



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DRON İÇİN RF KARIŞTIRICI TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Mümin Yaşar AYAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2021
KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mümin Yaşar Ayaz tarafından hazırlanan “Dron İçin RF Karıştırıcı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” adlı tez çalışması 02/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Levent SEYFİ

Danışman

Prof. Dr. Ercan YALDIZ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi M.Fahri ÜNLERŞEN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mümin Yaşar AYAZ

Tarih: 02.02.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DRON İÇİN RF KARIŞTIRICI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Mümin Yaşar AYZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ercan YALDIZ

2021, 62 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Ercan YALDIZ
Doç. Dr. Levent SEYFİ
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fahri ÜNLERŞEN**

Günümüzde başka sistemlerle iletişim kurarak yönlendirilebilen veya uzaktan kumanda edilebilen hareketli araçların kullanımı oldukça yaygındır. Yetkilendirilmemiş kişilerce kötü amaçlı kullanılan bu araçların güvenlik görevlileri tarafından etkisiz hale getirilmesi gerekmektedir. Bu araçlardan biri olan dronlar üç temel frekans bandında komut almaktadırlar. Bu bantlardan en yaygın olanı 2.4 GHz merkez frekanslı banttır. Yani 2.3-2.5 GHz aralığında sinyal alıp göndermesi muhtemeldir. Bu çalışmada dronlar veya buna benzer tehlike oluşturabilecek cihazlara karşı kullanılacak RF karıştırıcı (jammer) tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla 2.4 GHz merkez frekanslı bir voltaj kontrollü osilatör (VCO) seçilmiştir. Sinyal bozucunun geniş bir aralıkta etkili olması için 1350 Hz frekanslı bir Üçgen Dalga Üretici çıkışı VCO ayar girişine uygulanarak VCO çalışma bandında tarama yapması sağlanmıştır. Üçgen Dalga Üretici simetrik çıkış verdiğinden, VCO girişine uygun hale getirmek için tersleyici Opamp ile gerçekleştirilen toplayıcı devresi ile 0-5 V arası değişen üçgen dalga şekli elde edilmiştir. Spektrum analizör ile yapılan ölçümlerde VCO çıkışında 2.25-2.5 GHz bandında hızlı bir tarama gözlenmiştir. Devam eden çalışmada üçgen dalgaya bir Gürültü Üretici eklenerek söz konusu banda etkisi incelenmiştir. Üretilen bozucu tarama sinyalinin gücü yetersiz olduğundan, bir RF Güç Yükseltici ve Yönlü Anten kullanılarak dronun etkisiz hale getirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Drone, RF karıştırıcı (Jammer), Üçgen dalga üretici, Voltaj kontrollü osilatör (VCO), Yönlü anten.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND REALIZATION OF JAMMER FOR DRONE

Mümin Yaşar AYAZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical Electronics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ercan YALDIZ

2021, 62 Pages

**Jury
Prof. Dr. Ercan YALDIZ
Assoc. Prof. Dr. Levent SEYFİ
Asst. Prof. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN**

Today, the use of mobile vehicles that can be directed or remotely controlled by communicating with other systems is quite common. These tools, which are used maliciously by unauthorized people, must be neutralized by security guards. Drones, one of these tools, receive commands in three fundamental frequency bands. The most common of these bands is the 2.4 GHz center frequency band. In other words, it is likely to receive and send signals in the 2.3–2.5 GHz range. In this study, a jammer has been designed to be used against drones or similar dangerous devices. For this purpose, a 2.4 GHz center frequency voltage-controlled oscillator (VCO) was chosen. In order for the jammer to be effective in a wide range, a Triangle Wave Generator output with a frequency of 1350 Hz is applied to the VCO adjustment input, allowing it to scan in the VCO working band. Since the Triangle Wave Generator gives symmetrical output, a triangular wave shape varying between 0-5 V has been obtained with the collector circuit realized with the inverting Opamp in order to make it suitable for the VCO input. In the measurements made with the spectrum analyzer, a fast scan was observed in the 2.25-2.5 GHz band at the VCO output. In the ongoing study, a Noise Generator was added to the triangle wave and its effect on the band was examined. Since the power of the generated interference scanning signal is insufficient, the Drone was deactivated by using an RF Power Amplifier and Directional Antenna.

Keywords: Drone, Jammer, Triangle wave generator, Voltage controlled oscillator (VCO), Directional antenna.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde beni bilgi ve tecrübesiyle yönlendiren, her konuda anlayış gösteren ve gerektiğinde gösterdiği yolda benimle birlikte yürüyen danışman hocam Prof. Dr. Ercan Yıldız'a;

Tez çalışmam sırasında ve hayatımın her anında, yardımlarını ve anlayışını esirgemeyerek bana sabırla destek veren ve bugünlere gelmemi borçlu olduğum aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

Mümin Yaşar AYAZ
KONYA-2021



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Dronlara karşı kullanılan savunma yöntemleri	4
1.1.1. RF karıştırma	5
1.1.2. GPS karıştırma	7
1.1.3. Sistemi ele geçirme yöntemi	7
1.1.4. Ağ yöntemi	7
1.1.5. Yırtıcı kuşlar ile etkisiz hale getirme yöntemi	8
1.1.6. Silah yöntemi	9
1.1.7. Lazer yöntemi	9
1.2. Drona karşı savunma yöntemi olarak RF karıştırıcı	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Osilatör.....	16
3.1.1. Osilasyon kriterleri	17
3.1.2. Osilasyon kavramı	18
3.1.3. Osilatör çeşitleri	19
3.1.3.1. Üçgen dalga osilatörü	20
3.1.3.2. Gerilim kontrollü osilatör	22
3.2. İşlemsel yükselteçler (Opamp)	22
3.2.1. İşlemsel yükselteçlerin yapısı	23
3.2.2. İşlemsel yükselteç ile toplayıcı devre	24
3.3. Gürültü sinyali	25
4. TASARIMIN GERÇEKLENMESİ VE TEST SONUÇLARI.....	27
4.1. Tasarımın gerçekleştirilmesi	27
4.1.1. RF birimi.....	27
4.1.1.1. 2.4 GHz merkez frekanslı gerilim kontrollü osilatör	28
4.1.1.2. RF güç yükseltici	30
4.1.1.3. Anten.....	32
4.1.2. Düzenleyici devre birimi	34
4.1.2.1. Üçgen dalga üretici	35
4.1.2.2. Gürültü üretici	37
4.1.2.3. Toplama devresi.....	39

4.1.3. Güç kaynağı	41
4.2. Test sonuçları	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5.1 Sonuçlar	49
5.2 Öneriler	49
KAYNAKLAR	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	62



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_v	: Kuvvetlendirici Kazancı
C	: Kapasite
f	: Osilatör Frekansı
L	: Endüktans
R	: Direnç
V_g	: Giriş Gerilimi
V_{ltp}	: Lower Trigger Voltage (Alt Tetikleyici Gerilim)
V_{max}	: Maksimum Gerilim
V_{out}	: Çıkış Gerilimi
V_{utp}	: Upper Trigger Voltage (Üst Tetikleyici Gerilim)
β	: Geri Besleme Kazancı

Kısaltmalar

4K	: 4000 piksel yatay çözünürlük
A	: Amper
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
AM	: Amplitude Modulation (Genlik Modülasyonu)
dB	: Desibel
dBm	: Desibel Miliwatt
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
FM	: Frequency Modulation (Frekans Modülasyonu)
FET	: Field Effect Transistor (Alan Etkili Transistör)
GHz	: Gigahertz
GSM	: Global System for Mobile Com. (Cep Tel. İletişim Protokolü)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
HD	: High Definition (Yüksek Çözünürlük)
Hz	: Hertz
IF	: Intermediate Frequency (Ara Frekans)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
kHz	: Kilohertz
MHz	: Megahertz

Op-amp	: Operasyonel Amplifikatör (İşlemsel Yükselteç)
PLL	: Phase Locked Loop (Faz Kilitli Döngü)
Radar	: Radio Detection and Ranging (Radyo ile Algılama Menzil Tespit)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekans)
VCO	: Voltage Controlled Oscillator (Gerilim Kontrollü Osilatör)
V	: Volt
W	: Watt



1. GİRİŞ

Günümüzde başka sistemlerle iletişim kurarak yönlendirilebilen veya uzaktan kumanda edilebilen hareketli araçların kullanımı oldukça yaygındır. Bu hareketli araçların uçabilen ve karada ya da deniz üzerinde hareket edebilen modelleri mevcuttur. Yetkilendirilmemiş kişilerce kötü amaçlı kullanılan bu araçların güvenlik görevlileri tarafından etkisiz hale getirilmesi gerekmektedir. Bu araçlardan biri dronlardır. Şekil 1.1’de video kaydı yapabilen ve görüntü alabilen bir dron görseli verilmiştir.



Şekil 1.1 Dron

Dronlar insansız küçük uçaklardır. Daha çok insansız hava araçları (İHA'lar) olarak bilinirler. Yerleşik sensörler ve GPS ile çalışan gömülü sistemlerindeki yazılım kontrollü uçuş planları aracılığıyla uzaktan kontrol edilebilir veya otonom olarak uçabilirler (Gözkaydın, 2019). Aşağıda verilen Tablo 1.1’de dron çeşitleri, menzilleri ve yük kapasiteleri sınıflandırılmıştır (Eriksson, 2018).

Tablo 1.1 Dron sınıflandırması

Boyut Sınıfı	Maksimum Menzil	Yük (kg)
Nano	100-500 m	> 0.2
Mikro	5 km	0.2-0.5
Mini	25 km	0.5-10
Küçük	50-100 km	5-50
Taktiğe ait	> 200 km	25-200

Dronlar üç temel frekans bandında komut almaktadırlar. Üretilen dronların büyük çoğunluğu 2.4 GHz merkez frekansında çalışmaktadır. Yani 2.3-2.5 GHz aralığında sinyal alıp göndermesi muhtemeldir. Bir diğer çalışma frekansı ise 5.8 GHz'dir. Ayrıca GPS/Glonass uyduları ile bağlantı kurarak koordinat bazlı uçuşlar gerçekleştirebilen dronlar mevcuttur.

Dronlar ile düzenlenebilecek çeşitli saldırılar ve gizli bilgi toplama yöntemleri bulunmaktadır. Özellikle terör bölgelerinde ve savaş alanlarında dronlar hem sivil hem askeri unsurlar için tehlike arz edebilir. Üzerine monte edilmiş bir bombalı düzenek ile saldırının yapılacağı konuma getirilip patlatılabilir veya bombalı düzeneği havadan saldırı yapılacak alana bırakabilir. Dronların çoğunun üzerinde kameralar bulunmaktadır ve HD çekimler ve ses kayıtları alabilmek mümkündür. Bu özellikleri kullanılarak casusluk yapıp gizli devlet, şirket veya şahıs bilgilerine ulaşılabilir. Bir diğer yaygın kötü kullanım amacı ise hapisanelere dışarıdan taşıma yapmaktır. Şekil 1.2'de temsili bir kayıt yapmak için kullanılan dron görseli verilmiştir.



Şekil 1.2 Kayıt yapan bir dron

Dronlar tarafından gerçekleştirilen saldırıların ilk örneklerinden birisi olarak İHA'ların teröristler tarafından kullanılması ve girişimi, Japonya'da Haziran 1994 öncesi girişimleri kabul edilebilir. Havalı püskürtme sistemi ile uzaktan kumandalı helikopterlerle sarin gazı salmaya çalıştılar. Denemeler sırasında mini helikopterler düştüğünde girişimler başarısız oldu. Terörist grup, Matasumoto adliyesine ve ardından Tokyo Metro Sistemine sarin saldırısı başlatırken farklı dağıtım yöntemleri kullandı (Bunker, 2015).

İnternet ve sosyal medya, çeşitli dron saldırı türlerini planlamak için taktiklere, tekniklere ve prosedürlere sınırsız erişim sağlar. Bu iletişim araçları 19 Temmuz 2016'da "İnananlara İlham Verin!" isimli bir Telegram grubu tarafından, 2016 Rio Olimpiyatları'ndaki dron saldırılarını oluşturmak için kullanıldı. 24 Ocak 2017'de IŞİD, çevrimiçi bir propaganda kanalı olan resmi dron programını ilan etti ve bu Irak güçlerinin keşiflerine odaklanan operasyonlarla ilgiliydi. Suriye ve İsrail'de Hizbullah daha fazla kabiliyete ve lojistik desteğe sahip olan İran'ın sağladığı İHA'ları kullandı (Gözkaydıran, 2019).

Şubat 2015'te Ankara'da Cumhurbaşkanlığı Sarayı'na inen bir dron büyük bir paniğe sebep oldu. Türkiye'de haberlerde gündeme gelen ilk dron tehdidi oldu. Kısa süre sonra Atatürk Havalimanı'nda bir dron tehdidi meydana geldi ve hava trafiğini olumsuz etkiledi. 30 Ağustos 2015'te TRT'nin videografı için kullandığı dron törende paniğe neden oldu. Ekim 2015'te İstanbul Atatürk Havalimanı'na inerken pilot tarafından uçağın güzergahında bir dron fark edildi. Kasım 2017'de, Ağrı'da saldırı için hazırlanan bir dron bulundu. Şekil 1.3'te verilen görsel PKK'nın dron ile bombalı saldırı düzenlemeye hazırlandığı ilk girişimiydi (Gözkaydıran, 2019).



Şekil 1.3 Dron üzerine bağlı bir bomba ile

2016 yılında ABD Federal Havacılık Kurulu, pilotlar ve çevre halkı tarafından havaalanı ve çevresinde insansız hava araçlarının görülmesine dair ihbarların artması üzerine, John F. Kennedy Havalimanı'nda FBI'ın dron tespit sistemlerini test etmeye başladığını duyurmuştur (Popsci, 2020).

2017 yılında Birleşik Krallık'ta bulunan Guernesy Adası'ndaki Les Nicolles Hapishanesi'ne Sky Fence adı verilen anti-dron sistemi kurulmuştur. Amaç hapishane içerisine dışarıdan silah, cep telefonu gibi elektronik cihazlar ve uyuşturucu teminini engellemektir (IFSECglobal, 2020).

1.1. Dronlara karşı kullanılan savunma yöntemleri

Dronların bu istenmeyen kullanımlarına karşı günümüzde birçok alanda çeşitli savunma yöntemleri kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Bu savunma yöntemlerinde başta RF karıştırıcı (jammer) ile savunma olmak üzere teknolojinin vermiş olduğu imkanları kullanan çeşitli yöntemler ve bazı daha ilkel yöntemler yer almaktadır.

1.1.1. RF karıştırma

RF karıştırma (RF Jamming) yöntemi; dronun kullanıcısıyla arasındaki bağlantının kesilmesi prensibine dayanmaktadır. Kullanıcısıyla bağlantısı kesilen dron olduğu konuma iner, programlandığı yere geri döner veya olduğu pozisyonda sabit kalır. Günümüzdeki en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Irak ve Suriye gibi dağlık bölgelerde bu yöntem oldukça işe yaramaktadır. Kalabalık alanlarda kullanımında kablosuz haberleşme cihazlarının da bundan etkilendiği durumlar söz konusu olmaktadır. Bu sıkıntının önüne geçmek için günümüzde yönlü anten ve kesin hedef tespit mekanizmaları geliştirilmektedir. Şekil 1.4’te bir RF jammer görseli verilmiştir (Sütçüoğlu ve Alay, 2019).



Şekil 1.4 Dron RF jammer

ASELSAN tarafından geliştirilmiş İhtar, mini ve mikro İHA tehditlerine karşı şehir ve kırsal ortamda etkisiz hale getirmek için kullanılmaktadır. Şekil 1.5’te İhtar’ın görseli verilmektedir (ASELSAN, 2020).



Şekil 1.5 İhtar mini ve mikro İHA savunma sistemi

ASELSAN ayrıca İhasavar adını verdiği, dron karıştırma ve köreltme sistemiyle çalışan tüfek benzeri taşınabilir bir başka sistem geliştirmiştir. Taşınabilir sistemi, şarj edilebilen yüksek kapasiteli batarya sistemiyle en az 1,5 saatlik bir yayın yapabilmektedir. Şekil 1.6'da İhasavar savunma sisteminin görseli verilmiştir (ASELSAN, 2020).



Şekil 1.6 İhasavar savunma sistemi

1.1.2. GPS karıştırma

GPS karıştırma (GPS Jamming) yöntemi; dronun uydudan GPS sinyali almasını engelleyip dronu etkisiz hale getirmektedir. RF karıştırıcıda olduğu gibi dron ya olduğu pozisyonda kalacak veya o pozisyonda yüzeye iniş yapacak ya da kullanıcı tarafından bağlantı kesildiğinde rota belirleyebilmesi için programlandığı konuma geri dönüş sağlayacaktır. GPS ile yönlendirilen dron kullanımı artmasıyla bu yöntem de artık RF karıştırıcı sistemlerin içerisine dahil edilmektedir. (Sütçüoğlu ve Alay, 2019)

1.1.3. Sistemi ele geçirme yöntemi

Bu yöntemi kullanmak oldukça maliyetsiz ve akılcı bir seçenektir. Fakat dron sisteminin şifrelenmemiş açık komut bağlantıları ile iletişim ve veri sağlıyor olması gerekir. Dronun sistemine girilerek istenilen komutlar uygulanabilir. Hatta dronun vericisi kullanılarak çevresindeki dronlara da kötü amaçlı yazılımların verileri gönderilebilir. Toplu dron saldırılarına karşı yararlı bir yöntemdir.

Bir dezavantajı ise açık komut sistemiyle çalışmayan dronlara karşı aktif bir başarı sağlama oranı düşüktür. Şifrelenmiş komut sistemine ulaşılsa bile önceden yüklenmiş olan komut bilgileriyle görevine devam edebilir (Walters, 2016).

1.1.4. Ağ yöntemi

Ağ yöntemi ise basit yöntemlerden birisidir. Dron üzerine ağ atılarak pervanelerinin zarar görmesi ve hareket kabiliyetinin alınması ile dron etkisiz hale getirilir. Bu ağ bir dron veya bir silah aracılığıyla atılabilir. Şekil 1.7’de ağ ile bir dronun etkisiz hale getirildiği görsel verilmektedir. (Sütçüoğlu ve Alay, 2019).



Şekil 1.7 Ağ yöntemi ile dron yakalama

1.1.5. Yırtıcı kuşlar ile etkisiz hale getirme yöntemi

Yırtıcı kuşlar eğitilerek askeri veya sivil bölgelerde dron veya benzeri uçan cisimlere karşı savunma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Fakat güvenilir ve güncel olarak kullanılan bir yöntem değildir. Fikir umut vaat eden bir yöntem olsa da hala deneysel aşamadır. Şekil 1.8’de eğitilmiş yırtıcı bir kuş ile dronun etkisiz hale getirilmesi gösterilmektedir (Gözkaydıran, 2019).



Şekil 1.8 Yırtıcı kuş yöntemi ile dronun etkisiz hale getirilmesi

1.1.6. Silah yöntemi

Normal veya özel bir mühimmatlı bir silah ile dron etkisiz hale getirilebilir. Fakat bu yöntem ile dron düşürülmesi dronun altında bulunan konumdaki insanlara veya yapılara zarar verebilir. Tehlikeli olduğu kadar etkili de bir yöntemdir. Drona ateş edildiğinde seken mühimmatlar veya isabet etmeyen mühimmatlar da çevreye zarar verebilir. Şekil 1.9’da bir silah ile dronun etkisiz hale getirildiği an gösterilmektedir. (Sütçüoğlu ve Alay, 2019).



Şekil 1.9 Silah ile dron etkisiz hale getirme yöntemi

1.1.7. Lazer yöntemi

Bu yöntemle dronun görüntü çipine yoğun lazer ışını ileterek dronun görüş olanağını engellenir. Lazerin dron üzerindeki etkisi, uzun süre kapalı bir yerde duran insanın gün ışığına çıktığındaki göz kamaşmasına benzer. Yaygın kullanılan bir yöntem değildir (Sütçüoğlu ve Alay, 2019). Ayrıca dronu yüksek güçlü lazer ile imha etmek mümkündür.

1.2. Drona karşı savunma yöntemi olarak RF karıştırıcı

Bu çalışmada ise en etkili ve yaygın olarak kullanılan yöntem olan dron veya buna benzer tehlike oluşturabilecek cihazlara karşı kullanılacak RF karıştırıcı (RF jammer) tasarımı yapılmıştır. Kaynak araştırması yapılırken dronlara karşı kullanılan savunma yöntemleri araştırılmış. Bu savunma yöntemlerinin aktif ve pasif olma durumları, güncel kullanım şekilleri, teknolojik olarak artı ve eksi yönleriyle geniş bir çerçevede incelemesi yapılmıştır. Yapılan RF karıştırıcı tasarımları incelenmiş ve bunların dronlarda veya başka iletişim yapabilen araçlarda kullanılan modelleri incelenmiş. Tasarım gerçekleştirilirken bu araştırmalarda verilen tavsiyelere dikkate alınarak özenle çalışılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde RF karıştırıcı ve RF karıştırıcı tasarımı, dronlar ve dronlara karşı kullanılan savunma sistemleri hakkında literatürde bulunan çalışmalar verilmiştir. Çalışmalarda RF karıştırıcıların hangi alanlarda kullanıldığına ve nasıl kullanıldığına bakılmış ve tasarımlarında nelere dikkat edildiği incelenmiştir.

Maj (2016), çalışmasında yeni nesil hareketli araçların başında bir İHA çeşidi olan dronlardan bahsetmiş ve hobi amaçlı fotoğraf ve video çekmek, görüntü aktarmaktan, kurye veya kargo olarak kullanıma kadar pek çok uygulamaya sahip olduğundan bahsetmiştir. Dronlar günümüzde yararlı kullanımlarının detaylı incelemelerini yapmıştır. Bunların yanı sıra kötü amaçlı kullanıcılar tarafından tehlike oluşturabilecek durumlarda da kullanılabileceğini belirtmiş ve bu tehlikenin önlenmesi için, kötü amaçlı dronların tespit edilme yöntemlerini, tespit edildikten sonra düşman veya dost araç olduğunun tanımlanmasını ve etkisiz hale getirmek için tercih edilen pasif ve aktif yöntemlerini olumlu ve olumsuz yönleriyle anlatmıştır.

Serkan (2017), SETA'da yayınladığı raporunda Irak ve Suriye'deki terör örgütlerinin çağın teknolojilerinden faydalananak yeni saldırı yöntemlerini kullandığından bahsetmiştir. Bu yöntemlerin en etkili olarak dronlar ile yapılan saldırılar olduğunu vurgulamıştır. Dron çeşitlerini ve çeşitlerine göre hangi amaçlar için kullanıldıklarını, dron kullanımı ile terör örgütlerinin saldırı becerilerinde gelişime neden olduğunu anlatmış ve dron kullanım nedenlerini analiz etmiştir. Çağın getirdiği teknolojik yeniliklerle birlikte oluşan bu yeni tehdidin nasıl ortadan kaldırılacağına dair önerilerde ve yöntem açıklamalarında bulunmuştur. Dron ve buna benzer uçan insansız araçlarla mücadelenin ancak teknolojik gelişmelerle sağlanabileceğini ve gün geçtikçe dronların uçuş mesafeleri, süreleri, taşıyabilecekleri yük miktarları özellik olarak artış göstermekte olduğunu ve tehlikenin büyüdüğünü belirtmiştir. Düşük bütçeli bir sistemi durdurmak için bir milyon dolarlık bir füze göndermenin akılcı bir çözüm olmadığını ve radar tespit mesafelerinin ve durdurma kabiliyet mesafelerinin daha uzun menzillere çıkartılması gerektiğini vurgulamıştır.

Veysel (2010), yaptığı çalışmada elektronik harp sistemlerinin geçmişten günümüze kadar olan gelişimlerinden ve kullanım yöntemlerinden bahsetmiştir. Elektronik harp faaliyetleri RF sinyaller ile başlamasına rağmen, teknolojik gelişmeler ile birlikte daha üst bantlara taşınmış ve bu bantlarda da elektronik harp sistemleri üretilmesine imkan sağlandığından bahsetmiştir. Uçabilen sistemler üzerinde kullanılan

elektronik harp sistemleri üzerinde durmuştur ve RF karıştırma teknikleri ve çeşitlerini açıklamıştır ve günümüzde yaygın kullanılan sistemler hakkında çalışma yapmıştır.

Serkan (2019), yaptığı çalışmasında terör örgütleri tarafından kullanılan dron sistemlerinin ve haberleşme prensipleri teknik analizleri, siber savunma ve saldırı metotları üzerine araştırmalar yapmıştır. Terör örgütlerinin tercih ettiği dronların incelemesini yapmıştır. Aktif ve pasif dron savunma sistemlerinden bahsetmiş ve bu sistemlerin kullanım şekillerini yararlı ve zararlı yönleri ile ele almıştır. Dronların çoğunun GPS şifrelemesi yapmadığını ve bu sistemin bir jammer aracılığı ile iletişimin kesilebileceğini belirtmiş ve GPS karıştırıcı bir sistem senaryosu üzerinde çalışmasını sonlandırmıştır.

Niklas (2018), yaptığı çalışmasında, dronların çeşitlerini, kullanım alanlarını ve market büyüklüklerini açıklamıştır. Dronların tespit sistemleri hakkında yapılan çalışmada, bu sistemlerin askeri alanlarda kullanılabileceği gibi başka alanlarda da kullanılabileceğinden bahsetmiştir. Sadece tespit etmenin yeterli olmadığını ve dronların etkisiz hale getirilmesi gerektiğini belirtmiş ve bunun yöntemlerini ele almıştır ve güncel kullanılan sistemlerin özelliklerinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Tespit için kullanılan radarın mesafesinin artırılması gerektiğini, uygun konumlar için ses sensörü eklenmesi gerektiğini, kamera tespit sistemlerinin yazılım ve ekipman olarak geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Kıvanç (2018), radar, elektro optik ve yönlü antene sahip karıştırıcı alt sistemlerinden oluşan dron savunma sistemi ile dron saldırılarına karşı korunan bir bölgeye, birden fazla dron saldırısı gerçekleştiği zaman, en minimum sayıda karıştırıcı alt sistem çalıştırarak en çok sayıda saldırı kabiliyeti ve tehdit değeri yüksek dronların etkisiz hale getirilmesini sağlamak amacıyla antenlerin en uygun pozisyonları üzerine matematiksel model ve sezgisel yaklaşımlar üzerine çalışma yapmıştır. Tüm karıştırıcıları kullanmadan tehditleri etkisiz hale getirerek bölgedeki sinyal bozucu kirliliğini önleyerek etkin kaynak kullanımını amaçlamıştır.

Xiufang ve arkadaşları (2018), son yıllarda dronların muazzam gelişim gösterdiğini, kullanım kolaylıkları ve düşük fiyatları sebebiyle mahremiyet ve saldırılar için büyük tehditler oluşturduğunu vurgulamışlardır. Bu tehditleri azaltmak için yasak bölgelere izinsiz giren dronları tespit etmek, tanımlamak ve bu dronlara karşı savunma sistemi olarak anti-dron sistemi geliştirmek gerektiğini vurgulamışlardır. Öncelikli olarak dron gözetimi ve tanımlanması için gerekli sistemlerin hangi bileşenlerden ve neden o bileşenlerden oluştuğuna dair kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. Sonrasında seçilen

dronun iletişim frekansları ve kanallarını belirleyip, engellenmek istenen sinyaller için karıştırıcı sinyallerin oluşturulmasını sağlamışlardır. Oluşturdukları düzenek yatayda 360° ve dikeyde 180° dönüş sağlayabilen direksiyon motor kontrolörüne bağlıdır. Varlığı ve tahmini konumu hesaplanan tehdit unsuru drona göre açısı hesaplanıp sistemin anteni bu yöne doğru hesaplanan açı doğrultusunda direksiyon motorlar tarafından çevrilmektedir. Son olarak oluşturulan sistemin zorluklarından ve bunların kolaylaştırılması için neler yapılabileceğinden bahsedilmiştir.

Anjali ve Arun (2019), yapmış olduğu çalışmada İHA'ların günümüzde yaygın olarak kullanıldığını ve gelecekte de daha yaygın ve farklı amaçlar için kullanılacağından, mal teslimi, kablosuz erişim noktası için mobil istasyonlar gibi birçok farklı alanda kullanılmaya başlandığını ve bunun gün geçtikçe yaygınlaşacağından bahsetmişlerdir. Bu yaygın kullanımlar maalesef kötü amaçlı olarak kullanımlara da sebep olabilmektedir. İHA'ların kolay erişilebilir ve düşük bütçeli olmalarından dolayı kamu güvenliğini ve kişisel alanların mahremiyetine engel oluşturmaya başladığını vurgulamışlardır. Bunun engellenmesi adına oluşturulan sistemleri incelemişlerdir. Ses gözetimi, video gözetimi, radar gözetimi, RF yayın gözetimi gibi birçok teknolojik şekilde dron algılanıp, konumlandırılabilirdiğinden bahsetmişlerdir. Bu sistemler sadece tespit ederek dronları etkisiz hale getiremeyecekleri için ek olarak RF yayını bozmasına/karıştırmasına neden olan sistemler eklenerek, çoklu gözetim ile dron tespit edip, uçuşunu engelleyen bir sistemin incelemesini yapmışlardır.

Ahmad (2014), yapmış olduğu çalışmada GSM-900 mobil jammer üzerine araştırmalar ve tasarımlar gerçekleştirmiştir. Mobil sistem karıştırıcı ve engelleyici tekniklerden detaylı olarak bahsetmiştir. Mobil jammer tasarımı için gereken önemli noktalara değindikten sonra sistemin iç yapısına dair detaylı bilgi vermiştir. RF bölümünün VCO, RF güç yükseltici ve antenden oluştuğunu, IF bölümünün üçgen dalga üretici, gürültü üretici ve sinyal karıştırıcı devreden oluştuğunu anlatmıştır. Sistemin düzgün çalışabilmesi için gereken güç, uygun güç kaynakları tarafından sağlandığında sistemin başarılı bir şekilde çalışmasını sağlamıştır.

Ahmad (2014), yapmış olduğu çalışmada yaygın olarak kullanılan jammerin ne olduğu ve yine aynı şekilde günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan dronun ne olduğu hakkında bilgilendirmelerde bulunmuştur. Jammer ve dronun kullanım yasallıklarından söz etmiştir ve kişisel mahremiyeti korumak adına bir dron jammer tasarımı yapmıştır. İki farklı frekans bandında iletişimi engellemek adına iki farklı voltaj kontrollü osilatör ile frekans üretimi yapmıştır. 2.4 GHz ve 433 MHz frekansları için engelleme yapmayı

amaçlamaktadır. Uygun RF güç yükselticileri ve VCO'ları seçtikten sonra dairesel yayın yapabilecek iki farklı anten tercih etmiştir.

Osman, Eren ve Semih (2011), yapmış oldukları çalışmada yüksek frekanslarda istenilen frekansı üretmek için yaygın olarak kullanılan, PLL devrelerinde, frekans modülasyonunda (FM), frekans sentezleyicilerde, jammerlarda, kod çözücülerde ve işaret üreteçlerinde yaygın olarak kullanılan VCO çalışmasını incelemişlerdir. Girişine farklı işaretler vererek çalışma ve karakteristiğini gözlemlemişlerdir. Haricinde güç kaynakları, trafolar, doğrultucular, entegre gerilim regülatörleri, osilatörleri detaylı olarak incelemişlerdir.

İsmail, Özgür ve arkadaşları (2017), yapmış oldukları çalışmada küçük insansız hava araçlarının günümüzde yaygın olarak hem özel hem de askeri alanda kullanımlarının arttığını ve bu yaygınlaşmanın hava trafiğine ve gizliliği kişiler veya kurumlar için önem arz eden olay ve bilgilerin mahremiyetine tehdit oluşturduğunu vurgulamışlardır. Bu durumun önüne geçebilmek adına küçük insansız hava araçlarının tespit edilmesi, izlenmesi ve engellenmesi adına geliştirilmiş sistemlerin detaylı incelemelerini yapmışlardır. İstenmeyen bu hava araçlarının radar tabanlı menzil tahmini ve ufuk takibi üzerine bazı deneysel ve simülasyon sonuçları sunmuşlardır. Son olarak bu araçların engellenmesine yönelik dünyada yaygın olarak kullanılan tekniklerin olumlu ve olumsuz yönleri tartışılarak bu teknikler gözden geçirilmiştir.

Volkan (2007), yapmış olduğu çalışmada ilk olarak temel osilasyon teorisini anlatmıştır. Bu bilgilerin üzerine entegre osilatörleri anlatmış ve sıkça kullanılan farklı RF osilatörlerinin özelliklerini ve birbirlerine olan üstünlükleri ve eksikliklerini anlatmıştır. Gerilim kontrollü osilatörlerin faz gürültüsünü ele almıştır. Faz gürültüsünün alıcı-verici üzerindeki etkisinden bahsetmiş ve belirlemiş olduğu özelliklerdeki gerilim kontrollü osilatörlerin faz gürültülerini analiz etmiştir. 2.4 GHz'de düşük güçlü LC VCO tasarlamıştır.

Alphan (2008), yapmış olduğu çalışmada alıcı ve verici yapıları, gerilim kontrollü osilatör, kablosuz haberleşme standartlarını anlatmıştır. Osilasyon teorisi ve VCO yapılarını incelemiştir. 2.4 GHz merkez frekanslı aktif endüktans tabanlı LC osilatörü tasarlamıştır. Oluşturmuş olduğu devre 2.14 GHz ile 2.71 GHz frekans bölgesinde osilasyon yapabilmektedir. LC VCO yapısında bulunan elemanların faz gürültüsüne etkilerini ayrı ayrı incelemiştir. Osilatör yapılarının faz gürültüsü performanslarını karşılaştırmak amacıyla dört farklı aktif endüktans tabanlı LC VCO tasarlamıştır.

Mehmet (2013), yapmış olduğu çalışmada dört farklı osilatör yapısı 2.4 GHz osilasyon frekansında tasarlamıştır. VCO için önemli olan g tüketimi, çalışma frekans aralığı, faz gürültüsü gibi özellikleri incelemiştir. Aktif elemanlar ile endüktans fonksiyonunun gerçekleştirildiği bir devre, ring osilatör yapısını kullanarak bir devre, endüktans kullanılmayan bir diğer osilatör yapısı olan Wien köprüsü ile bir devre ve son olarak da gevşeme osilatörü kullanarak bir devre tasarımında bulunmuştur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

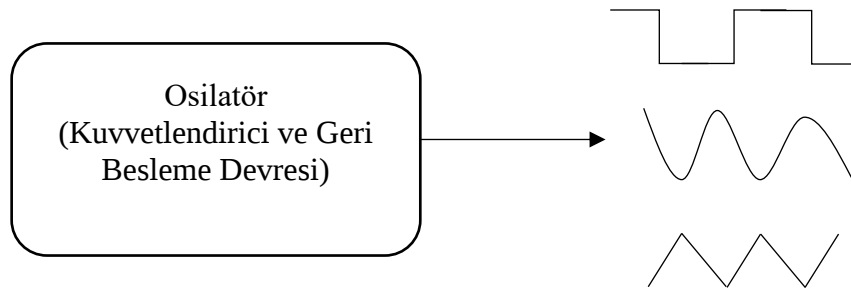
Bu bölümde dronların iletişimini kesmek amacıyla kullanılmak üzere tasarımı ve gerçeklemesi yapılmış olan 2.4 GHz merkez frekansında çalışan yönlü anten ve RF güç yükseltici ile güçlendirilmiş RF karıştırıcıda kullanılan entegrelerin ve devre elemanlarının özelliklerinden, iç tasarımından ve gerçekleştirilen tasarımda kullanılan devrelerin temel teorilerinden bahsedilmektedir.

RF karıştırıcı tasarımı yaparken öncelikle bir hedef frekans aralığı seçilmelidir. İletişim kesilmesi amaçlanan hedef frekans aralığında temel bir frekans üzerinden taramalı bir yayın yapmak asıl amaçtır. Taramalı ve sürekli bir yayını osilatörler ile gerçekleştirebiliriz.

3.1. Osilatör

Osilatörler DC güç kaynağındaki elektrik enerjisini harici bir sinyal uygulanmadan belirli bir frekansta AC elektrik enerjisine transfer edebilen devrelerdir. Genel olarak sinüs işaret üretici olarak bilinen osilatörler, üçgen veya testere dişi biçiminde sinyal üretimi, sayısal haberleşme sistemlerinde kare dalga biçiminde sinyal üretimi ve sentezleyici olarak kullanılmaktadır.

Bir osilatör temel olarak kuvvetlendirici ve geri besleme katlarından oluşan, giriş ucunda herhangi bir işaret bulunmayan, çıkışında kendisi tarafından belirlediği dalga formunda işaret üreten devrelerdir. Osilasyon sağlayabilmek için devrede pozitif geri besleme olmak zorundadır. Osilatörün oluşturduğu dalga formlarının gösterimi bir blok diyagramla Şekil 3.1’de verilmiştir (Young, 1994).



Şekil 3.1 Osilatör dalga formları

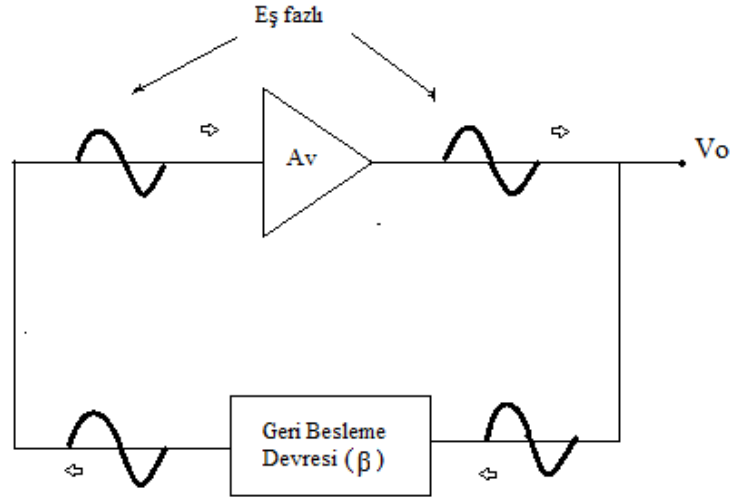
Osilatörler televizyon, radyo, telsiz, AM alıcılar ve vericiler, FM alıcılar ve vericiler, radar, RF karıştırıcı gibi sistemlerde genel olarak elektronik haberleşme sistemlerinde ve otomasyon sistemlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Kullanım amaçları ise karmaşık sistemlerde elemanların görevlerini yerine getirebilmek için değişik tipte sinyallere ihtiyaç duyulabilir. Kare dalga ile bir mikro denetleyicinin tetiklenmesi gerekebilir. Yani genel bir ifadeyle istenilen yerde istenilen miktarda ve istenilen türde sinyalin üretilmesini sağlamak ve elemanların ihtiyaçlarını gidermek amacıyla kullanılır.

Osilatörlerin aktif elemanları genellikle transistör veya FET olmaktadır. İşaretin frekansı geri besleme içerisinde bulunan akortlu (veya piezoelektrik kristal) tarafından belirlenir. Birçok osilatör devresi vardır. Fakat kullanım amacına en uygun osilatör seçimi için önemli olan faktörler vardır. Bunlardan bazıları çalışma frekansı, çıkış genliği, çıkış dalga formu saflığı, frekans ve genlik kararlılığı gibi faktörlerdir (Ördek ve ark., 2011).

3.1.1. Osilasyon kriterleri

Osilasyonda devrenin salınmasına neden olan olay; ilk olarak, çıkış işaretinin belli bir parçasının girişe geri besleme olarak bağlanması gerekmektedir. Eğer geri besleme işareti, giriş işaretinden daha büyük ve eş fazlı ise osilasyon başlar ve doyma olayı kapalı çevrim kazancını 1'e düşürene kadar artmaya devam eder. Burada pozitif geri besleme mevcuttur. Pozitif geri besleme girişe, çıkış işaretinin bir parçasının aynı fazda uygulanması olarak adlandırılır. Şekil 3.2'de geri besleme ve kapalı çevrim görseli verilmiştir.



Şekil 3.2 Geri besleme ve kapalı çevrim

Özetlersek, osilasyon için Barkhausen Kriterleri olarak da bilinen şu koşullar olmalıdır:

1. Geri besleme çevrimi üzerindeki toplam faz kayması 0° olmalıdır.
2. Kapalı çevrim kazancı (Kuvvetlendirici kazancı A_v , Geri besleme kazancı β) 1'e eşit olmalıdır.

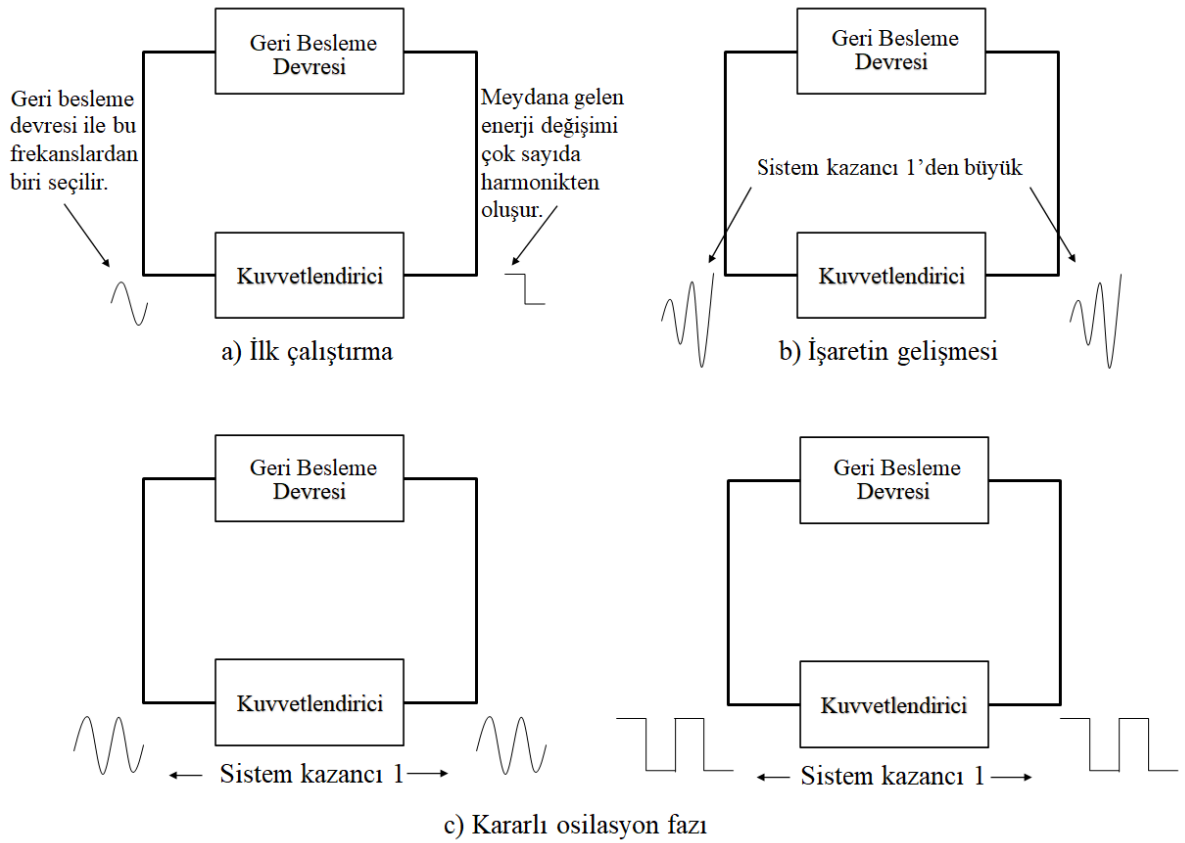
$$A_v \cdot \beta = 1 \quad (1)$$

Görüldüğü gibi kuvvetlendirici kazancı A_v 1'den büyük, geri besleme devresinin kazancı (dolayısı ile kaybı) β ise 1'den küçük olmalıdır (Ördek ve ark., 2011).

3.1.2. Osilasyon kavramı

Osilatör için çalıştırma, işaretin gelişimi ve kararlı osilasyon fazı olmak üzere üç faz mevcuttur. Osilatör devresine ilk güç uygulandığında, enerji kaynağı yardımı ile meydana gelen değişim anlık, fakat harmonikler açısından zengin bir geçiş dönemi ortaya çıkarır. Osilatörün geri besleme devresi, aynı zamanda bir frekans belirleme devresidir. Devrenin çıkış kısmında ortaya çıkan bu harmonikler geri besleme devresi tarafından belirlenen frekans giriş ucuna aynı fazda uygulanır.

Kapalı çevrim kazancı, girişe uygulanan işaret zamanla istenilen büyüklüğe ulaştırılabilmesi için 1'den büyük olmalıdır. Kararlı osilasyon fazında ise kapalı çevrim kazancı $A_v \cdot \beta = 1$ olmalıdır (Berkhausen Kriteri). Bu duruma kuvvetlendiricinin ya da geri besleme devresinin kazancını düşürecek bir devre düzenlenmesi ile ulaşılabilir. Şekil 3.3'te osilatör çalışmasının temelleri gösterilmiştir (Wayne, 2004).



Şekil 3.3 Osilatör çalışmasının temelleri

3.1.3. Osilatör çeşitleri

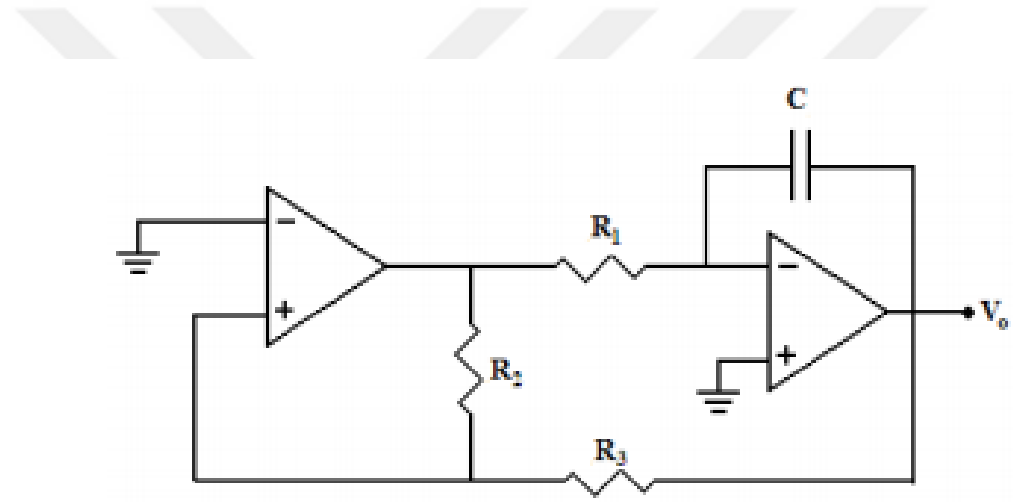
Osilatörler sinüzoidal ve non-sinüzoidal olarak ikiye ayrılabilir. Sinüzoidal osilatörler çıkışında sinüzoidal sinyal, sinüzoidal olmayan osilatörler ise kare, dikdörtgen, üçgen ve testere dişi gibi sinyaller üretir. Sinüzoidal olmayan osilatörler işaret üreteçleri olarak da bilinmektedir.

Günümüzde çeşitli isimlerle özel osilatör türleri vardır. Bunlara örnek olarak LC osilatör, Colpits osilatör, Hartley osilatör, RC faz kaymalı osilatör, Wien köprü osilatör, kristal osilatör verilebilir (Ördek ve ark., 2011).

Tasarlanan RF karıştırıcı devresinde kullanım amacına en uygun olacak osilatör gerilim kontrollü osilatördür. 2.4 GHz merkez frekanslı 2.3-2.5 GHz frekans aralığını tarayan osilatörü sürebilmek için en uygun osilatör üçgen dalga osilatörüdür.

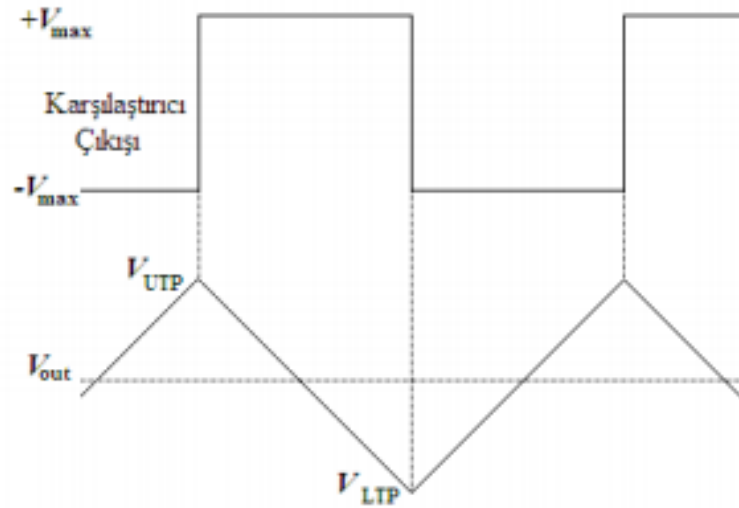
3.1.3.1. Üçgen dalga osilatörü

Üçgen dalga osilatörü, opamp (işlemsel kuvvetlendirici) ile oluşan bir integral alıcı devrenin girişine + ve - gerilimlerin anahtarlanarak verilmesiyle veya kuvvetlendiricinin girişine bir karşılaştırıcı yerleştirilmesiyle gerçekleştirilebilir. Şekil 3.4'te bir üçgen dalga osilatörünün tipik devre şeması verilmiştir (Özbey, 2009).



Şekil 3.4 Üçgen dalga osilatörü devre şeması

Şekil 3.4'te verilen devre şeması aynı zamanda kare dalga üretimi için kullanılabilir. Birden fazla işaret üretebilen bu devrelere fonksiyon jeneratörü denir. Şekil 3.5'te üçgen dalga ve kare dalga osilatörü dalga formları verilmiştir.



Şekil 3.5 Üçgen dalga ve kare dalga osilatörü dalga formları.

Kare dalganın genliği karşılaştırmacının çıkışına bağlıdır. Üçgen dalga ise R_2 ve R_3 dirençlerine bağlıdır ve;

$$V_{utp} = + V_{max} (R_3/R_2) \quad (2)$$

$$V_{ltp} = - V_{max} (R_3/R_2) \quad (3)$$

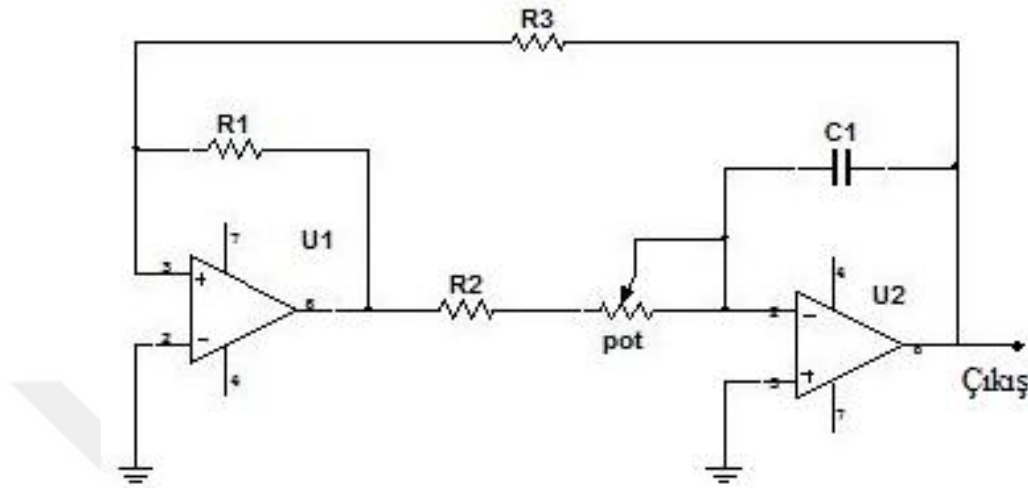
ile bulunur. Burada $R_2 > R_3$ olmasına dikkat edilmelidir. Osilatörün frekansı ise;

$$f = \frac{(R_3/R_2)}{4R_1C} \quad (4)$$

ile hesaplanır (Ördek ve ark., 2011).

Bir başka uygulaması Schmitt ayar devresi ve integral alıcı devreden oluşan üçgen dalga üreticidir. Schmitt ayar devresi, karşılaştırmacı olarak çıkışta + ve - V_{CC} gerilimini verir. Ayar devresi çıkışında bir kare dalga oluşur. İntegral alıcı bu kare dalganın integralini alarak üçgen dalgayı oluşturur. Şekil 3.6'da farklı bir üçgen dalga üretici devre şeması verilmiştir. Şekil 3.6'daki ilk opamp Schmitt ayarlayıcı, ikinci opamp ise integral

alıcısıdır. Devrenin çıkış frekansı ise pot olarak adlandırılmış ayarlı direnç ile ayarlanabilmektedir (Ördek ve ark., 2011).



Şekil 3.6 Üçgen dalga üretici devre şeması

3.1.3.2. Gerilim kontrollü osilatör

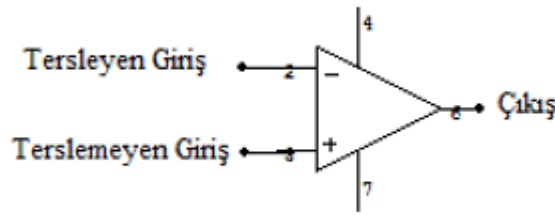
Gerilim kontrollü osilatör, devre rezonans bölümünde gerilim değişikliği gördüğü zaman çıkıştaki sinyalin frekansını değiştiren bir devredir. Yani giriş gerilimi ile osilasyon frekansının değiştiği devrelerdir. Osilasyonun frekansı uygulanan DC gerilime bağlıdır. Birçok çeşit devre kurulumu yapılarak VCO elde edilebilir. Ya da JTOS, ROS, JCOS ve diğer bazı entegre VCO'lar yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır (Smith, 1998).

3.2. İşlemsel yükselteçler (Opamp)

Doğrusal karakteristiğe sahip, iki giriş ve tek çıkıştan oluşan, yüksek kazançlı devrelere opamp (operasyonel amplifikatör-işlemsel yükselteç) denir. İşlemsel yükselteçler DC ve AC gerilimleri yükseltir, osilatör olarak çalışır, sinüs sinyalleri üretir, anahtar olarak kullanılır, bir sinyalin frekans geçişine etki ederler (Özbey, 2009).

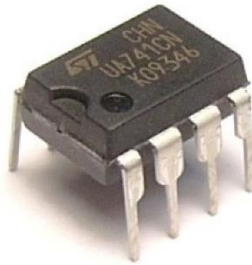
3.2.1. İşlemsel yükselteçlerin yapısı

İşlemsel yükselteçler iki ayrı giriş ve tek çıkıştan oluşur. Girişlerinden biri evirmeyen (terslemeyen), diğeri ise eviren (tersleyen) giriştir. Eviren girişe uygulanan sinyal çıkıştan 180° faz farklı olarak alınır. Evirmeyen girişe uygulanan sinyal çıkıştan aynı fazda alınır. Şekil 3.7’de temsili bir işlemsel yükselteç sembolü verilmiştir (Ördek ve ark., 2011).



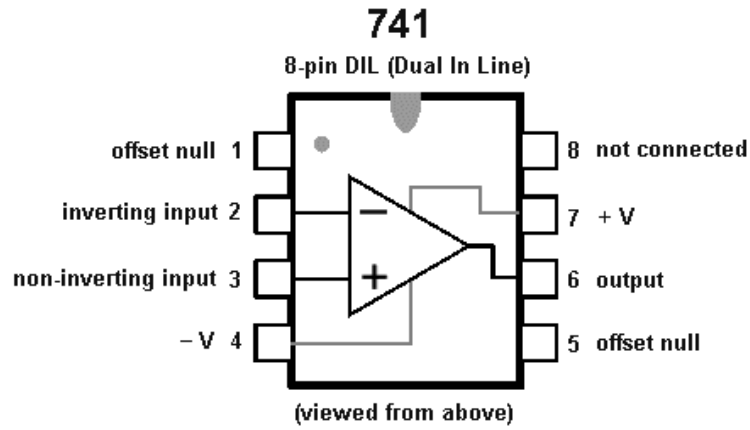
Şekil 3.7 İşlemsel yükselteç sembolü

İdeal işlemsel yükselteçlerinin gerilim kazancı ve bant genişliği sonsuzdur. Çıkış empedansları sıfırdır ve giriş empedansları sonsuzdur. Giriş uçları kısa devre edildiğinde çıkış sıfırdır. Girişin çıkışta elde edilmesi için gereken süre sıfırdır. Karakteristik özellikleri sıcaktan etkilenmez. Uygulamalarda en çok 741 kodlu işlemsel yükselteç kullanılır. Şekil 3.8’de 741 kodlu işlemsel yükselteç görseli verilmiştir.



Şekil 3.8 741 kodlu işlemsel yükselteç

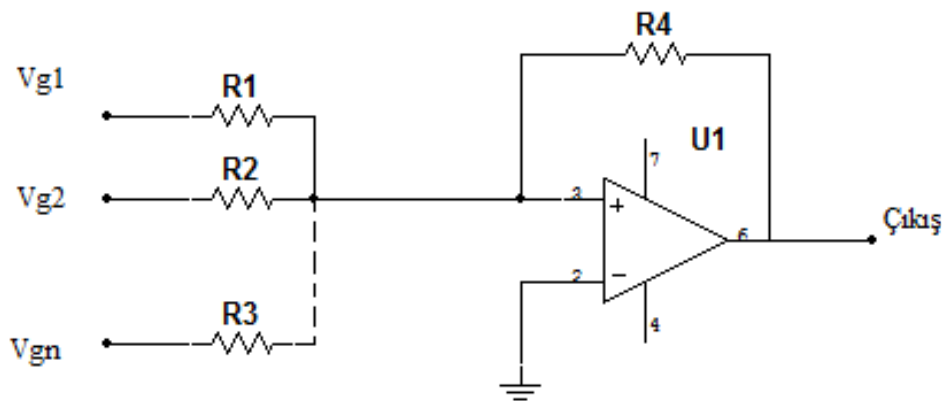
Şekil 3.9’da 741 kodlu işlemsel yükseltecin iç yapısı ve bağlantı şeması bilgilerini içeren görsel verilmiştir.



Şekil 3.9 741 kodlu işlemsel yükselteç iç yapısı ve bağlantı şeması

3.2.2. İşlemsel yükselteç ile toplayıcı devre

Toplayıcı devre tasarımında kullanılan işlemsel yükselteçlerde sinyal, eviren giriş uçlarına bağlanan giriş sinyallerinin toplamı 180° faz farkı ve kazançla bağlı olarak çıkıştan elde edilir. Şekil 3.10'da eviren yükselteç ile bir toplama devresi verilmiştir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi devre eviren yükselteç olarak çalışmaktadır (Ördek ve ark., 2011).



Şekil 3.10 İşlemsel yükselteçli faz tersleyen toplayıcı devre şeması

RF karıştırıcı tasarımında üçgen dalga sinyalinin 0 V altında kalan kısımlarının terslenmesi için 741 kodlu işlemsel yükselteç ile eviren toplayıcı devre kullanıldı. Aynı zamanda gürültü sinyali toplayıcı yardımıyla üçgen dalgaya eklenip sistemde etkin hale getirildi.

3.3. Gürültü sinyali

Gürültü sinyali aslında devrelerde istenmeyen bir sinyaldir. Ancak amaç iletişimi kesmek olduğundan dolayı, iletilen sinyal ne kadar karmaşık ve anlamsız olursa o kadar işe yarayacak bir sinyaldir.

Bu tasarımda kullanılan gürültü sinyali üretici bir zener diyot tarafından üretilen çığ gürültüsüne dayanmaktadır. Ters arıza modunda bir PN bağlantısı çalıştırıldığında oluşturulur. Çığ gürültüsü atış gürültüsüne benzer, ancak daha yoğundur ve düz bir spektruma sahiptir. Gürültünün büyüklüğü malzemelere olan bağlılık nedeniyle tahmin edilmesi zordur.

Temel olarak oluşturulan gürültü sinyali üretici, küçük bir ters akıma sahip standart bir 6.8 V zener diyot, transistör, bant geçiren filtre ve sinyal yükseltici olarak işlev gören LM386 ses amplifikatöründen oluşmaktadır. Şekil 3.11’de 6.8 V zener diyot görseli verilmiştir (Jisrawi, 2014).

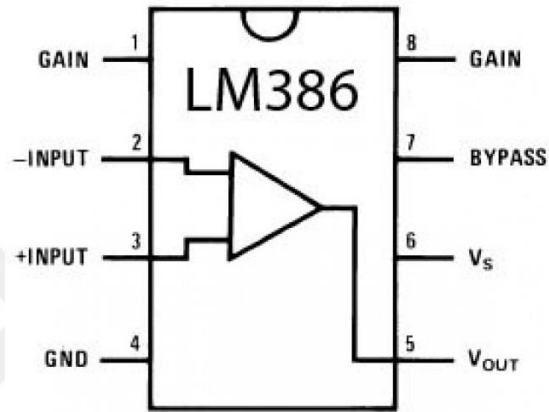


Şekil 3.11 6.8 V zener diyot

Şekil 3.12’de tasarımda kullanılan LM386 entegresinin ve Şekil 3.13’te LM386 iç yapısının görseli verilmiştir.



Şekil 3.12 LM386



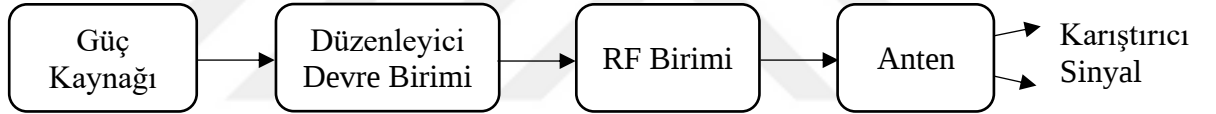
Şekil 3.13 LM386 iç yapısı

4. TASARIMIN GERÇEKLENMESİ VE TEST SONUÇLARI

Bu bölümde temel teorileri verilmiş devrelerin gerçekleştirilmesi ve oluşturulmak istenen dron RF karıştırıcısının tasarlanması sırasında oluşturulan devreler ve bu devrelerin test ölçümleri verilmektedir. Gerçeklenen devrenin breadboard ve baskı devre görselleri ile test sonuçları detaylı şekilde paylaşılmaktadır. Tasarımın her adımı detaylı şekilde incelenmiştir.

4.1. Tasarımın gerçekleştirilmesi

Tasarlanan devrelerin baskılarının alınması ve breadboard üzerine kurulumlarının yapıldığı ve diğer gerekli elemanlarının seçimlerinin nasıl ve nelere dikkat edilerek yapıldığı anlatılmaktadır. RF karıştırıcı sisteminin yapısına ait blok diyagram Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 RF karıştırıcı sisteminin blok diyagramı

4.1.1. RF birimi

RF birimi hedeflenen frekans bandında çalışma yapılabilmesi için temel sinyali üreten gerilim kontrollü osilatör, temel sinyali engellenmek istenen sinyalin gücünden daha yüksek bir seviyeye çıkarabilmek amacıyla kullanılan RF güç yükseltici ve hedefe direkt etki edebilmek ve çevredeki diğer sistemlerin iletişimini engellemek adına kullanılan yönlü antenden oluşmaktadır. RF bölümünün blok diyagramı Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 RF biriminin blok diyagramı

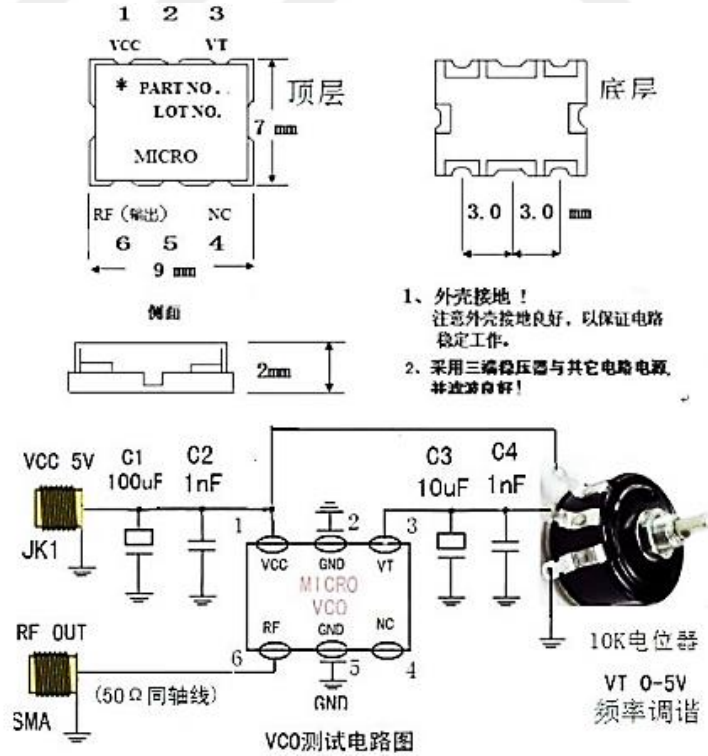
4.1.1.1. 2.4 GHz merkez frekanslı gerilim kontrollü osilatör

2.4 GHz merkez frekanslı 2.3-2.5 GHz frekans bandında sinyal üreten MVE2400 gerilim kontrollü osilatör tercih edilmiştir. 200 MHz frekanslık bir bantta üretim yapabilen VCO bu bantta oluşabilecek iletişimi kesmek için oluşturulan sisteme oldukça uygun bir seçimdir. Kullanılan gerilim kontrollü osilatör Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 MVE2400 gerilim kontrollü osilatör

Seçilen gerilim kontrollü osilatörün genel bilgileri ve bağlantı uçlarına ilişkin bilgiler ve tipik bağlantı şeması aşağıdaki Şekil 4.4'te verilmiştir.

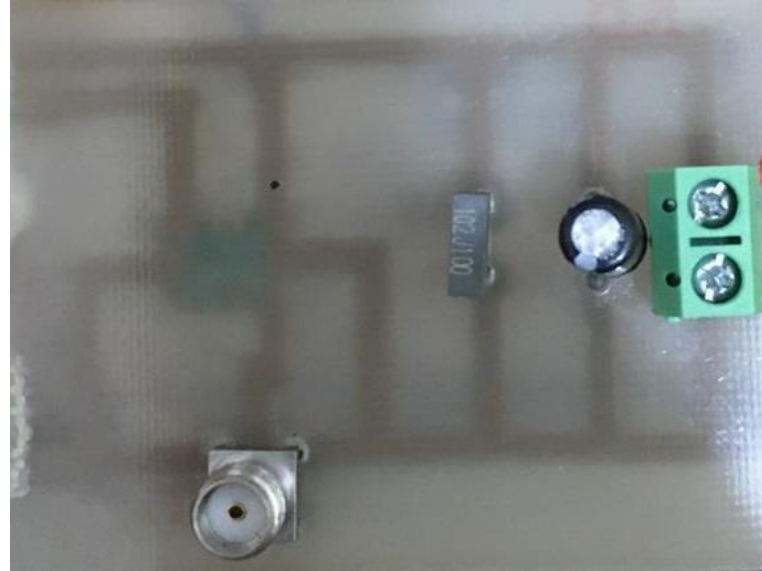


Şekil 4.4 MVE2400 VCO ve tipik bağlantı şeması

. Gerekli devre baskısı yapılarak laboratuvar ortamında gerekli ölçümleri farklı sinyaller verilerek osilatörün verimli çalışıp çalışmadığı test edilmiştir. Gerilim kontrollü osilatörün baskı devre görseli Şekil 4.5'te ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

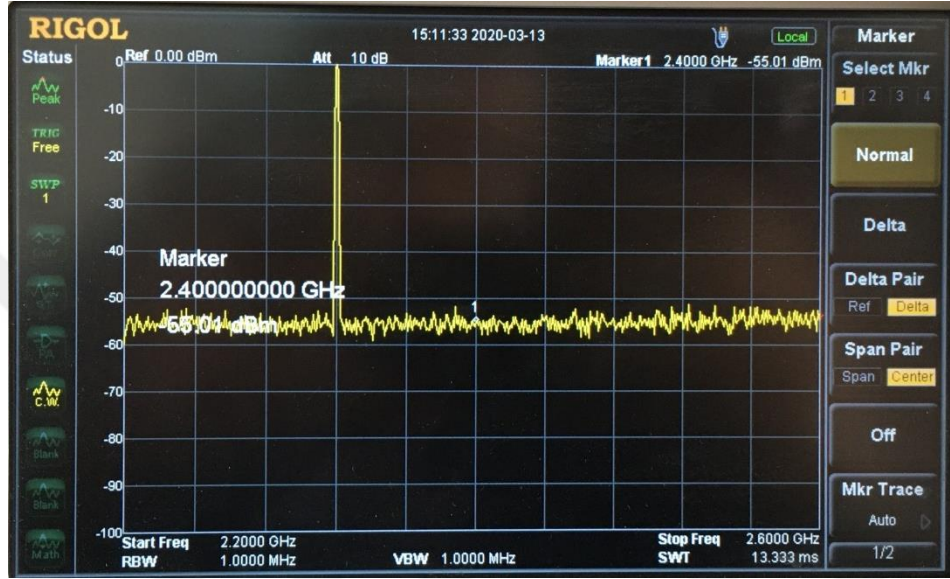


Şekil 4.5 Gerilim kontrollü osilatör baskı devresi ön yüzü



Şekil 4.6 Gerilim kontrollü osilatör baskı devresi arka yüzü

VCO 1 numaralı girişinden 5 V ile beslenmektedir. 2 ve 5 numaralı girişinden topraklama çıkışı alınmıştır. 6 numaralı ucundan ise 50 ohm bir SMA ile RF çıkışı alınmaktadır. Çıkış 2.4 GHz merkez frekanslıdır. VCO'nun sabit giriş durumundaki çıkış sinyali ölçümleri laboratuvar ortamında yapılmıştır. Spektrum analizör ekran görüntüsü Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Sabit girişli Gerilim kontrollü osilatör (VCO) çıkış sinyali

4.1.1.2. RF güç yükseltici

Gerilim kontrollü osilatörün 2.4 GHz merkez frekanslı çıkış sinyali gücü -55 dBm olarak ölçülmektedir. VCO giriş ucuna üçgen dalga sinyali verildiği zaman VCO'nun çıkış sinyalinin gücü -20 dBm olmaktadır. Bu sinyal güçleri maalesef istenilen seviyelerde değildir. Bu güç seviyelerindeki sinyaller ile bir iletişim engellemesini gerçekleştirmek söz konusu olmadığı için bir güç yükselticiye ihtiyaç vardır.

RF güç yükseltici seçimi için en az 5 W olmak üzere bir araştırma yapıldı. 2.4 GHz merkez frekanslı olmak üzere, 2.3-2.5 GHz arasında yayın yapan 5W çıkış gücü elde edilebilen bir RF güç yükseltici seçilmiştir. RF güç yükselticinin görseli Şekil 4.8'de verilmiştir.

Seçilen RF güç yükseltici 2.5 dB düşük gürültülüdür. Gürültülü olması oluşturulan devrenin yararına olacaktır ama güç yükselticiler genel olarak kaliteli

aktarımların sağlanması amacıyla kullanıldıkları için düşük gürültülü olarak üretilmektedir. Seçilen RF güç yükseltici 12 V/1.5 A güç kaynağı ile beslenmektedir. RF güç yükselticinin özellikleri ve genel bilgileri Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Seçilen RF güç yükseltici

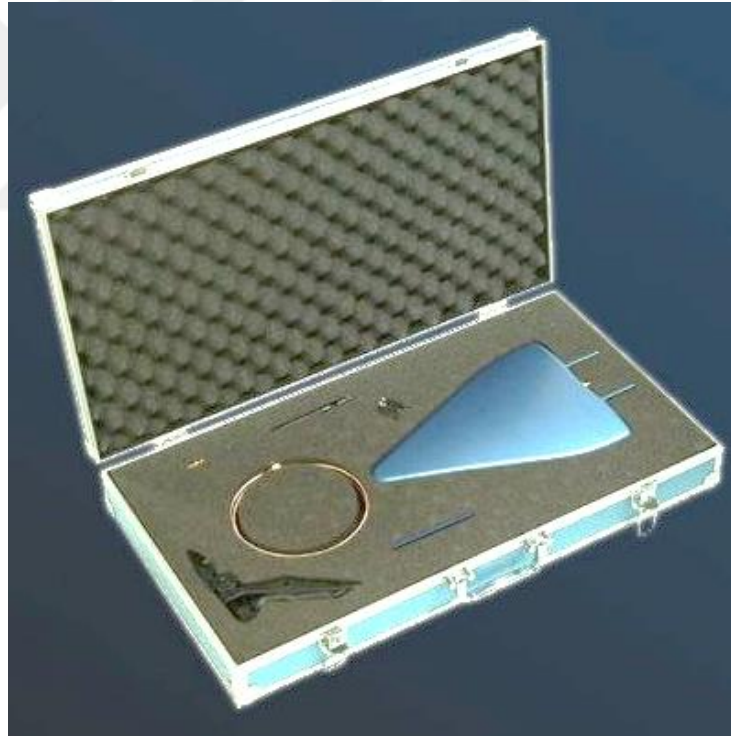
Tablo 4.1 RF güç yükselticinin özellikleri

Öğeler	Özellikler
Frekans aralığı	2.3 – 2.5 GHz
Çalışma gerilimi	6 – 18 V
İletim kazancı	18dB $\pm$ 1
Maksimum çıkış gücü	37dBm (5W)
Giriş tetik gücü	Min: 3dBm Max: 20dBm
Gürültü	<2.5dBm
RF konektörü	Giriş-Çıkış: SMA-K
Çalışma sıcaklığı	-30 °C - +70 °C
LED göstergesi	Verici: Kırmızı; Alıcı: Yeşil
Kabuk malzemesi	Alüminyum
Net ağırlık	0.27Kg

4.1.1.3. Anten

Engellenmek istenen iletişimin karıştırılabilmesi için yüksek güçte sinyal iletimi sağlanması gerekiyor ve bu nedenle RF güç yükseltici kullanıldı. Yüksek güç ile iletim sağlandığında dairesel yayın yapan bir anten kullanımı diğer iletişimde olan cihazların da kullanım dışı kalmasına veya zarar görmesine neden olabilir. Yönlü yayın yaparak bunun engellenmesi için sağlanacak kazanç ile etkinin artırılması amacıyla yönlü anten tercih edilmiştir.

Tercih edilen yönlü anten geniş bant log-periyodik antendir. HyperLOG 7060 model anten kullanılmıştır. Anten 700 MHz'den 6 GHz'e kadar olan frekans aralığında etkin olarak çalışmaktadır. Kullanılan antenin görseli Şekil 4.9'da verilmiştir (Aaronia Web Sitesi, 2020).



Şekil 4.9 HyperLOG 7060 genişbant log-periyod

Tercih edilen anten laboratuvar ortamında aktif olarak farklı frekans bantlarında denendi. Yayın kalitesi ölçümleri ve kazanç ölçümleri yapıldı. Şekil 4.10'da antenin çalışmadaki kullanım anından bir görüntü verilmiştir.

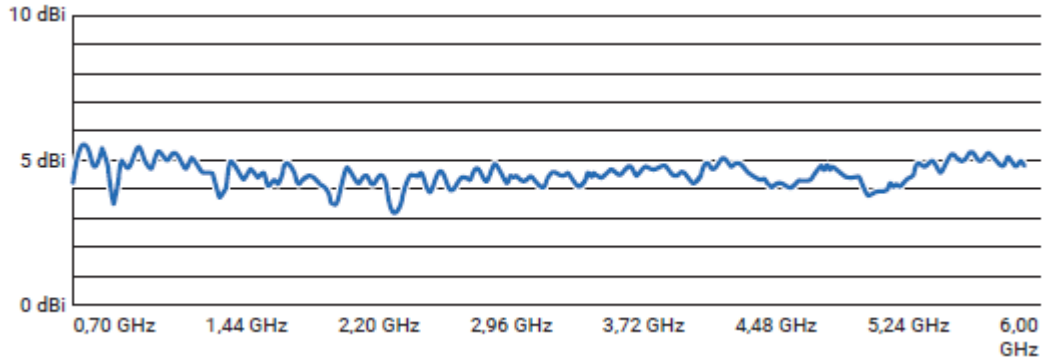


Şekil 4.10 HyperLOG anten görüntüsü

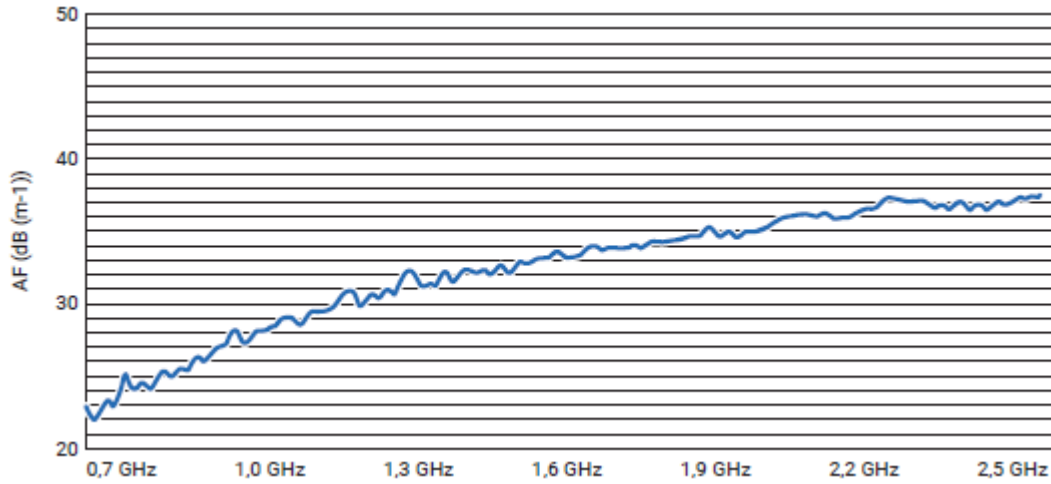
Kullanılan HyperLOG 7060 model antenin özellikleri Tablo 4.2’de, kazanç grafiği ve anten faktörü grafiği sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir (Aaronia Web Sites, 2020).

Tablo 4.2 HyperLOG 7060 model antenin özellikleri

Öğeler	Özellikler
Büyükölük (E-B-Y)	340-220-25 mm
Ağırlık	250 g
Tasarım	Log-periodik
Kazanç	5dBi
RF bağlantısı	SMA
Frekans aralığı	700 MHz – 6 GHz
Nominal empedans	50 Ω
Maksimum iletim gücü	100 W
Anten faktörü	26 – 41 dB/m



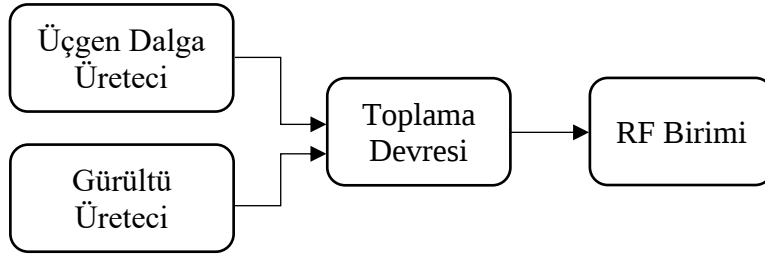
Şekil 4.11 HyperLOG 7060 anten kazanç grafiği



Şekil 4.12 HyperLOG 7060 anten faktörü grafiği

4.1.2. Düzenleyici devre birimi

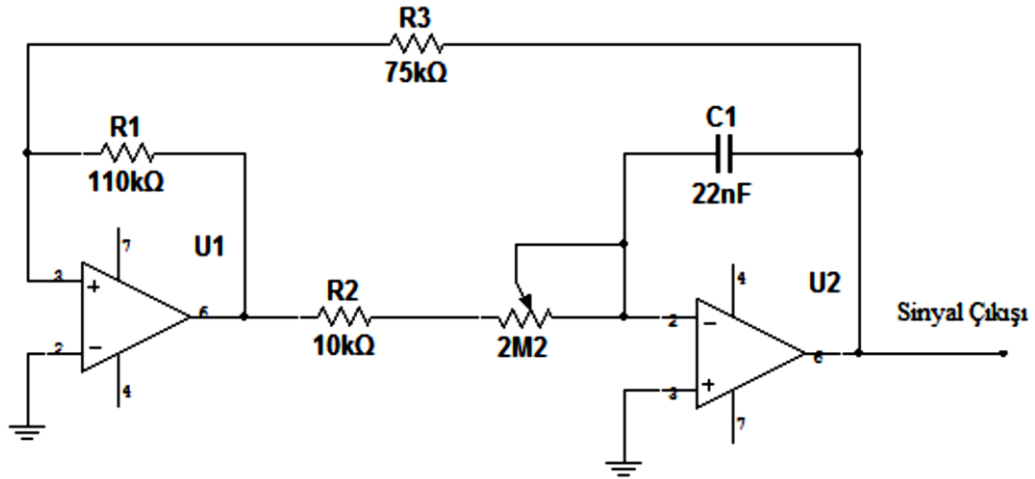
RF karıştırıcının düzenleyici devre birimi; sistemin istenen frekans aralığı boyunca tarayacak olan RF birimindeki gerilim kontrollü osilatöre ayarlama sinyalini üretmektir. Bu ayar sinyali seçimi tarama yapılırken iletişimin sağlanmasına olanak sunan uygun bant bırakmamak için üçgen dalga sinyali seçildi. İletişimin kalitesini iyice düşürebilmek adına üçgen dalga sinyaline gürültü sinyali eklendi. Gürültü sinyali de üçgen dalga ile toplanarak ayar sinyali olarak gerilim kontrollü osilatöre gönderilmektedir. Düzenleyici devre biriminin blok diyagramı Şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.13 Düzenleyici devre bölümü blok diyagramı

4.1.2.1. Üçgen dalga üretici

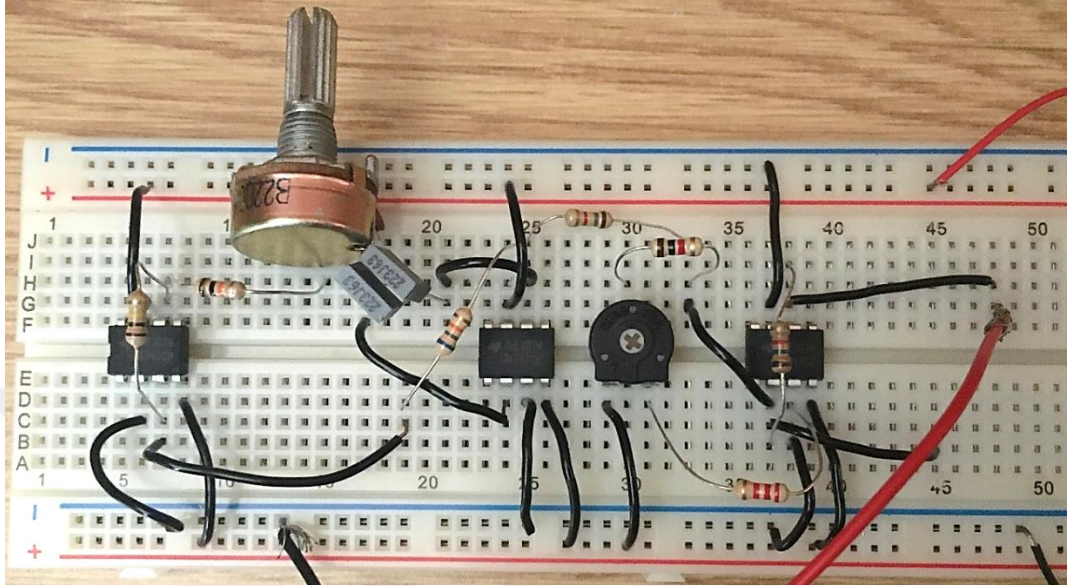
Tarama yapılması istenilen 2.3-2.5 GHz frekans bandında uygun şekilde sürekli olarak yükselen ve düşen kenarlı üçgen dalga tercih edilmiştir. İki LM741 Opamp entegresi ile gerçekleştirilen üçgen dalga üretici devresi Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14 Üçgen dalga üretici devre şeması

Devrede U1 ile gösterilen 1.opamp tetikleyici olarak görev alırken, U2 ile gösterilen 2.opamp ise integral alıcı olarak çalışmaktadır. U1 çıkışından kare dalga elde edilir ve bu kare dalganın U2'de integrali alınınca çıkışta üçgen dalga elde edilir. 2.2 M

Ω 'luk potansiyometre ile çıkış frekansı ayarlanabilir. Devre breadboard üzerinde kurulmuş ve gerekli ölçüm ve ayarlamalar için laboratuvar ortamında çalışılmıştır. Devrenin breadboard üzerine kurulu görseli Şekil 4.15'te verilmektedir.



Şekil 4.15 Üçgen dalga üretici ve toplayıcı devrenin breadboard üzerinde kurulumu

Çıkış sinyali simetrik üçgen dalga şeklinde bir çıkış sinyalidir. Simetrik dalga tepelerini gerilim kontrollü osilatörün girişine uygun hale getirmek için LM741 opamp ile gerçekleştirilen toplayıcı devre çıkışında 0-5 V arası değişen 1.35 kHz frekanslı üçgen dalga şekli elde edilmiştir. Elde edilen üçgen dalga sinyali Şekil 4.16'da gösterilmektedir.

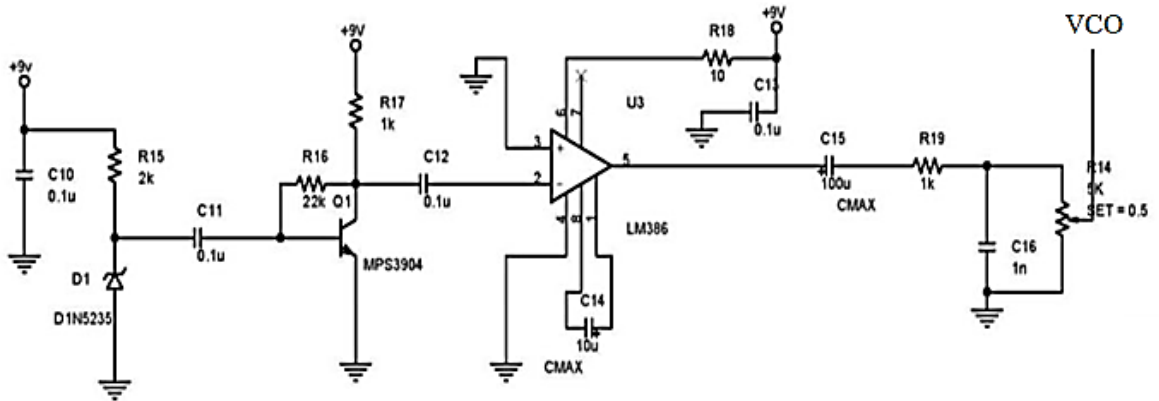


Şekil 4.16 Üçgen dalga üretici çıkış sinyali

4.1.2.2. Gürültü üretici

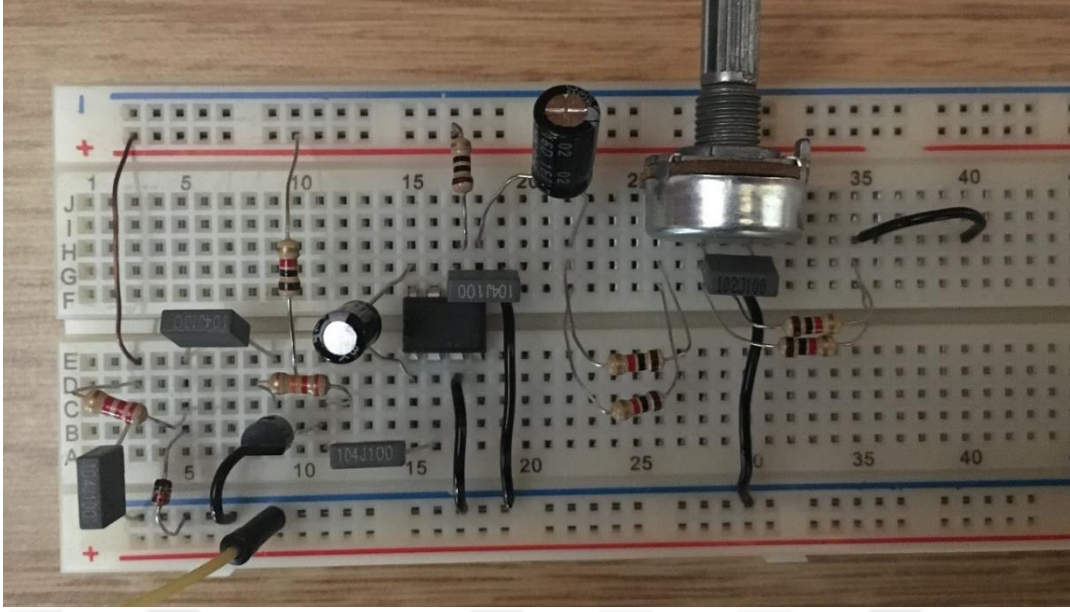
Elde edilen üçgen dalga ile istenilen frekans bandında tarama sıkıntısız şekilde yapılabilmektedir. Mevcut devrede çok az miktarda da olsa bir gürültü söz konusudur. Fakat amaç iletişimi engellemek olduğu için dronun alıcısına ne kadar karmaşık ve anlamsız sinyal gönderilebilirse iletişimi kesme başarısı o oranda artacaktır. Dışarıdan bu durumu fark eden bir gözlemci bunun sıradan bir gürültü olduğunu düşünebilir. Bu nedenle bir gürültü üretici modellendi ve breadboard üzerine kurulumu yapıldı. Oluşturulan devre laboratuvar ortamında test edildi ve gerekli ölçümleri yapıldı.

Oluşturulan devrede zener diyot ile elde edilen χ gürültüsüdür. χ gürültüsü atış gürültüsüne çok benzer fakat çok daha yoğundur ve düz bir frekans spektrumuna sahiptir. Temel olarak devre; ters akıma sahip standart bir 6.8 zener diyot, bir transistor ve küçük sinyal yükseltici olarak görev yapabilen LM386 entegresinden oluşur. Gürültü üreticinin devre şeması Şekil 4.17’de verilmiştir.



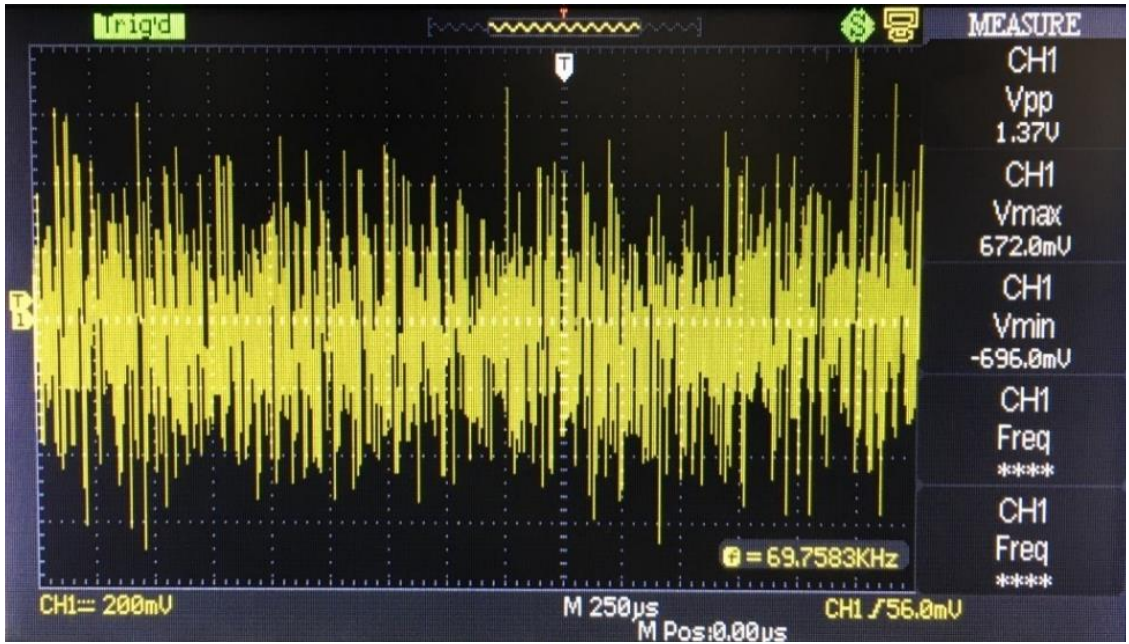
Şekil 4.17 Gürültü üretici devre şeması

Devrenin laboratuvar ortamında denenip sorunsuz hale getirilmesi için breadboard üzerine kurulmuş hali Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 Gürültü üretici devresinin breadboard üzerine kurulumu

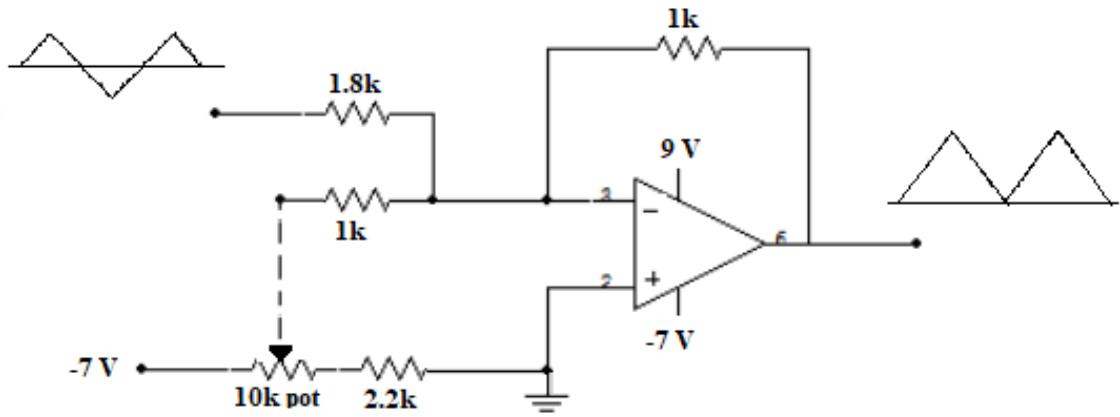
Kurulmuş olan devre sorunsuz şekilde istenilen yoğunluktaki gürültüyü oluşturmaktadır. Gürültü üreticinin çıkış sinyalinin osiloskop görüntüsü Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 Gürültü üretici çıkış sinyalinin osiloskop görüntüsü

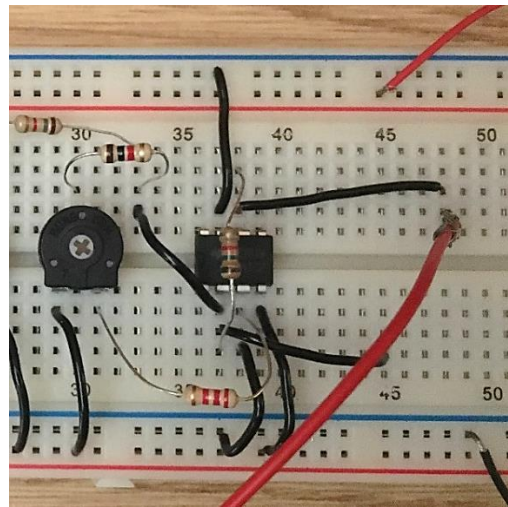
4.1.2.3. Toplama devresi

Tasarlanan toplama devresi ile üçgen dalganın -2.5 V ile $+2.5\text{ V}$ arasındaki taramasını 0 V ile $+5\text{ V}$ arasına taşınması için ve gürültü üreticiden gelen gürültü sinyalinin üçgen dalga sinyaline eklenip uygun şekilde VCO'ya verilmesini sağlamaktadır. 741 kodlu işlemsel yükselteç kullanılarak devre tasarlanmıştır. Şekil 4.20'de tasarlanan toplama devresinin şeması verilmiştir.



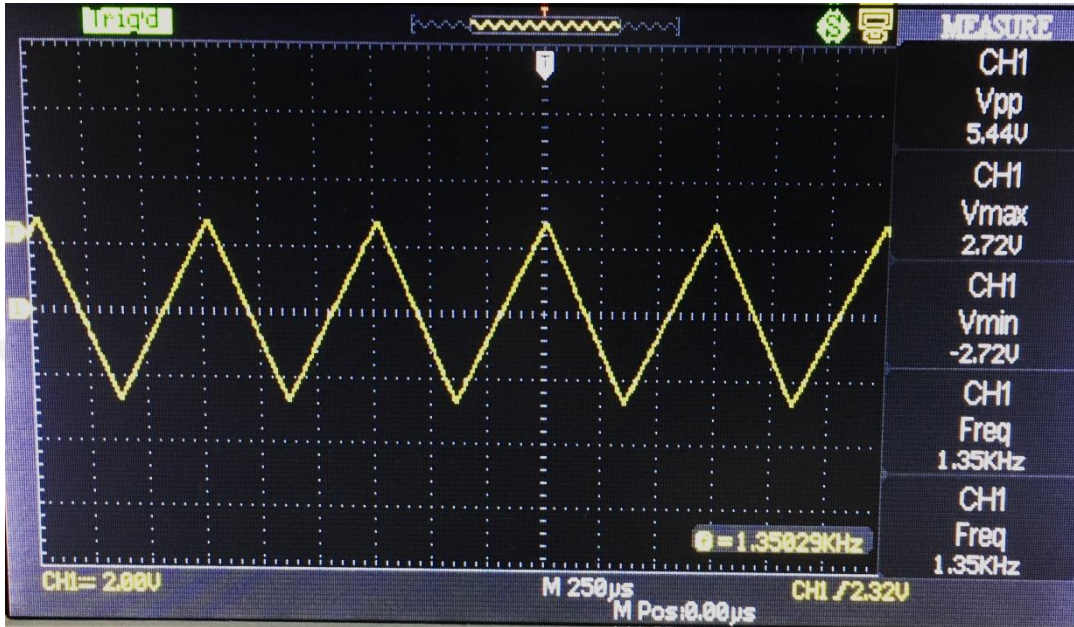
Şekil 4.20 Toplama devresinin şeması

Devre kurulumu üçgen dalga üretici ile aynı breadboard üzerine kurulmuştur ve ölçümleri birlikte sorunsuz şekilde yapılmıştır. Şekil 4.21'de toplama devresi breadboard üzerine kurulumu verilmiştir.



Şekil 4.21 Toplama devresi breadboard üzerine kurulumu

Üçgen dalga sinyali toplama devresi ile düzenlenmeden önce görünümü ve çalışma şekli Şekil 4.21'deki gibidir. Toplama devresi ile 0 V ile + 5 V arasında düzenlendiğinde görünümü üçgen dalga üretici bölümünde verildiği gibi Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



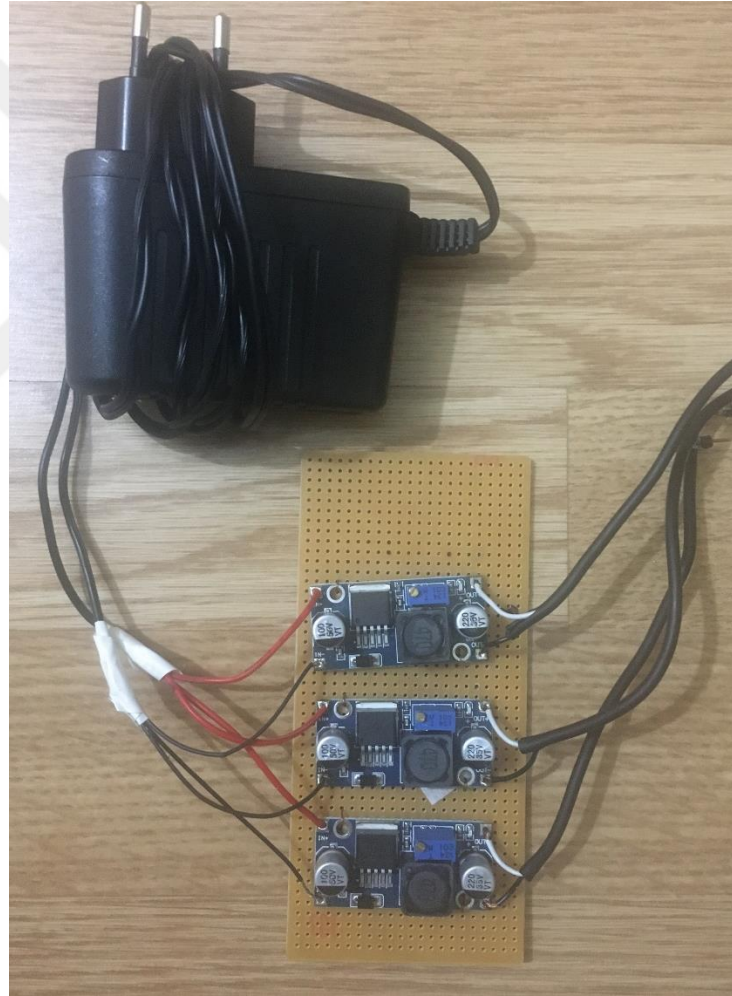
Şekil 4.21 Toplama devresi öncesi üçgen dalga sinyali



Şekil 4.22 Toplama devresi sonrası üçgen dalga sinyali

4.1.3. Güç kaynağı

RF karıştırıcı tasarımında sabit kullanım ve kesintisiz enerji için 220 V AC giriş/12 V DC çıkışlı adaptörler ile ön düşürme yapılmış; daha sonra ayarlanabilir voltaj regülatörleri kullanılmıştır. Tasarlanan devrede ihtiyaç olan +5 V, +9 V, -7 V ayarlı voltaj regülatör devreleri ile sıkıntısız şekilde elde edilmiştir. RF güç yükselticinin ihtiyacı olan 12 V ise direkt olarak şebekeden düşürücü adaptör ile karşılanmıştır. Voltaj regülatörleri ile oluşturulan güç kaynağı Şekil 4.23'te verilmiştir.

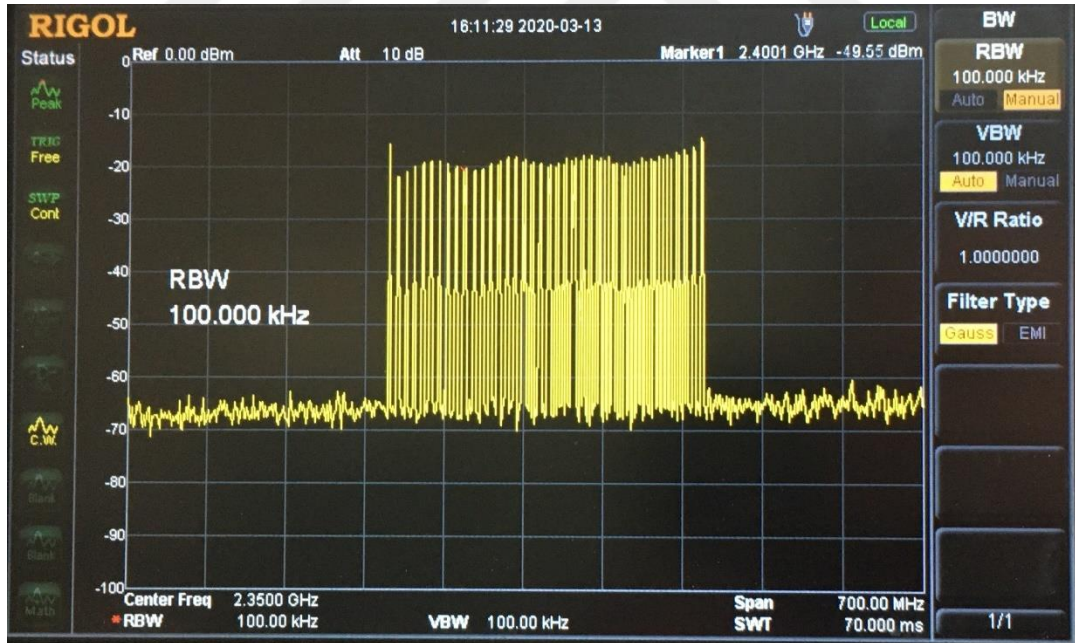


Şekil 4.23 Güç kaynağı ve ayarlı regülatör devreleri

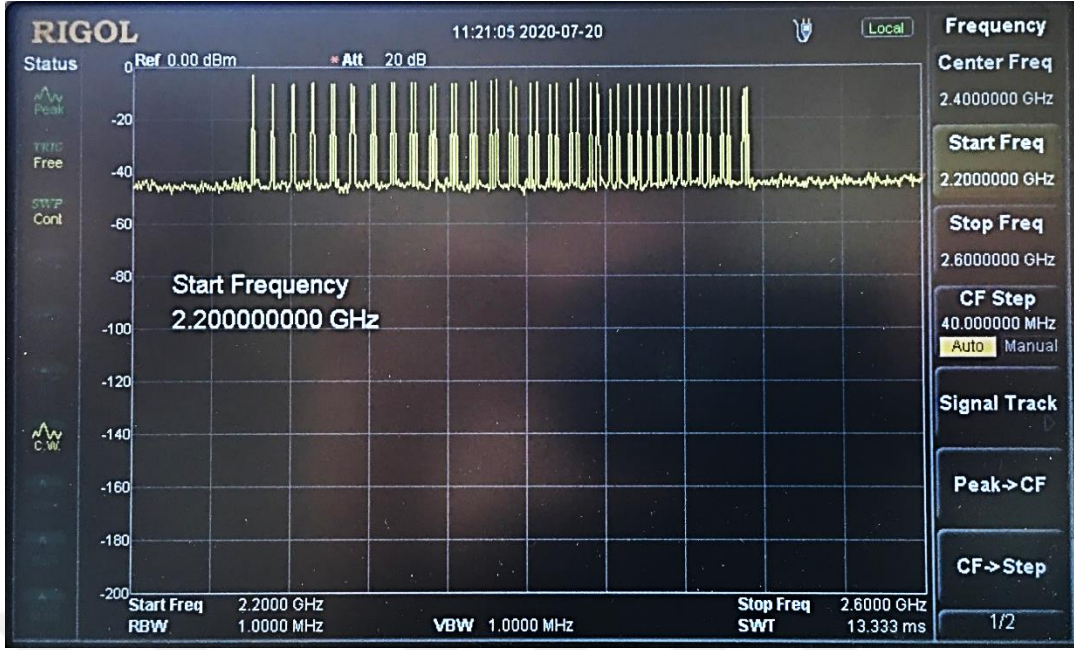
4.2. Test sonuçları

Tasarımda kullanılmak üzere elde edilen ve gerçekleştirilen bütün sistemlere ait alt devrelerin çalışma standartları ve testleri laboratuvar ortamında gerekli ekipmanlar ve test yöntemleri ile yerine getirildi. Sorun çıkarabilecek durumlar tekrar gözden geçirilerek sistem en uygun hale getirilmesi için uğraşıldı.

Öncelikli olarak tasarlanan 2.4 GHz merkez frekanslı 2.25-2.5 GHz arasında tarama olanağı sağlayan gerilim kontrollü osilatöre ayar sinyali olarak üçgen dalga üretici çıkış sinyali verildi. Üçgen dalga üreticinin çıkış sinyali ile sürülen gerilim kontrollü osilatörün net şekilde bir tarama yaptığı gözlemlendi. Şekil 4.24'te 10 dB (Att 10 dB) zayıflatma uygulanan, üçgen dalga sinyali ile sürülmüş 2.25-2.5 GHz frekans bandında tarama yapan gerilim kontrollü osilatörün çıkış sinyalinin spektrum analizör ekran görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.25'te 20 dB zayıflatma (Att 20 dB) bir başka ölçümde çıkış sinyalinin spektrum analizör ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.24 Üçgen dalga sinyali verilmiş VCO çıkış sinyali spektrum analizördeki görüntüsü



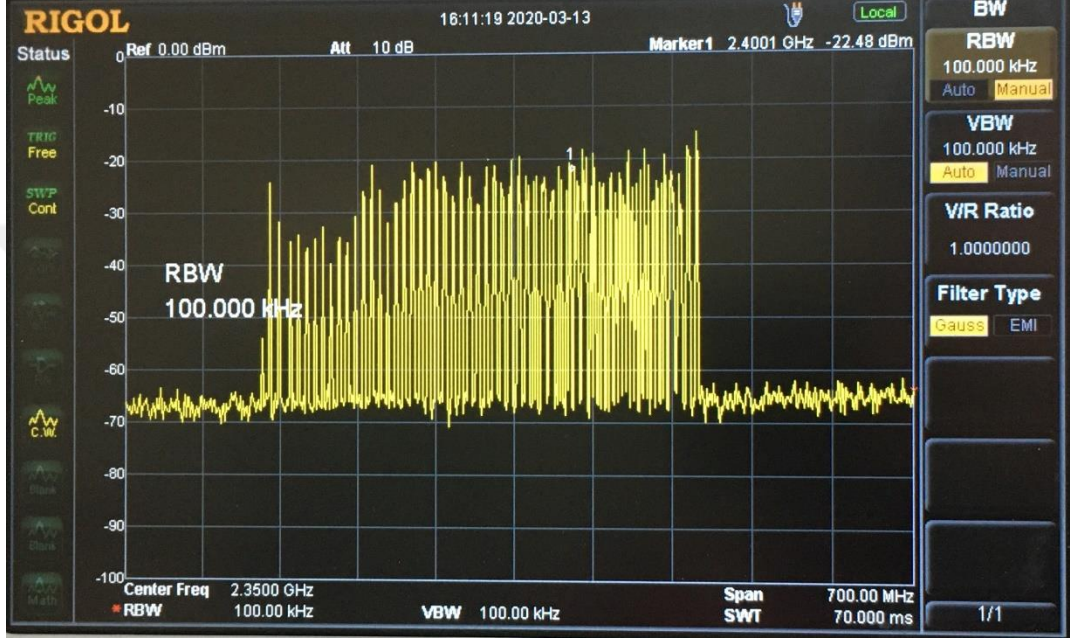
Şekil 4.25 VCO çıkış sinyalinin spektrum analizördeki görüntüsü

Daha sonra gürültü üretici çıkış sinyali üçgen dalga üreticinin çıkış sinyali üzerine eklendi ve bu eklemenin üçgen dalga çıkış sinyalindeki etkisi gözlemlendi. Üçgen dalga üzerinde istenilen anlamsız şekilde karıştırmayı artırmak için gerekli gürültü sıkıntısız eklendiği gözlemlendi. Şekil 4.26'da gürültü üretici çıkış sinyalinin üçgen dalga üretici çıkış sinyaline eklenmiş halinin osiloskop görüntüsü gösterilmektedir.



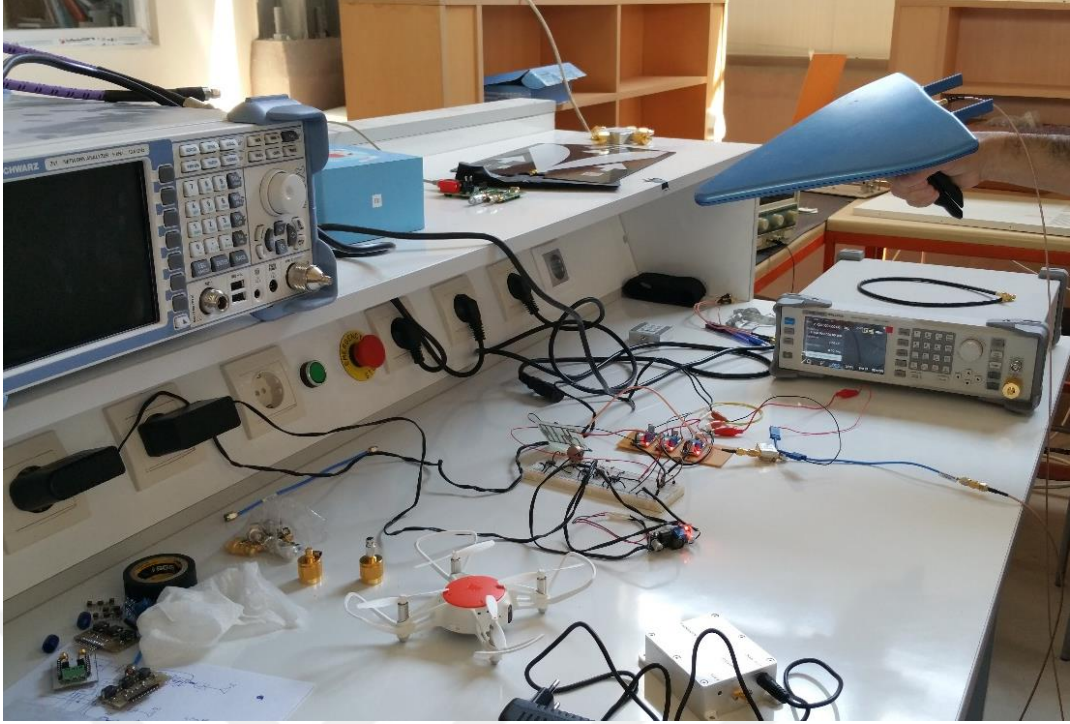
Şekil 4.26 Gürültü sinyali eklenmiş üçgen dalga sinyali

Gürültü sinyali eklenmiş üçgen dalga sinyali gerilim kontrollü osilatöre ayar sinyali olarak verilmiştir. Gerilim kontrollü osilatörün çıkış sinyalinde ise gürültünün bir gözle görülür bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.27’de gürültülü üçgen dalga sinyali ile sürülmüş gerilim kontrollü osilatörün çıkış sinyalinin spektrum analizörü ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.27 Gürültü sinyali eklenmiş üçgen dalga girişli VCO çıkış sinyali

Sorunsuz şekilde gürültü sinyali eklenmiş üçgen dalga sinyali ile sürülen gerilim kontrollü osilatör çıkış sinyali gözlemlenmiştir ve istenilen sinyal elde edilmiştir. Bu sinyal iletişimi kesmek için yeterli güçte olmadığından gerilim kontrollü osilatörden alınan çıkış sinyali RF güç yükselticiye verilmiştir. RF güç yükselticinin sürülmesi için gerekli sinyal gücüne sahip olmadığı için gerilim kontrollü osilatör çıkışı ile RF güç yükseltici arasına bir küçük yükseltici LNA modülü takılmıştır. İstenilen güç elde edildikten sonra HyperLOG 7060 model yönlü log-periyodik anten RF güç yükselticiden gelen karıştırıcı sinyalleri sorunsuz şekilde çevrildiği yöne doğru yaymıştır. Şekil 4.28’de laboratuvar ortamında gerçekleştirilen sistemin sinyal bozucu denemelerinden bir kesit gösterilmiştir.



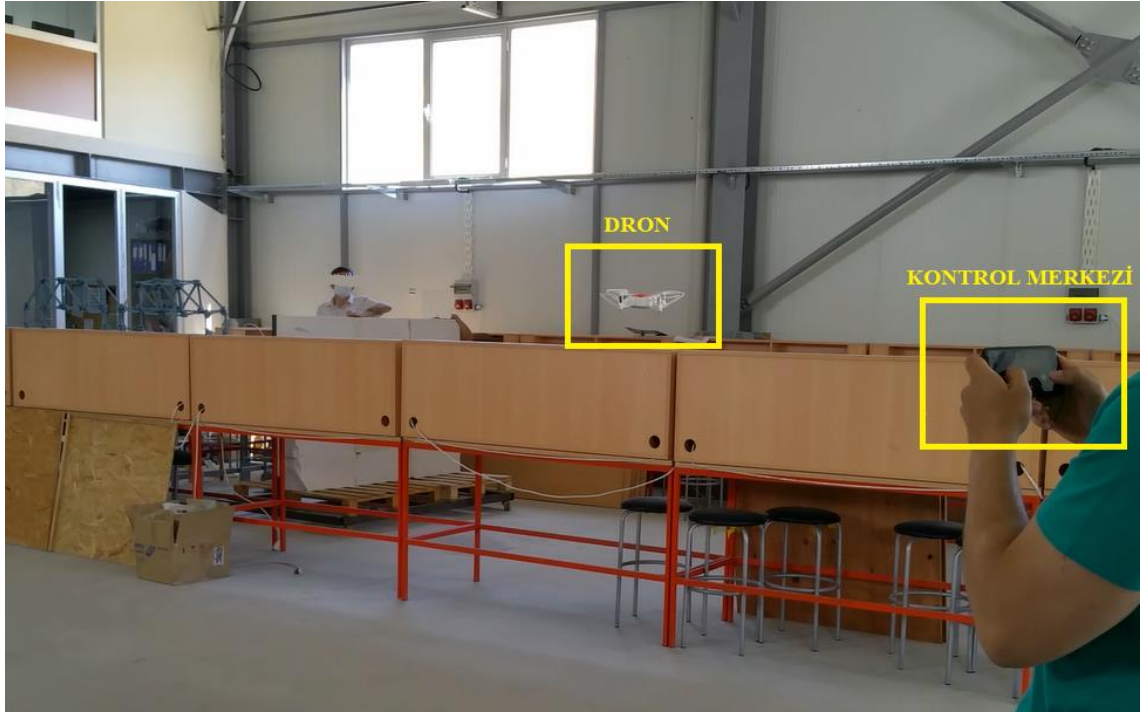
Şekil 4.28 Tasarlanan sistemi deneme aşamasından bir görsel

Tasarlanan sistemin denenmesi için dron olarak Xiaomi Mi Mini Dron tercih edilmiştir. Dron 2.4 GHz frekansında iletişim sağlamaktadır. 4K olarak kayıt yapabilmektedir ve dron telefona indirilen yazılım üzerinden veya kumanda sistemi ile kolaylıkla yönlendirilebilmektedir. Şekil 4.29’da testte kullanılan çalışması engellenen dronun görseli verilmiştir.



Şekil 4.29 Çalışması engellenen Xiaomi Mi Mini Dron

Drona sorunsuz şekilde telefonda bağlantı sağlanmış olup, uçuş kontrolü ve kamera kaydı aktif şekilde yapılabilmektedir. Şekil 4.30’da dronun, RF karıştırıcı aktif değilken rahat bir şekilde uçuş yaptığı video kaydından bir kesit verilmiştir.



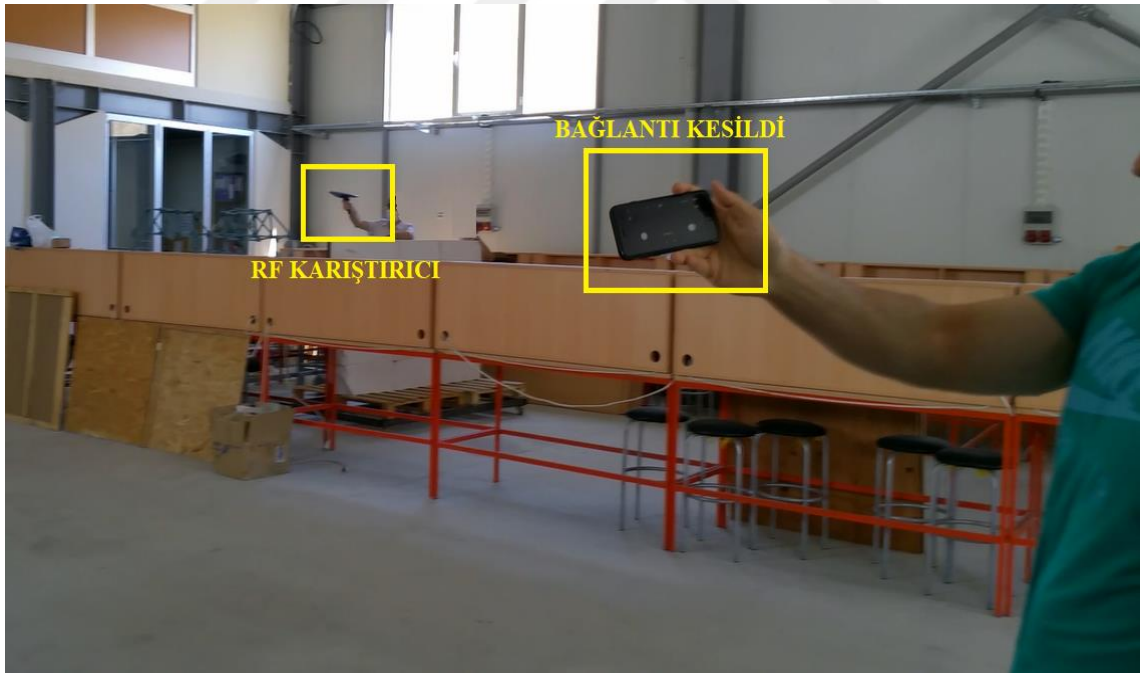
Şekil 4.30 Kontrol merkezi ile sorunsuz iletişim yapabilen dron

Sonrasında dron ile aynı frekansta karıştırıcı sinyaller gönderebilen 2.4 GHz merkez frekanslı dron RF karıştırıcı sistemi aktif hale getirildi. Yönlü anten ile dron uçuş manevraları takip edildi ve sistem devreye girer girmez dron komut alıp verme işlevini yerine getirememeye başladı. Kontrol merkezinden giden komutları algılayamayan dron, olduğu konumda uçar pozisyonda sabit şekilde kaldı. Sonrasında kontrol merkezine bağlı olan dron ile kontrol merkezi arasındaki bağ tamamen koptu. Tekrar bağlanılmaya çalışılmasına rağmen bir başarı sağlanamadı. Yaklaşık olarak 5-6 metre mesafede denenen dron RF karıştırıcı, daha sonrasında 10 metre mesafede denendi ve yine aynı etki ile sonuç alındı. Dron RF karıştırıcı tarafından takip edilen dronun komut algılamaması halinin gösterimi için yapılan video kayıttan bir kesit Şekil 4.31’de gösterilmektedir.



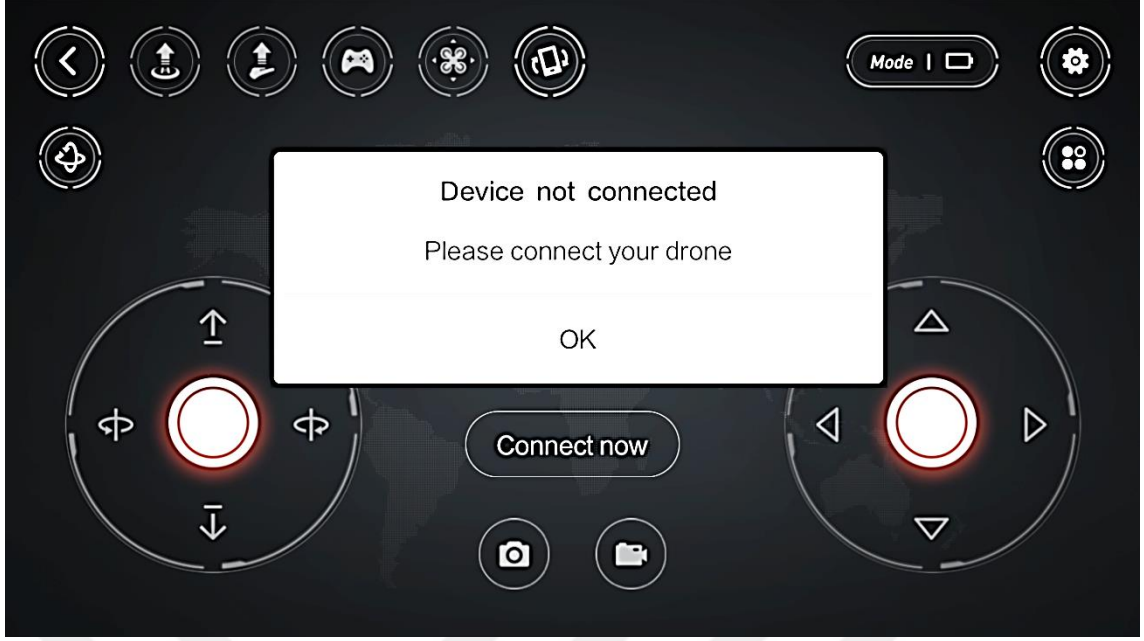
Şekil 4.31 RF karıştırıcının aktif hale getirildiği an

Şekil 4.32’de dron RF karıştırıcı aktif hale geldikten sonra bağlantının kesildiğinin kanıtı olarak kayda alınmış videodan alınmış bir kesit gösterilmektedir.



Şekil 4.32 Bağlantının RF karıştırıcı tarafından başarılı şekilde kesildiği an

Şekil 4.33’te komut gönderilen telefonda alınmış ekran görüntüsü gösterilmektedir. Bağlantı tamamen kopmuştur.



Şekil 4.33 Komuta merkezinde bağlantının kesildiğine dair uyarı ekranı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

2.4 GHz frekans bandında iletişim sağlayan dron ve komut aldığı merkez arasındaki bağlantıyı kesmek amacıyla 2.3-2.5 GHz frekans aralığında yayın yaparak olası farklı banttaki iletişimleri de engelleyerek bir RF karıştırıcı tasarımı yapmak hedeflenmiştir. Hedeflenen 2.4 GHz merkez frekanslı 2.25-2.50 GHz frekans bandında tarama yapılmasını sağlayacak gerilim kontrollü osilatör tasarlanmıştır. VCO'ya ayar sinyali olarak gürültülü üçgen dalga sinyali verilmiştir. İletişimin engellenmek istendiği frekans bandında tarama sorunsuz ve gayet başarılı bir şekilde yapılmıştır.

VCO'dan alınan çıkış sinyalinin gücü oldukça düşüktür. Bir iletişimi engellemek için uygun miktardaki güç seviyesine artırılması için RF güç yükseltici kullanılmıştır. RF güç yükseltici seçiminde, RF karıştırıcı tasarımlarında yaygın olarak tercih edilen 3W çıkış gücü yerine, etkili olma mesafesini artırmak ve iletişimi kesin olarak karıştırıp etkisiz hale getirmek için 5W çıkış güçlü RF güç yükseltici tercih edilmiştir.

Çevrede bulunan ve tarama yapılan frekans bandı olan 2.25-2.5 GHz aralığında bağlantı sağlayan diğer iletişim ve elektronik cihazların engellenmemesi ve daha çok kazanç sağlanıp etkili olma mesafesini artırabilmek için log-periyodik yönlü anten ile yayın yapılmasına karar verilmiştir.

Tasarımın test edilmesi için kullanılan 2.4 GHz merkez frekansında iletişim sağlayan dron ile komuta merkezi arasındaki iletişim, 5 metre ve 10 metre mesafelerde etkili bir şekilde engellenmiştir.

5.2 Öneriler

Bu teze konu olan dron için RF karıştırıcı tasarımı ve gerçekleştirilmesinde, giriş bölümünde bahsedildiği gibi başka frekanslarda yayın yapan dronların varlığından dolayı, olası tehditlere yönelik kesin bir önlem almak için sisteme ek olarak sık kullanılan diğer frekanslarda da iletişimin engellemesi amacıyla tasarım gerçekleştirilebilir.

Uzak mesafelerde etkinliğin artması için daha yüksek çıkış gücüne sahip yükselticiler tercih edilebilir. Daha farklı gürültü sinyalleri ve çıkış güçleri ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

Tasarımın bir arazide veya portatif şekilde kullanılabilmesi amacıyla güç kaynağı olarak buna uygun bir akü/pil tercih edilebilir. Fakat tasarımın aktif olarak kullanım süresini göz önüne alındığında güç kaynağı için kullanılan akü fazla yer kaplayabilir.

Şehir içi kullanımlarında çevre iletişimin zarar görmemesi için yönlü anten tercihi yerine dairesel yayın tercih edilebilir. Bu şekilde savunması istenen bölgede karıştırıcı sinyallerden oluşmuş bir koruma kalkanı oluşturulabilir. Bu amaca uygun anten seçilmelidir.

Dron iletişimindeki şifrelemelere karşı bir ele geçirme yazılımı ile şifreleme engeli aşılabılır. Ardından ele geçirilen dron, çevresindeki diğer dronlara karşı karıştırıcı sinyal yayan bir baz istasyonu olarak kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Balkan, S., 2017, *Daesh's Drone strategy: Technology and the rise of innovative terrorism*, SETA Report, Ankara, Turkey.
- Batı, M., 2013, *Design of various VCO topologies and performance comparison at 2.4 GHz*, Master's Thesis, Istanbul Technical University, Electronics and Communication Engineering, Istanbul, Turkey.
- Bunker, R., 2015. *Terrorist and Insurgent Unmanned Aerial Vehicles: Use, Potentials, and Military Implications*. U.S. Army War College: Strategic Studies Institute.
- Dinç, V., 2010, *Elektronik harp teknikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Ankara, Turkey.
- Eriksson, N., 2018, *Conceptual study of a future Drone detection system; Countering a threat posed by a disruptive technology*, Master's Thesis in Product Development, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Gözkaydırın, S., 2019, *Implementing cyber countermeasures against terrorist Drone in military service*, Master's Thesis, Bahçeşehir University, Istanbul, Turkey.
- Gül, K., 2018, *Model and procedures for the Jammer and target allocation problem*, Master's Thesis of Industrial Engineering, METU, Ankara, Turkey.
- Güvenç, İ., Özdemir, Ö., Yapıcı, Y., Mehrpouyan, H. and Matolak, D., 2017, Detection, localization and tracking of unauthorized UAS and Jammers, *Article in IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, sept. 2017, FL, USA.
- Jisrawi, A., 2014, *Drones Jammer*, Jordan University of Science and Technology, Department of Electrical Engineering, Amman, Jordan.
- Jisrawi, A., 2014, *GSM-900 Mobile Jammer*, Jordan University of Science and Technology, Department of Electrical Engineering, Amman, Jordan.
- Nawalagatti, A., Tigadi, A., 2019, Anti-Drone system with multiple surveillance Technologies, *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, Volume 8, Issue 5, Series III., mai 2019, 36-41.
- Orhan, V., 2007, *Design of a 2.4 GHz low power LC VCO in UMC 0.18u technology*, Master's Thesis, Istanbul Technical University, Electronics and Communication Engineering, Istanbul, Turkey.
- Ördek, O., Gültepe, S.E. ve Oflazoğlu, S., 2011. *GKO (Gerilim kontrollü osilatör) besleme ve kontrol devrelerinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi*, Bitirme Çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye.
- Özbey, Ş., *Elektrik Devre Analizi*, 1.Baskı, Bölüm 4, Kasım, 2009.

- Shi, X., Yang, C., Xie, W., Liang, C., Shi, Z., and Chen, J., 2018, Anti-Drone system with multiple surveillance Technologies: Architecture, Implementation and Challenges, *IEEE Communications Magazine*, Apr. 2018.
- Smith, R., *Modern Communication Circuits*, Professor of Electrical Engineering, University of Florida, Second Edition, Chapter 7-8, 1998.
- Sütçüoğlu, Ö. ve Alay, M., 2019, *Anti-Drone savunma sistemleri*, Trend Analizi Mayıs 2019 sayısı, Thinktech, STM Teknolojik Düşünce Merkezi, Ankara, Turkey.
- Şahin, A., 2008, *2.4 GHz LC-VCO design based on active inductors*, Master's Thesis, Istanbul Technical University, Electronics and Communication Engineering, Istanbul, Turkey.
- Walters, M. D., 2016, *Countering the emerging small UAS threat: the case for a coherent Canadian Counter-SUAS strategy*, Master's Thesis of Defence Studies, Canadian Forces College, Canada.
- Wayne, T., *Electronic Communication Sytstems*, Devry University, Phoenix, Arizona, Fifth Edition, Chapter 3, 2004.
- Young, H., *Electronic Communication Technique*, Tacan Corporation, Third Edition, Chapter 2, 1994.
- Aaronia, Directional Antennas HyperLOG Series 380MHz-35GHz [online], <https://aaronia.com/antennas/hyperlog-series-logper-directional/> [Ziyaret Tarihi: 24 Aralık 2020].
- ASELSAN, 2017, İHTAR Anti-Drone Sistemi [online], https://www.aselsan.com.tr/IHTAR_Anti_Drone_Sistemi_8282.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2020].
- ASELSAN, 2018, İHAsavar Anti-Drone RF Karıştırma/Köreltme Sistemi [online], <https://www.aselsan.com.tr/6dc1338d-bb09-4ccb-954a-2932fb001b33.pdf> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2020].

EKLER

EK-1 LM741 Datasheet



LM741

SNOSC25D – MAY 1998 – REVISED OCTOBER 2015

LM741 Operational Amplifier

1 Features

- Overload Protection on the Input and Output
- No Latch-Up When the Common-Mode Range is Exceeded

2 Applications

- Comparators
- Multivibrators
- DC Amplifiers
- Summing Amplifiers
- Integrator or Differentiators
- Active Filters

3 Description

The LM741 series are general-purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439, and 748 in most applications.

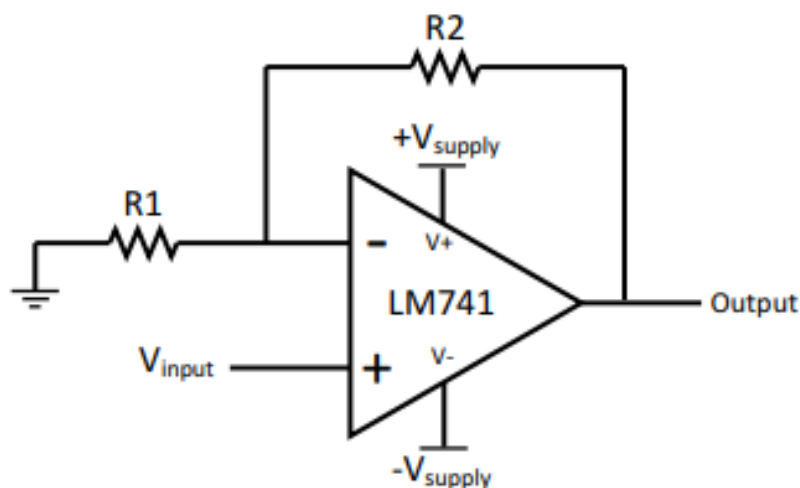
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common-mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741 and LM741A except that the LM741C has their performance ensured over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

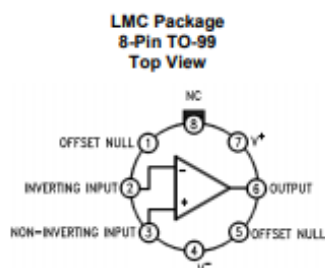
Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM741	TO-99 (8)	9.08 mm × 9.08 mm
	CDIP (8)	10.16 mm × 6.502 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

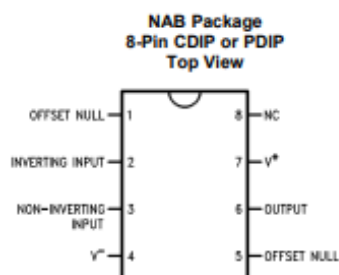
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Typical Application

Pin Configuration and Functions



LM741H is available per JM38510/10101



Pin Functions

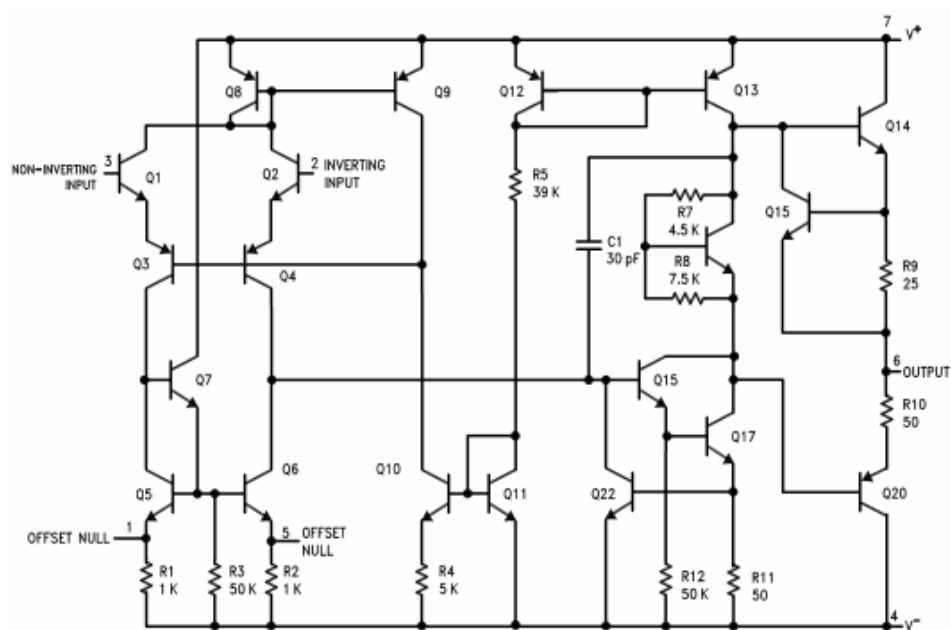
PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INVERTING INPUT	2	I	Inverting signal input
NC	8	N/A	No Connect, should be left floating
NONINVERTING INPUT	3	I	Noninverting signal input
OFFSET NULL	1, 5	I	Offset null pin used to eliminate the offset voltage and balance the input voltages.
OFFSET NULL			
OUTPUT	6	O	Amplified signal output
V+	7	I	Positive supply voltage
V-	4	I	Negative supply voltage

Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	LM741, LM741A		±22	V
	LM741C		±18	
Power dissipation ⁽⁴⁾			500	mW
Differential input voltage			±30	V
Input voltage ⁽⁵⁾			±15	V
Output short circuit duration		Continuous		
Operating temperature	LM741, LM741A	-50	125	°C
	LM741C	0	70	
Junction temperature	LM741, LM741A		150	°C
	LM741C		100	
Soldering information	PDIP package (10 seconds)		260	°C
	CDIP or TO-99 package (10 seconds)		300	°C
Storage temperature, T _{stg}		-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (4) For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.
- (5) For supply voltages less than ±15 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Functional Block Diagram

EK-2 LM386 Datasheet


UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD
LM386
LINEAR INTEGRATED CIRCUIT
**LOW VOLTAGE AUDIO POWER
AMPLIFIER**
■ DESCRIPTION

The UTC **LM386** is a power amplifier, designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pin 1 and pin 8 will increase the gain to any value up from 20 to 200.

The inputs are ground referenced while the output automatically biases to one-half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the **LM386** ideal for battery operation.

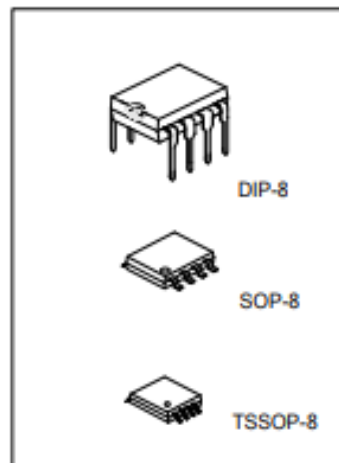
■ FEATURES

- *Battery Operation
- *Minimum External Parts
- *Wide Supply Voltage Range: 4V~12V
- *Low Quiescent Current Drain: 4mA
- *Voltage Gains: 20~200
- *Ground Referenced Input
- *Self-Centering Output Quiescent Voltage
- *Low Distortion: 0.2% ($A_v=20$, $V_s=6V$, $R_L=8\Omega$, $P_o=125mW$, $f=1kHz$)

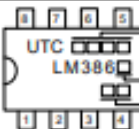
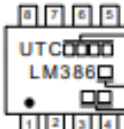
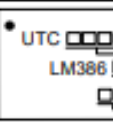
■ ORDERING INFORMATION

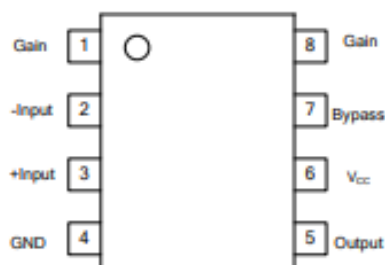
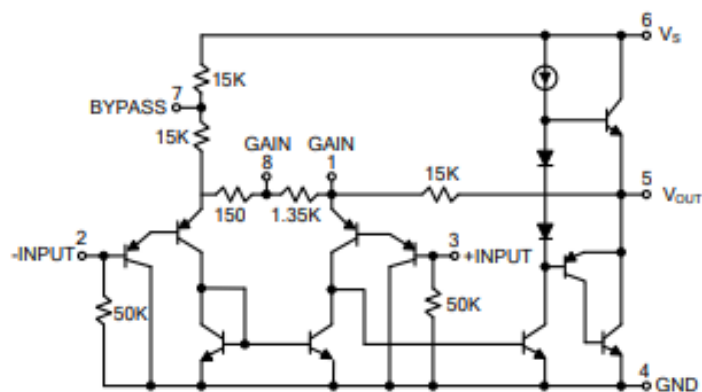
Ordering Number		Package	Packing
Lead Free	Halogen Free		
LM386L-D08-T	LM386G-D08-T	DIP-8	Tube
LM386L-S08-R	LM386G-S08-R	SOP-8	Tape Reel
LM386L-P08-R	LM386G-P08-R	TSSOP-8	Tape Reel

(1) Packing Type	(1) T: Tube, R: Tape Reel
(2) Package Type	(2) D08: DIP-8, S08: SOP-8, P08: TSSOP-8
(3) Green Package	(3) G: Halogen Free and Lead Free, L: Lead Free



LM386**LINEAR INTEGRATED CIRCUIT****MARKING**

PACKAGE	MARKING
DIP-8	 UTC  → Date Code LM386  → L: Lead Free  → G: Halogen Free  → Lot Code
SOP-8	 UTC  → Date Code LM386  → L: Lead Free  → G: Halogen Free  → Lot Code
TSSOP-8	 UTC  → Date Code LM386  → L: Lead Free  → G: Halogen Free  → Lot Code

PIN CONFIGURATION**BLOCK DIAGRAM**

LM386

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

■ ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER		SYMBOL	RATINGS	UNIT
Supply Voltage		V_{CC}	15	V
Input Voltage		V_{IN}	-0.4V ~ +0.4V	V
Power Dissipation	DIP-8	P_D	1250	mW
	SOP-8		600	mW
	TSSOP-8		600	mW
Junction Temperature		T_J	+125	°C
Operating Temperature		T_{OPR}	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature		T_{STG}	-40 ~ +150	°C

Note:1. Absolute maximum ratings are stress ratings only and functional device operation is not implied. The device could be damaged beyond Absolute maximum ratings.

■ ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A=25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified.)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Operating Supply Voltage	V_S		4		12	V
Quiescent Current	I_Q	$V_S=6\text{V}$, $V_{IN}=0$		4	8	mA
Output Power	P_{OUT}	$V_S=6\text{V}$, $R_L=8\Omega$, THD=10%	250	325		mW
		$V_S=9\text{V}$, $R_L=8\Omega$, THD=10%	500	700		
Voltage Gain	G_V	$V_S=6\text{V}$, $f=1\text{kHz}$		26		dB
		10 μF from pin 1 to pin 8		46		
Bandwidth	BW	$V_S=6\text{V}$, Pin1 and pin 8 open		300		kHz
Total Harmonic Distortion	THD	$P_{OUT}=125\text{mW}$, $V_S=6\text{V}$, $f=1\text{kHz}$ $R_L=8\Omega$ pin1 and pin 8 open		0.2		%
Rejection Ratio	RR	$V_S=6\text{V}$, $f=1\text{kHz}$, $C_{BYPASS}=10\mu\text{F}$ pin1 and pin 8 open, Referred to output		50		dB
Input Resistance	R_{IN}			50		k Ω
Input Bias Current	I_{BIAS}	$V_S=6\text{V}$ Pin2 and pin 3 open		250		nA

EK-3 LM2596 DC-DC Regulator Datasheet**LM2596 DC-DC Adjustable PSU Module**

LM2596 DC to DC step down regulator, adjustable +1.23 to 35vdc output, 2A. Ideal for battery operated projects requiring a regulated powersupply.

Specifications

Regulator Type:	Step Down (Non Isolated input to Output)
Input Voltage:	+4 to 40vdc
Output Voltage:	+1.23 to 35vdc
Output Current:	2A rated, (3A maximum with heatsink)
Efficiency:	Up to 92% (when output voltage is set high)
Switching Frequency:	150kHz
Dropout Voltage:	2vdc minimum
Protection:	Short circuit current limiting
Load Regulation:	+/- 0.5%
Voltage Regulation:	+/- 2.5%
Temperature:	-40 to +85 deg C (output power less than 10Watts)
Board Size:	43.6mm L x 21mm W x 14mm H

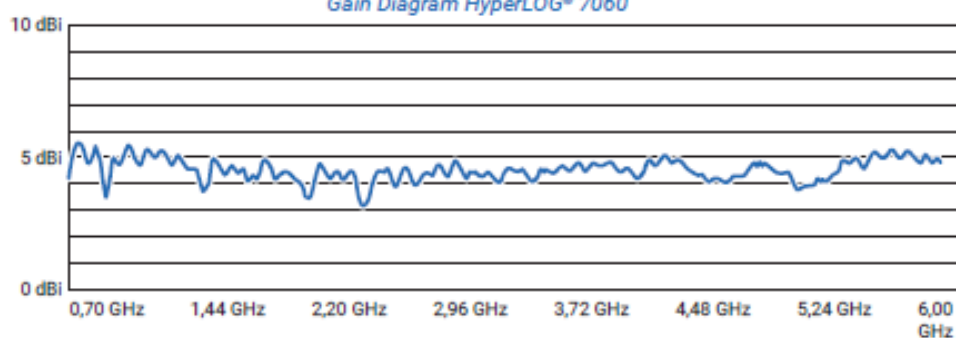
EK-4 HyperLOG 7060 Log-Periyodik Anten Datasheet

Specifications

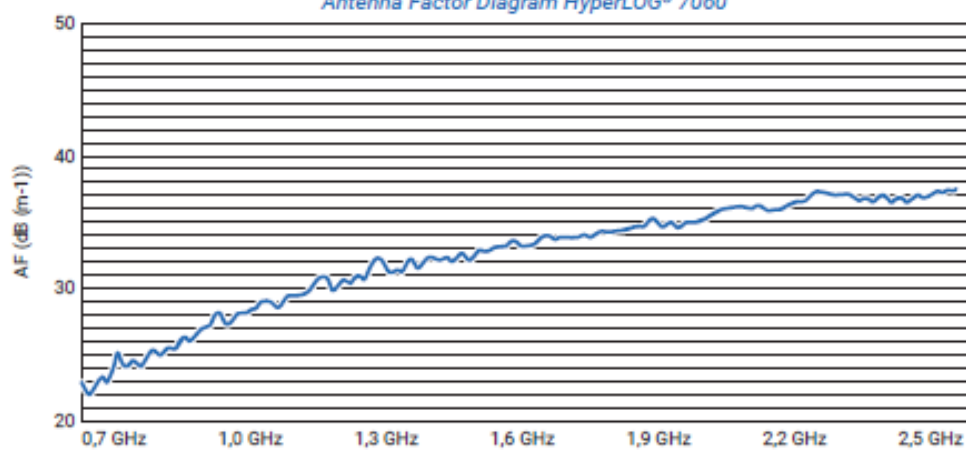
HyperLOG® 7060

Dimensions [L x W x D]	340 x 200 x 25 mm	Nominal Impedance	50 Ohm
Weight	250 g	Calibration Points	533 (10 MHz steps)
Design	Log-periodical	VSWR (typ.)	< 1:2
Gain (typ.)	5 dBi	Max. Transmission Power	100 W CW (400 MHz)
RF Connection	SMA (f) or N with adapter (see optional adapter)	Antenna Factor	26 – 41 dB/m
Frequency Range	700 MHz – 6 GHz	Warranty	2 years

Gain Diagram HyperLOG® 7060



Antenna Factor Diagram HyperLOG® 7060



Recommended Accessories

Aluminum Tripod

Height adjustable, high stability. Recommended for use with HyperLOG® antennas.

Max. height: 105 cm.

Order/Art.-No.: 281



Multifunctional Pistol Grip

(strongly recommended)

Highly recommended for our HyperLOG® antennas. Quick and easy antenna polarization change, guarantees perfectly stable antenna handling.

Order/Art.-No.: 282



1 m / 5 m / 10 m SMA Cable

High-quality special SMA cable, connecting test equipment to any HyperLOG® antenna. Customers can choose between three different cables:

- 1 m standard SMA cable (RG316U)
 - 5 m low-loss SMA cable (especially low damping)
 - 10 m low-loss SMA cable (especially low damping)
- All versions: SMA plug (male) / SMA plug (male)

Order/Art.-No.: 771 (1 m), 772 (5 m), 773 (10 m)



SMA to N Adapter

This special high-quality adapter allows for operating all HyperLOG® antennas with any standard spectrum analyzer equipped with an N connector. This adapter can be used with very high frequencies. Measuring just 30 x 20 mm in size, its nominal impedance is 50 Ohm. Layout: SMA socket (female) / N plug (male).

Order/Art.-No.: 770

