İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS VE GLONASS UYGULAMALARI İÇİN RF ALICI ÖN KAT TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan Güneş ÖZDEMİR

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS VE GLONASS UYGULAMALARI İÇİN RF ALICI ÖN KAT TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan Güneş ÖZDEMİR
(504131207)

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Hasan Bülent YAĞCI

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131207 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gökhan Güneş ÖZDEMİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**GPS VE GLONASS UYGULAMALARI İÇİN RF ALICI ÖN KAT TASARIMI**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Dr. Hasan Bülent YAĞCI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Cevdet IŞIK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. Serdar KARGIN Beykent Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 30 Kasım 2016
Savunma Tarihi : 27 Aralık 2016

ÖNSÖZ

Proje çalışmam süresince yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Dr. Hasan Bülent YAĞCI'ya, Prof. Dr. Osman PALAMUTÇUOĞULLARI'na, Yük. Müh. Ared PONTİOĞLU'na ve Dr. Osman CEYLAN'a, yine çalışmam boyunca desteklerini benden esirgemeyen Müh. Hasan Onur ÇAKAR'a, Müh. Kaan KULA'ya, NETAŞ Telekomünikasyon A.Ş çalışanı Müh. İlker KAYA'ya, Dr. Süha Alp AZİZOĞLU'na, Müh. Serkan YILMAZ'a, Elektronik Teknisyeni Haluk SARIKAYA'ya ve İTÜ RF Elektronik Laboratuvarı'na teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. Proje kapsamında desteklerinden dolayı T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve NETAŞ Telekomünikasyon A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım. Her zaman beni destekleyen ve yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Kasım 2016

Gökhan Güneş ÖZDEMİR
(Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
SEMBOLLER ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 RF Elektroniği Genel Kavramlar 2
1.1.1 S-Parametreleri 2
1.1.2 Kazanç 4
1.1.2.1 Elde edilebilir güç kazancı 4
1.1.2.2 Dönüştürücü güç kazancı 4
1.1.2.3 Çalışma güç kazancı 4
1.1.3 Elektriksel gürültü 4
1.1.3.1 Gürültü faktörü 5
1.1.3.2 Gürültü sayısı 5
1.1.3.3 Gürültü sıcaklığı 5
1.1.4 Doğrusallık 6
1.1.5 Kaskat sistemde gürültü sayısı 9
1.2 GNSS Sistemleri 10
1.2.1 GPS sistemi 10
1.2.2 GLONASS sistemi 11
2. TASARIM VE GERÇEKLEME **15**
2.1 Sistem Tasarımı 15
2.2 Devre Elemanı Araştırması ve Seçimi 18
2.2.1 Düşük gürültülü kuvvetlendirici 18
2.2.2 YAD süzgeç 19
2.2.3 RF anahtar 20
2.2.4 Ara kat kuvvetlendiricisi 21
2.2.5 GPS – GLONASS bant ayırıcı 21
2.2.6 DC ekleyici 22
2.3 Sistem Benzetimleri 23
2.3.1 Sistem-1 kazanç ve gürültü sayısı benzetimi 23
2.3.2 Sistem-2 kazanç ve gürültü sayısı benzetimi 24
2.4 Devre Tasarımı 26
2.4.1 Devre-1 şema 26
2.4.2 Devre-2 şema 28
2.4.3 Devre-1 serim 30

2.4.4 Devre-2 serim 31
2.5 Devrelerin Gerçeklenmesi 31
2.5.1 Baskı devre kartlarının üretimi 31
2.5.2 Metal kutu üretimi 32
2.6 Devre Montajı 34
2.7 Ölçümler 35
2.7.1 Kazanç, gürültü sayısı ve güç tüketimi ölçümleri 36
2.7.2 Çıkış gücü ölçümü 40
2.7.3 İki ton ölçümü 45
2.7.4 Geniş bant kazanç ölçümü 47
3. SONUÇ 49
KAYNAKLAR 51
EKLER 53
ÖZGEÇMİŞ 57

KISALTMALAR

GNSS : Global Navigation Satellite System
GPS : Global Positioning System
GLONASS : Global Navigation Satellite Sytsem
IRNSS : Indian Regional Navigation Satellite System
YAD : Yüzey Aküstik Dalga
SAW : Surface Acoustic Wave
LNA : Low Noise Amplifier
NI : National Instruments
MWO : Microwave Office
VSS : Visual System Simulator
RF : Radio Frequency
IF : Intermediate Frequency
DC : Direct Current
AC : Alternating Current
Hz : Hertz
SPDT : Single Pole Double Throw
NF : Noise Figure
SNR : Signal to Noise Ratio
P1dB : Power One Decibel Compression Point
OP1dB : Output Power One Decibel Compression Point
IP1dB : Input Power One Decibel Compression Point
IP3 : Third Order Intercept Point
OIP3 : Output Third Order Intercept Point
IIP3 : Input Third Order Intercept Point
dB : Decibel
dBm : Decibel-milliwatts
dBc : Decibel to Carrier
CDMA : Code Division Multiple Access
FDMA : Frequency Division Multiple Access
BPSK : Binary Phase-Shift Keying
PCB : Printed Circuit Board
ENIG : Electroless Nickel Immersion Gold
TH : Tasarım Hedefi
ÖS : Ölçüm Sonucu

SEMBOLLER

$\boldsymbol{V}$	**:** Gerilim
$\boldsymbol{R}$	**:** Direnç
$\boldsymbol{I}$	**:** Akım
$\boldsymbol{\Omega}$	**:** Ohm
$\boldsymbol{W}$	**:** Watt
$\boldsymbol{S}$	**:** S parametre matrisi
$\boldsymbol{S_{11}}$	**:** Giriş yansıma katsayısı
$\boldsymbol{S_{12}}$	**:** Yalıtım katsayısı
$\boldsymbol{S_{21}}$	**:** İletim katsayısı
$\boldsymbol{S_{22}}$	**:** Çıkış yansıma katsayısı
$\boldsymbol{P}$	**:** Güç
$\boldsymbol{G_A}$	**:** Elde edilebilir güç kazancı
$\boldsymbol{G_T}$	**:** Dönüştürücü güç kazancı
$\boldsymbol{G_P}$	**:** Çalışma güç kazancı
$\boldsymbol{F}$	**:** Gürültü faktörü
$\boldsymbol{G}$	**:** Kazanç
$\boldsymbol{N_i}$	**:** Birim bant genişliği giriş gürültü seviyesi
$\boldsymbol{N_a}$	**:** Birim bant genişliği eklenen gürültü seviyesi
$\boldsymbol{T_r}$	**:** Sistem gürültü sıcaklığı
$\boldsymbol{T_0}$	**:** Oda sıcaklığı
$\boldsymbol{v_i}$	**:** Giriş gerilimi
$\boldsymbol{v_o}$	**:** Çıkış gerilimi
$\boldsymbol{V_0}$	**:** Giriş işareti genliği
$\boldsymbol{G_v}$	**:** Gerilim kazancı
$\boldsymbol{\omega}$	**:** Açısal frekans
$\boldsymbol{f}$	**:** Frekans
$\boldsymbol{\alpha}$	**:** Gerilim katsayısı
$\boldsymbol{t}$	**:** Zaman
$\boldsymbol{K}$	**:** Kelvin

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tasarım hedefleri. **16**
Çizelge 2.2 : Seçilen LNA tümdevrelerinin elektriksel özellikleri. **19**
Çizelge 2.3 : Seçilen YAD süzgeçlerin elektriksel özellikleri. **20**
Çizelge 2.4 : HMC349alp4ce RF anahtar 1-2GHz tipik elektriksel özellikleri. **21**
Çizelge 2.5 : B3518 GPS – GLONASS bant ayırıcı tipik elektriksel özellikleri. **22**
Çizelge 2.6 : TCBT-2R5G DC ekleyici elektriksel özellikleri. **22**
Çizelge 2.7 : "SW CTRL" kontrol bilgisi. **26**
Çizelge 2.8 : FR4 taban özellikleri. **30**
Çizelge 2.9 : Testlerde kullanılan cihazlar. **35**
Çizelge 2.10 : Kazanç ve gürültü sayısı ölçüm sonuçları. **40**
Çizelge 2.11 : Çıkış gücü ölçüm sonuçları. **45**
Çizelge 2.12 : Geniş bant kazanç ölçüm sonucu. **48**
Çizelge 3.1 : Tasarım hedefleri (TH) - ölçüm sonuçları (ÖS) karşılaştırması. **49**
Çizelge A.1 : Devre-1'de kullanılan elemanların bilgileri ve kullanım işlevleri. **54**
Çizelge B.1 : Devre-2'de kullanılan elemanların bilgileri ve kullanım işlevleri. **55**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Gelen ve yansıyan dalgaların iki kapılı sistemde gösterimi. **3**
Şekil 1.2 : 1dB bastırma noktası grafik gösterimi. **7**
Şekil 1.3 : Doğrusal olmayan devrenin çıkışındaki ürünler. **8**
Şekil 1.4 : Doğrusal olmayan devre için üçüncü derece diyagramı. **8**
Şekil 1.5 : Kaskatlanmış RF sistem. **9**
Şekil 1.6 : GLONASS uyduları temsili yörüngeleri ve uyduların yerleşimleri. **12**
Şekil 1.7 : GPS ve GLONASS uydu sinyalleri frekans bantları. **12**
Şekil 2.1 : Tasarlanan RF alıcı ön kat devresinin giriş ve çıkış kapıları. **15**
Şekil 2.2 : Sistem-1 için önerilen yapının blok şeması. **16**
Şekil 2.3 : Sistem-2 için önerilen yapının blok şeması. **18**
Şekil 2.4 : Sistem-1 GPS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu. **23**
Şekil 2.5 : Sistem-1 GLONASS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu. **24**
Şekil 2.6 : Sistem-2 GPS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu. **25**
Şekil 2.7 : Sistem-2 GLONASS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu. **25**
Şekil 2.8 : Ayrık elemanlar ile tasarlanan Devre-1'in şeması. **27**
Şekil 2.9 : Ayrık elemanlar ile tasarlanan Devre-2'in şeması. **29**
Şekil 2.10 : Devre-1 serimi. **30**
Şekil 2.11 : Devre-2 serimi. **31**
Şekil 2.12 : Devre-1 baskı devre kartı. **32**
Şekil 2.13 : Devre-2 baskı devre kartı. **32**
Şekil 2.14 : Tasarlanan metal kutunun kesit görüntüleri. **33**
Şekil 2.15 : Üretilen alüminyum metal kutu ve konektörlerin yerleşimi. **33**
Şekil 2.16 : Montajı tamamlanmış Devre-1. ..... **34**
Şekil 2.17 : Montajı tamamlanmış Devre-2. ..... **34**
Şekil 2.18 : Ölçüm ortamı ve devre-cihaz bağlantıları. **35**
Şekil 2.19 : Devre-cihaz bağlantıları. **36**
Şekil 2.20 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS kazanç ölçümü. . **36**
Şekil 2.21 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS gürültü ölçümü. . **37**
Şekil 2.22 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GPS kazanç ölçümü. **37**
Şekil 2.23 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GPS gürültü ölçümü. **38**
Şekil 2.24 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS kazanç ölçümü. . **38**
Şekil 2.25 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS gürültü ölçümü. . **39**
Şekil 2.26 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GPS kazanç ölçümü. **39**
Şekil 2.27 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GPS gürültü ölçümü. **40**
Şekil 2.28 : Devre-1 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü. **41**
Şekil 2.29 : Devre-1 pasif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü. **41**
Şekil 2.30 : Devre-1 aktif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü. **42**
Şekil 2.31 : Devre-1 aktif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü. **42**
Şekil 2.32 : Devre-2 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü. **43**
Şekil 2.33 : Devre-2 pasif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü. **43**

Şekil 2.34 : Devre-2 aktif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü. **44**
Şekil 2.35 : Devre-2 aktif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü. **44**
Şekil 2.36 : Devre-1 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış iki ton ölçümü. **45**
Şekil 2.37 : Devre-1 pasif anten giriş GPS bandı çıkış iki ton ölçümü. **46**
Şekil 2.38 : Devre-2 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış iki ton ölçümü. **46**
Şekil 2.39 : Devre-2 pasif anten giriş GPS bandı çıkış iki ton ölçümü. **47**
Şekil 2.40 : Devre-1 GLONASS ve GPS çıkışları geniş bant kazanç ölçüm sonucu.**47**
Şekil 2.41 : Devre-2 GLONASS ve GPS çıkışları geniş bant kazanç ölçüm sonucu.**48**

GPS VE GLONASS UYGULAMALARI İÇİN RF ALICI ÖN KAT TASARIMI

ÖZET

GNSS (Global Navigation Satellite System) küresel konumlandırma sistemlerine verilen ortak isimdir. Amerika Birleşik Devletleri'nin sistemi olan GPS (Global Positioning System), Rusya Federasyonu'nun sistemi olan GLONASS (Global Navigation Satellite System) ve Avrupa Birliği'nin geliştirdiği sistem olan GALILEO birer GNSS sistemidir. Bu küresel konumlandırma sistemlerinden GPS ve GLONASS daha eski ve daha yaygın olarak kullanılan konumlandırma sistemlerindendir.

Günümüzde birçok ülke, askeri ve milli çıkarları için kendi sistemlerini geliştirme çabasındadır. Çin, bu çıkarlar doğrultusunda kendi sistemi olan BeiDou sistemini işletime almıştır ve ek uydularını geliştirme aşamasındadır. Benzer şekilde Hindistan, IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) sistemini başlatmıştır ve geliştirme aşamasındadır. Bunun en büyük amacı, olası bir ihtiyaç halinde kontrolleri kendi ellerinde olan milli bir konumlandırma sistemi ihtiyacıdır.

Konumlandırma sistemlerinin her durumda çalışabilmesi, konum ve zaman doğruluğunun artırılması gibi sebeplerden dolayı günümüzdeki sistemlerde GPS ve GLONASS alıcıları birlikte bulunmaktadır. Tek bir sistemden alınan veri yerine özellikle askeri sistemlerde birden fazla ülkenin konum belirleme sisteminin verisini kullanabilecek alıcılar giderek yaygınlaşmaktadır. Bu gereksinim, farklı konumlandırma sistemleri ile uyumlu şekilde çalışan alıcı yapılarının geliştirilmesi ihtiyacı doğurmuştur.

Radyo frekans elektroniği devreleri yapısı gereği tasarım, üretim, montaj ve test yöntemlerine kadar her aşaması tecrübe ve dikkat gerektiren devrelerdir. Bu sebeple her tasarım aşaması titizlikle yürütülmüştür. Devre elemanı olarak kullanılacak aktif ve pasif elemanlar titizlikle araştırılmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar destekli radyo frekans benzetim ortamına aktarılmış ve gerekli benzetimler yapılarak devre elemanları incelenmiştir. Benzetimlerde hesaplamalarda kullanılan ideal devre elemanları yerine, sistemde kullanılması planlanan elektronik devre elemanlarının özellikleri kullanılmıştır. Böylece daha doğru ve kesin sonuçların alınması sağlanmıştır.

Diğer radyo vericilerin yeteri kadar bastırılamayan bant dışı intermodülasyon ürünlerinin tasarlanan alıcı ön katın bandı içine düşmesi, çok düşük güçteki konumlandırma işaretlerinin gücünden fazla olabilir ve alıcı katındaki aktif devrelerin çalışmasını doğrudan etkileyebilir. Alıcı sistemleri bu etkilerden korunmak için sistem girişinde küçük boyutu ve kullanım kolaylığı sebebiyle yüksek seçici ve düşük kayıplı YAD (Yüzey Akustik Dalga) süzgeçler sıklıkla kullanılır. Girişte kullanılan bu süzgecin araya girme kaybı, sistemin toplam gürültü sayısı üzerinde doğrudan etkilidir. Bu sebeple alıcı başarımını düşük gürültülü

kuvvetlendiriciden (LNA) sonra doğrudan etkileyen kilit elemanlardan biridir. Sistemde kullanılan düşük gürültülü kuvvetlendiricinin performansı, alıcının performansını doğrudan etkilemektedir ve sistemin en kritik elemanı LNA elemanıdır.

Çalışma kapsamında günümüzde kullanılmakta olan GPS ve GLONASS sistemlerinin her ikisi ile de uyumlu, GPS ve GLONASS bandı seçiciliği yüksek, hem aktif hem de pasif anten ile çalışabilecek RF alıcı ön kat tasarımları (iki farklı sistem) yapılmış ve devreler gerçekleştirilmiştir. Sistem çıkışında GPS bandı ve GLONASS bandı yüksek bastırmalı bant ayırıcı yapısı ile ayrılmaktadır.

İlk yapı olarak tasarlanan ön kat devresi (Sistem-1) tasarımında dışarıdan gelebilecek ve bozucu etkiye sebep olabilecek diğer radyo işaretlerinin yalıtılarak devrenin başarımının arttırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle devrenin işaret girişinde keskin karakteristiğe sahip düşük kayıplı bir süzgeç kullanılmıştır. Girişte süzgeç kullanılması toplam gürültü sayısını arttırsa da istenmeyen işaretleri bastırdığı için devre açısından önemlidir.

İkinci yapı olarak tasarlanan ön kat devresi (Sistem-2) tasarımının temel farkı işaret girişinde yüksek seçiciliğe sahip bir süzgeç kullanılmaması sonucu ilk sisteme göre daha düşük gürültü sayısına sahip olmasıdır. Çok düşük gürültüye sahip kuvvetlendiriciler ile alıcının dinamik aralığı arttırılabilmektedir. Ancak YAD süzgeçlerin kayıplarının çok düşük olmaması sistemin toplam gürültü sayısının yükselmesine sebep olmaktadır. Bu durum Sistem-2'nin Sistem-1'e göre dışarıdan gelebilecek bozucu etkilere daha açık olmasına sebep olsa da daha düşük toplam gürültü sayısı vermesi sebebiyle algılanabilecek işaret gücü seviyesini düşürerek alıcı dinamik aralığını arttırmaktadır. Bozucu işaretlerin zayıf olduğu ortamlarda veya fiziksel tasarımdan dolayı bant seçici özelliğe sahip Sistem-2 kullanıma uygun yapıdadır.

Sistemlerde kullanılmak üzere seçilen bütün devre elemanları sistemin amacına uygun olacak şekilde seçilmiştir. Devre elemanlarının seçilmesinde elektriksel özelliklerin yanında çalışma sıcaklığı, temin kolaylığı ve maliyet gibi konulara da dikkat edilmiştir. İlk olarak devre elemanlarının elektriksel özellikleri bilgisayar destekli tasarım ortamına aktarılmış, sistem seviyesindeki tasarımların ardından istenilen değerleri sağlayacak şekilde bütün alt sistem bileşeni olan devreler tek tek tasarlanmıştır. Sistem benzetimleri ve devre tasarımları "NI AWR Microwave Office" ve "NI AWR Visual System Simulation" araçları ile yapılmıştır.

Tasarımları tamamlanan devrelerin serimleri hazırlanmış ve üretilmiştir. Devre kartı olarak RF4 tercih edilmiştir. Devreleri dış ortamdan yalıtmak için alüminyum kutu tasarımı yapılmıştır Montajlanan devrelerin ölçümleri yapılmış ve tasarım hedeflerinin sağlandığı görülmüştür.

Bu tez çalışması NETAŞ firmasının teknik istekleri göz önünde tutularak T.C. Bilim, Sanay ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0781.STZ.2014 numaralı SANTEZ projesi olarak desteklenmiştir.

RF RECEIVER FRONT END DESIGN FOR GPS AND GLONASS APPLICATIONS

SUMMARY

Global Navigation Satellite System (GNSS) is a genereic satellite navigation system. There are three best known satellite navigation systems; United States of America's GPS (Global Positioning System), Russian Federation's GLONASS (Global Navigation Satellite System) and Eurpean Union's GALILEO system. Among these three systems, GPS and GLONASS systems are fully functioning systems and they are more widely used in today's applications.

In today's world, many countries are in an effort to develop their own satellite navigation systems for their military and national benefits. China has developed their own system called BeiDou for same purposes. Similarly, India has been working on their satellite navigation system called IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System). Developing national positioning system is of vital importance for taking control of the positioning system on their own hands in the case of war, restrictions or conflicts.

For mobile devices, location data is very important. Moreover, the location information accuracy is very critical for the performance specifications. Combining GPS and GLONASS receivers on a single receiver structure leads to improve location and time information accuracy of the receiver. This kind of combined receivers are becoming widespread among the basic receivers especially for military applications. The demand for combined receivers has been increasingly important for new RF receiver front end technologies.

In this project, two different types of RF front end circuits have been designed for the navigation systems GPS and GLONASS. Both circuits are capable of operating at GPS and GLONASS frequency bands with passive and active antennas. At the output, a diplexer circuit ,which is a high rejection diplexer at the side channels, has been designed for seperating the GPS and GLONASS signal frequency bands.

Radio frequency circuits require experience and attention at the all process phases levels including design, manufacturing, assembly and testing by its nature. For this reason, all phases of the project managed carefully and meticulously. To be able to design the front end circuits in desired design specification goals, the components that are used in the both circuits are chosen by simulating, testing and comparing. Instead of ideal component models, simulation models of the circuit components are transferred to the simulation tool and all the simulations are done by using real circuit element models.

First of all, the system topologies are decided for the front end circuits. The first front end circuit is designed for harsh environment conditions. Thus, the first circuit structure has better linearity and filtering specifications at the input. The main difference between the two circuits is the input component. The input component of

the first circuit (System-1) is a high out of band rejected SAW (surface acoustic wave) filter. The SAW component filters out GPS and GLONASS frequency band by adding very low insertion loss to the circuit. First component of a receiver is highly important because the overall noise figure of the system is mostly determined by the first component's electrical specifications. For full functioning in noisy environment and having low noise figure at the same time, the loss and out of band rejection specifications of the SAW filter have to be in the desired values. The loss of the filter has to be as low as possible and the out of band rejection has to be high enough. Besides, the component tolerances are considered in the calculations and simulations.

After the SAW filter, a low noise amplifier (LNA) is used for lowering the overall noise figure of the front end circuit. LNA is another key component of the receiver system. The function of the LNA in receiver systems is adding very low noise to the received signal while amplifying the signal with a good amount of gain at the same time. Briefly, the main purpose of the LNA is to keep the SNR (signal to noise ratio) value at the output as high possible and to limit the noise figure of the system. In this project two different manufacturers' LNAs are chosen by considering the electrical design goals. Two of them are used in the designs for their different electrical characteristics. In the System-1, a high gain, highly linear and low noise amplifier is chosen. For the System-2, very low power and ultra-low noise amplifier is chosen for the specific System-2 application.

A high isolation, non-reflective single pole double throw (SDPT) RF switch is used after the low noise amplifier in the both circuit designs. The RF switch is used for switching the front end circuit between passive antenna RF path and active antenna RF path. When the RF switch control voltage is high, the system will be switched to the passive antenna RF path, when the control voltage is low the system will be switched to the active antenna RF path. The isolation between the active and passive RF paths is important because any unwanted signal passing through common RF path can be mixed with carrier and generates intermodulation products. Thus, high isolated structure is the one of the main reasons of the RF switch selection criteria. The other important electrical specification of the RF switch is low insertion loss.

Active antennas require a supply voltage and most of them are supplied from its output RF path. To be able operate with an active antenna, an additional bias and RF isolation circuit is needed. A circuit element called "Bias-Tee" is used at the active antenna RF path between the RF switch and active antenna.

To improve the overall gain, an RF amplifier is used as a gain block. This amplifier has another critical role in the design. The amplifier is also used for limiting the noise figure of the system.

For the last component, a high side band rejection diplexer is added in the design to separate GPS and GLONASS signals. The diplexer consists of two different banded band pass structure in it and one of them is GPS frequency band pass filter and the other one is GLONASS frequency band pass filter.

Low noise front end circuits are very sensitive devices. To isolate the circuits for the harsh and noisy environment, aluminum metal chassis are design for the both circuits designed and the circuits are assembled.

The electrical tests, which are noise figure, gain, output 1dB compression point, band rejection and power consumption, are applied the circuits by considering the design goals. According to the result, both circuits are designed successfully.

Finally, two different types of rugged, low noise and low power RF receiver front end systems are designed, realized, and tested.

The system simulations and circuit design are done using “NI AWR Visual System Simulator” and “NI AWR Microwave Office” simulation programs.

The project has been supported by T.C. Ministry of Science, Industry and Technology as a SANTEZ project with the project number 0781.STZ.2014.

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde konum belirleme ihtiyacı insanlık var olduğunda beri önemli bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Geçmişten günümüze birçok farklı teknik kullanılmıştır. Elektronik ve uzay sistemlerindeki gelişmelerin bir sonucu olarak konum belirleme sistemleri de gelişmiş ve kısa sürede yüksek doğruluk sağlayarak insanlığa büyük hizmet etmektedir.

Küresel konum belirleme sistemleri hayatın hemen her alanında yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. İnsan yapımı elektronik uydular günümüz küresel konum belirleme sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Uydu temelli konumlandırma sistemleri, günümüz dünyasında hareketliliğin yüksek öneme sahip olduğu tüm uygulamaların kalbi konumundadır [1]. Günümüzde GNSS sistemi tabanlı konumlandırma sistemlerine olan ilgi giderek artmaktadır. GPS, GLONAS, iki veya daha fazla konumlandırma sistemi bir araya getirilerek oluşturulan uygulamalar; otomatik taşıt konum bulma sistemi, takip sistemleri, akıllı ulaştırma sistemleri, hassas konumlandırma ve acil durum konum bildirme vb. Sistemler, GNSS temelli yaygın uygulamalara örnek uygulamalardır [1].

GNSS alıcı sistemlerinin ilk giriş katı diğer tüm alıcı sistemlerinde de olduğu gibi "RF Ön-Kat" donanımıdır. RF Ön Kat devreleri, bir haberleşme sistemini oluşturan önemli devrelerin başında gelmektedir [2]. RF ön kat devrelerinin başarımı, alıcı sisteminin SNR (Signal to Noise Ratio) değeri, alıcı hassasiyeti ve kanal seçiciliği gibi kilit performans özelliklerini doğrudan etkiler. RF ön kat tasarımında, düşük gürültü sayısı (NF), yüksek kazanç, yüksek doğrusallık ve bant dışı bastırma gibi elektriksel özellikler ön kat devre tasarımında tasarıma yön veren özelliklerdendir [2].

Bu tez çalışması kapsamında GNSS uygulamalarında kullanılabilecek iki tip RF ön kat devresi tasarlanmıştır. Birinci devrede (Sistem-I) ön kat performanslarından kazanç, yüksek doğrusallık ve bant dışı bastırma özellikleri, ikinci devrede ise (Sistem-II) gürültü sayısı ve güç tüketim özellikleri ön plana çıkmaktadır. Her iki

sistem hem aktif, hem de pasif GNSS anteni ile çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Aktif antenden pasif antene elektriksel olarak geçiş, sistemde kullanılan RF anahtar yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Yine her iki sistemin çıkışında GPS ve GLONASS bantlarını ayıran bant ayırıcı yapısı bulunmaktadır. Bant ayırıcı elemanı, sistemin kilit elemanlarından biridir. Bu sebeple devrede kullanılmadan önce bant ayırıcı için deneme kartı tasarlanmıştır. GPS ve GLONASS bandı performansları ölçülmüş ve optimize edilerek sistemlerde kullanılmıştır.

Tasarımı tamamlandıktan sonra her iki devre için baskı devre kartları hazırlanmıştır. Kartlar üretilip, montajlanmış ve test edilmiştir. Testler sonucu her iki tasarımda da tasarım hedeflerinin sağlandığı görülmüştür.

Devreler için metal kutu tasarımı yapılmış ve üretilmiştir. Üretilen kutulara devreler montajlanmış ve devrelerin performansı tekrar ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre devrelerin tasarım hedeflerini sağladığı görülmüştür.

1.1 RF Elektroniği Genel Kavramlar

RF devrelerde S parametreleri, kazanç, gürültü sayısı, kararlılık ve doğrusallık gibi elektriksel özellikler devrenin karakteristiğini belirleyen elektriksel özelliklerdendir. Bu bölümde bu kavramlar anlatılmıştır.

1.1.1 S-Parametreleri

RF devre tasarımında en fazla yararlanılan tasarım parametrelerinden biri S parametreleridir. Mikrodalga frekanslarında akımların ve gerilimlerin doğrudan ölçümlerinde problemler ortaya çıkmaktadır. Doğrudan ölçümler, belirli bir yönde ilerleyen dalganın veya duran dalganın genlik değerini ve faz bilgilerini içerirler. Bu sebeple yüksek frekanslı sistemlerde sistemin kapılarındaki eşdeğer gerilimleri, akımları ve bunlar ile ilişkili empedans ve admittans matrislerini çıkarmak zorlaşmaktadır. Ancak, yüksek frekanslar bölgesinde yansıyan ve iletilen dalgaların genliklerini ölçmek daha kolaydır. Empedans ve admittans karakteristiği, sistemin kapılarındaki toplam gerilim ve akım ile çıkarılırken, S parametreleri sistemin kapılarına gelen ve yansıyan dalgaların genliklerinin oranı ile hesaplanan devre parametreleridir. Empedans ve admittans parametreleri gibi S parametreleri de sistemi elektriksel olarak bütünüyle tanımlar [3]. S parametrelerinin hesabında

kullanılan gelen (V_1^+, V_2^+) ve yansıyan (V_1^-, V_2^-) dalgalar Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Gelen ve yansıyan dalgaların iki kapılı sistemde gösterimi.

N-kapılı bir sistemin S parametreleri matrisi bağıntı **1.1** yardımı ile çıkarılır[3].

$$[V^-] = [S][V^+] \tag{1.1}$$

Şekil 1.1'de verilen iki kapılı doğrusal sistemin yansıma parametrelerinin gösterimi **1.2**'de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \end{bmatrix} \tag{1.2}$$

1.2'de gösterilen parametrelerden;

S_{11} = giriş yansıma katsayısı,

S_{22} = çıkış yansıma katsayısı,

S_{21} = ileri iletim katsayısı (araya girme kaybı),

S_{12} = ters iletim katsayısı (yalıtım)

olarak ifade edilmektedir [4].

S parametrelerinin değerleri bir başka deyişle iletim ve yansıma parametrelerinin değerleri **1.3**'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [3].

$$S_{ij} = \left.\frac{V_i^-}{V_j^+}\right|_{V_k^+=0, k\neq j} \tag{1.3}$$

S_{21} katsayısı aktif devrelerde devrenin kazancı, pasif devrelerde ise devrenin kaybı olarak da bilinmektedir.

1.1.2 Kazanç

Bir sistemin girişine uygulanan işaret ile çıkışta görülen işaretin birbirine oranı kazanç olarak ifade edilmektedir. İki kapılı bir sistemde farklı kazanç tanımları vardır; elde edilebilir güç kazancı (available power gain), dönüştürücü güç kazancı (transducer power gain) ve çalışma güç kazancı (operating power gain) [5].

1.1.2.1 Elde edilebilir güç kazancı

Yükten elde edilebilinen maksimum gücün kaynaktan elde edilebilinen maksimum güce oranıdır ve **1.4**'te matematiksel olarak gösterilmiştir [6].

$$G_A = \frac{P_{yük,maksimum}}{P_{kaynak,maksimum}} \quad \textbf{(1.4)}$$

1.1.2.2 Dönüştürücü güç kazancı

Yükte iletilen ortalama güç ile kaynaktan elde edilebilinen maksimum gücün birbirine oranıdır. **1.5**'te matematiksel olarak gösterilmiştir [6].

$$G_T = \frac{P_{yük}}{P_{kaynak,maksimum}} \quad \textbf{(1.5)}$$

1.1.2.3 Çalışma güç kazancı

Yükte iletilen ortalama güç ve kaynaktan elde edilen ortalama güç oranlanarak hesaplanır. **1.6**'da matematiksel olarak gösterilmiştir [6].

$$G_P = \frac{P_{yük}}{P_{kaynak}} \quad \textbf{(1.6)}$$

1.1.3 Elektriksel gürültü

Elektronik devrelerde, sistemlerde sistem performansını kötü yönde etkileyen etkilerin başında gürültü gelmektedir. Gürültü haberleşme sistemlerinde her zaman bulunmaktadır ve normal işaret seviyelerinin altında kalmaktadır. Ancak, gürültü seviyesi yükselir hatta işaret seviyesine çok yaklaşır ise sistemdeki kuvvetlendirmeyi anlamsızlaştırır. Sistemdeki kuvvetlendiriciler hem istenen işareti hem de sistemdeki gürültüyü aynı oranda kuvvetlendirirler. Dahası, gürültü seviyesi istenen işaret seviyesinden daha çok artar. Kuvvetlendiricinin kendi gürültüsü de giriş gürültü

seviyesine eklenir. Böylece istenen işaret, gürültü yüzünden algılanamaz hale gelebilir [7]. Literatürde elektriksel gürültünün gürültü faktörü, gürültü sayısı ve gürültü sıcaklığı gibi çeşitli ifadeleri bulunmaktadır.

1.1.3.1 Gürültü faktörü

Gürültü faktörü, devrenin işarete eklediği toplam gürültü olarak tanımlanır [8]. 1.7'de gürültü faktörünün ifadesi verilmiştir.

$$F = \frac{N_a + N_i}{N_i} \tag{1.7}$$

$N_a =$ birim bant genişliğinde giriş işaretine eklenen gürültü seviyesi

$N_i =$ birim bant genişliğindeki giriş gürültü seviyesi

Gürültü faktörü, giriş işaret-gürültü oranı ile çıkış işaret-gürültü oranının oranı ile de ifade edilebilir [8].

Bağıntı **1.8**.'de gürültü faktörünün giriş ve çıkış işaret gürültü oranları cinsinden ifadesi verilmiştir.

$$F = \frac{SNR_i}{SNR_o} \tag{1.8}$$

Formüldeki çıkış işaret-gürültü oranı, giriş işaret-gürültü oranından küçüktür. Gürültü faktörü daima 1'den büyüktür. İdeal gürültüsüz bir sistemin gürültü faktörü 1'e eşittir [8].

1.1.3.2 Gürültü sayısı

Gürültü sayısı, gürültü faktörünün desibel (dB) cinsinden ifade edilmiş halidir. Gürültü sayısı "*NF*" olarak gösterilir ve bağıntısı **1.9**'da verilmiştir [8].

$$NF = 10 \log F \tag{1.9}$$

Gürültü faktörü minimum 1 değerinde iken NF 0dB olarak hesaplanır. NF 290K'de tanımlanmıştır (ideal gürültüsüz sistem).

1.1.3.3 Gürültü sıcaklığı

Gürültü faktörü normalde 1 ile 10 arasında bir değer alır. Bazı durumlar daha yüksek değerler ile ifade edilmesi gerekebilmektedir. Böyle durumlarda gürültü değeri

gürültü sıcaklığı cinsinden ifade edilir. Gürültü sıcaklığı T ile gürültü faktörü arasındaki bağıntı **1.10**'daki gibi ifade edilir[8].

$$F = 1 + \frac{T_r}{T_0} \quad \textbf{(1.10)}$$

$T_r =$ sistem gürültü sıcaklığı

$T_0 =$ oda sıcaklığı (290 K)

1.1.4 Doğrusallık

RF devrelerin ve sistemlerin mümkün olduğunca doğrusal çalışması istenir. Ancak girişteki işaretin seviyesi yükseldikçe devrelerin doğrusal çalışma aralığından çıkarak doğrusal olmayan şekilde çalışmaya başlar.

Doğrusal olmayan bölgede çalışan devrelerde ve sistemlerde kazanç düşmesi, harmonik seviyelerinde yükselme, istemeyen işaretlerin (spurious) seviyelerinde yükselme, intermodülasyon ürünlerinin seviyelerinde yükselme gibi olumsuz etkiler meydana gelir [3]. Devre çıkışı tanımlandığı şekilde çalışamaz duruma gelir. Bu nedenle doğrusallık RF devreler için kritik bir özelliktir.

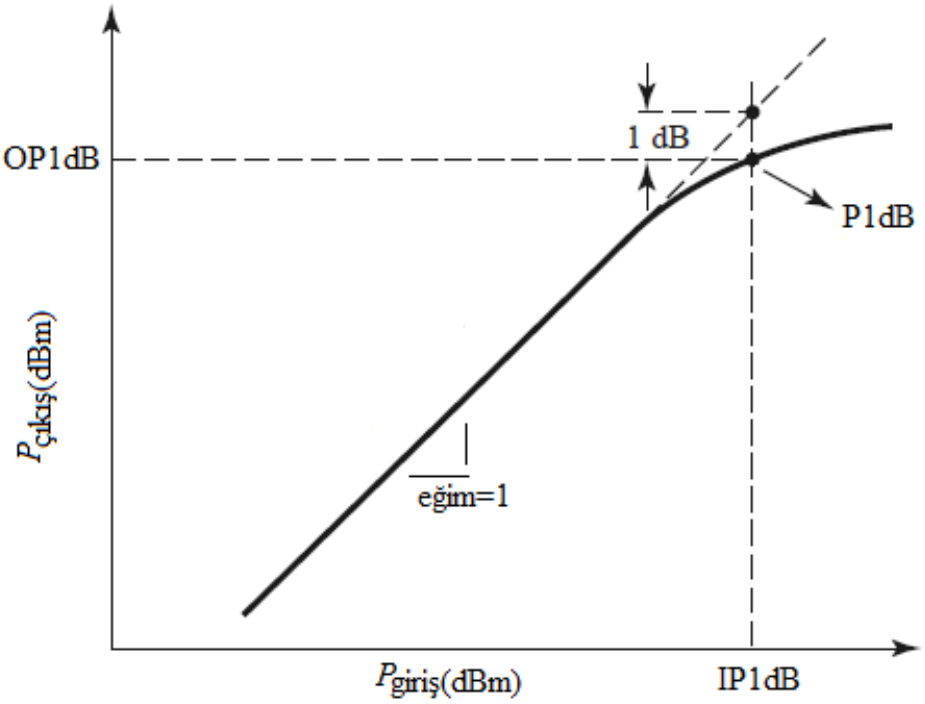
RF devrelerde doğrusallığı belirleyen temel iki kavram ön plana çıkmaktadır. 1 dB bastırma noktası (P1dB) ve üçüncü derece kesişim noktası (IP3) ön plana çıkan bu iki özelliklerdir [3].

Giriş gücü arttıkça, devrenin kazancında azalma olmaya başlar. Devrenin kazancındaki bu azalmanın 1dB olduğu noktaya 1dB bastırma noktası denir[3]. Girişine **1.11**'deki işaret uygulanan doğrusal olmayan bir sistemin kazancı **1.12**'de ifade edilmiştir.

$$v_i = V_0 \cos \omega_0 t \quad \textbf{(1.11)}$$

$$G_v = a_1 + \frac{3}{4} a_3 V_o^2 \quad \textbf{(1.12)}$$

1.12'deki gerilim kazancı denkleminde a_1 doğrusal kazanç, a_3 ise doğrusal olmayan kazanç katsayısını gösterir ve doğrusal kazanç ile ters işaretli bir bileşendir. Giriş gücünün artması ile a_3 katsayılı kazanç bileşenin etkisi kendini göstermeye başlar [3]. Giriş gücü genliğine karesel olarak bağımlı terim baskın konuma gelir ve kazanç azalmaya başlar. Şekil 1.2'de 1 dB bastırma noktası gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : 1dB bastırma noktası grafik gösterimi.

Şekil 1.2'deki kesikli çizgi ile gösterilen eğri ideal olan bir devrenin eğrisi, düz çizgi ile gösterilen eğri ise ideal olmayan yani doğrusallığı belirli bir noktada bozulmaya başlayan bir devrenin eğrisidir.

Kazancın tam olarak 1 dB azaldığı $P_{çıkış}$ gücü, çıkış 1 dB bastırma noktası (OP1dB), $P_{giriş}$ gücü ise 1 dB giriş bastırma noktası (IP1dB) olarak isimlendirilir. P1dB değeri yüksek olan devreler ve sistemler daha doğrusal devrelerdir.

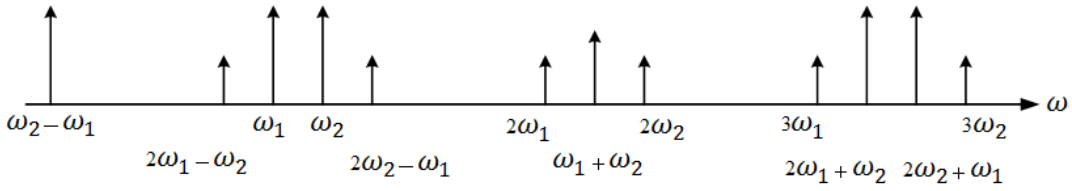
Üçüncü derece kesişim noktası bir diğer doğrusallık ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır. Girişine **1.13**'deki gibi iki farklı frekanslı bileşen içeren giriş işareti uygulanan doğrusal olmayan devrenin çıkışında bu iki frekansın karışım ürünleri gözlemlenir [3].

$$v_i = V_0(\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t) \tag{1.13}$$

Devre çıkışı **1.14**'te gösterilmiştir[3].

$$v_0 = a_0 + a_1V_0(\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t) + a_2V_0^2(\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t)^2 + a_3V_0^3(\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t)^3 + \cdots \tag{1.14}$$

Çıkışta ortaya çıkan bu ürünler, bağıntı **1.14**'te görüldüğü üzere giriş işareti ile karesel, kübik ve sonsuza kadar devam edecek şekilde üstel olarak bağıntılıdır [3]. Devre çıkışındaki bu ürünler Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

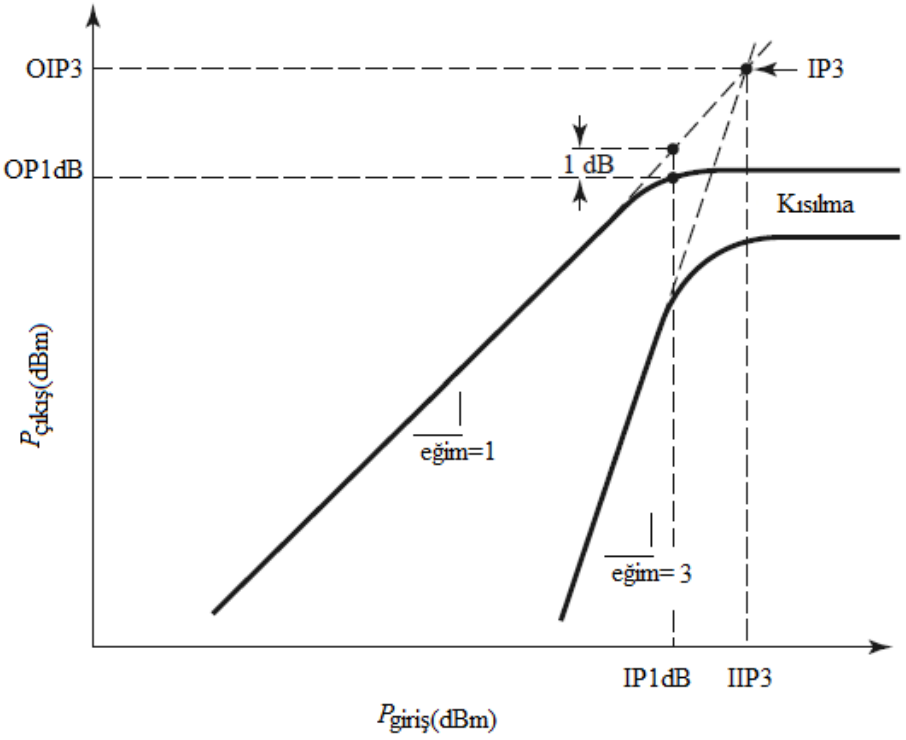


Şekil 1.3 : Doğrusal olmayan devrenin çıkışındaki ürünler.

Şekil 1.3'de çıkış spektrumunda gözlenen harmonik ve karışım ürünlerinde üçüncü derece olanlardan $2\omega_1 - \omega_2$ ve $2\omega_2 - \omega_1$ girişteki işarete en yakın frekanslı ürünlerdir. Süzgeç yardımı ile bastırılamazlar. Diğer intermodülasyon ürünler giriş frekanslarından uzağa düştüklerinden süzülmeleri kolaydır ve bant geçiren süzgeç yardımı ile bastırılabilirler [3].

Bastırılamayan ürünler kaynaklı meydana gelen bozulmaya üçüncü derece intermodülasyon bozulması denmektedir[3].

Şekil 1.4'te doğrusal olmayan devre için üçünce derece diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.4 : Doğrusal olmayan devre için üçünce derece diyagramı.

Giriş işaretinin genliği doğrusal artarken üçüncü derece ürünlerin genliği kübik olarak artmaktadır. Belirli bir giriş seviyesinde üçüncü derece ürünlerin genliği ana işaretin genliğini çok yaklaşır ancak her ikisi de 1dB bastırma noktasından sonra

kısılmaya başlar. İşaretlerin seviyesinin kısılmadan artmaya devam ettiğini varsayarak eğriler hayali bir giriş seviyesine karşılık gelen çıkış seviyesinde kesiştiği görülür. Bu kesişim noktasına üçüncü derece kesişim noktası denir ve IP3 olarak gösterilir[3]. Kesişim noktasının giriş seviyesine giriş üçüncü derece kesişim noktası (IIP3), çıkış seviyesine ise çıkış üçüncü derece kesişim noktası (OIP3) denir. OIP3 **1.15**'te verilmiştir [3].

$$OIP3 = \frac{2a_1^3}{3a_3} \quad \textbf{(1.15)}$$

IIP3 bağıntısı da **1.16**'da gösterilmiştir.

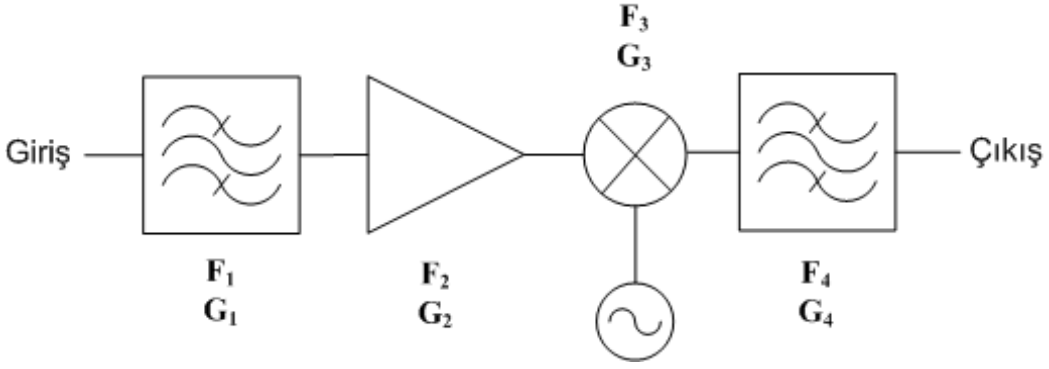
$$IIP3(dB) = OIP3(dB) - Gain(dB) \quad \textbf{(1.16)}$$

Ana işaret üzerine binen farklı frekanslı ürünlerin çıkış spektrumunda ortaya çıkmaması için devreler kısılma noktasından 6-10dB düşük giriş işaret seviyelerinde çalıştırılmalıdır. Genelde devrelerin OIP3 değeri P1dB seviyesinden 10-15dB kadar fazla olur [3].

1.1.5 Kaskat sistemde gürültü sayısı

Gürültü sayısı devreler için oldukça kritik bir parametredir. Devrelerin bir araya gelerek oluşturduğu sistemler için de gürültü sayısı yine kritik öneme sahiptir ve sistemi oluştururken kullanılan devre elemanlarının seçiminde etkin bir parametre olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle alıcı devrelerinde alıcı hassasiyetini belirleyen temel elektriksel özellik gürültü sayısıdır.

RF devreler bir araya getirilerek oluşturulan kaskatlanmış bir sistem aşağıda Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5 : Kaskatlanmış RF sistem.

Sistemin her katının kazancı ve gürültü faktörü verilmiştir. Girişten çıkışa kadar olan sistemin gürültü faktörü bağıntı **1.17**'de verilmiştir[8].

$$F_{Sistem} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} \qquad \textbf{(1.17)}$$

Bağıntıda görüldüğü üzere, ilk katın gürültüsü sisteme direk olarak eklenmiştir ve aynı zamanda ilk katın kazancı kendinden sonra gelen devrelerin gürültüsünü bölerek sistem toplam gürültü sayısını azaltacak etki göstermiştir. Bu etkiler göz önüne alındığın ilk katta kullanılan devre elemanının gürültüsünün mümkün olduğunca düşük olması gerektiği, benzer şekilde kazancının da yüksek olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu sebeple alıcılarda kullanılan ilk ön kat elemanı düşük gürültülü kuvvetlendiricidir (LNA). Düşük gürültülü kuvvetlendiriciler düşük gürültü sayısına, yeterli bir kazanç değerine sahip olan ve çalışma bandı içinde kararlı olan alıcı sistemini oluşturan en kritik elemandır [9].

1.2 GNSS Sistemleri

GPS ve GLONASS birer küresel konumlandırma sistemleridir (GNSS). GPS ve GLONASS sistemleri küresel ölçekte askeri ve sivil uygulamalara konum bilgisi sağlanmaktadır. Bu sistemlerin uydularından gelen sinyal konumun hesaplanması için yeterlidir. Konumu hesaplayan sistem dünya üzerinde başka bir sistem ile konuşmak zorunda olmadığından konum bilgisini saklı tutabilir. Küresel konumlandırma sistemleri hem askeri sistemlere hem de sivil uygulamalar konum bilgisi sağlasa da istenildiğinde konum bilgisini sivil uygulamalar için durdurabilmekte veya sadece izin dahilinde belirli bir kullanıcı kesimine konum bilgisi sağlayabilmektedirler. [10].

1.2.1 GPS sistemi

GPS, Amerika Birleşik Devletleri'nin bir GNSS sistemidir. GPS sistemi 6 farklı yörünge düzleminde 4 adet bulunmak üzere toplamda 24 konumlandırma uydusu kullanılarak oluşturulmuş bir küresel konumlandırma sistemidir [11]. Uyduların dünya etrafında tam tur dönmesi 12 saatlik bir zaman dilimini kapsamaktadır. Bir uydunun yere olan yüksekliği yaklaşık olarak 20.000km kadardır [11].

GPS uydularından en az 4 tanesinin dünya üzerinde kesiştiği bölgede, 4 uydudan gelen boylam ve enlem bilgileri çözülerek konum hesaplanmaktadır. Kullanıcı alıcısı ile GPS uydularında bulunan saat farkından dolayı kullanıcı sisteminin enlem, boylam, yükseklik ve saat bilgisi için 4 adet uydu sinyaline ihtiyacı bulunmaktadır[11].

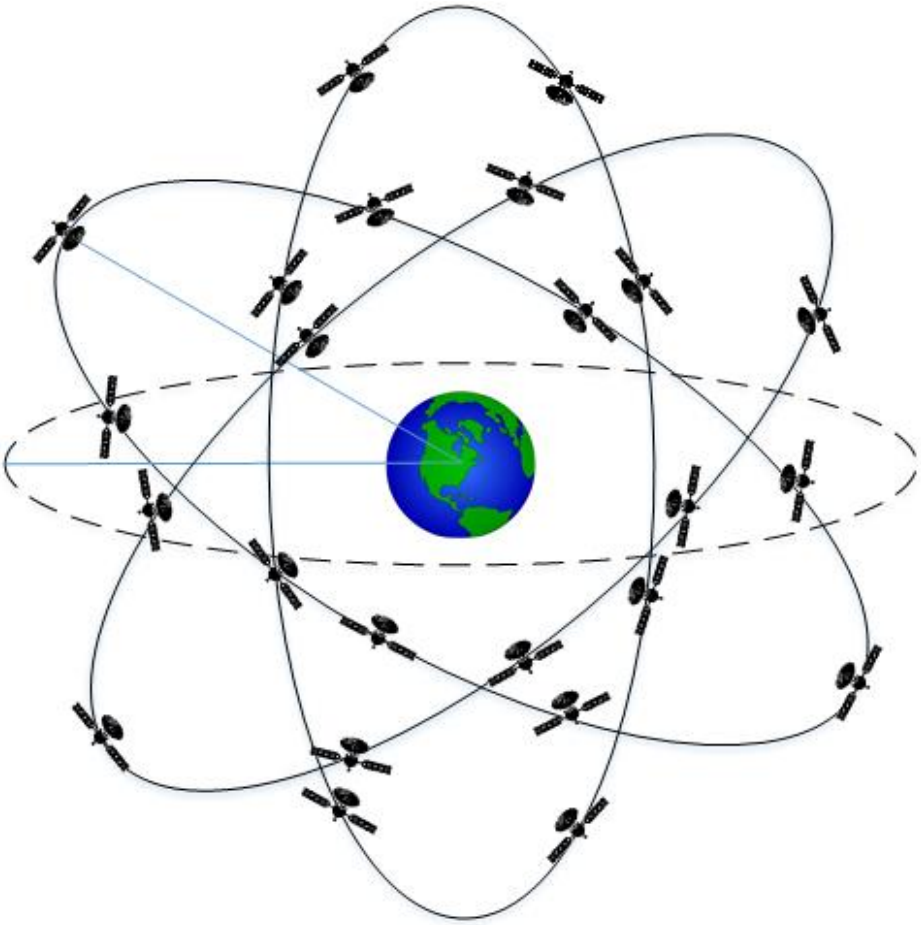
GPS uydularında atomik saatler bulunmaktadır. Dünyada ise Birleşik Devletler Deniz Gözlemevi'nde atomik hassasiyetli saat ile GPS dünya saati tutulmaktadır. GPS uyduları saat bilgisini dünyaya gönderirler. Dünyada bulunan kontrol istasyonunda uyduların saat farkı dünyadaki atomik saat referans alınarak hesaplanır ve uyduya saat düzeltme bilgisi gönderilir. Uydu kendi içerisindeki atomik saati düzeltemediğinden, yer istasyonundan aldığı saat farkı bilgisini kullanıcılara saat düzeltme bilgisi olarak gönderir. Bu şekilde dünya üzerindeki kullanıcılar saat verisini düzelterek alıcılarında bu veriyi doğru bir şekilde kullanmaktadır [12].

GPS sistemi Aralık 1993 yılında ilk defa işletime girmiştir. Tam kapasite işletime girmesi ise 24 uydunun tam olarak hizmet vermesi ile 1995 yılının ilk çeyreğine kadar sürmüştür [11].

GPS bünyesindeki uydularından gönderilen sinyallerde Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) tekniğini kullanmaktadır ve İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK) modülasyon tipinde yayın yapmaktadır. 1575.42MHz (L1) bandı ve 1227.60MHz (L2) bandı olacak şekilde iki farklı frekans bandı GPS konumlandırma sisteminde kullanılmaktadır [11].

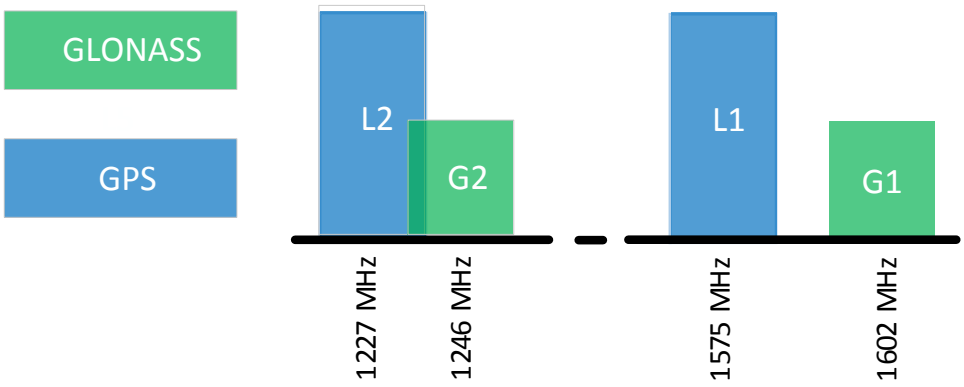
1.2.2 GLONASS sistemi

GLONASS, Rusya Federasyonu'nun bir GNSS sistemidir. GLONASS sistemi ilk olarak askeri faaliyetler kapsamında Sovyetler Birliği tarafından 1976 yılında geliştirilmeye başlanmıştır. GPS sisteminden farklı olarak Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA) tekniğini kullanan radyo tabanlı bir sistemdir. GPS sistemine benzer olarak BPSK modülasyon tipini kullanmaktadır. GLONASS sistemi 1995 yılı itibari ile işlevsel olarak tam çalışmaya başlamıştır. GLONASS uyduları yerden 19100 km yükseklikte bulunmaktadır. 11saat 15dk içerisinde GLONASS uyduları dünya etrafındaki turlarını tamamlarlar. GLONASS sistemi 3 farklı yörünge düzleminde 8 adet bulunmak üzere toplamda 24 uydusu vardır [13]. Şekil 1.6'de GLONASS uydularının yörüngelerinin ve yerleşimlerinin benzer görseli verilmiştir.



Şekil 1.6 : GLONASS uyduları temsili yörüngeleri ve uyduların yerleşimleri.

GLONASS uyduları, 1602 MHz merkez frekanslı G1 ve 1246MHz merkez frekanslı G2 bantlarından dünyaya yayın yapmaktadırlar. Bu frekanslar GPS frekanslarından yaklaşık 27MHz daha yüksek frekanslardır. GLONASS uydularının her biri diğerinden farklı bir merkez frekansında yayını dünyaya göndermektedirler. Aşağıda Şekil 1.7'de GPS ve GLONASS uydularının yayın frekansları görsel olarak verilmiştir.



Şekil 1.7 : GPS ve GLONASS uydu sinyalleri frekans bantları.

Tez kapsamında tasarımı yapılan RF alıcı ön kat devreleri, GPS L1 bandı ile GLONASS G1 bandı için tasarlanmıştır. Sistem GPS L1 çıkışında GLONASS G1 frekansları, Sistem GLONASS G1 çıkışında GPS L1 frekansları bastırılmış, böylece farklı sistemlerin sinyalleri birbirinden ayrılmıştır.

2. TASARIM VE GERÇEKLEME

Proje kapsamında GPS ve GLONASS uyumlu, farklı özelliklere sahip iki farklı tipte RF alıcı ön kat tasarımı yapılmıştır. Her iki ön katta da (Sistem-1 ve Sistem-2) aktif anten girişi ve pasif anten girişi olmak üzere iki giriş, GPS ve GLONASS çıkışı olmak üzere iki çıkış ve besleme-kontrol girişi bulunmaktadır. Sistem yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Tasarlanan RF alıcı ön kat devresinin giriş ve çıkış kapıları.

Sistemlerin çalışma frekansları 1573.42 – 1577.42 MHz GPS bandı ile 1598 – 1610MHz GLONASS bandı frekanslarıdır. GPS çıkışında GLONASS frekansları en az 20dB, GLONASS çıkışında GPS frekansları da en az 20dB bastırılmaktadır. Sistem-1 ve Sistem-2'nin tasarım süreci ve elektriksel özellikleri ayrıntılı olarak bölüm içerisinde verilmiştir.

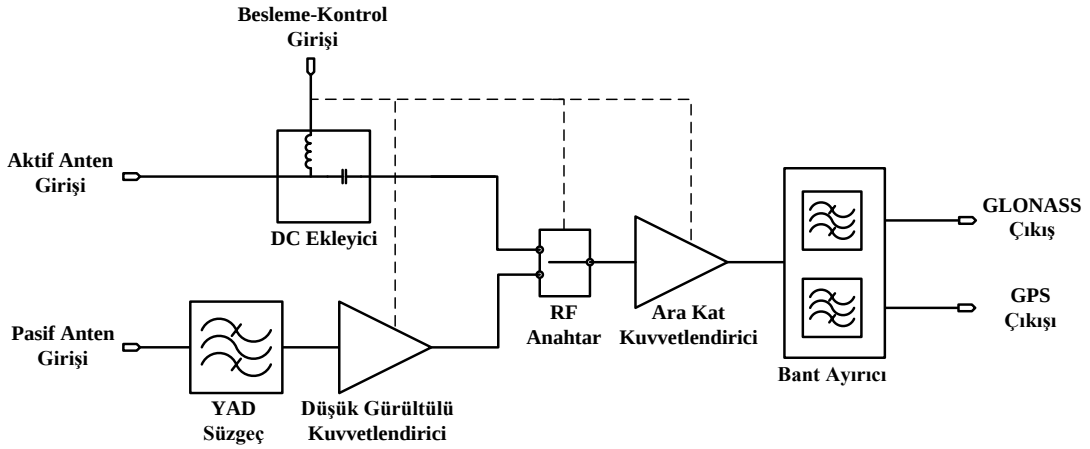
2.1 Sistem Tasarımı

RF alıcı ön katı olarak Sistem-1 ve Sistem-2 olmak üzere 2 farklı sistem yapısı tasarlanmıştır. Her iki sistemin de tasarımına farklı tasarım hedefleri doğrultusunda yön verilmiştir. Sistem-1 olarak tasarlanan devre dışarıdan gelecek bozucu etkilere karşı dayanıklı, düşük gürültü sayısı değerine sahip ve yüksek kazançlıdır. Sistem-2 olarak tasarlanan devre ise çok düşük gürültü sayısı değeri ve çok düşük güç tüketimi özelliklerini sağlamaktadır. Sistem-1 ve Sistem-2 için tasarım hedefleri aşağıda Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Tasarım hedefleri.

	Sistem-1				**Sistem-2**			
Giriş	Pasif Anten		Aktif Anten		Pasif Anten		Aktif Anten	
Çıkış	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS
Gürültü (dB)	< 2	< 2	< 2.5	< 2.5	< 1.2	< 1.2	< 2.5	< 2.5
Kazanç (dB)	> 30	> 30	>10	> 10	> 20	> 20	> 10	> 10
Bastırma (dBc)	> 40	> 40	-	-	-	-	-	-
OP1dB (dBm)	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0
Güç Tük (mW)	< 1000				< 100			

Sistem-2 ile Sistem-1 arasında sistemi farklılaştıran en kritik tasarım hedefleri gürültü sayısı, bastırma ve güç tüketimi hedefleridir. Sistem girişinde bastırma tasarım hedefinin sağlanması için Sistem-1 girişinde yüksek bastırmalı bir süzgeç yapısı kullanılmalıdır. Aynı zamanda gürültü sayısı hedefinin de sağlanması için sistem girişinde kullanılan süzgecin kaybının da 1dB'den düşük olması gerekmektedir. Tasarım hedefleri doğrultusunda önerilen Sistem-1'in blok şeması aşağıda Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Sistem-1 için önerilen yapının blok şeması.

Tasarım hedefleri doğrultusunda Sistem-1 için önerilen yapıda pasif anten girişinde kullanılan ilk eleman YAD (Yüzey Akustik Dalga) süzgeçtir. Sistem bastırma ve gürültü sayısı tasarım hedefleri doğrultusunda kullanılmıştır. Bant geçiren YAD

süzgeçler, bant dışı bastırma oranları yani seçiciliği oldukça yüksek (60dB'den daha iyi) olabilen, geçirme kaybı ve dalgalılığı oldukça az olabilen (1dB'den daha az) RF ve IF uygulamalarında yaygın olarak kullanılan süzgeçlerdir [14].

Sistem-1'de YAD süzgeçten sonra kullanılan eleman LNA elemanıdır. LNA elemanı sistemin gürültü sayısı ve kazanç tasarım hedeflerinin sağlanması amacıyla sisteme eklenmiştir. LNA elemanının elektriksel özelliklerinden güç tüketimi, gürültü sayısı ve kazanç değeri sistemde kullanılan LNA'nın seçiminde ön plana çıkmıştır.

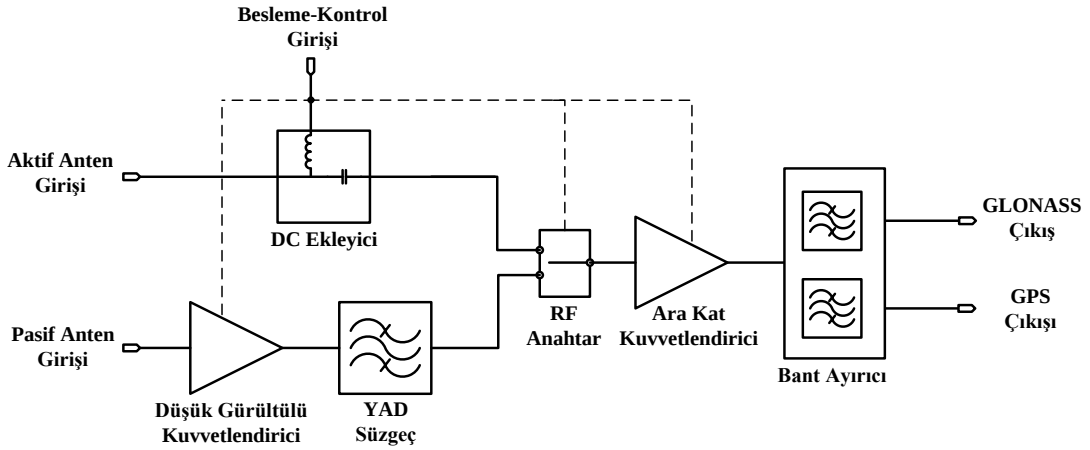
Sistem-1'in aktif anten ile de çalışabilmesi için aktif anten giriş kapasında besleme verilmesi gerekmektedir. Aktif antene iletilen beslemenin RF anahtar hattına gitmemesi için sistemde DC blok işlevi görecek bir kapasitör elemanı kullanılmıştır. Aynı şekilde RF işaretin DC hattan geçememesi için sistemde RF boğucu bobin kullanılmıştır. Sistemin son tasarımında DC blok kapasitör ve boğucu bobin yerine aynı işlevi gören DC Ekleyici (Bias-Tee) elemanı kullanılmıştır.

Aktif anten giriş RF hattının ve pasif anten giriş RF hattının anahtarlamalı olarak sistemin ortak hattına bağlanması, belirli bir kontrol işareti ile çalışılacak hattın seçilebilmesi için sisteme RF anahtar eklenmiştir. RF anahtarın sistemdeki bir diğer görevi sistemdeki aktif anten RF hattı ile pasif anten RF hattı arasındaki yalıtımı sağlamaktır. Bu sebeple sistemde kullanılacak RF anahtarın GPS ve GLONASS frekanslarındaki yalıtım elektriksel özelliği eleman seçiminde belirleyici olmuştur.

Sistem-1'de son kat elemanı olarak kullanılan eleman ise bant ayırıcı elemanıdır. Bant ayırıcı elemanından beklenen elektriksel özelliklerden birincisi bant içi araya girme kaybı değerinin mümkün olduğunca az olmasıdır. Bant ayırıcının bir diğer beklenen işlevi elemana adını veren bant ayırma işlevidir. Proje kapsamında kullanılacak bant ayırıcının ayıracağı frekanslar GLONAS 1598 – 16010MHz bandı ile GPS 1573.42 – 1577.42MHz frekans bantlarıdır.

Kavramsal olarak tasarlanan Sistem-1'deki fonksiyonlar Sistem-2 içinde tanımlıdır. Bu sebeple, Sistem-1 için tasarım hedefleri doğrultusunda önerilen sistem yapısı fazla değiştirilmeden Sistem-2 tasarımı yapılmıştır. Sistem-2'nin tasarım hedefleri incelendiğinde sistemin gürültü sayısı ve sistemin güç tüketimi elektriksel özellikleri tasarıma yön verecek özellikler olduğu görülmektedir.

Sistem-2'nin tasarım hedefleri doğrultusunda önerilen sistem blok şeması Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Sistem-2 için önerilen yapının blok şeması.

Önerilen yapı incelendiğinde Sistem-1'e göre blok şemadaki tek farklılığın düşük gürültülü kuvvetlendirici ile YAD süzgecin yerleri olduğu görülmektedir. Sistem-1'deki yapıda YAD süzgecin araya girme kaybı sistemin gürültü sayısına doğrudan eklenmektedir. Sistem-1'in yapısı ile 1.2dB gürültü sayısı hedefini tutturmak imkansızlaşır. Sistem-2 gürültü sayısı tasarım hedefinin sağlatılması için bu değişiklik yapılmıştır.

Sistem-2'de kullanılacak düşük gürültülü kuvvetlendirici ile ara kat kuvvetlendiricisinin güç tüketimi tasarım hedefleri doğrultusunda oldukça az olmalıdır. Yine LNA'nın gürültü sayısı 1.2dB tasarım hedefi düşünülerek seçilecektir.

2.2 Devre Elemanı Araştırması ve Seçimi

Sistem-1 ve Sistem-2 için uygun eleman seçimleri yapılmıştır. Sistem-1 blok şemasındaki LNA, YAD süzgeç, DC ekleyici, RF anahtar, ara kat kuvvetlendirici ve bant ayırıcı elemanları için elemanlar araştırılmış ve kullanılması muhtemel elemanlara karar verilmiştir.

2.2.1 Düşük gürültülü kuvvetlendirici

İlk olarak LNA tümdevreleri araştırılmıştır. Araştırma sonucu 2 farklı firmanın farklı elektriksel özelliklerine sahip LNA tümdevreleri seçilmiştir. Sistem-1 için seçilen

tümdevre Mini-Circuits firmasının PMA2-43LN tip numaralı LNA tümdevresidir. Sistem-2 için seçilen tümdevre Infineon firmasının BGA231N7 tip numaralı tüm devresidir. Seçilen LNA tümdevrelerinin GPS ve GLONASS frekansları üretici veri kağıdı elektriksel özellikleri aşağıda Çizelge 2.2'de gösterilmiştir [15,16].

Çizelge 2.2 : Seçilen LNA tümdevrelerinin elektriksel özellikleri.

	BGA231N7	**PMA2-43LN**
Üretici Firma	Infineon	Mini-Circuits
NF(dB)	0.75	0.45
Kazanç (dB)	16.0	21.6
OP1dB (dBm)	+11	+19.8
IIP3 (dBm)	+21	+32.3
Besleme Gerilimi	1.5V - 3.6V	5V
Akım Tüketimi	4.4mA	64mA

PMA2-43LN tümdevresi ile BGA231N7 tüm devresi arasındaki farklardan ilki gürültü sayısıdır. PMA2-43LN daha düşük gürültü sayısına sahiptir. Ancak güç tüketimi özellikleri kıyaslandığında BGA231N7 tümdevresinin çok daha az güç tükettiği görülmektedir. BGA231N7 tümdevresinin bir diğer öne çıkan özelliği ise bant içi uyumlaştırılmış olmasıdır. 16dB bant içi kazancının 3dB düşüm frekansları 1.2GHz ve 1.9GHz frekanslarıdır [17]. Bant dışını bastıran BGA231N7 tümdevresinin ilk giriş elemanı LNA olan Sistem-2'nin tasarım hedefleri doğrultusunda kullanılabilir olduğu görülmüştür.

PMA2-43LN elemanın oldukça düşük gürültü sayısına sahip olması, sistem toplam gürültü sayısı düşünüldüğünde önüne eklenecek ve kaybı doğrudan sistem gürültü sayısı değerine eklenecek YAD süzgecin kaybı ile birlikte tasarım hedeflerinden gürültü sayısı hedefini sağlanabilir kılmaktadır. Güç tüketimi, kazanç ve doğrusallık özellikleri açısından da yine hedefler içinde kalındığı görülmektedir.

2.2.2 YAD süzgeç

Sistem-1 ve 2'de kullanılan YAD süzgeç, Sistem-1 için gürültü sayısı ve bozucu etkilere karşı direnç özelliklerini doğrudan etkilemesi ve Sistem-2'de LNA'dan sonraki katlara bant dışından gelebilecek, ara kat kuvvetlendiricisinin kısılmaya girmesine sebebiyet verebilecek işaretleri bastırması gibi işlevselliklerinden dolayı

sistem tasarımında kullanılan kritik öneme sahip elemanlardandır. Araştırmalar sonucu sistem içerisinde kullanıma uygun iki farklı üreticiden YAD süzgeç seçilmiştir. İlk seçilen YAD süzgeç TaiSAW firmasının TA1500A tip numaralı süzgecidir. Diğeri ise Taiyo-Yuden firmasının F6QA1G585M2AT-J tip numaralı süzgecidir. Seçilen süzgeçlerin elektriksel özellikleri aşağıda Çizelge 2.3'de gösterilmiştir [18,19].

Çizelge 2.3 : Seçilen YAD süzgeçlerin elektriksel özellikleri.

	TA1500A	**F6QA1G585M2AT-J**
Üretici Firma	TaiSAW	Taiyo-Yuden
Araya Girme Kaybı Tipik (dB)	0.95	1.1
Araya Girme Kaybı Maks. (dB)	1.3	1.7
Bant Dışı Bastırma(dB)	~20	~35
Giriş Yansıması(dB)	-17	-14
Çıkış Yansıması(dB)	-17	-14

TA1500A elektriksel özellikleri incelendiğinde Sistem-1 ve Sistem-2 tasarım hedefleri doğrultusunda kullanılabilir olduğu anlaşılmaktadır. Araya girme kaybının maksimum değeri 1.3dB değeri, PMA2-43LN tümdevresinin gürültü sayısı 0.45dB ile beraber hesaplandığında YAD süzgeç ve LNA'ya kadar olan sistem gürültü sayısı değeri 1.75dB değeri elde edilir. Ancak, F6QA1G585M2AT-J tip numaralı YAD süzgecinin PMA2-43LN tümdevresi ile birlikte kullanıldığı durum için aynı hesap tekrar yapıldığında sonuç 2.15dB olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda F6QA1G585M2AT-J tip numaralı süzgecin Sistem-1 girişinde kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Sistem-2'de LNA'dan sonra kullanılabilir olsa da her iki sistem için kullanılabilir olan TA1500A tip numaralı ürün sistemlerde kullanılan elemanları mümkün olduğunca ortaklamak için seçilmiştir ve F6QA1G585M2AT-J tip numaralı ürünün kullanımından vazgeçilmiştir.

2.2.3 RF anahtar

Sistem-1 ve Sistem-2'de kullanılan RF anahtarın işlevselliği her iki sistem içinde aynıdır. Hem sistemlerde kullanılan elemanları mümkün olduğunca ortaklamak hem

de sistemlerdeki işlevselliğin de aynı olması sebebiyle aynı anahtar iki sistem için de seçilmiştir. Seçilecek RF anahtarın araya girme kaybı düşük ve kapıları arası yalıtımının yüksek olması gereklidir. Seçilen RF anahtar Analog Devices firmasının HMC349alp4ce tip numaralı ürünüdür. Ürünün elektriksel özellikleri aşağıda Çizelge 2.4'te verilmiştir [20].

Çizelge 2.4 : HMC349alp4ce RF anahtar 1-2GHz tipik elektriksel özellikleri.

	HMC349alp4ce
Üretici Firma	Analog Devices
Araya Girme Kaybı Tipik (dB)	1
Yalıtım (dB)	62
IP1dB (dBm)	34
Giriş Yansıması(dB)	-20
Çıkış Yansıması(dB)	-22

HMC349alp4ce tip numaralı RF anahtar 62 dB yalıtım sağlamaktadır.

2.2.4 Ara kat kuvvetlendiricisi

Sistem-1'de kazanç bloğu olarak 20dB kazanç tasarım hedeflerinin sağlanması için yeterlidir. Kullanılan eleman çeşitliliğinin azaltılması ara kat kuvvetlendiricisi olarak Sistem-1'de LNA olarak seçilen PMA2-43LN tip numaralı LNA ara kat kuvvetlendiricisi olarak kullanılmıştır.

Sistem-2'de güç tüketimi ön planda olduğundan hem eleman ortaklama hem de düşük güç tüketimi tasarım hedefinin sağlanması için Sistem-2'de LNA olarak kullanılan BGA231N7 tip numaralı LNA ara kat kuvvetlendiricisi olarak sisteme eklenmiştir.

2.2.5 GPS – GLONASS bant ayırıcı

Her iki sistemi oluşturan eleman bloklarında da bant ayırıcı elemanı bulunmaktadır. Sistemlerdeki kullanılma işlevselliği aynıdır. Bant ayırıcı elemanı GPS bandında GLONASS bandını ve GLONASS bandında ise GPS bandını bastıran elemandır.

Yapılan araştırmalar sonucu EPCOS TDK Corporation firmasının B3518 tip numaralı GPS – GLONASS bant ayırıcı elemanının kullanımına karar verilmiştir. B3518 tip numaralı elemanın elektriksel özellikleri aşağıda Çizelge 2.5'te verilmiştir [21].

Çizelge 2.5 : B3518 GPS – GLONASS bant ayırıcı tipik elektriksel özellikleri.

	B3518	
Üretici Firma	EPCOS TDK Corp.	
Frekans Bandı	GPS	GLONASS
Araya Girme Kaybı Tipik (dB)	3.8	3.6
Araya Girme Kaybı Maks. (dB)	4.8	4.5
Yan Bant Bastırma(dB)	24	22
Giriş Yansıması(dB)	-9.6	-8.9
Çıkış Yansıması(dB)	-9	-11

B3518 elemanının iç yapısını incelediğinde 2 adet YAD süzgeçten oluştuğu anlaşılmaktadır. Girişlerin ortaklanması için empedans uydurma devresinin girişe eklenmesi gerekmektedir.

2.2.6 DC ekleyici

Aktif antenin beslemesi için kullanılan GPS – GLONASS bandında çalışan DC ekleyici elemanı Mini-Circuits firmasının TCBT-2R5G tip numaralı elemanı olarak seçilmiştir. Elektriksel özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.6'da verilmiştir [22].

Çizelge 2.6 : TCBT-2R5G DC ekleyici elektriksel özellikleri.

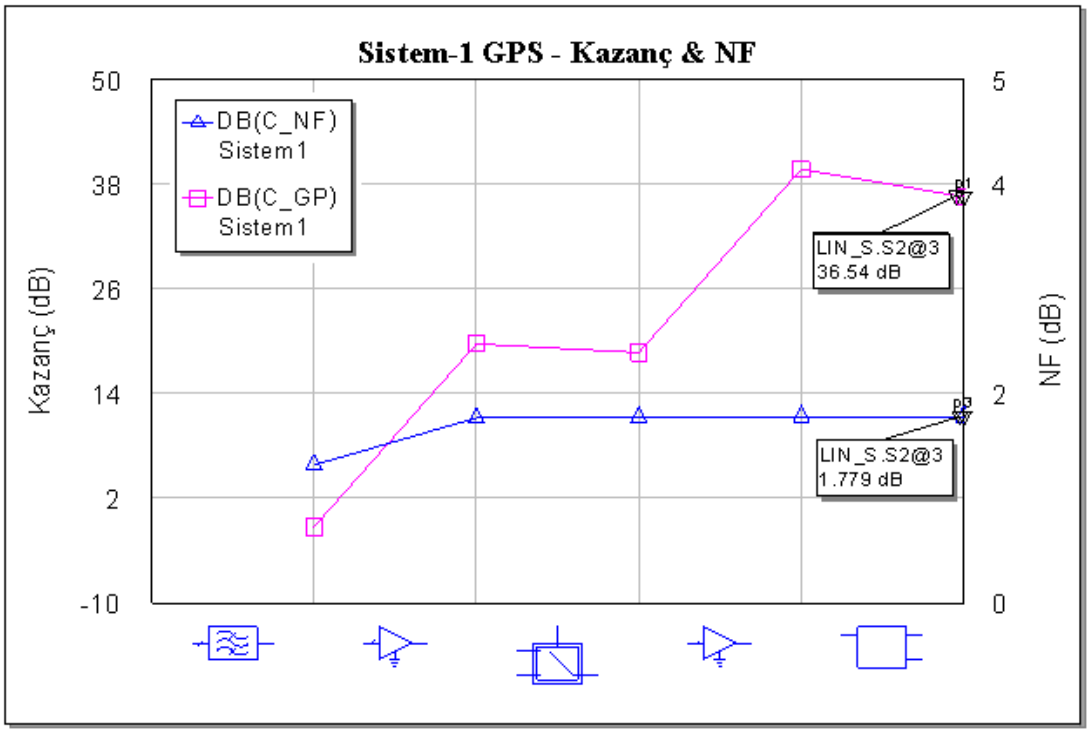
	TCBT-2R5G
Üretici Firma	Mini-Circuits
Araya Girme Kaybı Tipik (dB)	0.56
En Yüksek Akım	200mA
Yalıtım RF-DC(dB)	33

2.3 Sistem Benzetimleri

Sistem-1 ve Sistem-2'de kullanılacak elemanların seçiminin ardından sistemlerin benzetim ortamında kazanç ve gürültü sayısı benzetimleri yapılmıştır. Benzetimlerde gerçeğe daha yakın sonuç almak adına AWR modeli olan elemanların modelleri, olmayan elemanların veri kağıdı parametreleri benzetim ortamına aktarılmıştır. Sitem-1'de kullanılan YAD süzgecin araya girme kaybının maksimum değeri benzetimlere aktarılmıştır. Bunun sebebi eleman toleranslarından kaynaklanacak gürültünün en kötü değeri ile tasarım hedeflerinin sağlanıp sağlanmadığını incelemektir. Sistem benzetimlerinde "NI AWR VSS" RF sistem benzetim yazılımı kullanılmıştır.

2.3.1 Sistem-1 kazanç ve gürültü sayısı benzetimi

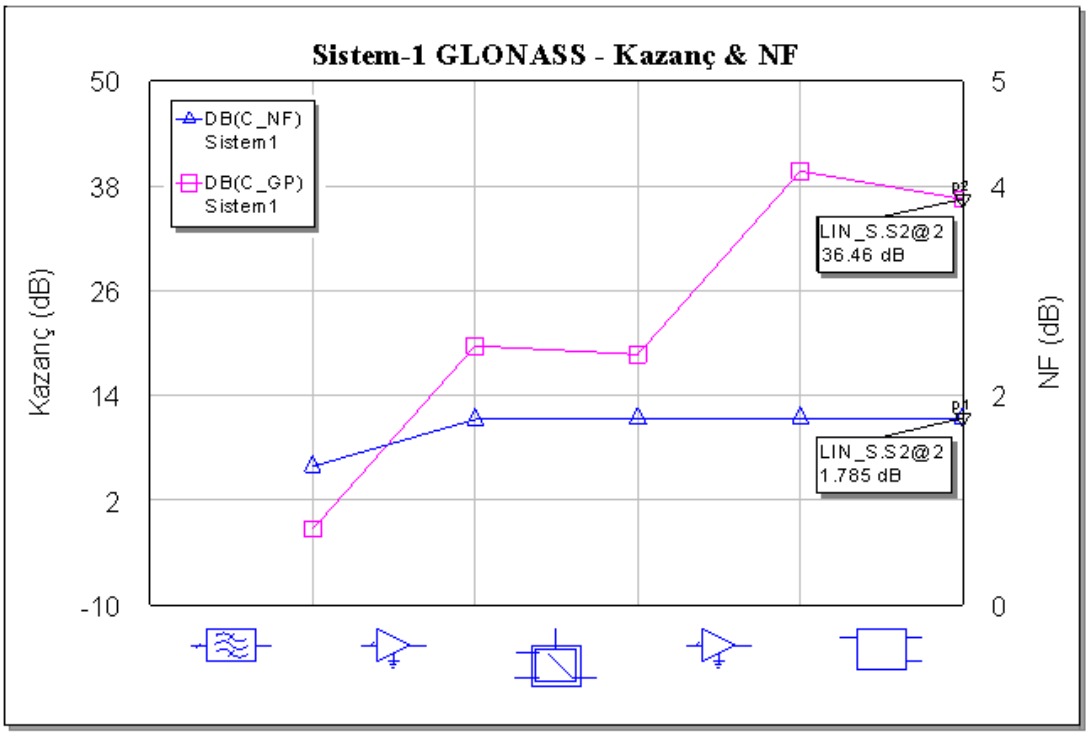
GPS bandı için Sistem-1 kazanç ve gürültü sayısı sistem benzetim sonuçları Şekil 2.4'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.4 : Sistem-1 GPS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu.

Sistem-1 ana tasarım hedeflerinden olan kazanç ve gürültü sayısı ile GPS çıkışı sistem benzetimlerinde elde edilen kazanç ve gürültü sayısı karşılaştırıldığında tasarım hedeflerinin tutturulduğu görülmüştür.

GLONASS bandı için Sistem-1 kazanç ve gürültü sayısı sistem benzetim sonuçları Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 : Sistem-1 GLONASS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu.

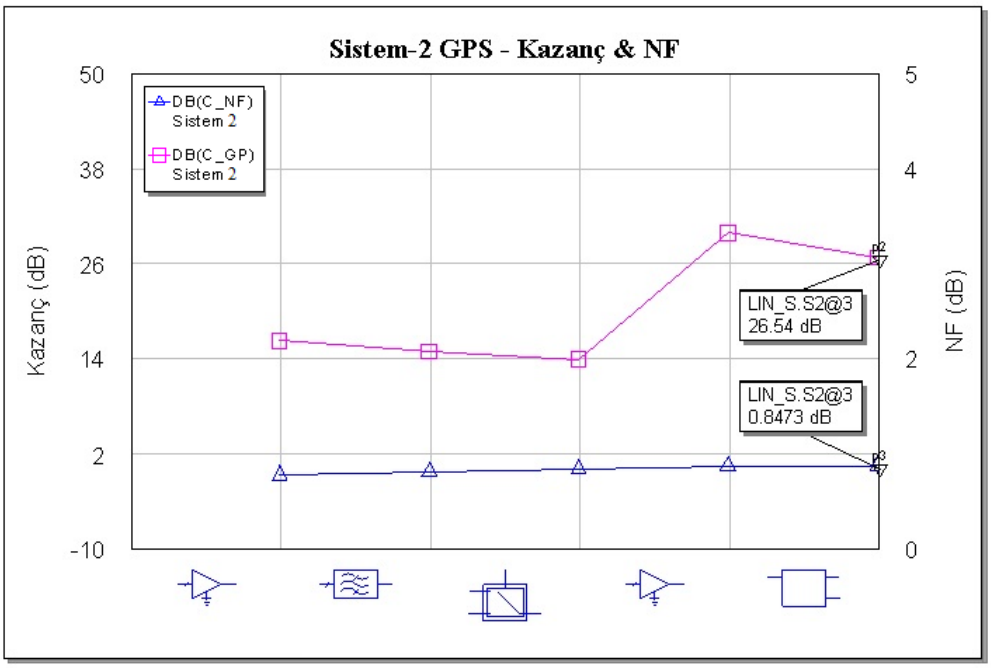
Sistem-1 ana tasarım hedeflerinden olan kazanç ve gürültü sayısı ile GLONASS çıkışı sistem benzetimlerinde elde edilen kazanç ve gürültü sayısı karşılaştırıldığında tasarım hedeflerinin GLONASS çıkışında da tutturulduğu görülmüştür. GPS ve GLONASS bantlarında kazanç ve gürültü değerlerinin de birbirlerine oldukça benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Sistem-1 için yapılan eleman seçimlerinin uygun olduğu bilgisayar destekli sistem benzetimleri ile doğrulanmıştır.

2.3.2 Sistem-2 kazanç ve gürültü sayısı benzetimi

Sistem-2 için kazanç ve gürültü sayısı sistem benzetimleri GPS bandı ve GLONASS bandı için ayrı ayrı yapılmıştır. Sitem-1'de kullanılan YAD süzgecinin kaybının maksimum değeri benzetimlerde kullanılmıştır. Böylelikle aynı şekilde üretim toleranslarından gelecek en kötü durum benzetimlere dahil olmuştur.

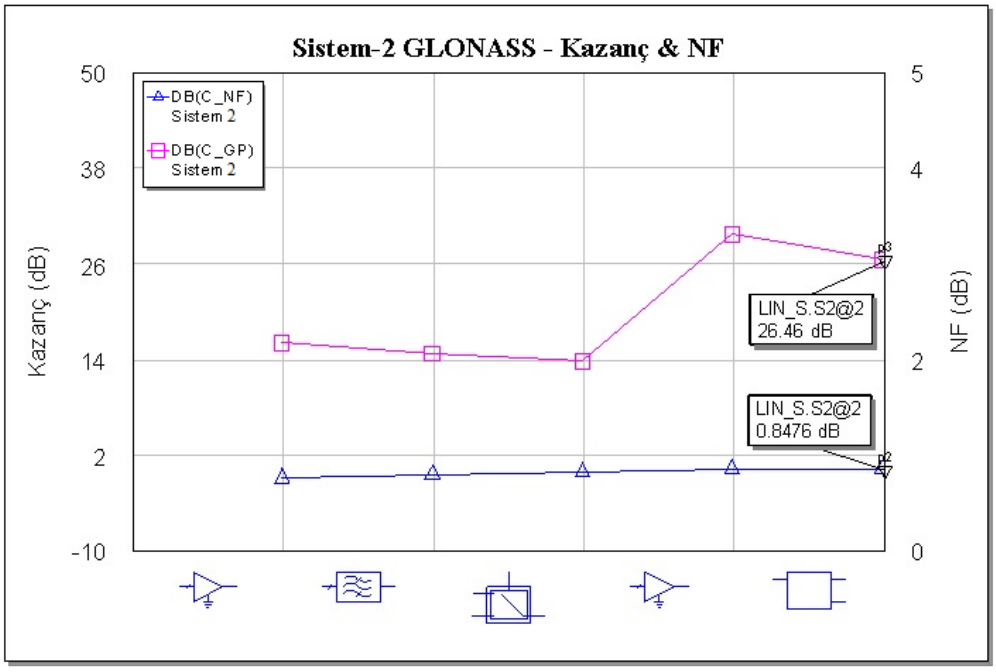
Aşağıda GPS bandı kazanç ve gürültü sayısı sistem benzetim sonuçları Şekil 2.6'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.6 : Sistem-2 GPS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu.

Sistem-2'de de ana tasarım hedeflerinden olan kazanç ve gürültü sayısı ile GPS çıkışı sistem benzetimlerinde elde edilen değerler karşılaştırıldığında hedeflerin sağlandığı görülmüştür.

GLONASS bandı için Sistem-2 kazanç ve gürültü sayısı benzetim sonuçları Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 : Sistem-2 GLONASS bandı kazanç ve NF sistem benzetim sonucu.

Sistem-2'de hedeflenen kazanç ve gürültü sayısı değerlerinin GLONASS çıkışında da sağlandığı benzetimlerle doğrulanmıştır. Sistem tasarımının ardından detaylı devre tasarımı yapılmıştır.

2.4 Devre Tasarımı

Sistem tasarımı, eleman seçimi ve sistem benzetimlerinin ardından tasarıma detaylı devre tasarımı ile devam edilmiştir. Devre-1'de tasarlanan devre Sistem-1 için önerilen yapıda, Devre-2'de tasarlanan devre ise Sistem-2 için önerilen yapıda tasarlanmıştır.

2.4.1 Devre-1 şema

Sistem-1'de tasarımı yapılan yapının çevre elemanları ile tasarımı yapılmıştır. Çevre elemanları ile besleme devreleri, empedans uydurma katları ve kontrol hatları tasarlanmıştır. Devre ayrık elemanlar ile tasarlanmıştır. Ayrık eleman olarak kullanılan bobin elemanları, kapasitör elemanları ve direnç elemanları mümkün olduğunca benzer ailelerden seçilmiştir. Devrede tüm bobin, kapasitör ve direnç elemanları 0402 paket seçilerek kullanılmıştır. Devre-1'in ayrık elemanlar ile yapılan tasarımının devre şeması Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

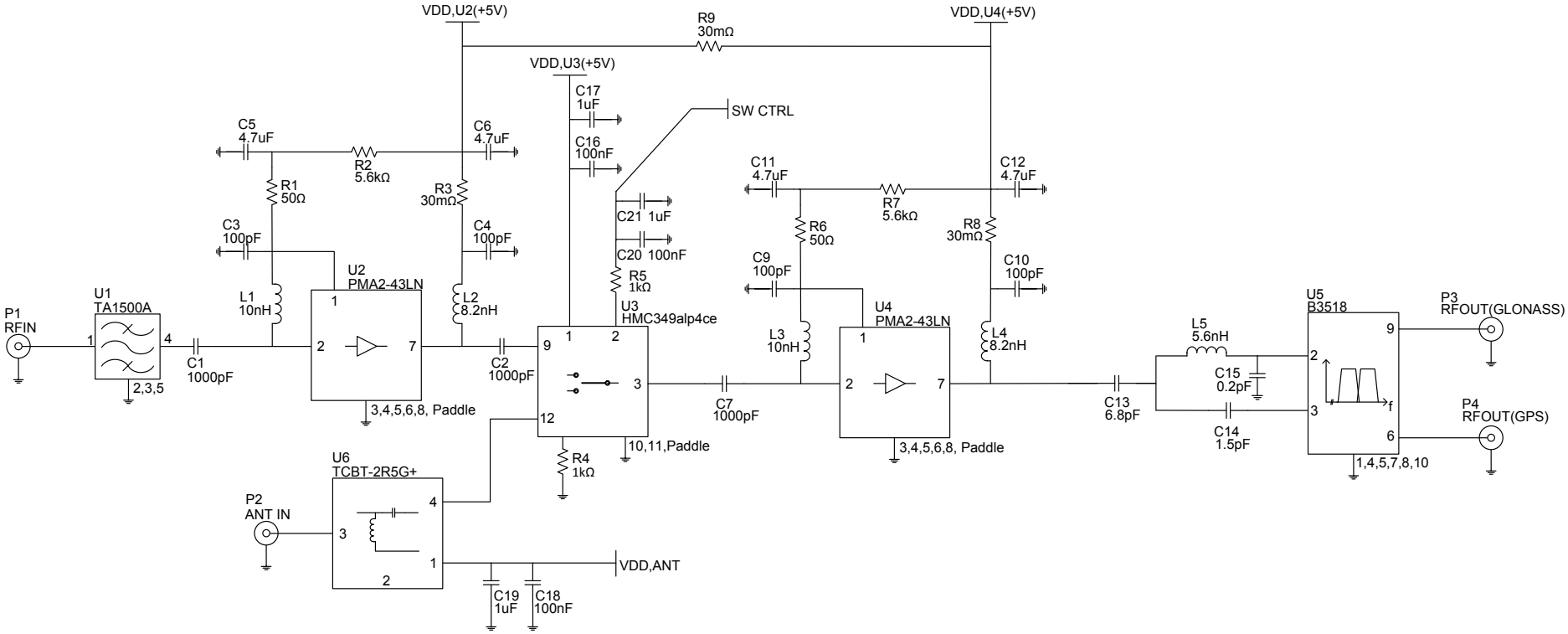
Devre şemasında gösterilen P1 numaralı kapı, pasif anten giriş kapısıdır. P2 referans numarası ile gösterilen kapı ise aktif anten giriş kapısıdır. Aktif antene besleme VDD,ANT hattından verilmektedir. P3 ve P4 referans numaralı kapılar çıkış kapılarıdır. P3 çıkış kapısı GLONASS bandı çıkışı, P4 çıkış kapısı ise GPS çıkışıdır.

Devrede kullanılan aktif elemanlardan LNA, arakat kuvvetlendiricisi ve RF anahtarın besleme gerilimi 5V'tur. Beslemeler sırası ile "VDD-U2", "VDD-U3" ve "VDD-U4" hatlarından verilmektedir. Devredeki RF anahtarın kontrol hattı "SW CTRL" hattıdır. RF anahtar kontrol bilgisi Çizelge 2.7'da verilmiştir.

Çizelge 2.7 : "SW CTRL" kontrol bilgisi.

SW CTRL	İşlev
0V	Aktif anten girişi aktif
5V	Pasif anten girişi aktif

Devre-1 şemasında kullanılan aktif ve pasif tüm elemanlar EK A'da gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Ayrık elemanlar ile tasarlanan Devre-1'in şeması.

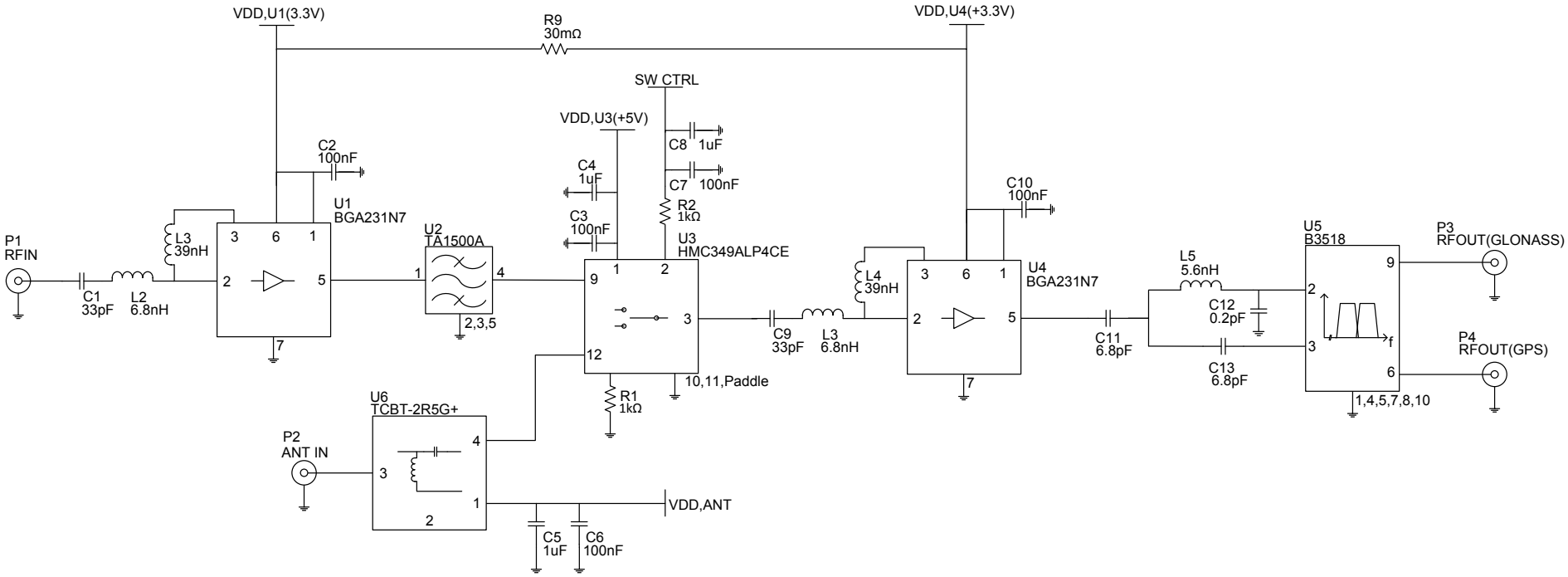
EK A'da her bir eleman için üretici bilgisi, ürün kodu, eleman değeri, paket bilgisi ve devredeki işlev bilgisi gösterilmektedir. Devrede DC blok ve AC kuplaj amaçlı kullanılan tüm kapasitörler Murata Electronics firmasının GRM serisi kapasitörleridir. Bant ayırıcı girişinde empedans uyumlama amaçlı kullanılan kapasitörlerden C13 ve C14 AVX firmasının RF&mikrodalga uygulamaları için geliştirdiği U serisi kapasitörlerdir [23]. Devredeki 0.2pF değerli C15 kapasitörü ise KEMET firmasının RF&mikrodalga uygulamalarında kullanımı uygun CBR serisi kapasitördür [24]. Her iki firmanın kapasitörleri de düşük ESR değerine, yüksek kalite faktörüne (Q) ve düşük tolerans değerine sahiptir [23,24]. Devrede farklı değerlerde kuplaj kapasitölerinin kullanılmasının amacı farklı frekanslarda besleme hattına sızabilecek istenmeyen işaretlerin ilgili kuplaj kapasitörden toprağa akmasını sağlayarak RF hattına geçmesine engellemektir. DC blok kapasitörlerinin kullanım amacı ise iki ucuna bağlanan devre elemanlarının DC olarak birbirinden ayırmaktır.

Devrede kullanılan boğucu bobinler ve empedans uyumlama bobini CoilCraft firmasının 0402CS serisi yüksek frekans uygulamaları için tasarlanmış bobinleridir. Yüksek kalite faktörü, SRF (self-resonant frequency) değeri ve düşük tolerans öne çıkan özellikleridir[25]. Bu özelliklerinden dolayı tasarımda kullanılmışlardır.

Tasarımda kullanılan dirençlerin kullanım amaçlarından ilki aktif devrelere gerekli beslemelerin sağlamaktır. Bir diğer kullanım amacı ise kararlılığı artırmadır. R9 direnci farklı olarak U2 ve U4 tüm devrelerinin besleme kaynaklamalarını ortaklamak amacı ile kullanılmıştır. Kullanılan tüm direnç elemanları Panasonic firmasının ERJ serisi direnç elemanlarıdır.

2.4.2 Devre-2 şema

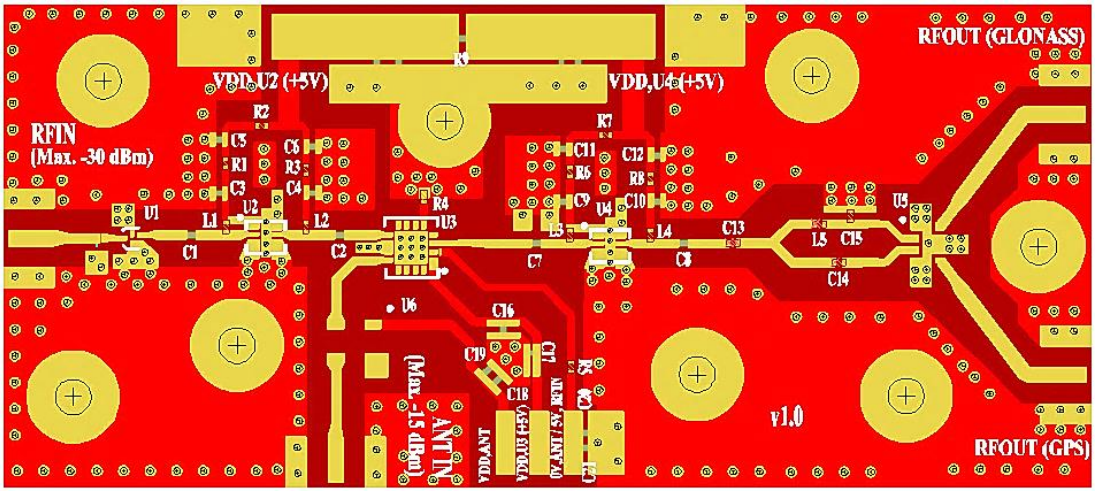
Devre-2'nin şema tasarımında Devre-1'de kullanılan çevre elemanı aileler ile aynı aileler kullanılmıştır. Benzer şekilde çevre elemanları ile besleme devreleri, empedans uydurma katları ve kontrol hatları tasarlanmıştır. Devre-2'in ayrık elemanlar ile yapılan tasarımının devre şeması Şekil 2.9'de gösterilmiştir. Devre şemasında kapı ve hatları Devre-1 ile aynıdır. Kontrol bilgisi de Çizelge 2.7'deki ile aynı şekildedir. Farklı olarak VDD,U1 ve VDD,U4 besleme hatları 3.3V'tur. VDD,U3 besleme hattı aynı şekilde 5V'tur. Devre-2 şemasında kullanılan aktif ve pasif tüm elemanların üretici bilgisi, ürün kodu, değeri, paket bilgisi, devredeki işlevleri EK B'de gösterilmektedir.



Şekil 2.9 : Ayrık elemanlar ile tasarlanan Devre-2'in şeması.

2.4.3 Devre-1 serim

Devre-1 için tasarımı yapılan şemanın serimi "NI AWR MWO" programı kullanılarak yapılmıştır. Devre üretimi için FR4 taban seçilmiştir. FR4 tabanın seçilmesinin temel sebepleri; yaygın olarak kullanılması, RF uygulamalarında kullanılan diğer tabanlara göre daha ucuz olması, dayanıklı olması, GPS ve GLONASS frekanslarındaki elektriksel özelliklerin Devre-1 ve Devre-2 yapılarının gerçeklenmesi için yeterli olmasıdır. Yapılan serim Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Devre-1 serimi.

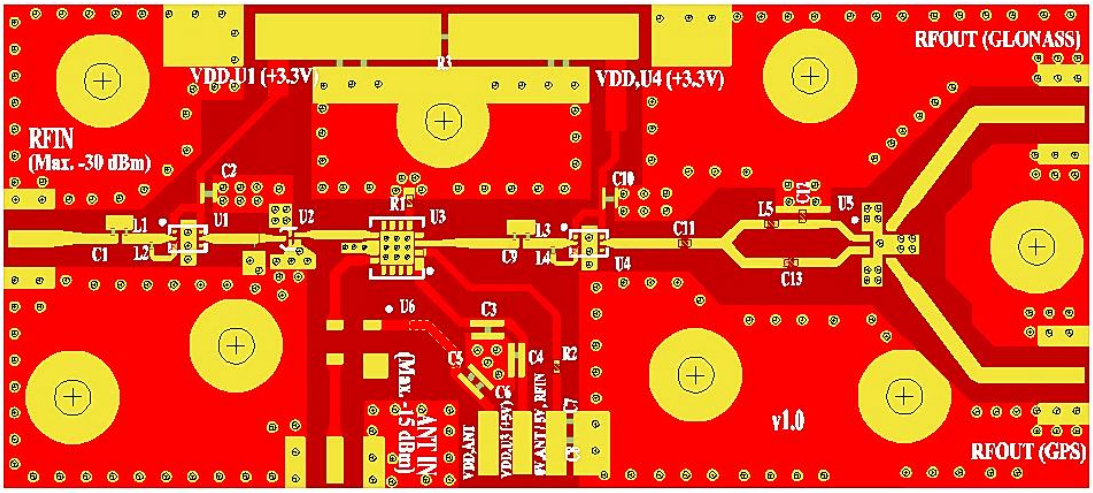
Tasarlanan devreler düşük gürültülü hassas devreler olduğundan dolayı dışarıdan gelebilecek bozucu etkilere karşı hassaslardır ve ölçümlerinin dış ortamdan izole olarak yapılması gerekmektedir. Dış ortamdaki bozucu etkilerden devreleri korumak ve izole etmek için devre kartına uygun kutu tasarımı da yapılmıştır. Devre-1'in serimi kutu içine yerleştirilmeye uygun olarak yapılmıştır. Serim üzerinde bulunan vida delikleri devrenin toprak alması ve kutuya montajının yapılabilmesi içindir. Devre-1'in tasarımında kullanılan tabanın özellikleri Çizelge 2.8'de verilmiştir. Serim boyutu 36.8mm X 82mm'dir.

Çizelge 2.8 : FR4 taban özellikleri.

Taban	FR4
Dielektrik Sabiti (ε_r)	4.4
Dielektrik Kalınlığı (H)	1mm
Bakır Kalınlığı (T)	35um
Kayıp Tanjantı (Df)	0.017

2.4.4 Devre-2 serim

Devre-2 serimi, Devre-1 için tasarlanan kutu içerisine montajlanmaya uygun şekilde yapılmıştır. Devre boyutu aynıdır. Devre-2 serimi Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Devre-2 serimi Devre-1'de kullanılan FR4 tabana yapılmıştır.



Şekil 2.11 : Devre-2 serimi.

Devre-1 ve Devre-2'nin serimlerinde RF konektörlerinin, vida başlarının karta basan yüzeylerinin ve DC kabloların lehimleneceği hatların üzerlerindeki lehim maskeleri açılmıştır. Aynı şekilde kartın alt kısmındaki bakır toprak yüzey tamamen açılmıştır. Böylece devre kartı ile metal kutu arası iletkenlik sağlanmıştır.

2.5 Devrelerin Gerçeklenmesi

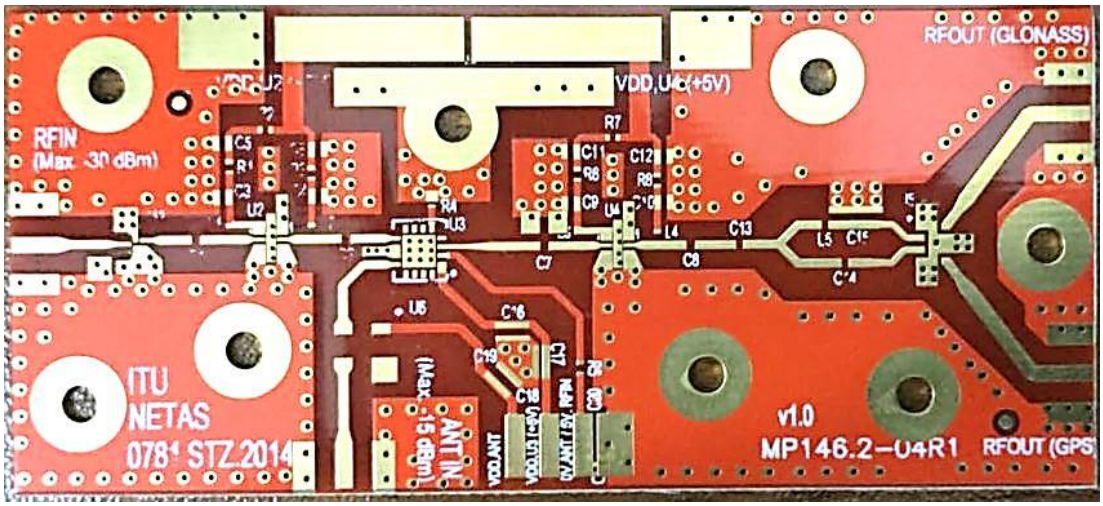
Farklı sistem yapılarında tasarlanan devrelerin baskı devre kartları (PCB) FR4 tabana üretilmiştir. Boyutları ve montaj delikleri aynı olan devreler için metal kutu tasarımı yapılmıştır ve metal kutular ürettirilmiştir. Tasarım süresince seçilen devre elemanları için örnekler temin edilmiş, örnek temin edilemeyen elemanlar satın alınmıştır. Devreler, elektronik elemanlar, RF ve DC konektörler ve metal kutular montaja hazır hale getirilmiştir.

2.5.1 Baskı devre kartlarının üretimi

Serimleri tamamlanan devrelerin üretimi kart üzeri uç ile kazıma yöntemi ile yapılmıştır. Serimler bu yöntemin kazıma sınırları dikkate alınarak yapılmıştır. Böylece üretim kaynaklı baskı devre kartı toleransları en az seviyeye indirilmiştir.

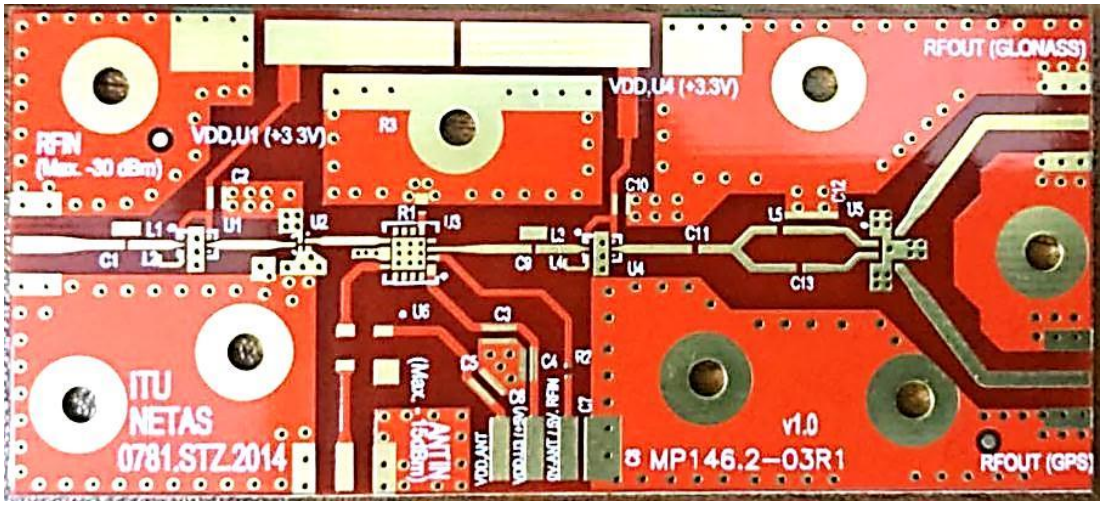
Kart üzerinde bulunan deliklere delik içi metal kaplama işlemi yapılmıştır. Kart üzerinde üzeri açılan DC ve RF hatlarına oksitlenmeyi önleyici ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold) kaplama yapılmıştır.

Devre-1 için üretilen PCB aşağıda Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Devre-1 baskı devre kartı.

Devre-2 için üretilen PCB Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



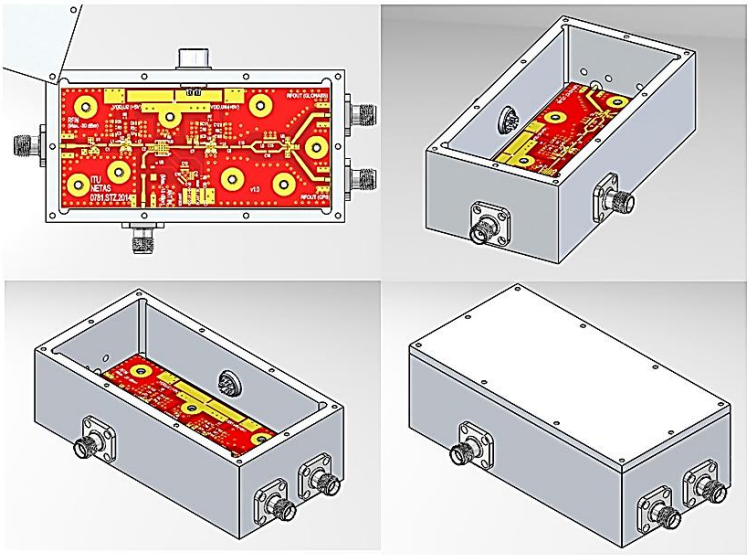
Şekil 2.13 : Devre-2 baskı devre kartı.

PCB üretiminin ardından metal kutu tasarımı ve üretimi yapılmıştır.

2.5.2 Metal kutu üretimi

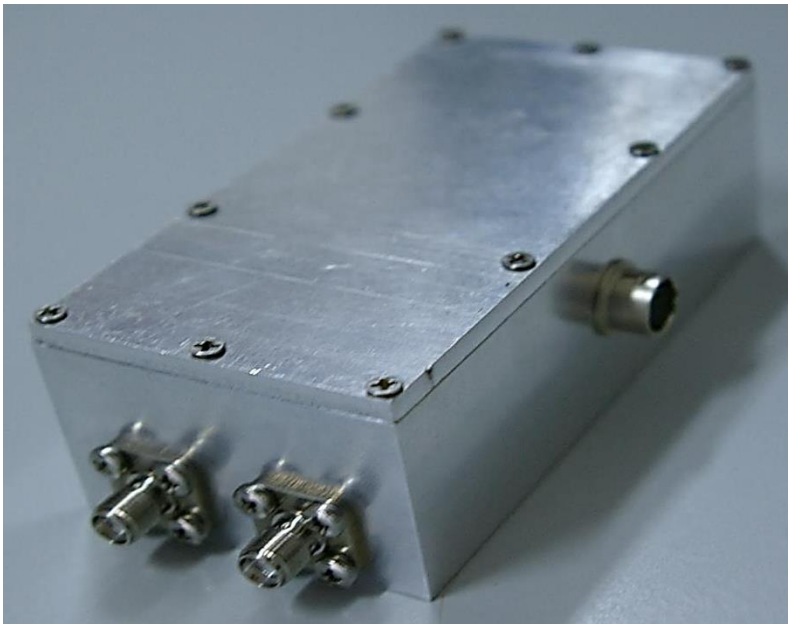
Devrelerin gürültülü ortam ile yalıtımının sağlanması için alüminyum metal kutu tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kutular her iki devre için de kullanılmıştır. Metal kutu tasarımı SOLIDWORKS üç boyutlu mekanik tasarım yazılımı ile yapılmıştır.

Kutu boyutu 46.4mm x 91mm x 28mm'dir. Kapak kalınlığı 3mm'dir. Aşağıda Şekil 2.14'te yazılım ortamında tasarımı yapılan kutunun görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : Tasarlanan metal kutunun kesit görüntüleri.

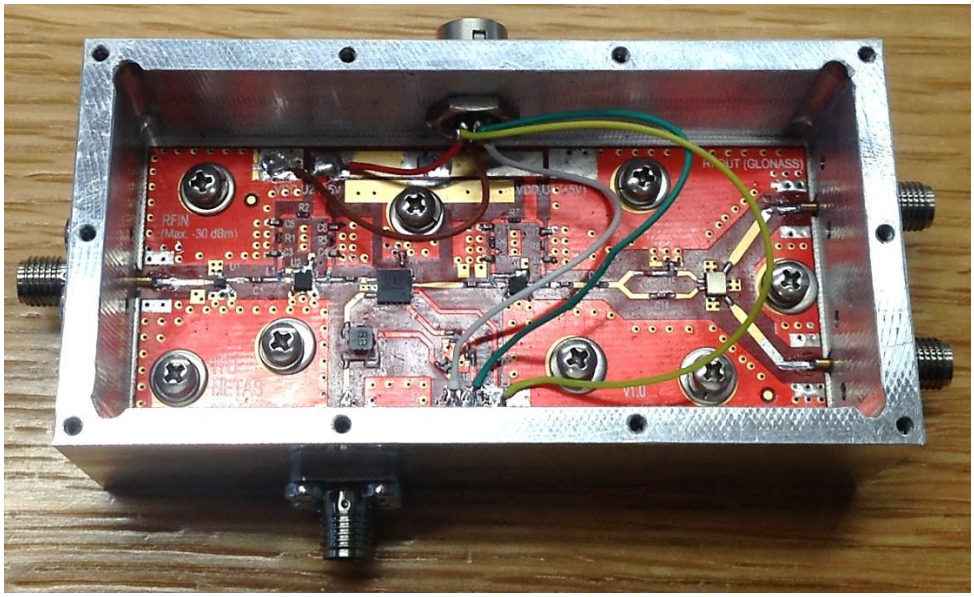
Metal kutu üzerinde kullanılacak RF konektörler ve DC konektör modele dahil edilerek model kutu modeli tasarlanmıştır. RF konektör olarak kutu üzerinde Amphenol firmasının SF2950-6061 tip numaralı koaksiyel tip SMA dişi şase dört delikli montaj konektörü kullanılmıştır. DC konektörü olarak ise HIROSE Electronics firmasının HR10A-7R-6S(73) tip numaralı konektörü kullanılmıştır. Üretilen kutu ve üzerindeki konektörler Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Üretilen alüminyum metal kutu ve konektörlerin yerleşimi.

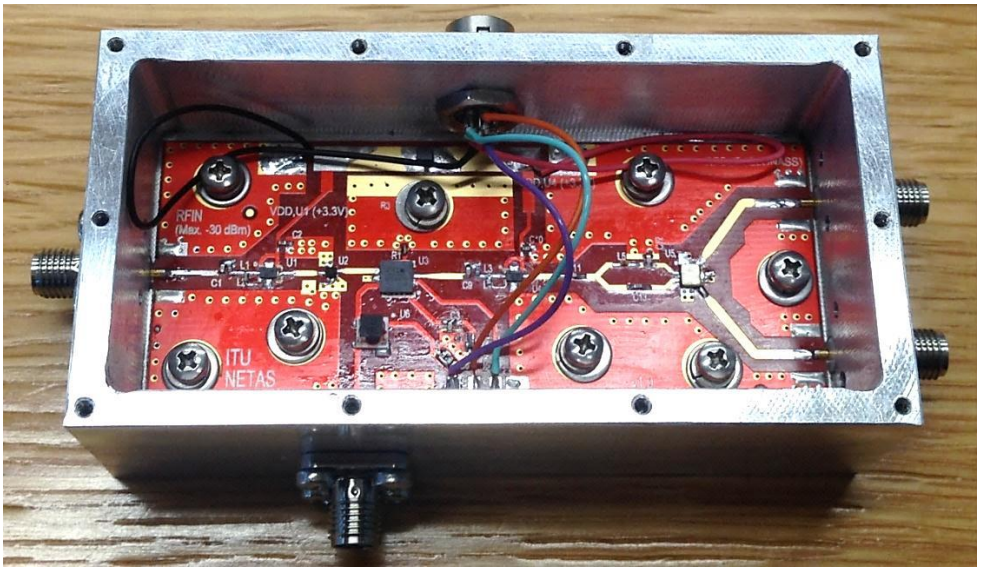
2.6 Devre Montajı

Montaj işlemine ilk olarak devre kartı elemanlarının kart üzerine dizilmesi ile başlanmıştır. Dizgisi tamamlanan kart metal kutuya montajlanmıştır. Montaj işlemleri tamamlanan Devre-1'in kutu kapağı açık görüntüsü Şekil 2.16'da aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.16 : Montajı tamamlanmış Devre-1.

Şekilde görüldüğü üzere DC ve kontrol kabloları ilgili hatlara lehimlenmiştir. Devre test edilmeye hazır hale getirilmiştir. Montaj işlemleri tamamlanan Devre-2'in kutu kapağı açık görüntüsü Şekil 2.17'de aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.17 : Montajı tamamlanmış Devre-2.

Devre-2 de şekilde görüldüğü üzere DC ve kontrol kabloları ilgili hatlara lehimlenerek test edilmeye hazır hale getirilmiştir.

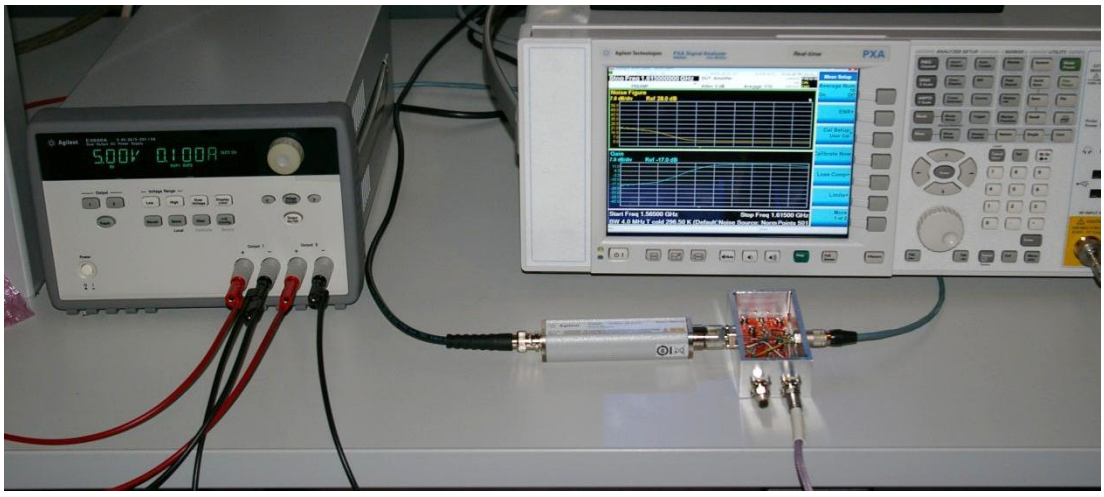
2.7 Ölçümler

Montaj işlemlerinin tamamlanmasının ardından devrelerin ölçümleri yapılmıştır. Tasarım hedefleri doğrultusunda devrelere sırası ile gürültü sayısı ölçümü, kazanç, çıkış gücü, geniş bant tepkisi ve iki ton testleri yapılmıştır. Ölçümler aktif ve pasif anten girişlerinden GPS ve GLONASS çıkışları için metal kutu kapağının açık ve kapalı olduğu durumlarda yapılmıştır. Ölçümler İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi'ndeki Faraday kafesinde yapılmıştır. Kullanılan cihazlar Çizelge 2.9'da verilmiştir. Ölçüm ortamı görüntüsü ise Şekil 2.18'de verilmiştir.

Çizelge 2.9 : Testlerde kullanılan cihazlar.

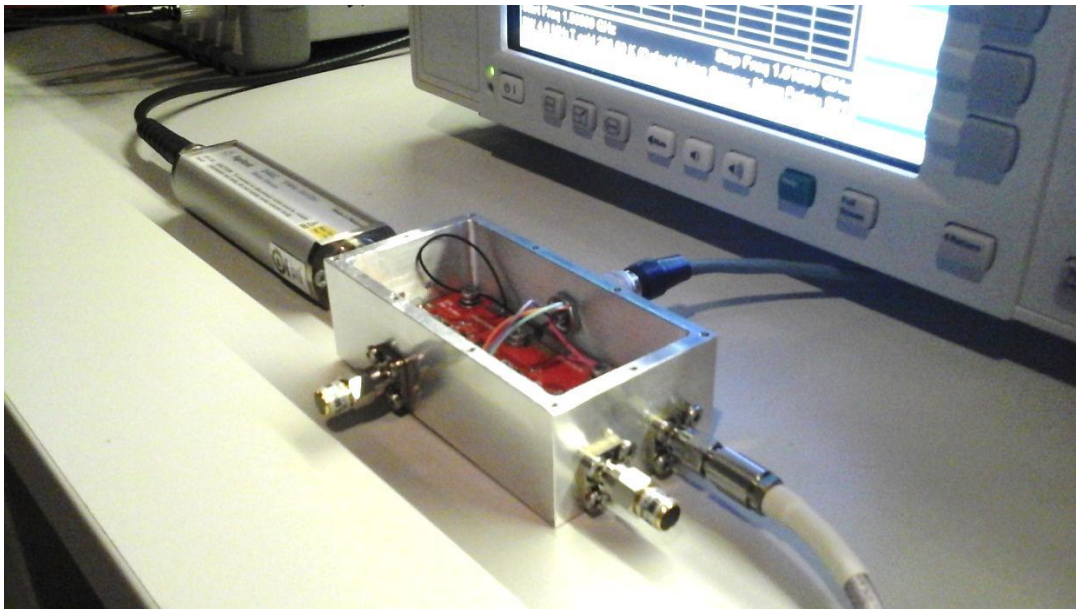
Üretici	Model
Agilent	346 Gürültü Kaynağı
Agilent	PXA Signal Analyzer –N9030A

Ölçüm ortamı görüntüsü Şekil 2.18'de gösterilmiştir. .



Şekil 2.18 : Ölçüm ortamı ve devre-cihaz bağlantıları.

Şekil 2.18'de GLONASS bandı için gürültü sayısı ve kazanç ölçümü yapıldığı durum için bağlantılar ve test cihazı görüntüleri gösterilmektedir. Cihaz bağlantıları şekil 2.19'da daha detaylı olarak gösterilmektedir.

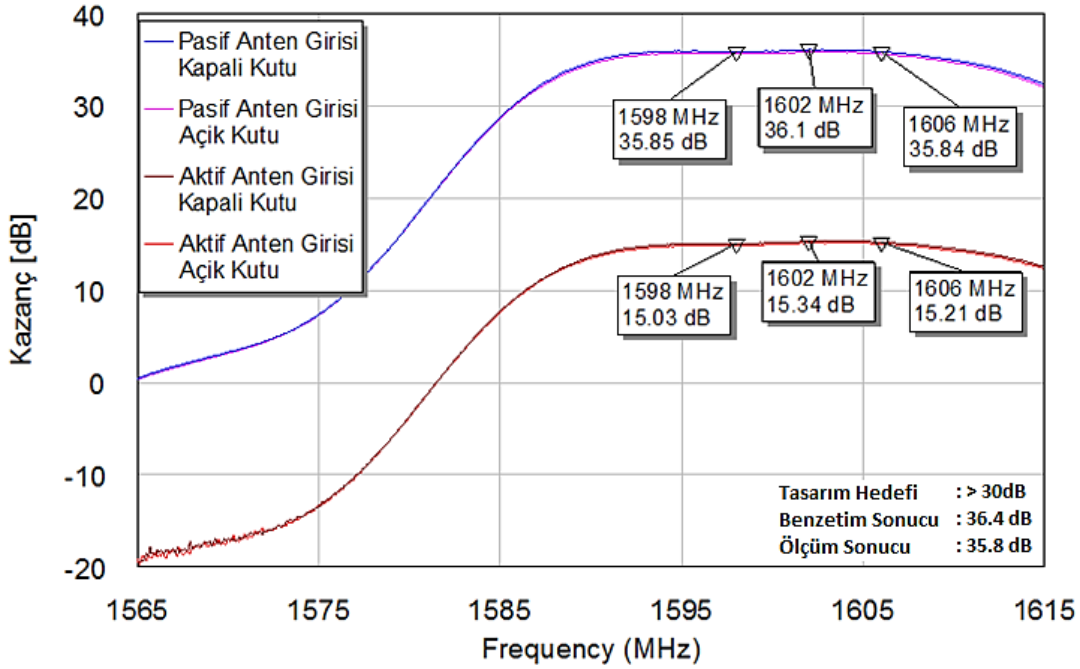


Şekil 2.19 : Devre-cihaz bağlantıları.

Şekil 2.19'da görüldüğü üzere devre pasif anten girişinden GLONASS çıkışına test edilmektedir. Aktif anten girişi ve GPS çıkışı 50Ω yük ile sonlandırılmıştır.

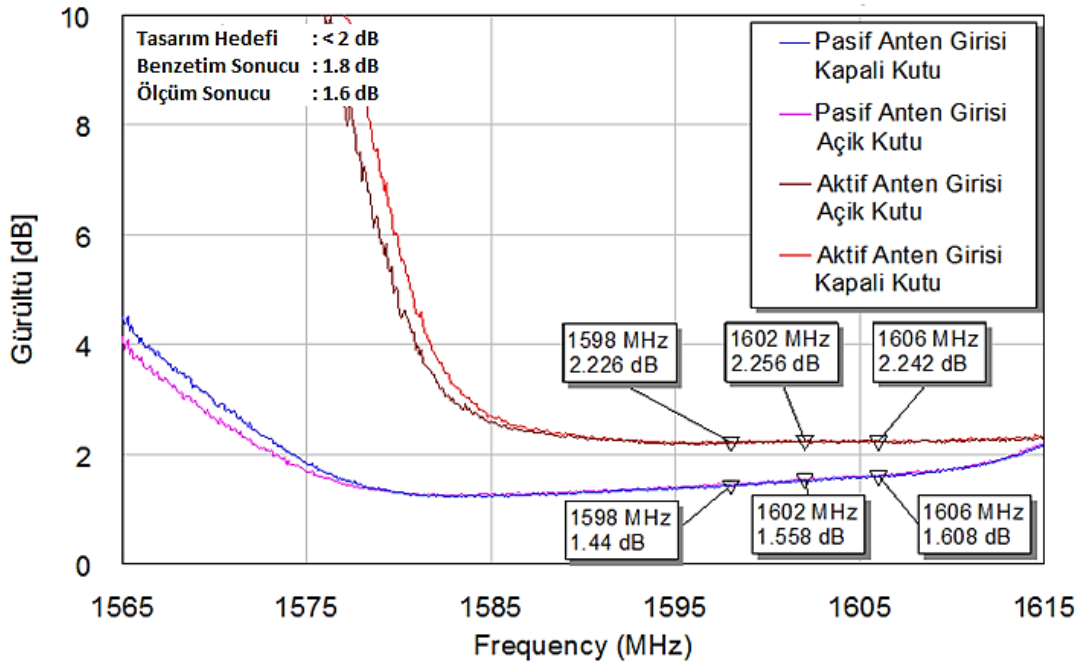
2.7.1 Kazanç, gürültü sayısı ve güç tüketimi ölçümleri

Testlere ilk olarak kazanç ve gürültü sayısı ölçümleri ile başlanmıştır. Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS çıkışı kazanç ölçümü Şekil 2.20'de gösterilmiştir. Devre-1 güç tüketimi 500mW'tır (5V, 100mA).



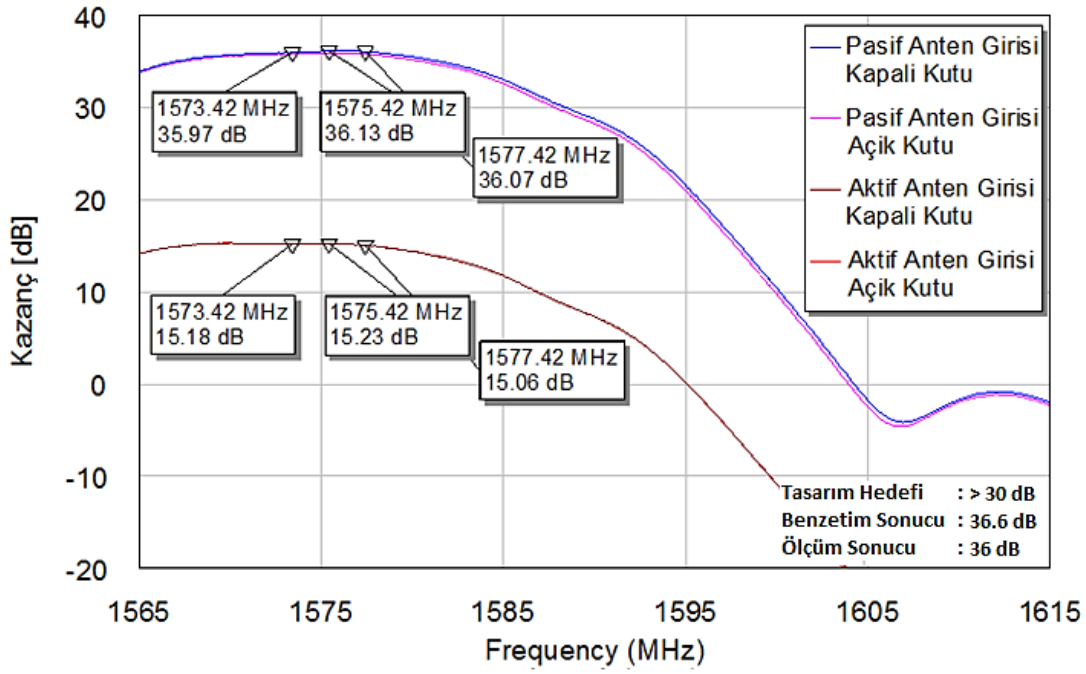
Şekil 2.20 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS kazanç ölçümü.

Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS çıkışı gürültü sayısı ölçümü Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



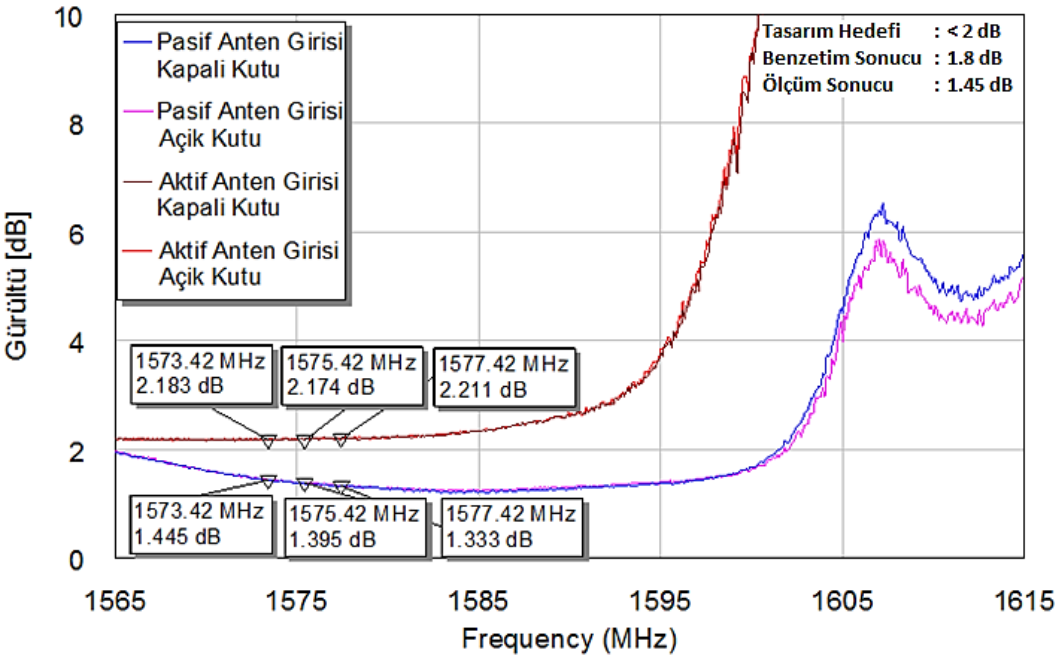
Şekil 2.21 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS gürültü ölçümü.

Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GPS çıkışı kazanç ölçümü Şekil 2.22'de gösterilmiştir.



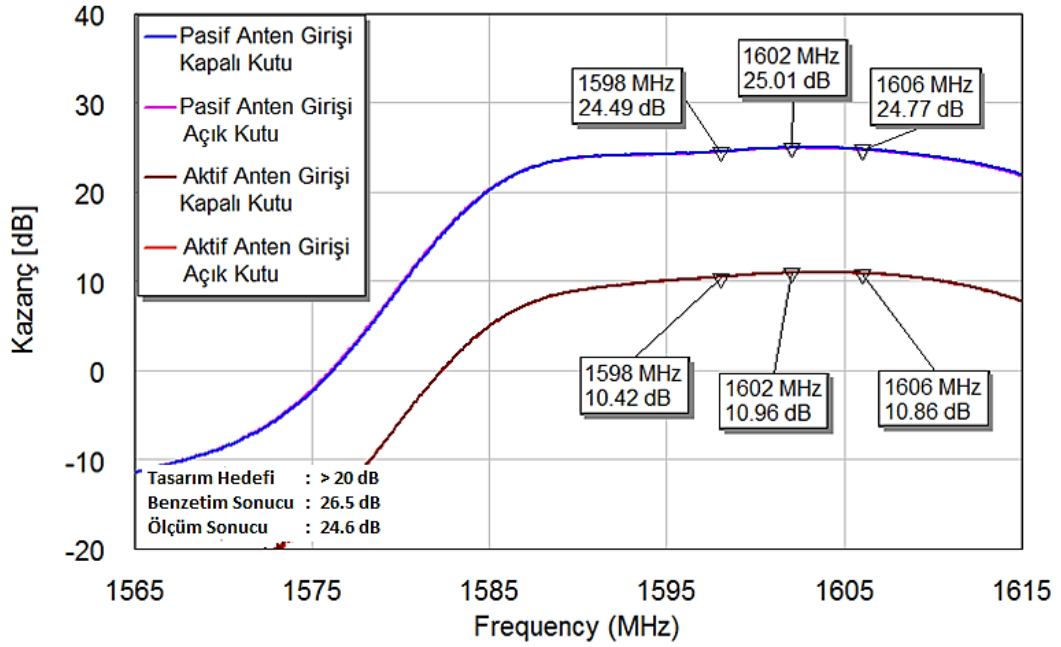
Şekil 2.22 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GPS kazanç ölçümü.

Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GPS çıkışı gürültü sayısı ölçümü Şekil 2.23'de gösterilmiştir.



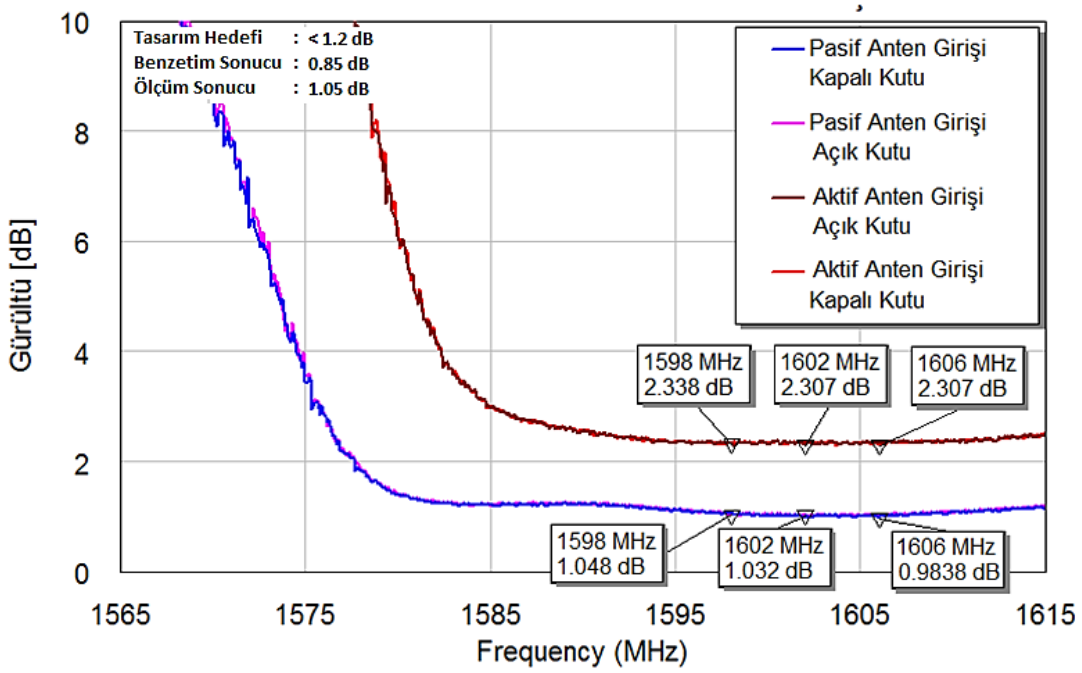
Şekil 2.23 : Devre-1 aktif ve pasif anten girişleri için GPS gürültü ölçümü.

Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS çıkışı kazanç ölçümü Şekil 2.24'de verilmiştir. Güç tüketimi 40mW'tır (3.3V,10mA ve 5V,1mA).



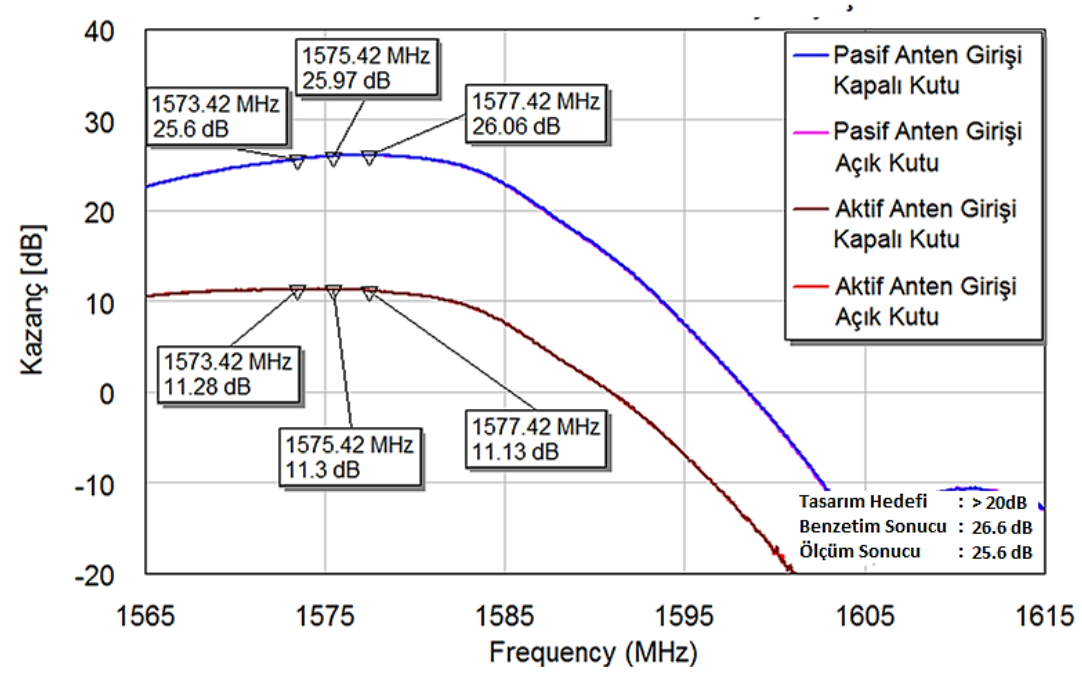
Şekil 2.24 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS kazanç ölçümü.

Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS çıkışı gürültü sayısı ölçümü Şekil 2.25'de verilmiştir.



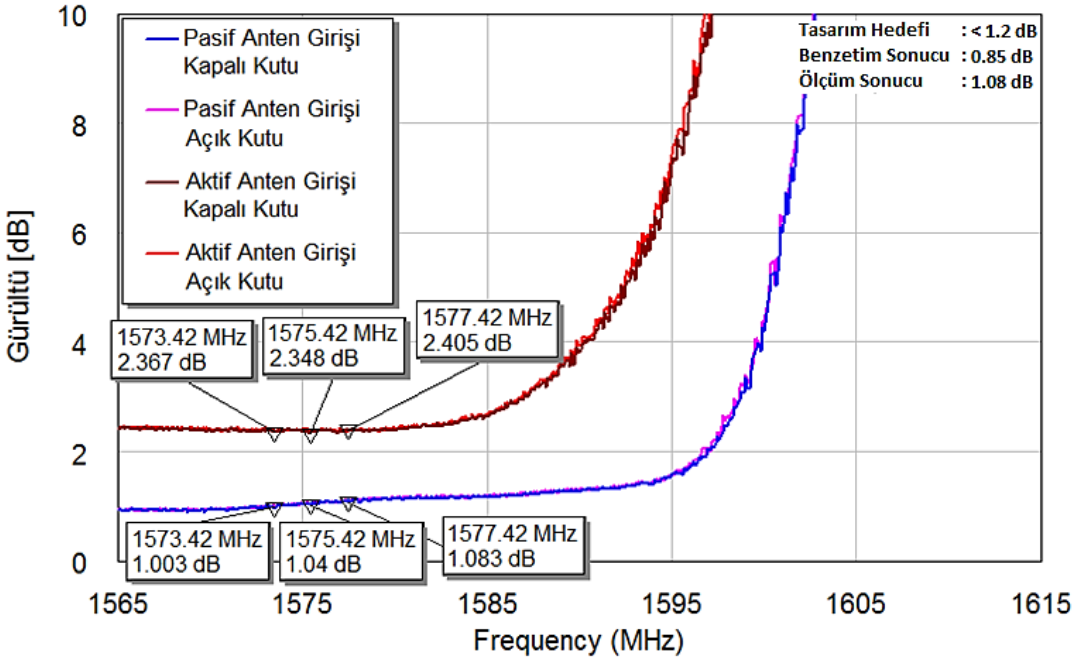
Şekil 2.25 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GLONASS gürültü ölçümü.

Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GPS çıkışı kazanç ölçümü Şekil 2.26'da verilmiştir.



Şekil 2.26 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GPS kazanç ölçümü.

Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GPS çıkışı gürültü sayısı ölçümü Şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.27 : Devre-2 aktif ve pasif anten girişleri için GPS gürültü ölçümü.

Yapılan kazanç, gürültü sayısı güç tüketimi ölçümlerinin özet sonuçları aşağıdaki Çizelge 2.10'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.10 : Kazanç ve gürültü sayısı ölçüm sonuçları.

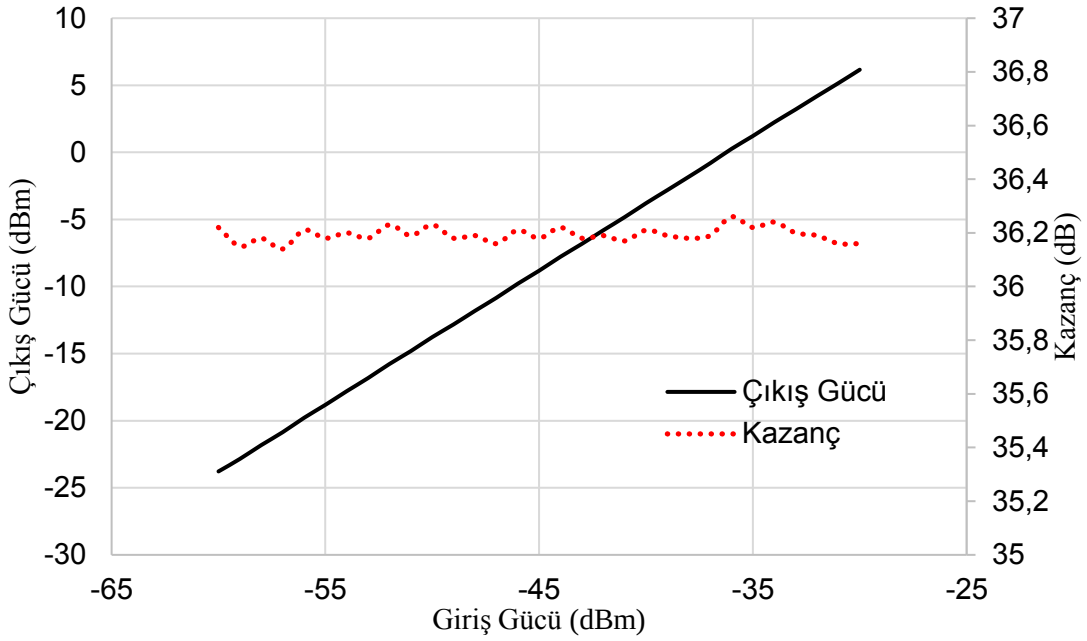
	Devre-1				**Devre-2**			
Giriş	Pasif Anten		Aktif Anten		Pasif Anten		Aktif Anten	
Çıkış	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS
Kazanç(dB)	36.1	36.1	15.2	15.4	26.0	25.0	11.3	11.0
Gürültü(dB)	1.40	1.56	2.18	2.26	1.04	1.01	2.35	2.30
Güç Tük.	500mW (5V, 100mA)				40mW (3.3V, 10mA ve 5V,1mA)			

Çizelge 2.10'daki ölçüm sonuçlarının tasarım hedefleri ile karşılaştırılması sonucu görüldüğü üzere Devre-1 ve Devre-2 tasarım hedeflerinden kazanç, gürültü sayısı ve güç tüketimi hedeflerini sağlamıştır.

2.7.2 Çıkış gücü ölçümü

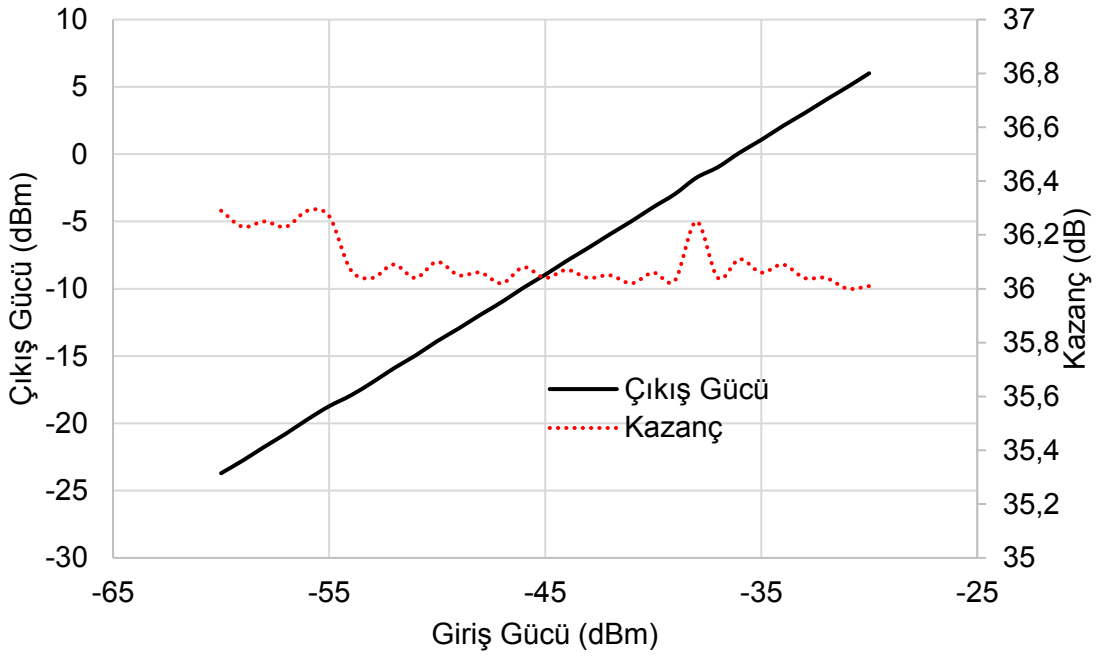
Testlere çıkış gücü testleri ile devam edilmiştir. Aktif ve pasif girişlerden GPS ve GLONASS çıkışlarına testler yapılmıştır. Testler bant ayırıcı elemanının maksimum

giriş değeri olan 10dBm seviyesine kadar yapılmıştır. Testlerde aynı zamanda kazancın giriş güç seviyesine bağlılığı da kontrol edilmiştir. Devre-1 pasif anten giriş GLONASS bandı için çıkış gücü ölçümü Şekil 2.28'de verilmiştir.



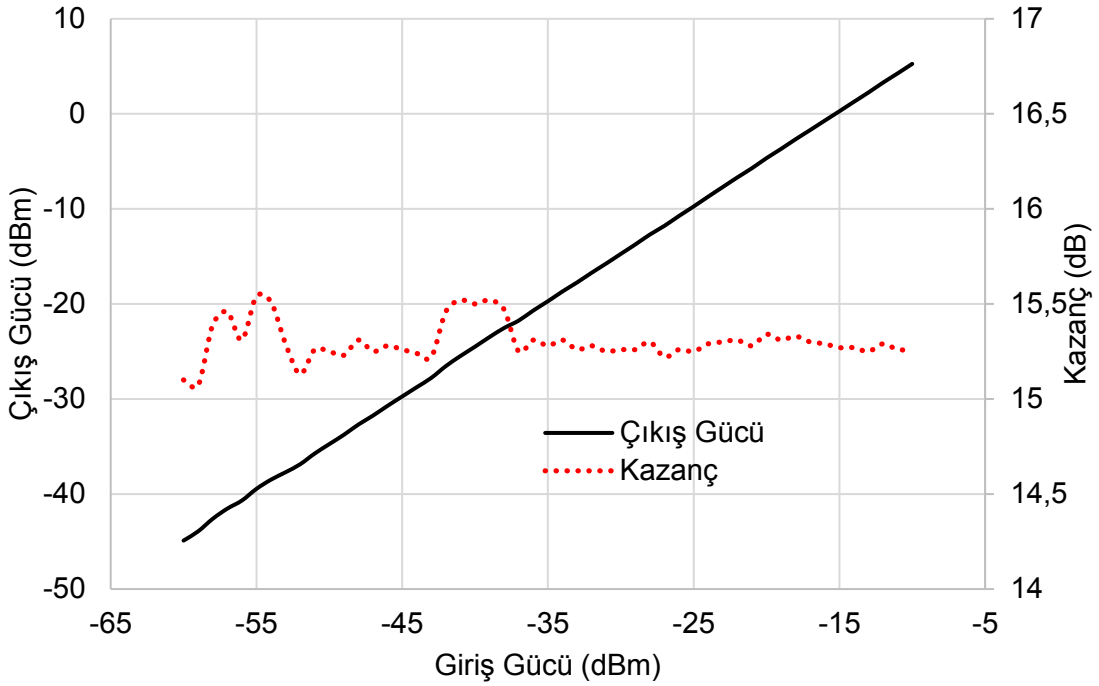
Şekil 2.28 : Devre-1 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü.

Devre-1 için yapılan pasif anten giriş, GPS bandı çıkış gücü ölçümü Şekil 2.29'de verilmiştir.



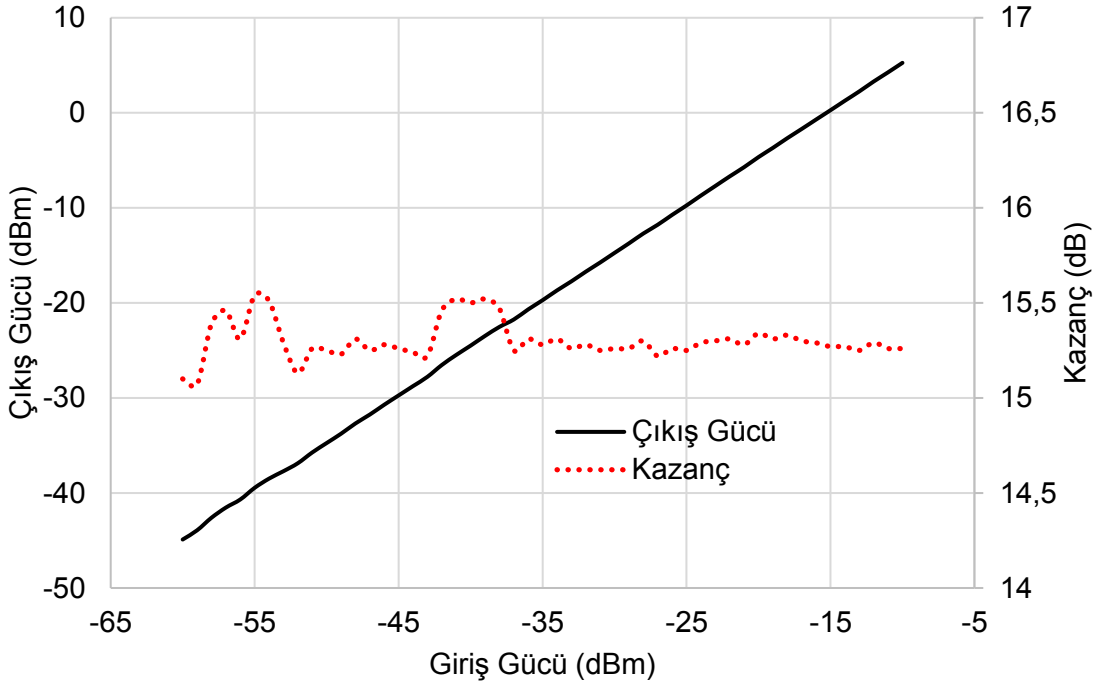
Şekil 2.29 : Devre-1 pasif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü.

Devre-1 aktif anten giriş, GLONASS bandı için yapılan çıkış gücü ölçümü Şekil 2.30'da verilmiştir.



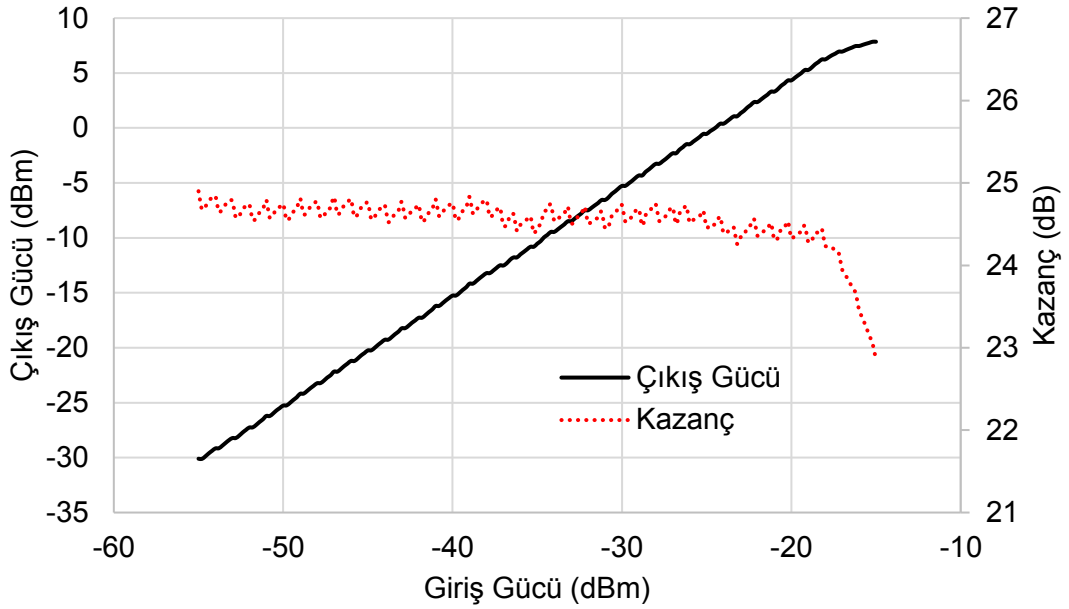
Şekil 2.30 : Devre-1 aktif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü.

Devre-1 aktif anten giriş, GPS bandı için yapılan çıkış gücü ölçümü Şekil 2.31'de verilmiştir.



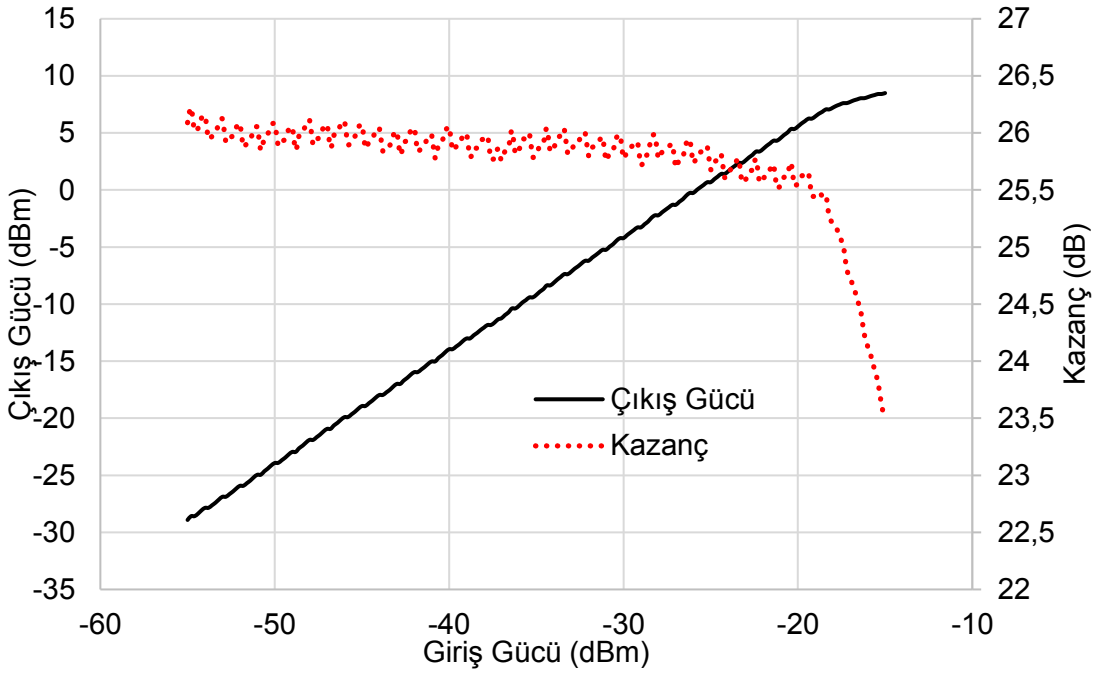
Şekil 2.31 : Devre-1 aktif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü.

Devre-2 pasif anten giriş, GLONASS bandı için çıkış gücü ölçümü Şekil 2.32'de verilmiştir.



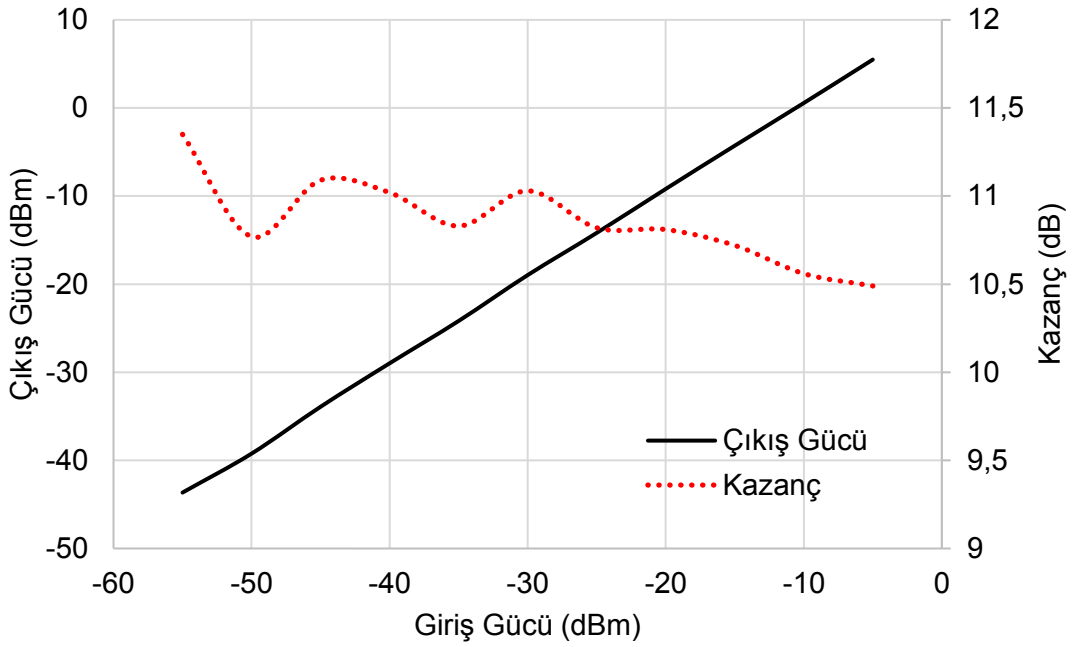
Şekil 2.32 : Devre-2 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü.

Devre-2 için yapılan pasif anten giriş, GPS bandı çıkış gücü ölçümü Şekil 2.33'de verilmiştir.



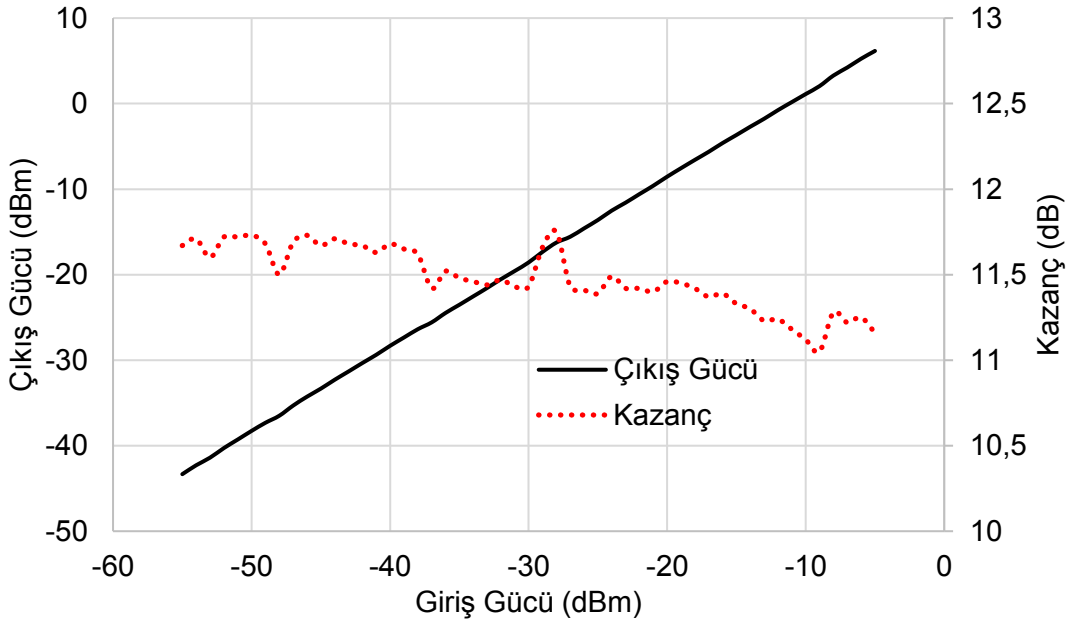
Şekil 2.33 : Devre-2 pasif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü.

Devre-2 aktif anten giriş, GLONASS bandı için yapılan çıkış gücü ölçümü Şekil 2.34'de verilmiştir.



Şekil 2.34 : Devre-2 aktif anten giriş GLONASS bandı çıkış gücü ölçümü.

Devre-2 aktif anten giriş, GPS bandı için yapılan çıkış gücü ölçümü Şekil 2.35'da verilmiştir.



Şekil 2.35 : Devre-2 aktif anten giriş GPS bandı çıkış gücü ölçümü.

Yapılan çıkış gücü ölçümlerinin sonuçları aşağıda Çizelge 2.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11 : Çıkış gücü ölçüm sonuçları.

	Devre-1				**Devre-2**			
Giriş	Pasif Anten		Aktif Anten		Pasif Anten		Aktif Anten	
Çıkış	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS
OP1dB(dBm)	>10	>10	>10	>10	7.6	7.2	>10	>10

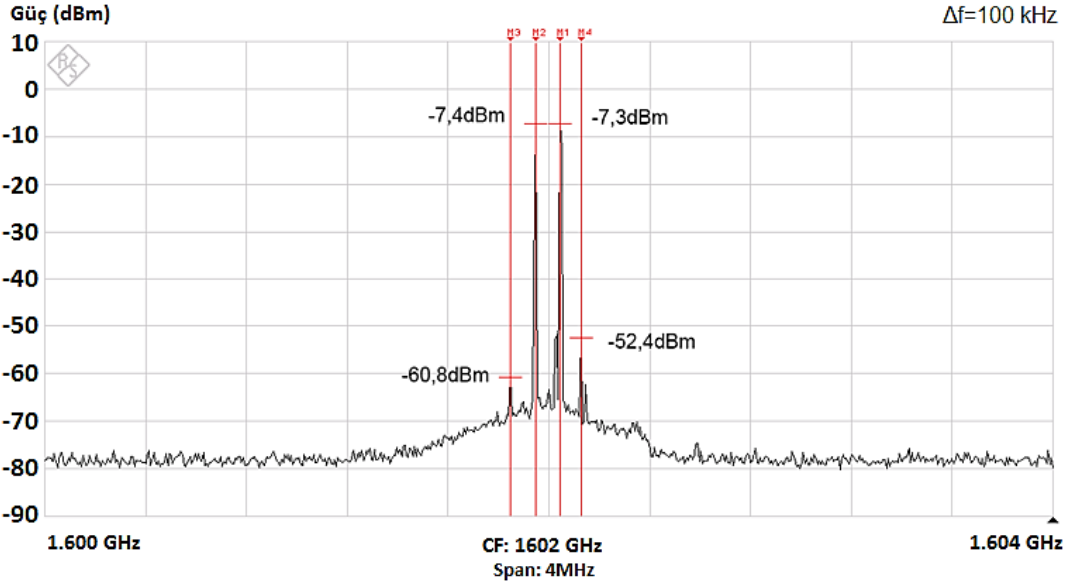
Çizelge 2.11'deki ölçüm sonuçlarının tasarım hedefleri ile karşılaştırılması sonucu görüldüğü üzere Devre-1 ve Devre-2 tasarım hedeflerinden OP1dB hedefini sağlamıştır.

2.7.3 İki ton ölçümü

İki ton testleri sadece pasif anten girişinden GPS ve GLONASS çıkışlarında yapılmıştır. Pasif girişe uygulanan tonlar arası frekans farkı 100kHz'dir. Devrelere ton güçleri bant ayırıcının maksimum giriş gücü seviyesinden daha düşük seviyelerde uygulanmıştır.

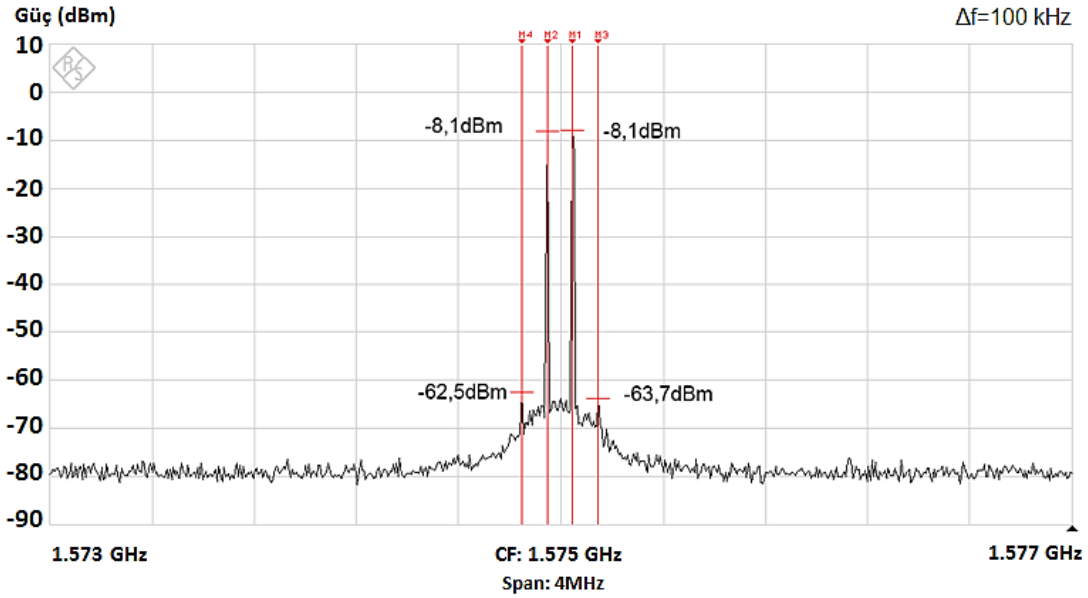
Aktif anten girişine bağlanacak aktif antenin doğrusallığı ölçümleri etkileyeceğinden aktif anten girişinde iki ton ölçümü yapılmamıştır.

Devre-1 için GLONASS çıkışı iki ton ölçüm sonucu Şekil 2.36'de verilmiştir.



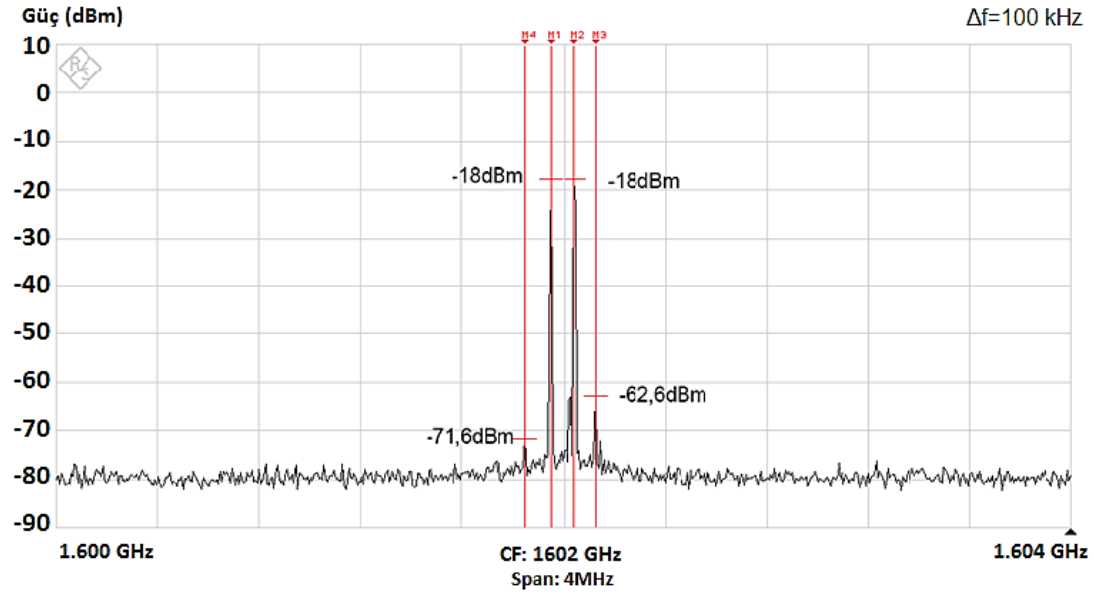
Şekil 2.36 : Devre-1 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış iki ton ölçümü.

Devre-1 için GPS çıkışı iki ton ölçüm sonucu Şekil 2.37'de verilmiştir.



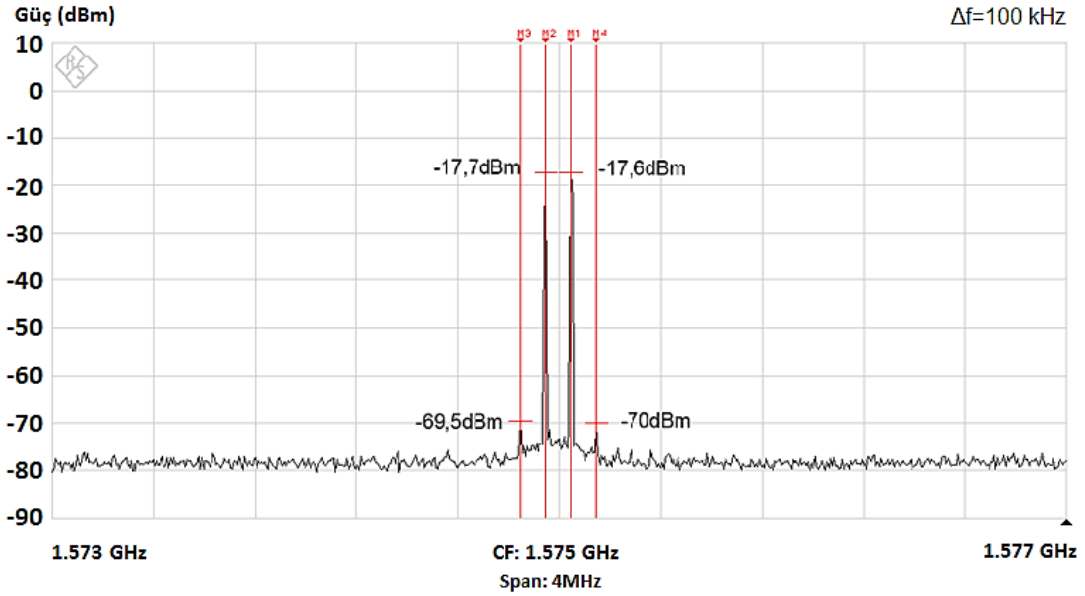
Şekil 2.37 : Devre-1 pasif anten giriş GPS bandı çıkış iki ton ölçümü.

Devre-2 için GLONASS çıkışı iki ton ölçüm sonucu Şekil 2.38'de verilmiştir.



Şekil 2.38 : Devre-2 pasif anten giriş GLONASS bandı çıkış iki ton ölçümü.

Devre-2 için GPS çıkışı iki ton ölçüm sonucu Şekil 2.39'da verilmiştir.

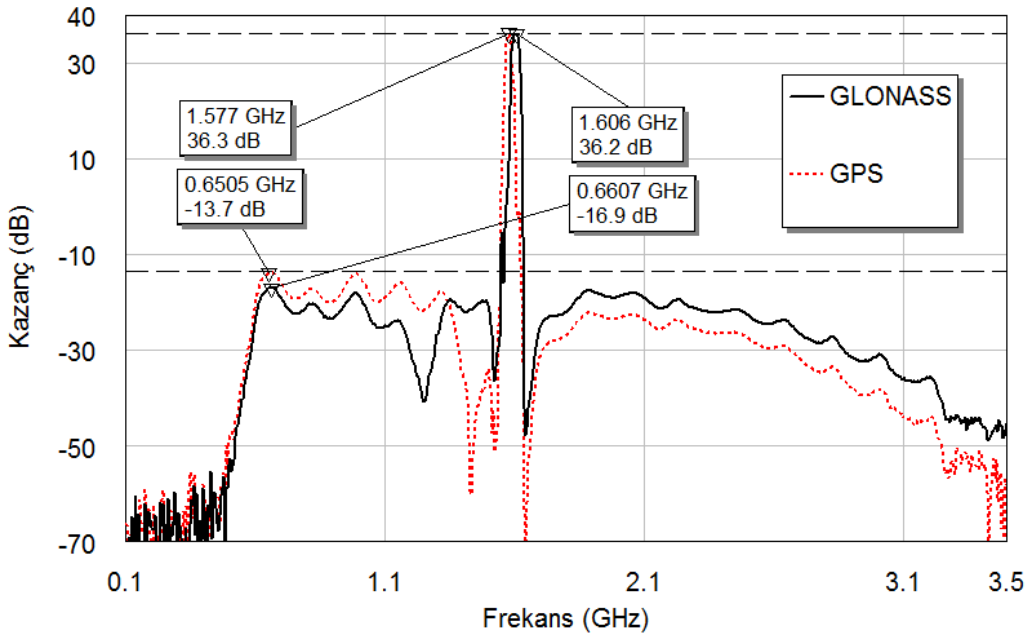


Şekil 2.39 : Devre-2 pasif anten giriş GPS bandı çıkış iki ton ölçümü.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde Devre-1, Devre-2 için GPS ve GLONASS bantlarında oluşan üçüncü derece ürünlerin seviyelerinin işaretten minimum **40dBc** altında kaldığı görülmektedir. Devreler doğrusal olarak çalışmaktadır.

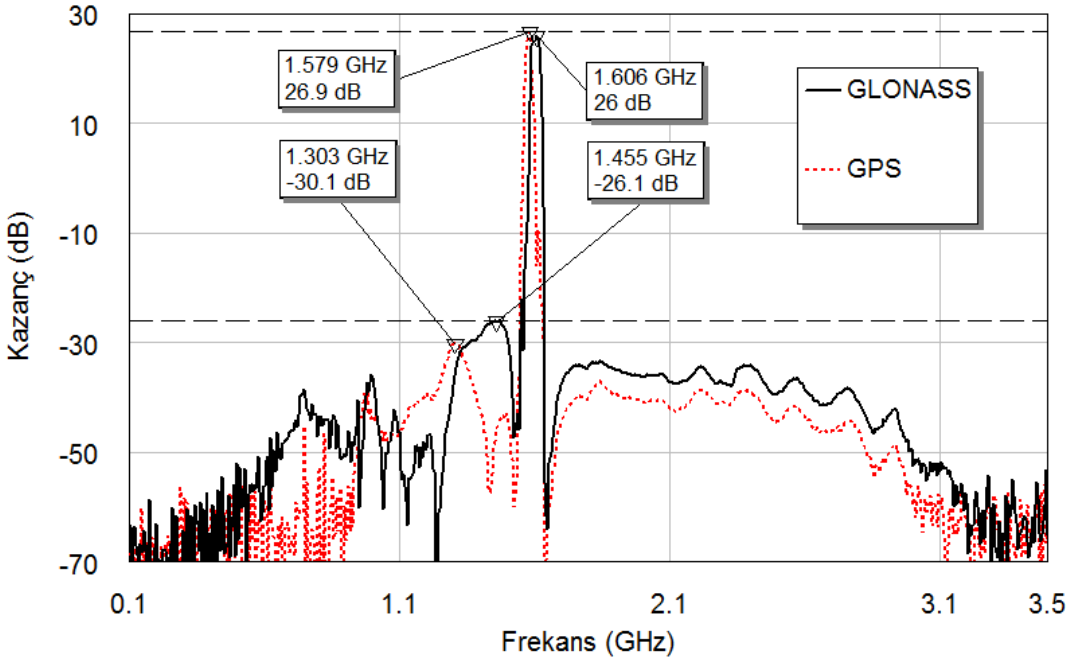
2.7.4 Geniş bant kazanç ölçümü

Devre-1 ve Devre-2 kazançları 100MHz – 3.5GHz arası pasif girişten GLONASS ve GPS çıkışlarında ölçülmüştür. Devre-1 için ölçüm sonucu Şekil 2.40'da verilmiştir.



Şekil 2.40 : Devre-1 GLONASS ve GPS çıkışları geniş bant kazanç ölçüm sonucu.

Devre-2 için ölçüm sonucu Şekil 2.41'de verilmiştir.



Şekil 2.41 : Devre-2 GLONASS ve GPS çıkışları geniş bant kazanç ölçüm sonucu.

Yapılan geniş bant kazanç ölçümleri sonuçları aşağıda Çizelge 2.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.12 : Geniş bant kazanç ölçüm sonucu.

	Devre-1		**Devre-2**	
Giriş	Pasif Anten		Pasif Anten	
Çıkış	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS
Bastırma (dBc)	50	53.1	57	52.7

Çizelge 2.12'deki ölçüm sonuçlarının tasarım hedefleri ile karşılaştırılması sonucu görüldüğü üzere Devre-1 ve Devre-2 tasarım hedeflerinden bastırma hedefini sağlamıştır.

3. SONUÇ

Tez kapsamında GPS ve GLONASS frekansları uyumlu RF alıcı ön kat devreleri tasarlanmış ve gerçeklenmiştir. Gerçeklenen devreler elektriksel olarak test edilmiş ve tasarım hedeflerinin tamamının sağlandığı görülmüştür. Çizelge 3.1'de tasarım hedefleri (TH) ile ölçüm sonuçları (ÖS) karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Tasarım hedeflerinin ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması.

		Sistem-1				**Sistem-2**			
Giriş		**Pasif Anten**		**Aktif Anten**		**Pasif Anten**		**Aktif Anten**	
Çıkış		GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS
Gürültü (dB)	TH	< 2	< 2	< 2.5	< 2.5	< 1.2	< 1.2	< 2.5	< 2.5
	ÖS	1.40	1.56	2.18	2.26	1.04	1.01	2.35	2.30
Kazanç (dB)	TH	> 30	> 30	>10	> 10	> 20	> 20	> 10	> 10
	ÖS	36.1	36.1	15.2	15.4	26.0	25.0	11.3	11.0
Bastırma (dBc)	TH	> 40	> 40	-	-	> 40	> 40	-	-
	ÖS	50	53.1	-	-	57	52.7	-	-
OP1dB (dBm)	TH	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0
	ÖS	>10	>10	>10	>10	7.6	7.2	>10	>10
Güç Tüketimi	TH	< 1000mW				< 100			
	ÖS	500mW				40mW			

Devreler farklı iki sistem yapısında ve farklı kullanım alanları için tasarlanmıştır. Tasarlanan devrelerin çıkışında bant ayırıcı elemanı ile GPS ve GLONASS bantları birbirinden ayrılmaktadır. Her iki devre hem pasif anten ile hem de aktif anten ile çalışabilecek şekilde gerçeklenmiştir. Pasif anten ve aktif anten arası RF hattın seçimi sistemlerde kullanılan yüksek yalıtım özelliğine sahip RF anahtar yardımı ile sağlanmıştır.

Gerçeklenen Devre-1 daha yüksek kazançlıdır ve dışarıdan gelebilecek bant dışı bozucu işaretlere karşı dirençli bir yapıdadır. Girişinde kullanılan YAD süzgeç yapısı ile bant dışı bozucu etkiler bastırılmaktadır. Ancak bu süzgeç toplam gürültü sayısını arttırmaktadır.

Devre-2, Devre-1'e göre daha düşük gürültü sayısı ve daha düşük güç tüketimine sahiptir. Bant dışı bozucu etkilerin ortamda bulunmadığı çevre koşullarında veya GPS ve GLONASS frekanslarına ayarlanmış frekans seçici özelliğe sahip aktif-pasif antenler ile Devre-2 kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Global Navigation Satellite System (GNSS).** (t.y.). Erişim: 21 Kasım 2016, https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf

[2] **Love, J. S., Ajluni, C., Blyler, J., Bowick, C., Carr, J., Dowla, F., Finneran, M., Grebennikov, A., Hickman, I., Maloratsky, L. G., Poole, I., Sokal, N. O., Winder, S., Zumbahlen, H.** (2009). RF Front-End World Class Designs. *RF Front-End Design* (1st ed., pp.33-34). Newnes.

[3] **Pozar, D. M.** (2009). Microwave Engineering. (4th ed., pp.178, 511-515). Wiley.

[4] **Bowick, C., Byler, J., Ajluni, C.** (2009). RF Circuit Design. *Understanding RF Transistor Data Sheets* (2nd ed., pp.117). Newnes.

[5] **Hagen, J. B.** (2009). Radio-Frequency Electronics, Circuits and Applications. *S-parameter circuit analysis* (2nd ed., pp.397). Cambridge University Press.

[6] **Niknejad, A. M., University of California, Berkeley.** (2005). *Two-Port Circuits and Power Gain* [PowerPoint slides, pp.16-17]. Retrieved from http://rfic.eecs.berkeley.edu/~niknejad/ee142_fa05lects/pdf/lect4.pdf

[7] **Krauss, H. L., Bostian, C. W., Raab, F. H.** (1980). Solid State Radio Engineering. (pp.9). John Wiley & Sons.

[8] **Smith, J. R.** (1997). Modern Communication Circuits. *Network Noise and Intermodulation Distortion* (2nd ed., pp.77-82). McGraw Hill.

[9] **Rohde, U. L., Newkirk, D. P.** (2000). RF/Microwave Circuit Design For Wireless Applications. *Amplifier Design with BJTs and FETs* (1st ed., pp.448). John Wiley & Sons.

[10] **Macdonald, M., Badescu, V.** (2014). The International Handbook of Space Technology. (1st ed., pp.19). Springer.

[11] **Kaplan, E., Hegarty, C. J.** (2005). Understanding GPS: Principles and Applications. (2nd ed., pp.3-4). Artech House.

[12] **Roddy, D.** (2001). Satellite Communications. *Satellite Services* (3rd ed., pp.497). McGraw-Hill.

[13] **Eissfeller, B., Ameres, G., Kropp V., Sanroma D.** (2007). Performance of GPS, GLONASS and Galileo, *Photogrammetric Week '07,* 185-198.

[14] **Morgan, D.** (2007). Surface Acoustic Wave Filters With Applications to Electronic Communications and Signal Processing. *Resonators and Low-Loss Filters* (2nd ed., pp.31-32). Academic Press.

[15] **PMA2-43LN+ Ultra Low Noise, High IP3 Monolithic Amplifier** (Mini-Circuits) [Datasheet]. Brooklyn, NY.

[16] **BGA231N7 Silicon Germanium GNSS Low Noise Amplifier** (Rev. 1.0, 2013-01-30, Infineon) [Datasheet]. Munich, Germany.

[17] **BGA231L7 LNA for Global Positioning Systems** (Rev. 1.2, 2012-02-20, Infineon) [Application Note]. Munich, Germany.

[18] **TA1500A SAW Filter 1590.155 MHz 31.47 MHz BW SMD 1.4x1.1 mm** (Rev. No: 2, TAI-SAW) [Datasheet]. Taoyuan, Taiwan, R.O.C..

[19] **F6QA1G585M2AT SAW Filter** (Version 1.0a, Sep. 5, 2012, TAIYO YUDEN) [Spec Sheet].

[20] **HMC349ALP4CE High Isolation SPDT Non-Reflective Switch, DC - 4** (v01.0314, Hittite Microwave Corporation) [Datasheet]. Chelmsford, MA.

[21] **B3518 SAW Diplexer** (Version 2.3, May 16, 2013, TDK) [Datasheet]. Munich, Germany.

[22] **TCBT-2R5G+ BiasTee** (Mini-Circuits) [Datasheet]. Brooklyn, NY.

[23] **RF/Microwave C0G (NP0) Capacitors** (041816, AVX) [Datasheet].

[24] **HiQ-CBR Series, C0G Dielectric, Low ESR, 6.3 – 500 VDC, 1 MHz – 50 GHz (RF & Microwave)** (C1030_C0G_CBR, 8/1/2016, Kemet) [Datasheet]. Greenville, SC.

[25] **Chip Inductors - 0402CS (1005)** (05/03/13, Coilcraft) [Datasheet].

EKLER

EK A: Devre-1'de kullanılan elemanların bilgileri ve kullanım işlevleri
EK B: Devre-2'de kullanılan elemanların bilgileri ve kullanım işlevleri

EK A

Çizelge A.1 : Devre-1'de kullanılan elemanların bilgileri ve kullanım işlevleri.

Eleman	Üretici	Ürün Kodu	Değer	Paket	İşlev
U1	TaiSaw	TA1500A	-	-	Giriş Filtreleme
U2	Mini-Circuits	PMA2-43LN	-	-	LNA
U3	Analog Devices	HMC349ALP4CE	-	-	RF Anahtar
U4	Mini-Circuits	PMA2-43LN	-	-	Arakat Kuvvetlendirici
U5	TDK Corp.	B3518	-	-	GPS-GLNS Ayırma
U6	Mini-Circuits	TCBT-2R5G	-	-	BiasTee
C1	Murata	GRM155R71H102KA01J	1000pF	0402	DC Blok
C2	Murata	GRM155R71H102KA01J	1000pF	0402	DC Blok
C3	Murata	GRM1555C1H101JA01D	100pF	0402	AC Kuplaj
C4	Murata	GRM1555C1H101JA01D	100pF	0402	AC Kuplaj
C5	Murata	GRM155R60G475ME47D	4.7uF	0402	AC Kuplaj
C6	Murata	GRM155R60G475ME47D	4.7uF	0402	AC Kuplaj
C7	Murata	GRM155R71H102KA01J	1000pF	0402	DC Blok
C9	Murata	GRM1555C1H101JA01D	100pF	0402	AC Kuplaj
C10	Murata	GRM1555C1H101JA01D	100pF	0402	AC Kuplaj
C11	Murata	GRM155R60G475ME47D	4.7uF	0402	AC Kuplaj
C12	Murata	GRM155R60G475ME47D	4.7uF	0402	AC Kuplaj
C13	AVX	04025U6R8BAT2A	6.8pF	0402	Empedans Uyumlama
C14	AVX	04025U1R5BAT2A	1.5pF	0402	Empedans Uyumlama
C15	Kemet	CBR04C208B5GAC	0.2pF	0402	Empedans Uyumlama
C16	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C17	Murata	GRM152R60G105ME15D	1uF	0402	AC Kuplaj
C18	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C19	Murata	GRM152R60G105ME15D	1uF	0402	AC Kuplaj
C20	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C21	Murata	GRM152R60G105ME15D	1uF	0402	AC Kuplaj
L1	CoilCraft	0402CS-10NXGLW	10nH	0402	Boğucu Bobin
L2	CoilCraft	0402CS-8N2XGLW	8.2nH	0402	Boğucu Bobin
L3	CoilCraft	0402CS-10NXGLW	10nH	0402	Boğucu Bobin
L4	CoilCraft	0402CS-8N2XGLW	8.2nH	0402	Boğucu Bobin
L5	CoilCraft	0402CS-5N6XGLW	5.6nH	0402	Empedans Uyumlama
R1	Panasonic	ERJ-2RKF49R9X	50Ω	0402	Kararlılık Sağlama
R2	Panasonic	ERJ-2RKF5601X	5.6kΩ	0402	Kutuplama
R3	Panasonic	ERJ-6GEY0R00V	30mΩ	0402	Kutuplama
R4	Panasonic	ERJ-2RKF1001X	1kΩ	0402	Pull-up
R5	Panasonic	ERJ-2RKF1001X	1kΩ	0402	Pull-up
R6	Panasonic	ERJ-2RKF49R9X	50Ω	0402	Kararlılık Sağlama
R7	Panasonic	ERJ-2RKF5601X	5.6kΩ	0402	Kutuplama
R8	Panasonic	ERJ-6GEY0R00V	30mΩ	0402	Kutuplama
R9	Panasonic	ERJ-6GEY0R00V	30mΩ	0402	DC Kısa Devre

EK B

Çizelge B.1 : Devre-2'de kullanılan elemanların bilgileri ve kullanım işlevleri.

Eleman	Üretici	Ürün Kodu	Değer	Paket	İşlev
U1	Infineon	BGA231N7	-	-	LNA
U2	TaiSaw	TA1500A	-	-	Giriş Filtreleme
U3	Analog Devices	HMC349alp4ce	-	-	RF Anahtar
U4	Infineon	BGA231N7	-	-	Arakat Kuvvetlendirici
U5	TDK Corp.	B3518	-	-	GPS-GOLNASS Ayırıcı
U6	Mini-Circuits	TCBT-2R5G	-	-	BiasTee
C1	Murata	GJM1555C1H330FB01D	33pF	0402	DC Blok
C2	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C3	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C4	Murata	GRM152R60G105ME15D	1uF	0402	AC Kuplaj
C5	Murata	GRM152R60G105ME15D	1uF	0402	AC Kuplaj
C6	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C7	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C8	Murata	GRM152R60G105ME15D	1uF	0402	AC Kuplaj
C9	Murata	GJM1555C1H330FB01D	33pF	0402	DC Blok
C10	Murata	GRM152R61A104KE19D	100nF	0402	AC Kuplaj
C11	Vishay	04025U6R8BAT2A	1.5pF	0402	Empedans Uyumlama
C12	Kemet	CBR04C208B5GAC	0.2pF	0402	Empedans Uyumlama
C13	Vishay	04025U6R8BAT2A	6.8pF	0402	Empedans Uyumlama
L1	CoilCraft	0402CS-6N8XGLW	6.8nH	0402	Empedans Uyumlama
L2	CoilCraft	0402CS-39NXGLW	39nH	0402	Boğucu Bobin
L3	CoilCraft	0402CS-6N8XGLW	6.8nH	0402	Empedans Uyumlama
L4	CoilCraft	0402CS-39NXGLW	39nH	0402	Boğucu Bobin
L5	CoilCraft	0402HP-5N6XGLW	5.6nH	0402	Empedans Uyumlama
R1	Panasonic	ERJ-2RKF1001X	1kΩ	0402	Pull-up
R2	Panasonic	ERJ-2RKF1001X	1kΩ	0402	Pull-up
R3	Panasonic	ERJ-6GEY0R00V	30mΩ	0402	DC Kısa Devre

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Gökhan Güneş ÖZDEMİR

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 02.05.1990 / Keçiören

E-posta **:** gokhangunesozdemir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, İTÜ, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik Müh.
- **Yüksek Lisans** **:** 2017, İTÜ, Elektronik ve Haberleşme ABD, Elektronik Müh.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ericsson Türkiye Crea Academy 2012 proje yarışması RCS-e projesi 1.lik ödülü
- "2013 Uluslararası Mikrodalga Sempozyumu" (IMS 2013) kapsamında düzenlenen "Broadband, High Linearity, Rugged, Low-Noise Amplifier Module Design" konulu öğrenci tasarım yarışması, Dünya 2.liği
- MKR-IC, Tasarım Müh. (Yarı Zamanlı, Eylül - Aralık 2013)
- ABE Teknoloji, Tasarım Müh. (Yarı Zamanlı, Ocak 2014 – Ocak 2015)
- ASELSAN A.Ş., RF&Mikrodalga Tasarım Müh. (Ocak2015)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ozdemir G. G., Ceylan O., Kaya İ., Açıkgöz A. Ü., Yağcı H. B., Palamutçuoğulları O.** 2016. GPS ve GLONASS için Ayrık Elemanlar ile Alıcı Giriş Katı Tasarımı. *URSI VIII. Bilimsel Kongresi*, Eylül 1-3, 2016 Ankara, Türkiye.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ozdemir G. G., Kouhalvandi L.** 2016. Design and Analysis of an Ultra Speed and Resolution Comparator in 0.18um CMOS. *3rdNational Conference and 1st InternationalCoference on Applied Research in Electrical, Mechanical and Mechatronics Engineering*, Şubat 17, 2016 Tahran, İran.