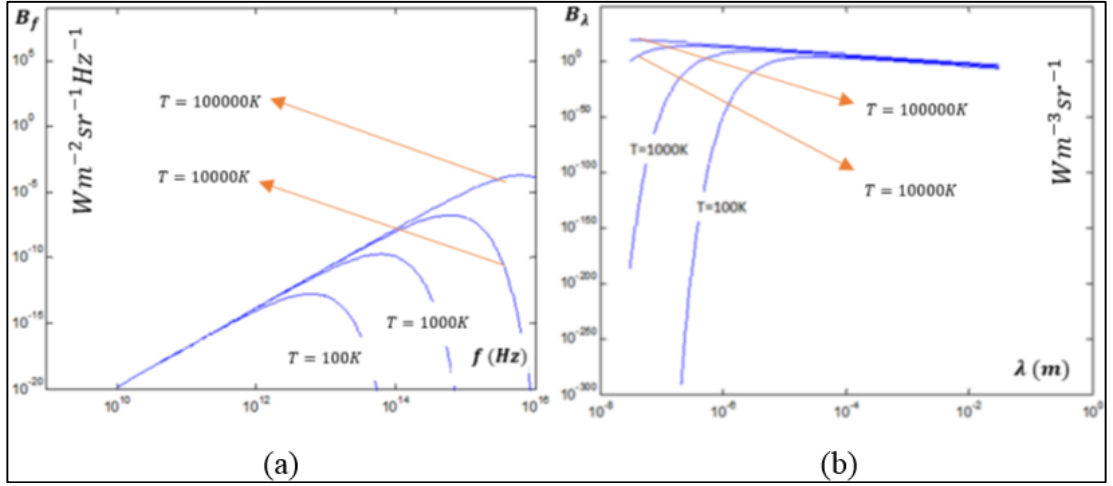
```

%Plank's Blackbody Radiation Law (Planck Karacisim Işıma Yasası)
hold on
h=6.63*10^-34; c=3*10^8; %Plank Sabiti ve Işık hızı
k=1.38*10^-23; T=50000; %Boltzman sabiti ve Sıcaklık [K]
intmax('uint64')
f=1e+10:10^10:1e+16;
Bf=(2*h*(f.^3))./((c.^2)*exp((h*f)/(k*T))-1); %Formül
loglog(f,Bf) %Eğri
axis([1e+8 1e+16 1e-10 1e-6])
%Plank's Blackbody Radiation Law (Planck Karacisim Işıma Yasası)
hold on
h=6.63*10^-34; c=3*10^8; %Plank Sabiti ve Işık hızı
k=1.38*10^-23; T=100000; %Boltzman sabiti ve Sıcaklık [K]
intmax('uint64')
f=1e+10:10^10:1e+16;
lambda=c./f;
Blambda=(2*h*c*c)./((lambda.^5).*(exp(h*c./(lambda*k*T))-1));
loglog(lambda,Blambda) %Eğri
axis([1e+9 1e+16 1e-20 1e+9])
%Wien Blackbody Radiation Law (Wien Karacisim Işıma Yasası)
%(Planktan kısa)
hold on
h=6.63*10^-34; c=3*10^8; %Plank Sabiti ve Işık hızı
k=1.38*10^-23; T=100000000; %Boltzman sabiti ve Sıcaklık [K]
intmax('uint64')
f=1e+9:10^10:1e+17;
Bf=(2*h*(f.^3))./((c.^2)*exp((h*f)/(k*T))); %Formül
loglog(f,Bf) %Eğri
axis([1e+9 1e+16 1e-20 1e+9])
%Rayleigh-Jeans Radiation Law (Rayleigh-Jeans Karacisim Işıma
%Yasası)
%(Wienden kısa)
hold on
h=6.63*10^-34; c=3*10^8; %Plank Sabiti ve Işık hızı
k=1.38*10^-23; T=100000; %Boltzman sabiti ve Sıcaklık [K]
intmax('uint64')
f=1e+10:10^10:1e+16;
Bf=(2*(f.^2)*k*T)./(c.^2); %Formül
loglog(f,Bf) %Eğri
axis([1e+9 1e+16 1e-20 1e+9])

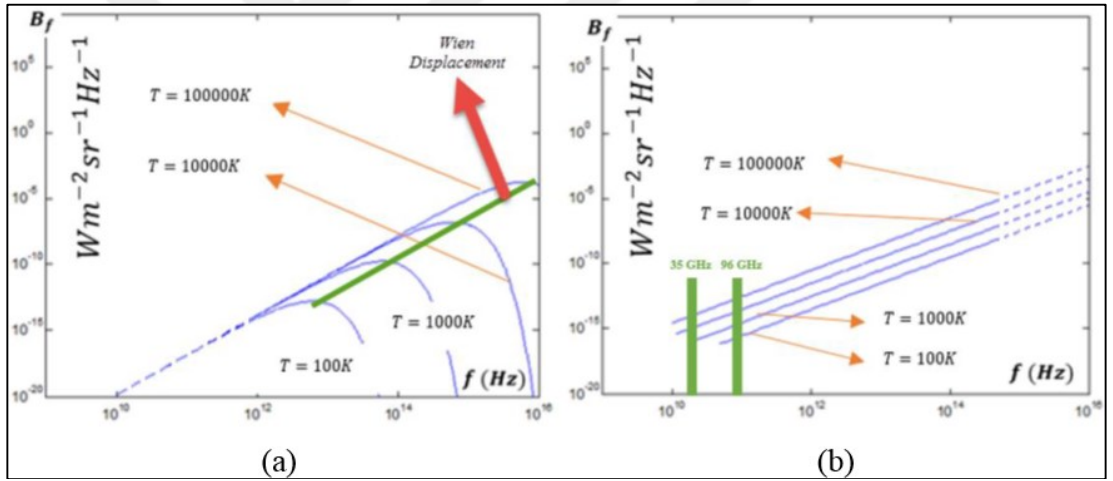
```

Şekil A.1. Planck, Wien ve Rayleigh-Jeans ışıma yasalarının doğrulandığı MatLab kodları

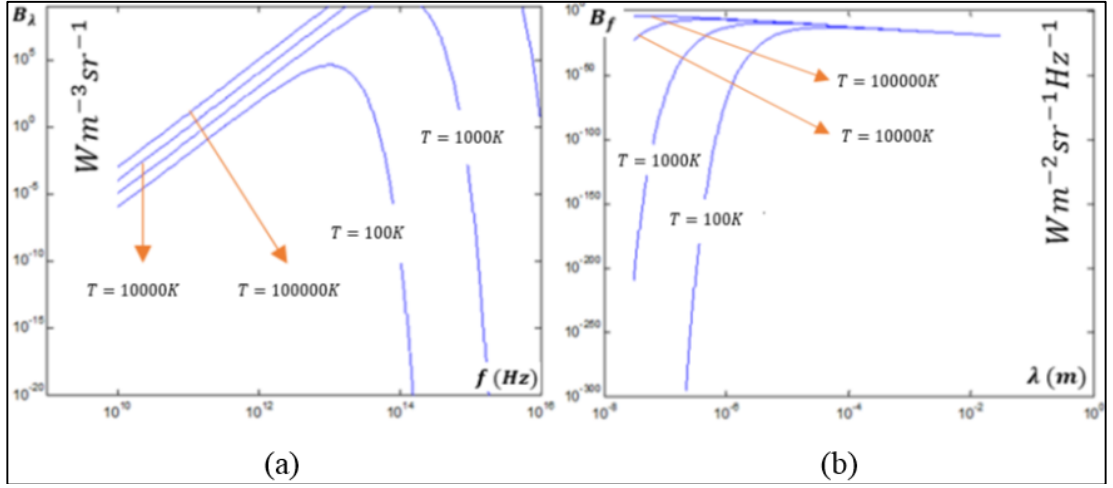
Bu çalışma ile 1 adet uluslararası bildiri yapılmıştır. Kişisel yayın ve eserler kısmında da belirtildiği üzere; “Theoretical Investigation of Blackbody Radiation for the Passive Millimeter wave Imaging System” bildirisi ‘IEEE 2. International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)’ adlı konferansta sunulmuştur [73].



Şekil A.2. Seçilen sıcaklıklar için Planck karacisim ışınması log-log eğrileri (a) Frekans cinsinden parlaklık sıcaklığının frekansa göre değişimi,  $B_f - f$  grafiği (b) Dalga boyu cinsinden parlaklık sıcaklığının dalga boyuna göre değişimi,  $B_\lambda - \lambda$  grafiği



Şekil A.3. 100 K, 1000 K, 10000 K ve 100000 K sıcaklıkları için frekansa bağlı parlaklık sıcaklığının frekansa göre değişimi,  $B_f - f$  log-log eğrileri (a) Wien ışınma yasası (Wien yer değiştirmesi (Wien displacement) grafikte görülebilir) (b) Rayleigh-Jeans ışınma yasası (35 GHz ve 96 GHz frekans pencereleri Rayleigh-Jeans bölgesindedir.)



Şekil A.4. Seçilen sıcaklık değerleri için Planck ışıma yasasına göre (a) Dalga boyuna bağlı parlaklık sıcaklığının frekansa göre değişimi,  $B_\lambda - f$  (b) Frekansa bağlı parlaklık sıcaklığının dalga boyuna göre değişimi,  $B_f - \lambda$  log-log eğrileri

## Ek-B

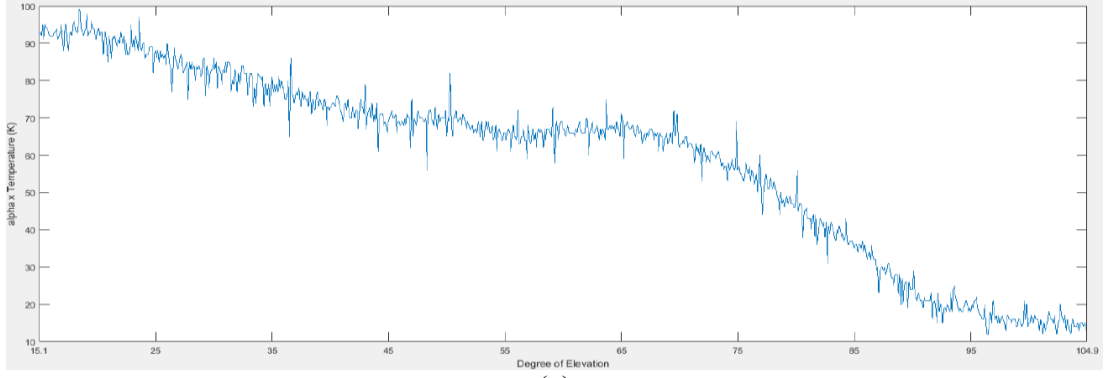
Bu tez kapsamında gerek üretimi yapılarak gerekse tedarik edilerek ölçüme hazır hale getirilen pasif milimetre dalga görüntüleme sistemi, sadece sisli, dumanlı ortamlarda arka planı görüntüleme amaçlı veya gizli nesnelere bulma amaçlı kullanılmamış, ayrıca; gökyüzü sıcaklık profilinin tespiti için de kullanılmıştır.

Gökyüzü sıcaklığı ile alakalı, 'Int. Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition (APMAS)' isimli konferansta "Obtaining the sky - temperature depending on voltage value by the passive millimeter wave imaging system" başlıklı 1 adet uluslararası bildiri sunulmuş [74] ve bu uluslararası bildiri daha da geliştirilerek uluslararası makale olarak SCI kapsamında dergi olan 'Acta Physica Polonica A Dergisi'nde (Polish Academy of Sciences, Institute of Physics) [75] yayımlanmıştır.

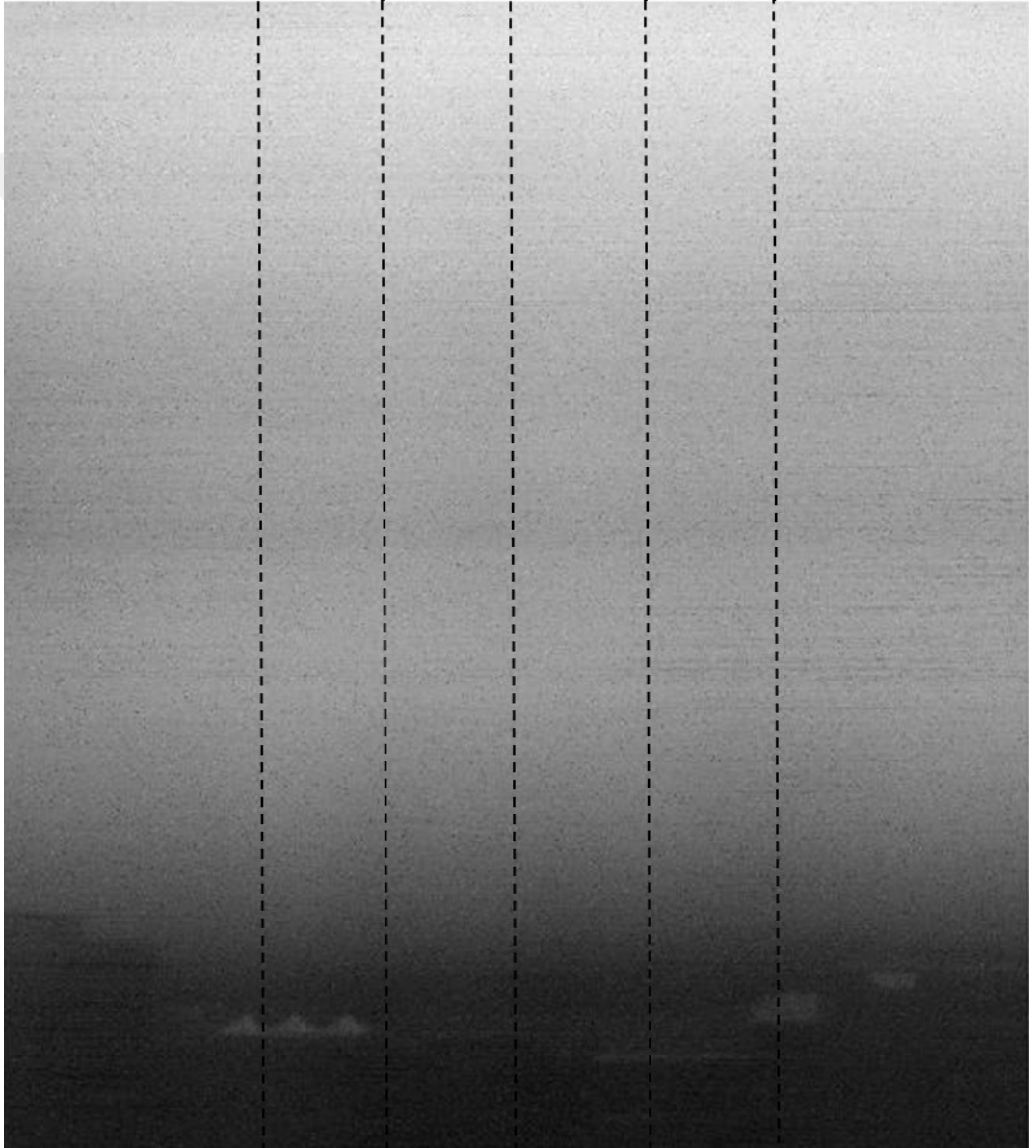
Şekil B.1. (a)'da sistemin kalkış açısına göre alıcıda ölçülmüş olan sinyal mV cinsinden verilmiştir. PMMDGS, gökyüzü sıcaklık profilinin oluşturulması için Bölüm 7.5.'te anlatılan 799×899 piksel çözünürlüğünde tarama gerçekleştirmiş (Şekil 7.15. (a)) ve elde edilen sütun vektörlerinden 200., 300., 400., 500. ve 600. sütun vektörlerinin (Şekil B.1. (b)) aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu sayede; farklı yönlerdeki taramaların ortalaması alınmış ve hata düzeyi minimuma indirilmiştir.

Daha sonra, başka bir kaynakta (Sayers, 1986) verilen gökyüzü sıcaklığının 35 derece kalkış açısı değerinden faydalanılarak (dünyada her konumda aynı gökyüzü sıcaklıklarının elde edildiği varsayılmıştır)  $mV/K$  cinsinden bir alfa katsayısı elde edilmiştir. Bu katsayılar, iki farklı hava durumu için (büyük siyah bulutların olduğu hava ve kapalı hava) 0,457 ve 0,5 olarak bulunmuştur.

Her kalkış açısında aynı işlem yapılırsa, bu kez K cinsinden gökyüzü sıcaklığı profili elde edilebilir [74, 75].



(a)



(b)

Şekil B.1. (a) Alıcıdan elde edilen mV cinsinden sinyal değeri ( $\text{Alpha [mV/K]} \times \text{Temperature [K]}$ ) – Kalkış eksenli grafiği (b) 799×899 piksel çözünürlüğündeki radyometrik görüntünün 200., 300., 400., 500. ve 600. sütun vektörleri

## Ek-C

Pasif Milimetre Dalga Görüntüleme Sistemi'nden elde edilen görüntülerde daha fazla netlik istendiği için voltaj değerleri .text uzantılı dosya olarak alınmış ve MatLab Programı'nda işlenmiştir.

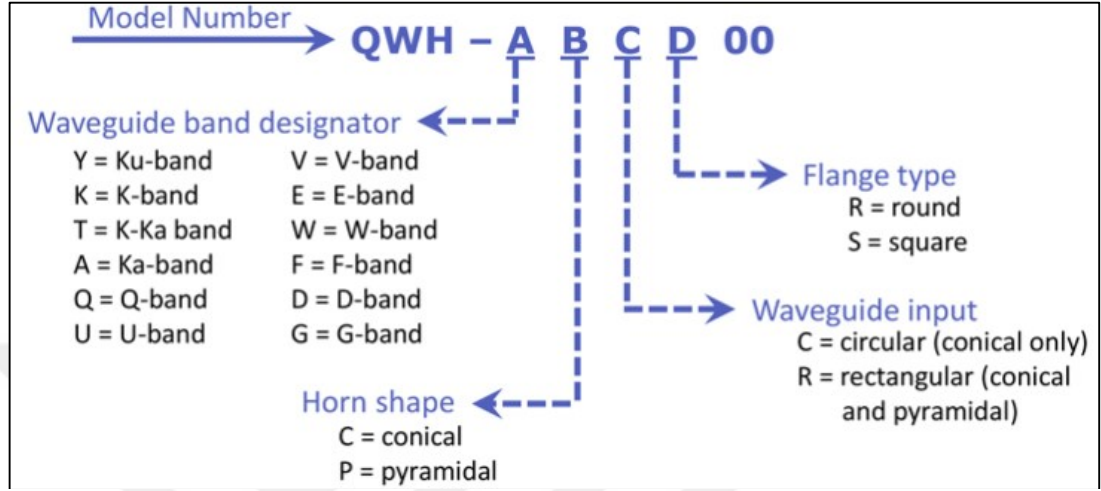
Öncelikle .text uzantılı dosya içindeki sayısal değerler MatLab Programı'nda "I=[]" matrisi tanımlanarak içine yerleştirilmiş daha sonra bu matrisin görüntülenmesi için "figure, imshow(uint8(I))" komutu kullanılmıştır. Pikseller arasındaki renk farkının daha iyi anlaşılabilmesi ve siyah, beyaz ve aradaki tonları görebilmek için 0 – 255 arasında ölçeklendirme yapılmıştır. Bu ölçeklendirme için "figure, imshow(I,[])" komutu kullanılmıştır.

Kullanılan ilk komut matriste bulunan en yüksek voltaj değerini beyaza yakın, en düşük voltaj değerini siyaha yakın yaparken; ikinci komut en siyah ile en beyaz arasını 0 'dan 255 'e kadar 256 ton değerine bölmüş ve gözün daha iyi yakalayabilmesini sağlamıştır.



## Ek-D

Şekil D.1.'de satın alınan Ka bant horn antenin horn kısmının (QWH-APRS00) kodlamasının daha iyi anlaşılması için açıklayıcı bir şekil verilmiştir [48].



Şekil D.1. 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 antenine ait standartlar

Quinstar > Q

Waveguide > W

Horn > H

Ka Band > A

Pyramidal > P

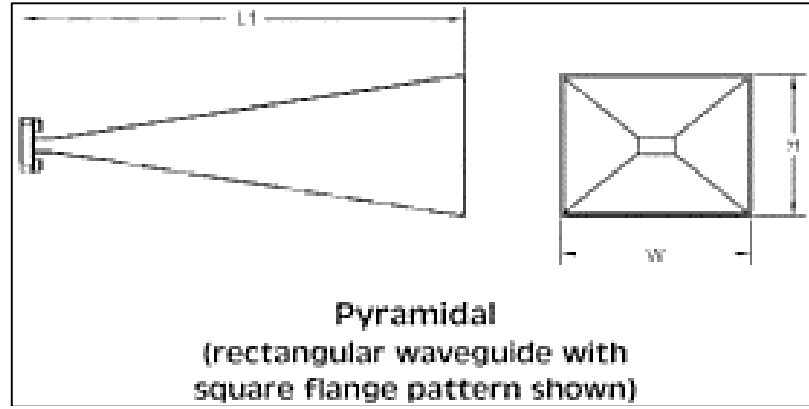
Rectangular > R

Square > S

Standart > 00

Ka bandında çalışan bir anten istendiği için ‘Model Numarası’ “QWH” olmak üzere; ‘Waveguide band designator’ kısmı “A”, piramit şeklinde bir anten ihtiyaçlarımızı karşılayacağı ve konik şeklindeki antenin yüksek maliyetleri için ‘Horn shape’ kısmı “P”, dalga kılavuzu yapısına sahip bir düşük güçlü güç kuvvetlendiricisine

bağlanabilme olasılığına karşılık ‘Waveguide input’ kısmı “R” ve yine bağlantı kısmı uygunluğu için ‘Flange type’ kısmı “S” olarak seçilmiştir.



Şekil D.2. 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 antenine ait standartlar

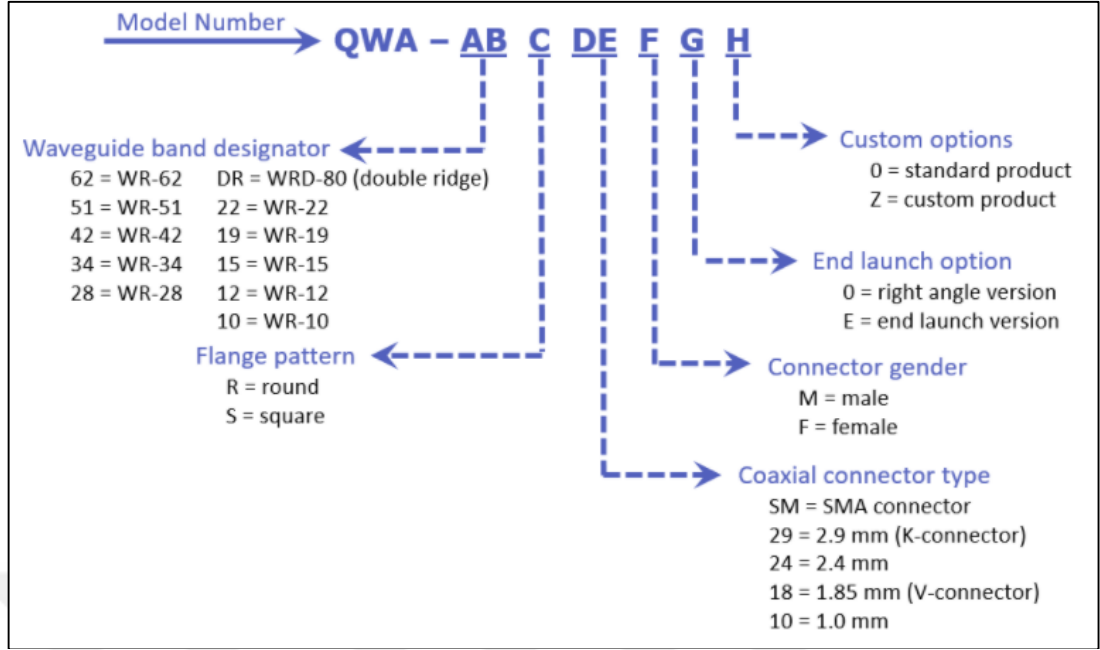
35 GHz Quinstar QWH-APRS00 antenin çizimi (Outline Drawing) Şekil D.2.’de verilen antenin kazancı bilgisayarfası (datasheet) verilerine göre 24 dB çıkmaktadır. VDDO ve diğer verilerin de uygun olduğu düşünülen ilgili anten tez çalışmalarında kullanılabilir.

Antenin bilgisayarfası özellikleri Tablo D.1.’de gösterilmiştir [48].

Tablo D.1. 35 GHz Quinstar QWH-APRS00 ve diğer modellerinin özellikleri

| Frequency Band                       | K         | K-Ka    | Ka      | Q      | U      | V      | E      | W      | F      | D       | G       |
|--------------------------------------|-----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Frequency Range (GHz)                | 18-26.5   | 18-40   | 26.5-40 | 33-50  | 40-60  | 50-75  | 60-90  | 75-110 | 90-140 | 110-170 | 140-220 |
| Waveguide Size                       | WR-42     | WRD-180 | WR-28   | WR-22  | WR-19  | WR-15  | WR-12  | WR-10  | WR-8   | WR-6    | WR-5    |
| VSWR (max)                           | 1.10:1    | -       | 1.10:1  | 1.10:1 | 1.10:1 | 1.15:1 | 1.15:1 | 1.15:1 | 1.20:1 | 1.25:1  | 1.25:1  |
| Pyramidal Horn Midband Gain (dB typ) | <b>24</b> |         |         |        |        |        |        |        |        |         |         |
| Conical Horn Mid-band Gain (dB typ)  | <b>21</b> |         |         |        |        |        |        |        |        |         |         |

Antenin eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının daha detaylı anlaşılabilmesi için Şekil D.3.’e bakılabilir [92].



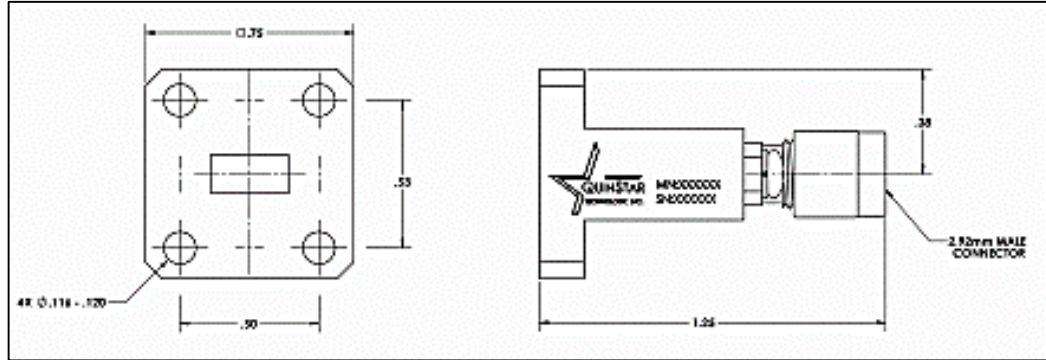
Şekil D.3. QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının standartları

“QWA” modeli kullanılmak üzere; Ka bandı için tasarım yapıldığından WR-28 gereklidir ve ‘Waveguide band designatör’ kısmı için “28”, kare tipli bağlantı üstünden gidildiğinden ‘Flange type’ kısmı “S” seçilmiştir.

LNA devresindeki girişe uygunluk için 2,92 mm konnektör bağlantısı gerektiğinden eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının çıkışı olan ‘Coaxial connector type’ kısmı “29” olarak seçilmiştir. ‘Connector gender’ erkek ya da dişi olarak seçilebilir, bu tasarımda erkek olarak seçildiğinden “M” ve son olarak antenin doğrudan devreye girişinin sağlanması istendiğinden ‘End launch option’ kısmı “E” seçilmiştir.

Özel bir opsiyon istenmediğinden ‘Custom options’ kısmı “0” yani standart ürün seçilmiştir.

Şekil D.4.’te satın alınan Ka bant horn antenin eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının (QWA-28S29ME0) çizimi (Outline Drawing) verilmiştir [92].



Şekil D.4. QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının çizimi

QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının bilgisayfası (datasheet) özellikleri Tablo D.2.'de verilmiştir [92].

Tablo D.2. QWA-28S29ME0 eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmının bilgisayfası bilgileri

### Specifications

| Model No.<br>Range,<br>(GHz) | Frequency | Waveguide | Flange    | Standard<br>Connectors<br>Available | Insertion Loss (dB) max. |            | Change -VSWR (typ.) |            |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|--------------------------|------------|---------------------|------------|
|                              |           |           |           |                                     | Right Angle              | End Launch | Right Angle         | End Launch |
| QWA-62                       | 12.4-18   | WR-62     | UG-419/U  | N, SMA                              | 0.3                      | 0.4        | 1.25:1              | 1.5:1      |
| QWA-51                       | 15-22     | WR-51     | UG-419/U  | SMA, K                              | 0.3                      | 0.4        | 1.25:1              | 1.35:1     |
| QWA-42                       | 18-26.5   | WR-42     | UG-595/U  | SMA, K                              | 0.3                      | 0.4        | 1.25:1              | 1.35:1     |
| QWA-34                       | 22-33     | WR-34     | UG-595/UM | K, 2.4 mm                           | 0.35                     | 0.45       | 1.25:1              | 1.35:1     |
| QWA-28                       | 26.5-40   | WR-28     | UG-599/U  | K, 2.4 mm                           | 0.4                      | 0.5        | 1.25:1              | 1.35:1     |
| QWA-180                      | 18-40     | WRD-180   | UG-1587   | K                                   | N/A                      | 0.6        | N/A                 | 1.4:1      |
| QWA-22                       | 33-50     | WR-22     | UG-383/U  | K*, 2.4 mm                          | 0.6                      | 0.7        | 1.35:1              | 1.5:1      |
| QWA-19                       | 40-60     | WR-19     | UG-383/UM | 2.4 mm*, V                          | 0.8                      | 0.9        | 1.5:1               | 1.6:1      |
| QWA-15                       | 50-67     | WR-15     | UG-385/U  | V                                   | 0.8                      | 0.8        | 1.5:1               | 1.6:1      |
| QWA-15                       | 50-75     | WR-15     | UG-383/UM | 1 mm                                | 0.7                      | 0.6        | 1.5:1               | 1.5:1      |
| QWA-12                       | 60-90     | WR-12     | UG-383/UM | 1 mm                                | 0.6                      | 0.6        | 1.5:1               | 1.5:1      |
| QWA-10                       | 75-110    | WR-10     | UG-385/U  | 1 mm                                | 0.7                      | 0.8        | 1.5:1               | 1.5:1      |

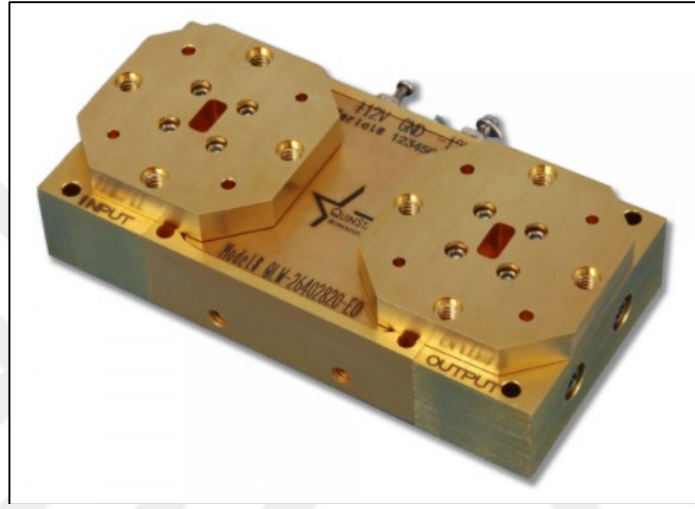
\* K connector up to 40 GHz only. Also, 2.4 mm connector up to 50 GHz only.

\* 1.85 mm connector up to 67 GHz

## Ek-E

Tez projesinde işlemler ilerlerken maliyeti düşük tutmak da önemli bir etkidir. Bu nedenle; HMC1040LP3CE çip entegrasi kullanılarak LNA üretilmiştir. Quinstar Firması'nın ürettiği dalga kılavuzu giriş ve çıkışlı LNA'yı kullanmak da mümkündür.

Eğer dalga kılavuzlu yapı devam ettirilseydi Şekil E.1.'deki LNA yapısı kullanılabilirdi [57].



Şekil E.1. Quinstar dalga kılavuzu tipli LNA

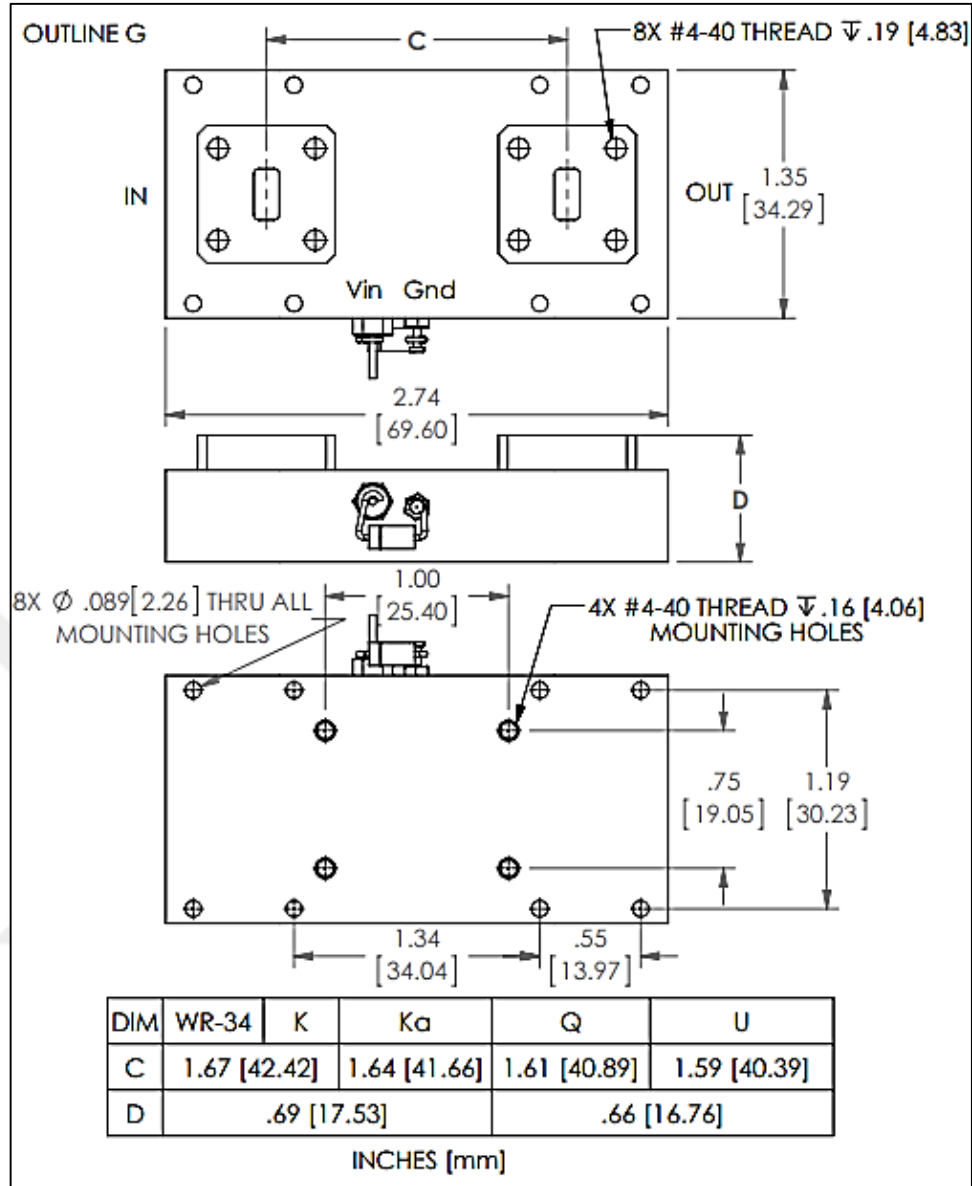
Quinstar dalga kılavuzu tipli LNA için bilgisayfası özellikleri Tablo E.1.'de verilmiştir [57].

Dalga kılavuzu yapılı LNA devrelerinden tez projemize en uygun devre gerek frekans gerekse kazanç özellikleri dikkate alındığında QW-24403336 model numaralı devredir. Fakat bu devre modeli konnektörlü bağlantı gerektirdiğinden ve bize dalga kılavuzu tipli devre gerektiğinden QW-33505540 model numaralı devre kullanılabilir.

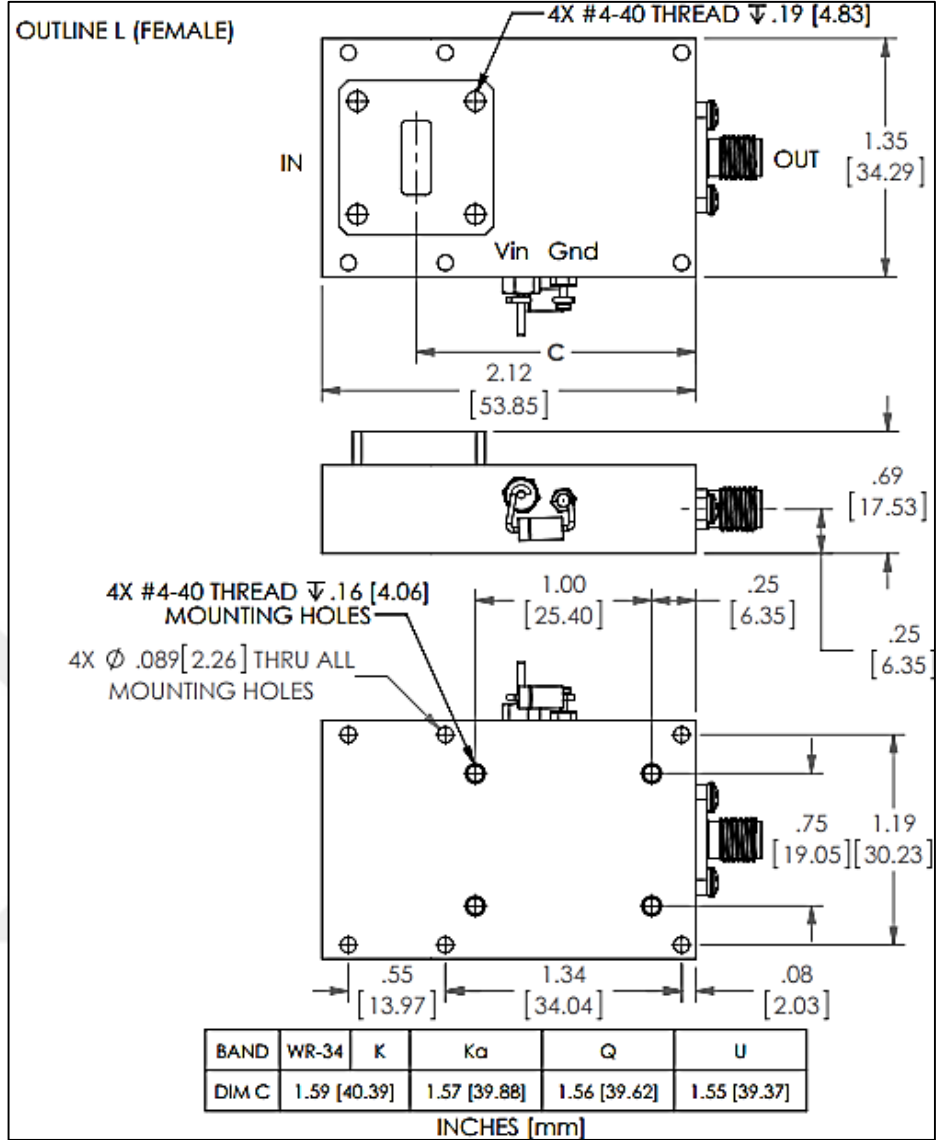
Dalga kılavuzu girişli LNA yapısının çıkışı devrede kullanılacak olan dedektör devre yapısına göre seçilir. Eğer dedektör de dalga kılavuzu yapısında ise "G" tipi LNA (Şekil E.2.), dedektör dalga kılavuzu yapısında değilse "L" tipi LNA (Şekil E.3.) kullanılabilir.

Tablo E.1. Quinstar dalga kılavuzu tipli LNA için bilgisayarlı özellikleri

| Model Number | Frequency Range (GHz) | Noise Figure (dB) | Gain (dB) | Gain Flatness ( $\pm$ dB) | Current (mA)<br>typ.at 12V |
|--------------|-----------------------|-------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|
| QLW-01504521 | 1-50                  | 5 (typ)           | 21        | 2.5 (typ)                 | 250                        |
| QLW-01504533 | 1-50                  | 5 (typ)           | 33        | 2.5 (typ)                 | 350                        |
| QLW-14273516 | 14-27                 | 3.5               | 16        | 2                         | 150                        |
| QLW-14273528 | 14-27                 | 3.5               | 28        | 2.1                       | 200                        |
| QLW-14273540 | 14-27                 | 3.5               | 40        | 2.2                       | 250                        |
| QLW-15262820 | 15-26                 | 2.8               | 20        | 2.75                      | 100                        |
| QLW-15262840 | 15-26                 | 2.8               | 40        | 3                         | 180                        |
| QLW-15262855 | 15-26                 | 2.8               | 55        | 3.25                      | 300                        |
| QLW-18262520 | 18-26.5               | 2.5               | 20        | 2.5                       | 100                        |
| QLW-18262530 | 18-26.5               | 2.5               | 30        | 2.5                       | 170                        |
| QLW-18262540 | 18-26.5               | 2.5               | 40        | 2.5                       | 230                        |
| QLW-10333510 | 10-33                 | 3.5               | 10        | 2                         | 100                        |
| QLW-10333522 | 10-33                 | 3.5               | 22        | 2.1                       | 150                        |
| QLW-10333535 | 10-33                 | 3.5               | 35        | 2.2                       | 200                        |
| QLW-18404510 | 18-40                 | 4.5 (typ)         | 10        | 2                         | 100                        |
| QLW-18404520 | 18-40                 | 4.5 (typ)         | 20        | 2.1                       | 150                        |
| QLW-18404530 | 18-40                 | 4.5 (typ)         | 30        | 2.2                       | 200                        |
| QLW-18404540 | 18-40                 | 4.5 (typ)         | 40        | 2.3                       | 260                        |
| QLW-24403328 | 24-40                 | 3.3               | 28        | 3.5                       | 180                        |
| QLW-24403336 | 24-40                 | 3.3               | 36        | 3.5                       | 250                        |
| QLW-36464815 | 36-46                 | 4.8               | 15        | 2.25                      | 100                        |
| QLW-36464826 | 36-46                 | 4.8               | 26        | 2.5                       | 180                        |
| QLW-36464835 | 36-46                 | 4.8               | 35        | 2.5                       | 250                        |
| QLW-33505510 | 33-50                 | 5.5 (typ)         | 10        | 2.5 (typ)                 | 100                        |
| QLW-33505520 | 33-50                 | 5.5 (typ)         | 20        | 2.6                       | 150                        |
| QLW-33505530 | 33-50                 | 5.5 (typ)         | 30        | 2.7                       | 200                        |
| QLW-33505540 | 33-50                 | 5.5 (typ)         | 40        | 2.8                       | 260                        |
| QLW-48605016 | 48-60                 | 5 (typ)           | 16        | 3                         | 200                        |
| QLW-48605025 | 48-60                 | 5 (typ)           | 25        | 3.25                      | 300                        |
| QLW-48605035 | 48-60                 | 5 (typ)           | 35        | 3.5                       | 400                        |
| QLW-50754515 | 50-75                 | 5 (typ)           | 15        | 3                         | 100                        |
| QLW-50754530 | 50-75                 | 5 (typ)           | 30        | 3.5                       | 200                        |
| QLW-71865512 | 71-86                 | 5.5 (typ)         | 12        | 2 (typ)                   | 70                         |
| QLW-71865530 | 71-86                 | 5.5 (typ)         | 30        | 2 (typ)                   | 200                        |
| QLW-75804016 | 75-110                | 5 (typ)           | 18        | 2.5 (typ)                 | 80                         |
| QLW-75804030 | 75-110                | 5 (typ)           | 30        | 5 (typ)                   | 120                        |



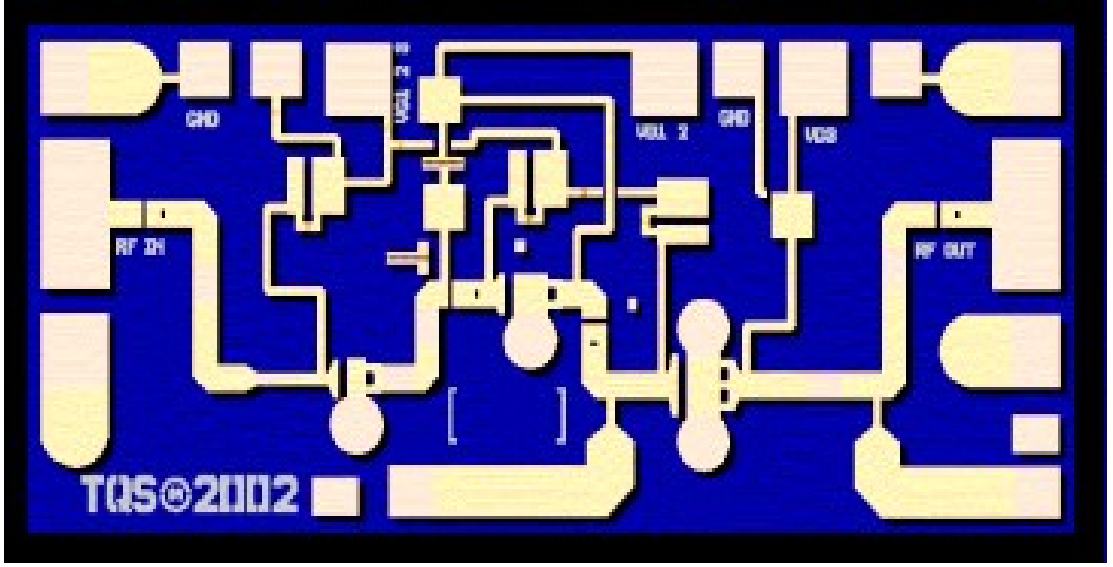
Şekil E.2. G tipi LNA



Şekil E.3. F tipi LNA

MMIC yapıları LNA'lar da tezde kullanılmak amacıyla incelenmiştir. TGA4508 MMIC LNA incelenen LNA'lardan biridir. Bu modelin seçilmesinin sebebi Ka bandta (26 – 40 GHz) çalışmaya uygun olması, 21 dB kazanç değerinin olması, boyutlarının küçük olması ve az enerji tüketmesidir [58]. Projenin çalışma frekansı 35 GHz civarındadır, ilgili kuvvetlendirici 30 – 42 GHz arası için üretilmiştir ve ihtiyaçlarımızı karşılamaktadır. MMIC yapısı, ara elemanlar ile birleştirildiğinde çip tarzı bir yapıya dönüşecektir. Bu yapı diğer radyometrik alıcı ana bölümleri olan dedektör ve anten ile birleştirildiğinde alıcı tasarlanmış olacaktır. Şekil E.4.'te MMIC LNA iç yapısı görülmektedir [58].

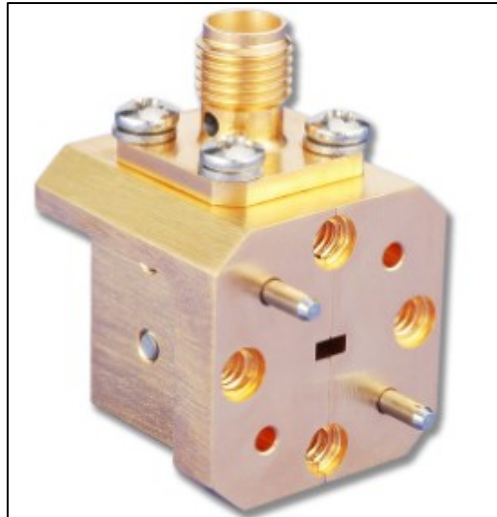




Şekil E.4. MMIC LNA'nın iç yapısı

Dedektör için düşünülen diğer bir yöntem ise Quinstar Firması'na ait olan ve Ka bantta çalışan WR28 dalga kılavuzu yapıli dedektördür. Eğer bu yöntem seçilirse LNA – dedektör bağlantısı için WR28 dalga kılavuzundan 2,92 mm konnektöre dönüştürücünün de kullanılması gereklidir.

Şekil E.5.'te Quinstar firmasına ait dalga kılavuzu tipli dedektör verilmiştir. Tablo E.2.'te ise bilgisayfası özellikleri verilmiştir [61].



Şekil E.5. Dalga kılavuzu tipli Quinstar QEA dedektör

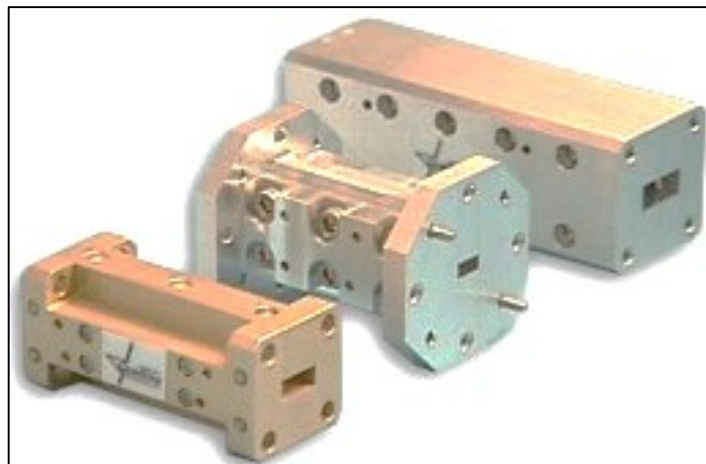
Tablo E.2. Quinstar dalga kılavuzu tipli dedektör için bilgisayarlı özellikleri

| FREQUENCY BAND              | K       | Ka      | Q     | U     | V     | E     | W      | F      | D       |
|-----------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
| Frequency Range (GHz)       | 18-26.5 | 26.5-40 | 33-50 | 40-60 | 50-75 | 60-90 | 75-110 | 90-140 | 110-170 |
| Waveguide Size              | WR-42   | WR-28   | WR-22 | WR-19 | WR-15 | WR-12 | WR-10  | WR-8   | WR-6    |
| Sensitivity (mV/mW) min 1,2 | 1500    | 1500    | 1500  | 1200  | 1800  | 1500  | 1200   | 1100   | 900     |
| Flatness (dB) max3          | ±1.5    | ±1.5    | ±1.5  | ±1.5  | ±1.5  | ±1.5  | ±2.0   | ±3.0   | ±3.0    |
| Input Power (mW) max        | 100     | 100     | 100   | 100   | 100   | 100   | 100    | 50     | 50      |

Custom Products available. Contact us at sales@quinstar.com or submit an RFQ.

LNA ve dedektör devrelerinin kart üzerinde olacağı düşünüldüğünden, LNA ve dedektör dalga kılavuzu yapısı şeklinde olmayacaktır. Anten, eş eksenliden dalga kılavuzuna geçiş kısmı sayesinde LNA devresine bağlanacaktır; LNA devresinden çıkan 2,92 mm konnektör ile de dedektör devresine bağlantı yapılacaktır. Dedektör devresi çıkışı ise video kuvvetlendirici ile kontrol ünitesine bağlıdır. Gerekli görülürse alçak geçiren filtre devresi de dalga kılavuzu tipinde veya devre kartı tipinde yapılabilir veya tedarik edilebilir.

Ka bantta çalışabilecek alçak geçiren filtrenin LNA ve dedektör gibi tekil elemanlar ile yapılması planlanmaktadır. Bu sayede; Altium Programı'nda çizilebilecek ve dedektör devresine entegre edilebilecektir. İkinci bir opsiyon olarak; Şekil E.6.'da verilen dalga kılavuzu tipli alçak geçiren filtrelerden de [62] yararlanılabilir. Eğer bu tip bir eleman kullanılacak ise yine WR28 – 2,92 mm dönüştürücü gereklidir [93].



Şekil E.6. Quinstar Firması'nın ürettiği dalga kılavuzu tipli alçak geçiren filtre çeşitleri

Tablo E.3.'te Quinstar dalga kılavuzu tipli alçak geçiren filtre için bilgisayarlı özellikleri verilmiştir [62].

Tablo E.3. Quinstar dalga kılavuzu tipli alçak geçiren filtre için bilgisayarlı özellikleri

| FREQUENCY BAND                              | K       | Ka      | Q      | U      | V      | E       | W       |
|---|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Frequency Range (GHz)                       | 18-26.5 | 26.5-40 | 33-50  | 40-60  | 50-75  | 60-90   | 75-110  |
| Waveguide Size                              | WR-42   | WR-28   | WR-22  | WR-19  | WR-15  | WR-12   | WR-10   |
| Typical 3 dB Upper Cutoff Frequency (GHz)   | 28.5    | 41.5    | 52.2   | 62.3   | 77.0   | 93.0    | 114.0   |
| Rejection Band (GHz)                        | 30-100  | 48-120  | 60-145 | 72-185 | 90-220 | 108-270 | 132-330 |
| Lower Cutoff Frequency (GHz) <sup>1</sup>   | 14.1    | 21.1    | 26.3   | 31.4   | 39.9   | 48.4    | 59.1    |
| Insertion Loss (dB max)                     | 1.0     | 1.0     | 1.0    | 1.0    | 1.2    | 1.5     | 1.8     |
| Rejection Band for Attenuation >40 dB (GHz) | 35-66   | 50-95   | 62-120 | 75-145 | 92-180 | 110-215 | 140-265 |

## Ek-F

Bu tezinde ana finansman kaynağı olan danışman hocam yürütücülüğündeki KOÜ-BAP 2013/18 kodlu “Milimetre Dalga Görüntüleme Sistemi Projesi (MİLGÖR)” isimli proje kapsamında kurulmakta olan MİLTEK Laboratuvarı’nın malzeme seçimi ve satın alma işlemlerinde araştırmacı olarak aktif rol alınmıştır. Proje Mart 2013 başlangıçlı ve Eylül 2015 bitişli, 30 ay süreli, 115201 TL bütçelidir.

2013/18 kodlu MİLGÖR Bilimsel Araştırma Projesi’nin gerçekleştirilmesi için alınması gerekli olan malzemelerin araştırılması aşamasında, hangi malzemenin hangi firmadan alınmasının doğru olacağı konusunda, alınması karar verilen malzemelerin temini ve ödeme gibi prosedür işlemlerinin gerçekleştirilmesinde, yine malzemelerin laboratuvara yerleştirilmesi ve kurulumu aşamasında katkılarda bulunulmuştur.

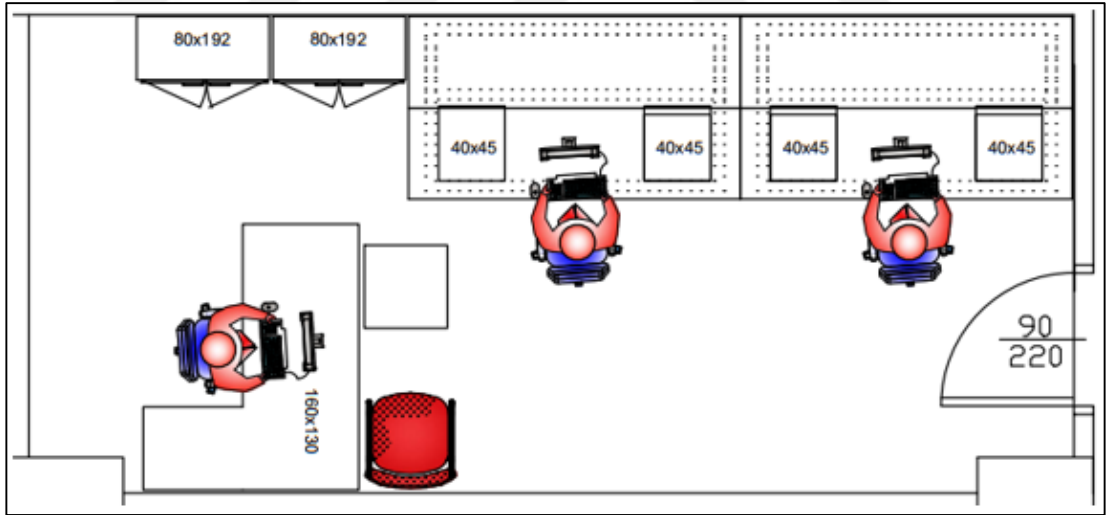
Laboratuvarın işlevselliği açısından önemli olan laboratuvar tezgahı, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi’nde (MAM) bulunan bir örneğine benzer şekilde Yıldız İnşaat Firması’na yaptırıldı. Ayrıca; laboratuvar dolapları ve kesonlar, kırtasiye ve büro malzemeleri gibi diğer önemli ürünlerin alım ve kurulum işlemlerinde de bizzat katkılarda bulunuldu.

Şekil F.1. (a)’da önce üst kata kurulmuş olan laboratuvarın görünüşü ve (b)’de şeması verilmiştir.

Daha sonra laboratuvar; laboratuvarın iç düzeni orijinaline sağdık kalınacak şekilde, alt kata taşınmıştır.



(a)



(b)

Şekil F.1. Milimetre Dalga, Elektromanyetik ve Güvenlik Teknolojileri (MİLTEK) Laboratuvarının (a) Görünüşü (b) Şeması

2013/18 KOÜ-BAP kapsamında son olarak; Mikrodalga ve Anten Laboratuvarı'nda bulunan ZVB20 kodlu Vektör Network Analizörü'nün bir arızası giderilerek bakımı ve kalibrasyonu yaptırılmıştır.

Proje kapsamında satın alınmaları gerçekleştirilen demirbaş malzemeleri; lehim istasyonu (Şekil F.2.), duman emici cihaz (Şekil F.3.) ve soldan sağa doğru multimetre (MM 570A modeli), LCR metre (LCR 200 modeli) ve mesafe ölçer (DT 300) (Şekil F.4.) olarak verilmiştir. Ayrıca; birçok sarf malzemesi alınmıştır.



Şekil F.2. Lehim istasyonu



Şekil F.3. Duman emici cihaz



Şekil F.4. Soldan sağa multimetre, LCR metre ve mesafe ölçer cihazları



## Ek-G

Bu tez sırasında; danışman hocamın yürütücülüğündeki KOÜ-BAP 2014/06 kodlu, 24 ay süreli, 285000 TL bütçeli, “Mikrodalga / Milimetre Dalga Yansız Odasının Kurulumu” isimli projede; malzeme araştırmaları, satın almalar ve odanın kurulumunda aktif rol alınmıştır. Yansız Oda (YO)’nın temel amacı 900 MHz – 20 GHz (eklemelerle 40 GHz’ye çıkabilir) aralığında çalışan tasarlanmış antenlerin kazanç ve ışma paternlerinin ölçülmesidir.

YO’nun kurulumuna başlanmadan önce; danışman hocamın ölçülerini belirlediği şekilde YO yeniden bölmelendirildi; metal ve cam kısımlar tamamen kaldırıldı, yerleri birer kapı ve elektromanyetik açıdan yansız az olan alçıpanla kapatıldı. Ardından; odada yapılan kapsamlı bir temizlikten sonra yer ile duvarlar arasında bulunan süpürgelikler kaldırıldı. Kapı kasasının iç tarafta kalan kısmı çıkartıldı.

Odanın soğurucu malzeme ile kaplanması TÜBİTAK MAM’daki uygulamasına benzer şekilde yapıldı. Odanın içerisine soğurucuların kaplanması işini yapmak üzere uygun bir firma bulundu. Firma elemanları tarafından tavana ve duvarlara yansız önleyen piramit soğurucu (absorber) malzeme yapıştırılmadan önce; üzerine cırt cırt bantlar (velcro tape) bali yardımıyla yapıştırılan tahta ince çıtalara, belirli aralıklarla vidalandı (Şekil G.1.).

Tavan için olan tahta çıtalara, ağırlığı kaldırabilmesi için tavanda bulunan ses keslerin tutturulduğu metal şeritlere sabitlendi. Duvar ve tavan yüzeylerindeki çıtalara cırt cırt bantların erkek kısmı, soğurucuların arkasına ise dişi kısmı yine bali kullanarak yapıştırıldı (Şekil G.2. (a)).

Soğurucular sırayla önce tavana sonra duvarlara, cırt cırt bantlar yardımıyla teker teker tutturuldu (Şekil G.2. (b)). Işık, havalandırma, yangın dedektörü gibi bölümler boş bırakıldı fakat ölçüm esnasında soğurucular ile kapatılabilecek şekilde önlem alındı (Şekil G.3. (a)). Giriş kapısından bakıldığında sağ taraftaki duvarda, kontrol odasından taramanın gözlenebilmesi için bir boşluk bırakıldı, pencerenin altında bulunan kalorifer peteği de soğurucu malzeme ile kaplandı (Şekil G.3. (b)). Cırt cırt bant sayesinde soğurucular yerlerinden istenirse sökülebilir ve tekrar istenilen yerlere takılabilir.



Duvar köşelerine soğurucular yerleştirilirken özellikle dikkat edildi. YO'nun giriş kapısının iç kısmı da soğurucularla kaplanmıştır (Şekil G.3. (c)).

Kontrol ve veri toplama yazılımının bulunduğu bilgisayar ve network analizörünün yer aldığı kontrol odasına ise herhangi bir soğurucu uygulanmamıştır (Şekil G.4.).

YO'nun bilgisayar kontrollü tarayıcı sisteminin satın alındığı Diamonds Engineering Firması yetkilileri bu sistemin kurulumunu yapmak, devreye almak ve sistemin eğitimini vermek için ABD'den 3 günlüğüne Türkiye'ye geldiler. Bu aşamada; önce yine firma tarafından temin edilen geniş bantlı (700 MHz – 30 GHz) referans antenini, 2 eksenli tarayıcı sistemini ve kontrol odasına yerleştirilecek olan network analizöre bağlanan içinde kontrol ve veri toplama yazılımının olduğu bilgisayarı ve kontrol donanımını kontrol odasına yerleştirdiler.

Sistemin nasıl kullanılacağı hakkında verilen eğitim sırasında; parametreleri ölçülecek bir antenin parametrelerinin elde edilmesi ile ilgili gerçekleştirilen eğitim çalışmaları fotoğrafları Şekil G.5.'te verilmiştir.



(a)

Şekil G.1. Tavan ve duvarlara vidalanan, üzerine cırt cırt bantların yapıştırılmış olduğu tahta şeritlerin montajı



(b)

Şekil G.2. (Devam) Tavan ve duvarlara vidalanan, üzerine cırt cırt bantların yapıştırılmış olduğu tahta şeritlerin montajı



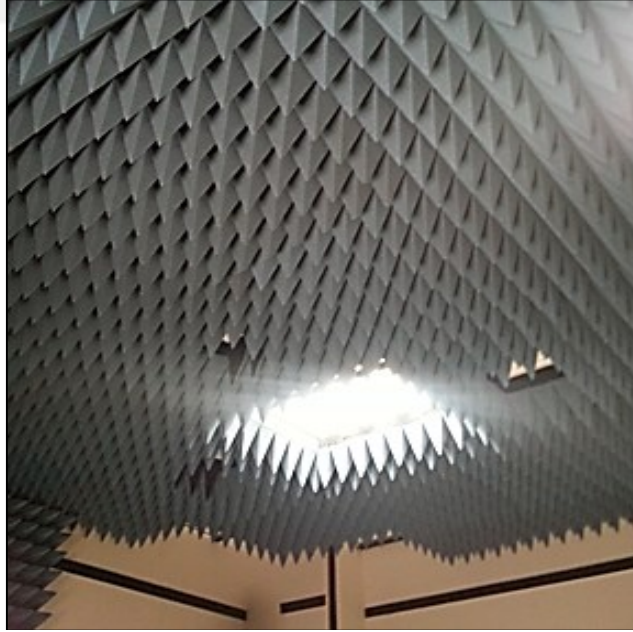
(a)

Şekil G.3. (a) Piramit soğurucuların arka yüzeyine cırt cırt bantların bali ile yapıştırılması  
(b) Cırt cırt bantlı soğurucuların tavan ve duvarlara montajı



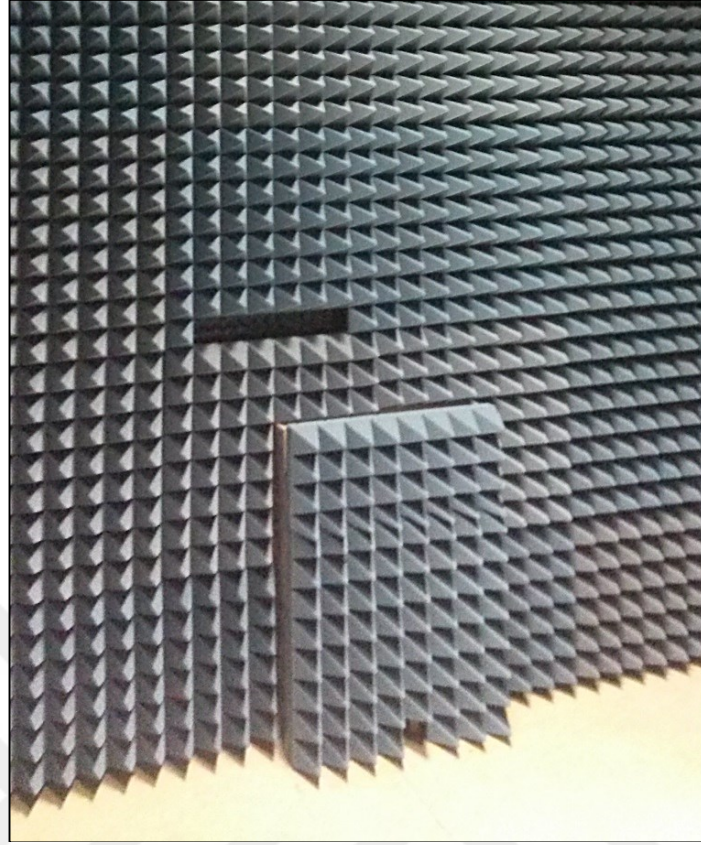
(b)

Şekil G.4. (Devam) (a) Piramit soğurucuların arka yüzeyine cırt cırt bantların balı ile yapıştırılması (b) Cırt cırt bantlı soğurucuların tavan ve duvarlara montajı

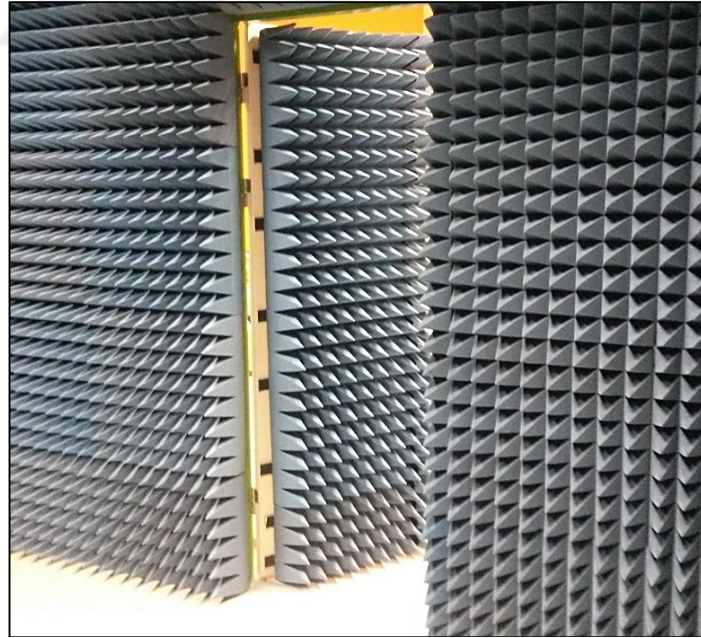


(a)

Şekil G.5. (a) Işık, havalandırma, yangın dedektörü gibi kısımlar (b) Kontrol odasındaki tarama gözlem penceresi ve pencerenin altında bulunan, üzeri soğurucu ile kaplı kalorifer peteği (c) Soğurucu kaplı YO'nun giriş kapısı



(b)

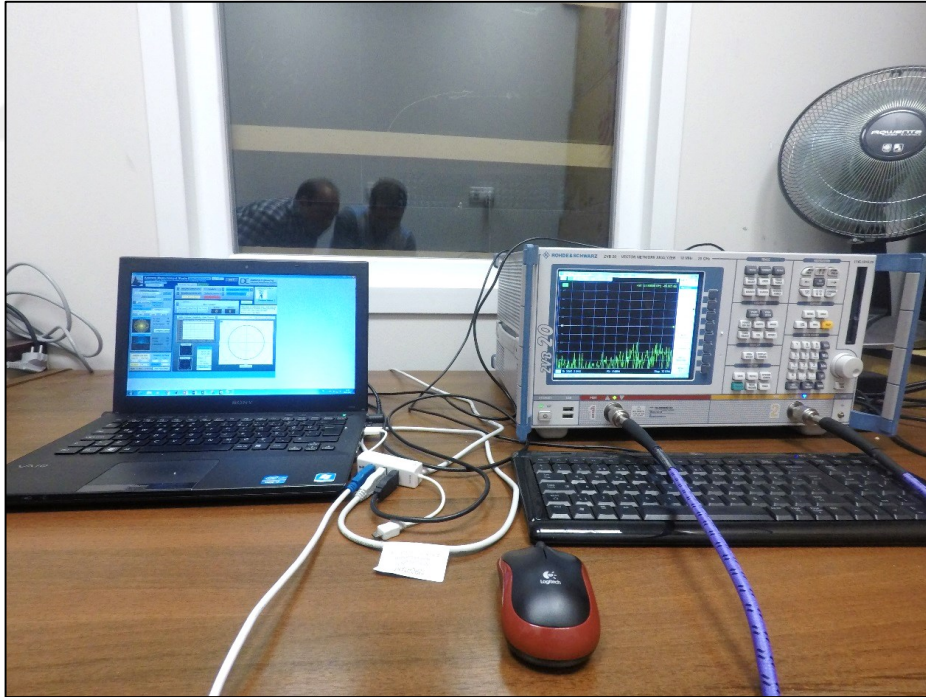


(c)

Şekil G.6. (Devam) (a) Işık, havalandırma, yangın dedektörü gibi kısımlar (b) Kontrol odasındaki tarama gözlem penceresi ve pencerenin altında bulunan, üzeri soğurucu ile kaplı kalorifer peteği (c) Soğurucu kaplı YO'nun giriş kapısı



(a)



(b)

Şekil G.7. (a) Kontrol odası ve tarama gözlem penceresinden bir görünüş (b) Odadaki network analizör ile tarama kontrol ve veri toplama yazılımının bulunduğu bilgisayar



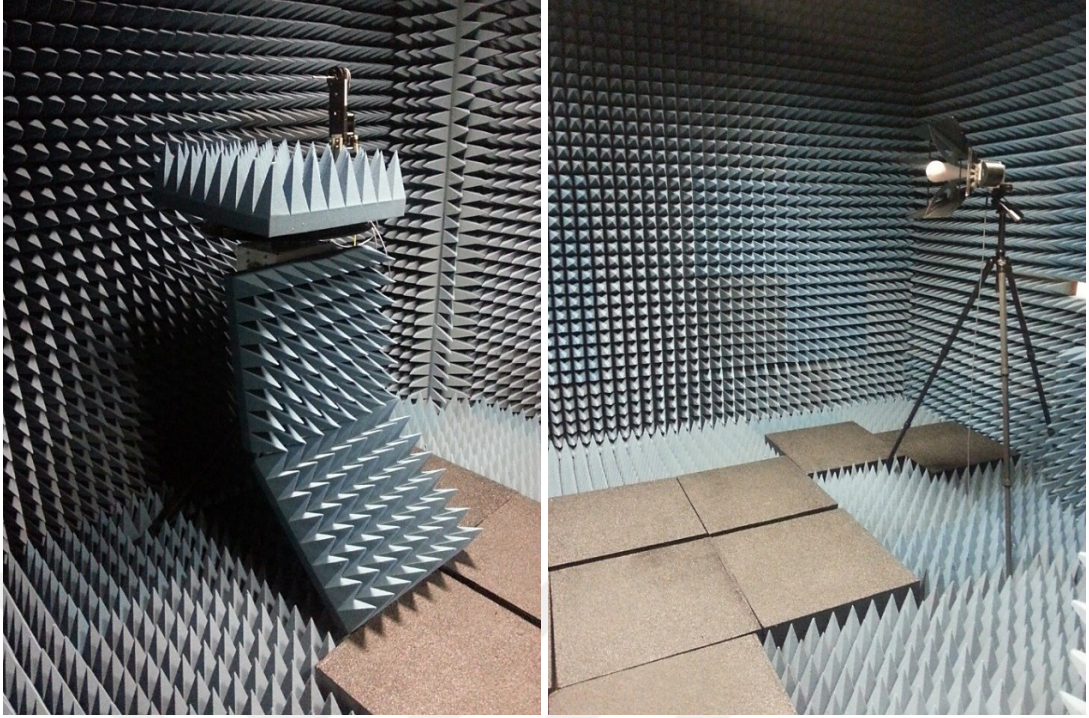
(a)



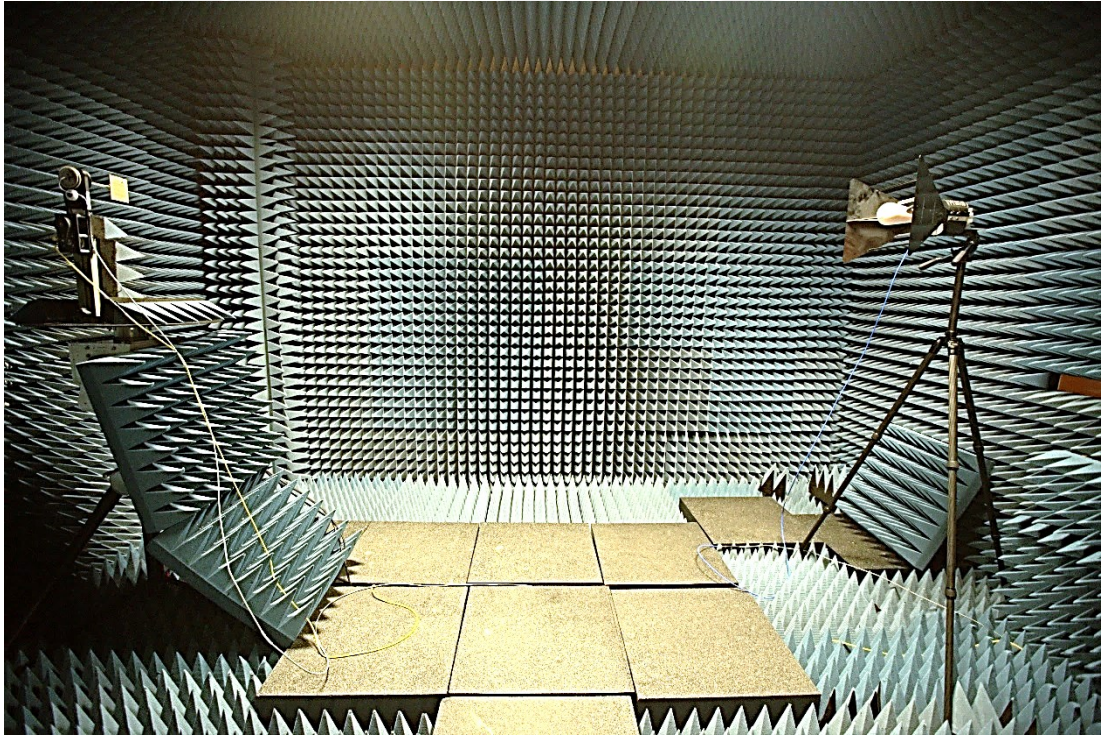
(b)

Şekil G.8. Laboratuvar eğitim çalışmaları fotoğrafları

Eğitimden hemen sonra, zemine yerleştirilen poliüretan soğuruculara ek olarak üzerinde yürünebilen yürüyüş yolu soğurucuları da zemine döşendi. Odanın ölçüme hazır son hali Şekil G.6.'da verilmiştir.



(a)



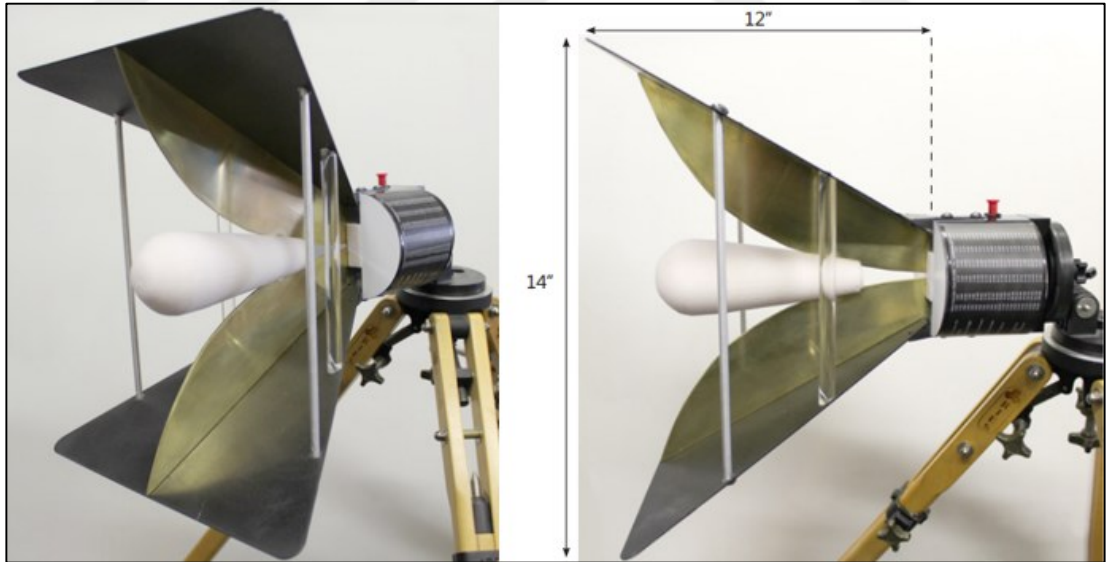
(b)

Şekil G.9. YO'nun ölçüme hazır son hali (a) Solda ölçümün yapılacağı antenin üzerine bağlandığı konumlandırıcı, sağda ise referans anten (b) Referans anten ve ölçülecek antenin bir arada gösterildiği fotoğraf

Yansımaz odanın yanında; içinde anten taramalarının penceresinden izlenebileceği bir kontrol odası bulunmaktadır (Şekil G.4.) Bu oda içerisinde kontrol ve veri

toplama yazılımının bulunduğu bir bilgisayar, vektör network analizör, tarama sistemi kontrol donanımı ve YO'ya RF sinyalinı gönderen ve alan ve 2 ekseni konumlandırıcıyı hareket ettirmek için sinyaller gönderen kablolar bulunur.

Tarama sistemindeki konumlandırıcıya ölçümü yapılacak olan anten yerleştirilir, kontrol yazılımı sayesinde; istenilen açılarda ve düzlemde tarama yaptırılarak ölçülen antenin ışınma paternleri farklı frekanslarda elde edilebilir. Aynı zamanda; antenin kazancı, referans antenin kazanç değerleri bilindiği için tam olarak elde edilir. YO'da hem doğrusal hem de dairesel ve eliptik kutuplu antenlerin ölçümleri yapılabilir. Ayrıca; aksel oranları (axial ratio) elde edilebilir. Odadaki referans anten (DE730) bir çift sırtlı (double ridged) horn antendir, çalışma frekans aralığı ise 700 MHz ile 30 GHz arasındadır [94] (Şekil G.7.). Ölçülecek antenin kazancının bulunabilmesi için, referans antenin farklı frekanslardaki kazanç değerleri firma tarafından sağlanmıştır. Network analizör maksimum 20 GHz desteklediği için Yansımasız Oda tüm ekipmanlar dahil edildiğinde 900 MHz – 20 GHz arasında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil G.10. Alıcı (referans) anten, DE730

Kurulan YO faaliyete geçtiği ilk andan itibaren projelerin ölçümünde aktif olarak kullanılmaya başlamış ve birçok projeye destek vermiştir. Ayrıca; bölümümüzde devam eden yüksek lisans ve doktora çalışmalarının ölçümleri de bu odada yapılmaktadır. İlgili projenin gerçekleştirilmesi için alınması gerekli olan malzemelerin ve cihazların araştırılması aşamasında, hangi malzemenin hangi



firmadan alınmasının doğru olacağı konusunda, alınması karar verilen malzemelerin temini ve ödeme gibi prosedür işlemlerinin gerçekleştirilmesi kısmında, özellikle malzemelerin laboratuvara yerleştirilmesi ve kurulumu aşamasında, kurulum sonrası eğitim ve destek şartlarının lehimize oluşturulması konularında birçok katkıda bulunulmuştur.

Ağır yükteki (67,5 kg'a kadar) antenler konumlandırıcının üzerindeki metal plakaya direkt olarak bağlanmaktadır. Şekil G.8.'de verilen bu konumlandırıcının DAMS7100 (Diamond Engineering Antenna Measurement System) teknik özellikleri aşağıda verilmiştir [94]:

- 0,10 derece azimut çözünürlüğü
- 360 derece dönme
- +/- 90 derece kalkış açısı aralığı, her adımda 0,1 derece
- DC – 40 GHz ölçüm aralığı
- Düşük gürültülü döner SMA bağlantı noktası
- Çelik dişli ve hassas alüminyum konstrüksiyon, uzun ömür ve güvenilirlik için rulmanlar
- Daha büyük antenler için 60,96 cm alüminyum baskı plakası
- Çok ağır antenlere dayanıklı üç ayak
- 67,5 kg ağırlığına kadar antenleri ölçebilme kabiliyeti

Şekil G.9.'da ise mikroşerit antenler gibi hafif antenlerin (2,25 kg'a kadar) 3 boyutlu ışına paterninin çıkartılmasına olanak veren FSM-5 (Full Spherical Mount) tam küresel konumlandırıcısı verilmiştir. Teknik özellikleri ise aşağıda sıralanmıştır [94]:

- Düşük elektromanyetik yansımaya sahip % 90 Delrin® yapı
- DC – 18 GHz ölçüm aralığı
- Merkezleme için 15,24 cm azimut ayarı

- 30,48 cm kalkış yüksekliği
- 0,1 derece hareket çözünürlüğü
- 2,25 kg yük kapasitesi

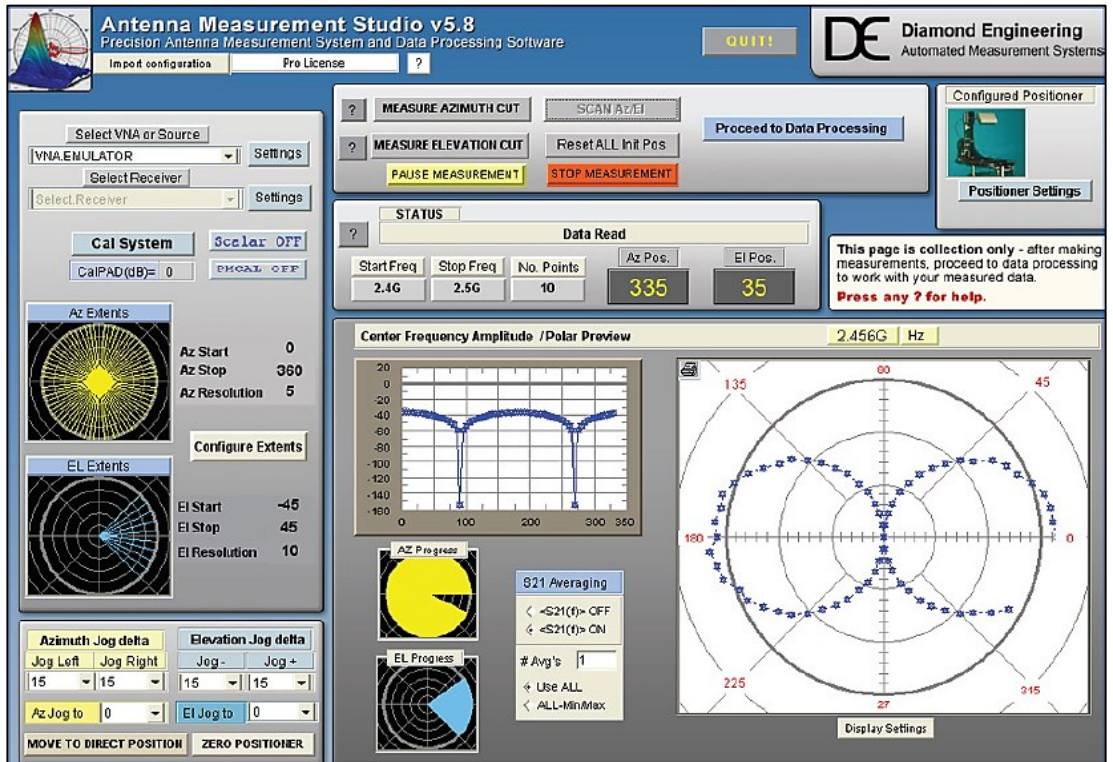


Şekil G.11. DAMS 7100 konumlandırıcısı



Şekil G.12. FSM-5 konumlandırıcı

Tarama açısı ve frekans aralığı, gibi anten tarama başlangıç ayarlarının yanında, elde edilen ışınma paternlerinin düzenlenmesiyle ilgili de seçeneklerin bulunduğu Antenna Measurement Studio isimli arayüzün ekran görüntüsü Şekil G.10.'da verilmiştir [94].



Şekil G.13. Antenna Measurement Studio Bilgisayar Yazılımı

Program yazılımını aynı zamanda toplam verimlilik, malzeme kaybı ve ışımaya direnci özelliklerini de ölçer.

Sistemde RF sinyal kaynağı olarak network analizör kullanılmıştır, ancak; istenirse spektrum analizör veya düz RF güç jeneratörü de bağlanarak kullanılabilir.

DAMS (Diamond Engineering 40 GHz Heavy-Duty Antenna Measurement System) 7100 platformu ile Bölüm 6.1.'de bahsedilen ve tezde kullanılan konumlandırıcı sisteminin benzerliği dikkat çekicidir. Ufak uyarlamalar yapılarak birbirleri yerine kullanılabilirler.

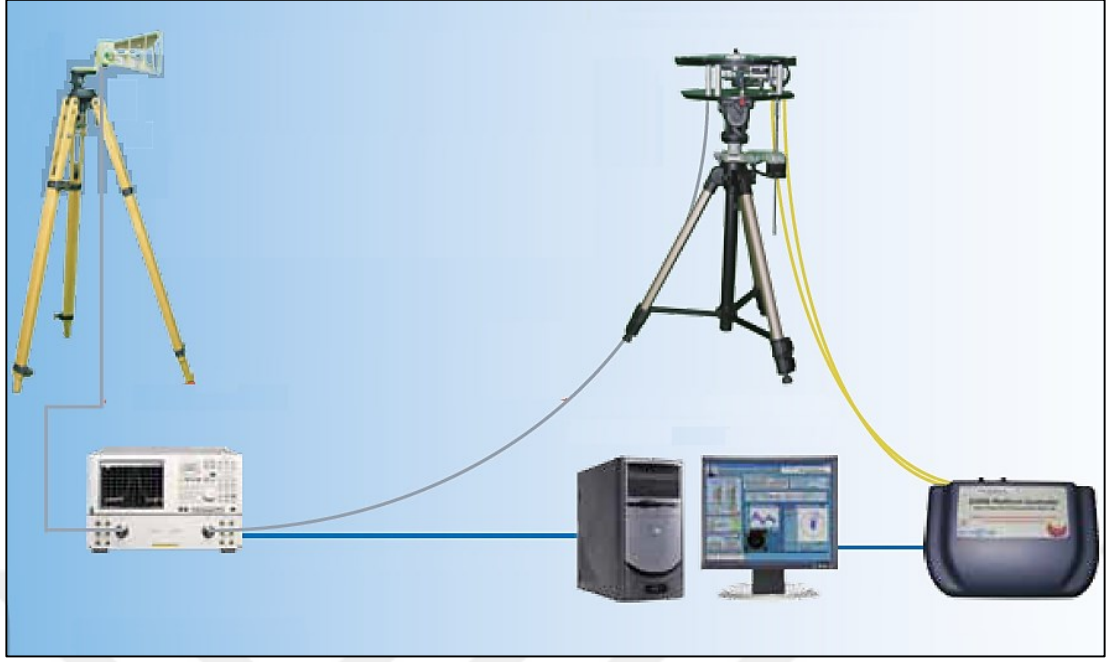
Anten parametreleri ölçüm sistemi Şekil G.11.'de verilmiştir. Sistemin çalışması şu şekildedir:

Ölçülecek antenin kazancının doğru olarak elde edilmesi için tarama öncesinde referans antenin çeşitli frekanslardaki kazanç değerleri programa yüklenir. Vektör network analizörünün ürettiği RF sinyali doğrudan referans antene gönderilir. Bu sırada ölçülen anten yani AUT (Antenna Under Test) kontrol yazılımına girildiği şekilde tanımlanan aralık ve adımlarda AUT'u döndürür. Her çevrim esnasında anten paternindeki bir ölçüm noktası ekranda yerleştirilir.

Antenin taramasını sağlayan konumlandırıcının kontrol sinyali, kontrol donanımı tarafından konumlandırıcının motorlarına iletilir.

Tarama sonunda ilgili düzlemde ve tanımlanan açı aralığında antenin ışımaya paterni çeşitli frekanslarda çizdirilmiş olur.

Paternin değerleri aynı zamanda AUT antenin farklı açılardaki kazanç değerlerini (dB) vermektedir.



Şekil G.14. Anten parametreleri ölçüm sistemi

- Kaynaklar verilirken [1-94] arası kaynaklar tezde numaralandırılmış ve tezde değinilmiştir. [95-132] arası kaynaklar ise tavsiye edilen ek kaynaklar olarak verilmiştir.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

### Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

[1] **Duman M.**, Salman A. O., Obtaining the Sky - Temperature Depending on Voltage Value by the Passive Millimeter Wave Imaging System, *Acta Physica Polonica A*, 2018, **134**(1), 346-348.

[2] **Duman, M.**, Salman A. O., Antipodal Vivaldi Antenna for Passive Imaging Technology in Ka Frequency Band, *Sakarya University Journal of Science (SAUJS)*, 2018, **22**(4), 1130-1134.

[3] **Duman M.**, Frekans Seçici Yüzey Analizi Yöntemiyle Gerçekleştirilmiş 1,35 GHz Frekanslı Bant Durduran Süzgeç Tasarımı, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi*, kabul edildi.

[4] **Duman M.**, Salman A. O., 35 GHz Vivaldi Fed Antenna Design for Passive Millimeter Wave Imaging System in Ka Band, *Journal of Electrical Engineering*, 2017, **5**(6), 340-343.

[5] **Duman M.**, Güney Duman M., Design of Band Stop Filter with Frequency Selective Surfaces Analysis by Implementing the Golden Ratio Rule, *Journal of Materials Science and Engineering B*, 2017, **7**(2), 77-80.

### Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler

[1] **Duman M.**, Salman A. O., Theoretical Investigation of Blackbody Radiation for the Passive Millimeter wave Imaging System, *IEEE 2. International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 19-21 October 2018, Ankara, Turkey.

[2] **Duman M.**, Designing metal band pass filter plate with the Golden Ratio Rule and effect of Golden Ratio Rule to the filter, *IEEE 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, Zonguldak, Turkey, 16-19 May 2016.

[3] **Duman M.**, Yağcı H. B., UHF Power Amplifier Design for Small Satellites, *IEEE 21th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, Haspolat, KKTC, 24-26 April 2013.

- [4] **Duman M.**, Salman A. O., The Connection Types to Minimize Loss of Gain Between Low Noise Amplifier and Antenna, 3. *International Organic Electronic Material Technologies (OEMT)*, Kırklareli, Turkey, 20-22 September 2018.
- [5] **Duman M.**, Controlling Servo Motors with Speech Recognition by Using 802.15.4 Wireless Protocol ZigBee, 3. *International Organic Electronic Material Technologies (OEMT)*, Kırklareli, Turkey, 20-22 September 2018.
- [6] **Duman M.**, Linear Predictive Coding in MatLab to Communicate with Zigbee, 3. *International Organic Electronic Material Technologies (OEMT)*, Kırklareli, Turkey, 20-22 September 2018.
- [7] **Duman M.**, Salman A. O., 35 GHz Frekanslı Radyometrik Algılayıcı için Anten Seçimi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.
- [8] **Duman M.**, To Design Flat Scattering Parameters at the UHF Band by Using AWR Program, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.
- [9] **Duman M.**, Applying Micro Strip Lines Instead of Passive Elements Like Inductances and Capacitances, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.
- [10] **Duman M.**, Salman A. O., Obtaining the Sky-Temperature Depending on Voltage Value by the Passive Millimeter Wave Imaging System, *Int. Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition (APMAS)*, Muğla, Turkey, 22-26 April 2017.
- [11] **Duman M.**, Salman A. O., Designing a Vivaldi Fed Antenna for Passive Millimeter Wave Imaging System in Ka Band, *International Conference on Engineering Technology and Innovation (ICETI)*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 22-26 March 2017.
- [12] **Duman M.**, Güney Duman M., Design of Band Stop Filter with Frequency Selective Surfaces Analysis by Implementing the Golden Ratio Rule, *International Conference on Engineering Technology and Innovation (ICETI)*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 22-26 March 2017.
- [13] **Duman M.**, Küçük Boyutlu Uydular için UHF Bandında Çalışan A Sınıfı RF Güç Kuvvetlendiricisi Tasarımı ve Gerçeklenmesi, *Uluslararası Multidisipliner Konferansı (IMUCO)*, Antalya, Türkiye, 21-22 Nisan 2016.
- [14] **Duman M.**, Küçük Boyutlu Uydular için Tasarlanan ve UHF Bandında Çalışan A Sınıfı RF Güç Kuvvetlendiricisinin Kararlılık Analizi, *Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Konferansı (ICETAS)*, Afyon, Türkiye, 21-22 Nisan 2016.
- [15] **Duman M.**, Güney Duman M., Güney T., Akıllı Sistemler için Frekans Seçici Yüzeysel Analizi ile Oluşturulmuş Bant Durduran Filtre Tasarımı, *Akıllı Sistemlerde*

*Yenilikler Ve Uygulamaları (ASYU) Konferansı*, Düzce, Türkiye, 29 Eylül – 01 Ekim 2016.

**Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler**

[1] **Duman M.**, Güney Duman M., Altın Oran'ın LED'ler Üzerinde Uygulanması, 9. *Ulusal Aydınlatma Kongresi*, İstanbul Dünya Ticaret Merkezi, İstanbul, Türkiye, 19-20 Nisan 2013.

[2] **Duman M.**, EI Nüvesinin Teorik Olarak Hesaplanan İndüktans Değerinin FEMM Programında Hesaplanan Değeri ile Karşılaştırılması, 3. *İleri Teknoloji Çalıştayı*, Büyükçekmece, İstanbul, Türkiye, 04-06 Ekim 2012.





## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Duman 1988 yılında Sakarya ilinin Geyve ilçesinde doğdu.

Kocaeli Körfez Oruç Reis Anadolu Lisesi'nden 2006 yılında mezun oldu ve Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (Gebze Teknik Üniversitesi) Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2011 yılında, Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden üniversite birinciliği ile mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü Radyo Frekansı Laboratuvarı'nda (RFLab) Öğr. Gör. Hasan Bülent Yağcı danışmanlığında tezli yüksek lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında, ayrıca; Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlayan Mehmet Duman, yüksek lisans öğreniminden mezun olana kadar geçici görevlendirme ile İstanbul Teknik Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2013 yılında yüksek lisans öğreniminden mezun oldu ve Düzce Üniversitesi'ne araştırma görevlisi olarak geri döndü. Aynı yıl doktora öğrenimi için Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve geçici görevlendirme ile Kocaeli Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Kocaeli Üniversitesi Milimetre Dalga, Elektromanyetik ve Güvenlik Teknolojileri (MİLTEK) Laboratuvarı'nın kurulmasında danışman hocası Doç. Dr. Alp Oral Salman ile birlikte rol aldı ve aynı laboratuvarda doktora çalışmalarını gerçekleştirdi. 2017 yılının sonlarında, Düzce Üniversitesi'ne araştırma görevlisi olarak geri dönen Mehmet Duman, doktora öğreniminin kalan kısmını Aralık 2018'de bitirdi ve mezun oldu. Şu an Düzce Üniversitesi'nde çalışmaya devam ediyor.