

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**X-BAND UYGULAMALARI İÇİN DİELEKTRİK REZONATÖRLÜ
OSİLATÖR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Oğuzhan KIZILBEY

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı : Elektronik Mühendisliği

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**X-BAND UYGULAMALARI İÇİN DİELEKTRİK REZONATÖRLÜ
OSİLATÖR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Oğuzhan KIZILBEY

504051232

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman PALAMUTÇUOĞULLARI (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. B. Sıddık YARMAN (İÜ)

Yrd. Doç. Dr. Metin YAZGI (İTÜ)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Değerli bilgilerinden ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Osman PALAMUTÇUOĞULLARI'na ve bütün hayatım boyunca bana destek olan, sevgisini benden hiç esirgemeyen aileme sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2008

Oğuzhan KIZILBEY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Yüksek Frekans Elektronik ve Radyolink Sistemleri Hakkında	1
1.1.1 Bazı Yüksek Frekans Elektronik Bilgileri.....	2
1.1.2 Niçin Sayısal Radyo ?	3
1.1.3 Sayısal Kodlama	4
1.1.4 Radyolink Tanım ve Özellikleri	4
1.1.5 Sayısal ve Analog Radyoların Farklı Özellikleri.....	7
1.2 Rezonatörler ve Osilatörler	10
1.2.1 Dielektrik Rezonatör ve DRO	11
1.2.2 YIG Rezonatör ve Osilatör	11
1.2.3 Kuartz Rezonatör	12
1.2.4 RLC Rezonatör.....	14
1.3 RF Osilatörleri	15
1.4 Amaç ve İzlenecek Yol	16
2. DİELEKTRİK REZONATÖR	17
2.1 Genel Özellikleri	17
2.2 Q Değer Katsayısı	18
2.3 Rezonans Frekansı İçin İnce Ayar Tekniği.....	19
3. YÜKSEK ELEKTRON HAREKET YETENEKLİ TRANSİSTÖRLER	21
3.1 Genel Tanıtım	21
3.2 Cihaz Eşdeğer Devresi	21
3.3 Fujitsu FHX13LG	21
4. MİKRODALGA OFİS TASARIM YAZILIMI	24
4.1 Genel Tanıtımı	24
4.2 Mikrodalga Ofis ile Basit İşlemler	24
5. TASARIM	28
5.1 Amaca Uygun Elemanların ve Cihazların Seçimi	28
5.2 Adım Adım Tasarım	32
5.3 Benzetim Aşaması	36
6. SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	43
EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	51

KISALTMALAR

AlGaAs	: Aluminium Gallium Arsenide
BER	: Bit Error Rate
BJT	: Bipolar Junction Transistor
CAD	: Computer Aided Design
dBc	: Decibel relative to the carrier power
dBm	: Decibel referenced to 1 milliwatt
DC	: Direct Current
DR	: Dielectric Resonator
DRO	: Dielectric Resonator Oscillator
FEC	: Forward Error Correction
FET	: Field Effect Transistor
GaAs	: Gallium Arsenide
HBT	: Heterojunction Bipolar Transistor
HEMT	: High Electron Mobility Transistor
ITU	: International Telecommunication Union
JFET	: Junction Gate Field Effect Transistor
MESFET	: Metal Epitaxial Semiconductor Field Effect Transistor
PDH	: Plesiochronous Digital Hierarchy
RF	: Radio Frequency
SAW	: Surface Acoustic Wave
SMA	: Sub Miniature version A
TAFICS	: Turkish Armed Forces Integrated Communication System
UHF	: Ultra High Frequency
VCO	: Voltage Controlled Oscillator
VHF	: Very High Frequency
YIG	: Yttrium Iron Garnet
YTO	: YIG Tuned Oscillator

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1	Frekans Spektrumu.....3
Çizelge 1.2	IEEE Frekans Spektrumu.....3
Çizelge 1.3	Rezonatörler ve Bazı Özellikleri.....10
Çizelge 3.1	HEMT Küçük İşaret Eşdeğer Devresi Sembol Tanımlamaları.....22
Çizelge 3.2	FHX13LG 'nin Bazı Karakteristik Değerleri.....23
Çizelge 5.1	Taban Malzemesi Parametreleri.....30
Çizelge 5.2	FHX13LG s-parametreleri.....31
Çizelge 5.3	Kararlılık Çarpanı.....35
Çizelge 5.4	Benzetim Sonuçları.....38

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Analog İşaretin Sayısala Çevrilmesi.....	4
Şekil 1.2	Örnek Haberleşme Senaryoları.....	5
Şekil 1.3	Radyo Terminal Yapısı.....	6
Şekil 1.4	Radyo Tekrarlayıcı Yapısı.....	6
Şekil 1.5	Radyo Terminal Bileşenleri.....	6
Şekil 1.6	Analog Radyo ve Gürültü Etkisi.....	8
Şekil 1.7	Sayısal Radyo, Gürültü ve BER.....	8
Şekil 1.8	Analog/Sayısal RL Performanslarının Karşılaştırılması.....	9
Şekil 1.9	Çeşitli Sayısal Modülasyon Türlerinin P(e) Performans Eğrileri.....	9
Şekil 1.10	YIG Rezonatör.....	12
Şekil 1.11	YIG Osilatör Girişleri.....	12
Şekil 1.12	Çeşitli Kristal Osilatör Görünümleri.....	13
Şekil 1.13	Kristal Osilatör Eşdeğer Devresi.....	13
Şekil 1.14	Seri RLC Rezonatör.....	14
Şekil 1.15	Paralel RLC Rezonatör.....	14
Şekil 2.1	Dielektrik Rezonatör Şekilleri.....	18
Şekil 2.2	Çeşitli Dielektrik Rezonatörler.....	19
Şekil 2.3	Dielektrik Rezonatör için Mekanik Akort Uygulaması.....	20
Şekil 3.1	HEMT Küçük İşaret Eşdeğer Devresi.....	22
Şekil 4.1	Proje Penceresi ve Açıklamalar.....	25
Şekil 4.2	Dosya Menüsü ve Açıklamalar.....	26
Şekil 4.3	Yeni Şematik.....	26
Şekil 4.4	Şematik için Elemanlar ve Sistemler.....	27
Şekil 5.1	Tasarım Tedarikçileri.....	28
Şekil 5.2	Spektrum Analizör.....	29
Şekil 5.3	Güç Kaynağı.....	29
Şekil 5.4	Test Şeması.....	30
Şekil 5.5	Taban Malzemesi Parametreleri.....	31
Şekil 5.6	Seri Geribeslemeli DRO İlkesel Gösterilimi.....	32
Şekil 5.7	Osilatör Öbek Gösterilimi.....	33
Şekil 5.8	Kararlı Haldeki FHX13LG.....	34
Şekil 5.9	Kararsız Hale Dönüştürülmüş FHX13LG.....	34
Şekil 5.10	Dielektrik Rezonatör Modeli ve Pasif Devre.....	36
Şekil 5.11	Aktif Devre Bölümü.....	37
Şekil 5.12	Çıkış Bölümü.....	37
Şekil 5.13	Baskı Devre.....	38
Şekil 5.14	DRO Devre Şeması.....	39
Şekil 5.15	Devre Kartı.....	40
Şekil 6.1	Spektrum Analizörde Osilasyon Görüntüsü.....	41
Şekil 6.2	Spektrum Analizörde Evre Gürültüsü Ölçümü.....	42

X BAND UYGULAMALARI İÇİN DİELEKTRİK REZONATÖRLÜ OSİLATÖR

ÖZET

Dielektrik rezonatörlü osilatörler günümüzde harp elektroniğinde, radar sistemlerinde, izleme sistemlerinde ve çeşitli haberleşme sistemlerinde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bu ürünler hem ticari hem de askeri sektörlerde yerlerini almış, binlerce dolar mertebesine varabilen ticari değer taşıyan ürünlerdir. Dielektrik rezonatörlü osilatörler, rezonatörün yüksek değer katsayısı nedeniyle ortaya çıkan düşük faz gürültüleri, küçük hacimleri, sıcaklığa karşı frekans kararlılıkları, diğer devreler ile kolay bütünleşebilmeleri, basit yapıları ve dayanıklılıkları nedeniyle tercih edilmektedirler. Osilatör devresinde; bir dielektrik rezonatör, aktif eleman olarak yüksek elektron hareket yetenekli transistör ve çeşitli pasif devre elemanları kullanılmıştır. Gerçekleme konusunda öngörülerini artırabilmek amacıyla, yüksek frekans uygulamalarında başarılı sonuçlar üretebilen bir yazılım olan Mikrodalga Ofis kullanılmıştır. Mikrodalga Ofis; şematik özelliği ile elektromanyetik yapıları, yazılımın gelişmiş model desteği ile tasarlanmasına ve devre kartlarının hazırlanmasına olanak sağlayan bir tasarım programıdır. Bu doğrultuda; 7.7 GHz mertebesinde çalışabilen, seri geri beslemeli yapıda bir dielektrik rezonatörlü osilatör tasarlanmıştır. Tez raporu altı bölüm halinde yazılmıştır. Birinci bölüm, tasarlanan osilatörün kullanılacağı cihaz olan radyolink sistemlerinin, temel yüksek frekans ilkelerinin, çeşitli rezonatör ve osilatör yapılarının tanıtıldığı bölümdür. İkinci bölümde osilatörün temel bileşeni olan dielektrik rezonatörün özellikleri irdelenmiştir. Üçüncü bölümde osilatörün aktif bileşeni olan yüksek elektron hareket yetenekli transistör yapısının özellikleri verilmiştir. Dördüncü bölümde yüksek frekans tasarım ortamlarından biri olan Mikrodalga Ofis programı tanıtılmıştır. Beşinci bölümde osilatör tasarımı adım adım açıklanmış ve son bölümde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Ek bölümlerde kullanılan elemanların katalog bilgilerine yer verilmiştir.

DR OSCILLATOR FOR X-BAND APPLICATIONS

SUMMARY

Dielectric Resonator Oscillators are used widely today's electronic warfare systems, missile, radar and communication systems. They find use both in military and commercial applications. The DROs are characterized by low phase noise because of high quality factor of dielectric resonator, compact size, frequency stability with temperature, ease integration with other hybrid MIC circuitries, simple construction and the ability to with stand harsh environments. These characteristics make DROs a natural choice both for fundamental oscillators and as the source for oscillators that are phase-locked to reference frequencies, such as crystal oscillators. Oscillator circuit includes one dielectric resonator and an high electron mobility transistor as active element and several passive elements. To achieve implementation of DRO successfully, design software which can produce very successful results named Microwave Office has been used. Microwave Office software enables you to design circuits composed of schematics and electromagnetic (EM) structures from an extensive electrical model database, and then generate layout representations of these designs. By this way, a DRO which has process frequency 7.7 GHz with series feedback will be designed. Thesis report has been written in six parts. In first part, radio link systems and basic high frequency principles have been introduced to reader. In second part, the main component of oscillator that is dielectric resonator has been introduced and advantages over the other resonators have been revealed. In part three, we will have a look at the active element of the oscillator that is high electron mobility transistor and its counterparts. In part four, high frequency design platform Microwave Office that used for design of DRO, has been introduced. In following part the DRO will be designed step by step and in last part results explained. Also datasheets of active element and resonator added to the end of the report.

1. GİRİŞ

1.1 Yüksek Frekans Elektronik ve Radyolink Sistemleri Hakkında

Radyolink; kablosuz ortamda elektromanyetik alan yardımı ile ses, görüntü ve bilgi işaretlerinin taşınması diye kısaca açıklanılabilen bir sistemdir. İletim ortamı, tanımdan da anlaşılacağı üzere havadır. A merkezinden B merkezine taşınacak olan sinyalin, optik görüş imkanı olan antenlerce elektromanyetik alanda alıcı, verici olarak taşınması prensibine dayanmaktadır. Ülkemizde uzak mesafe haberleşmesinde radyolink sistemlerine kadar sadece çıplak havai hatlar kullanıldı. Türkiye, 1954 yılında NATO'ya girmesiyle, NATO alt yapı yatırımlarından yararlanma imkanına da sahip oldu. Bu yolla bazı transmisyon sistemleri, havai hat kuranportör sistemleri sağlandı. İlk radyolink sistemi İzmir (Yamanlar) ile Yunanistan arasında 1959 yılında çalışmaya başladı. Büyük radyolink sistemi, Kuzey Radyolink Şebekesi isimli bir projenin geliştirilmesiyle 1958 yılında Türkiye'ye geldi ve 1961 yılında işletmeye açıldı. Daha sonra bunu başka radyolink cihazları izledi. Böylece, 20- 30 metre aralıklarla dikili direkler üzerinde kurulu havai hatlarla sağlanan haberleşme, daha sonra ucuz, güvenli, kaliteli, doğanın olumsuz şartlarından etkilenmeyen radyolinkler üzerinden sağlanmaya başlandı [1]. Radyolinkler, özellikle coğrafi koşulların zorlu olduğu yerlerde, ilçe merkezlerinin bağlantısında, fiber optik sistemin yedeklenmesinde ve hücreli iletişimde yoğun merkezlerde kullanılmaktadır. Omurga yapısında, şehir içi metropol ağ yapıda tüm iletim, fiber üzerinden gerçekleştirilmektedir. Şehirlerarasında; il ve ilçe merkezleri arasında ise hem radyo hem fiber optik ortam kullanılmaktadır. Kablolu sistemle karşılaştırıldığında ilk dikkat çeken özelliği, radyolinkin işletme sorununun olmamasıdır. 10 kilometreden 70, 80 kilometre mesafe güçlendiricilerle bu mesafe de artırılabilir - ile kurulması; bakım ve işletmesi açısından değerlendirildiğinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Öncelikle ucuz ve daha az insan gücüne ihtiyaç duyulmakta, uzaktan sistem denetlenebilmekte ki, o anlamda da ekonomik bir çözüm üretilmiş olmaktadır. Kırsal alanlarda ve düşük kapasiteli yerlerde fiber optik haberleşme şebekesinin işletme maliyeti ile yatırım maliyeti son derece yüksek olmaktadır. Yer altı kazı çalışması yapılması zorlu yerleşim yerlerinde kullanılan 5,

10 kilometrelik kablonun hem işletmesi zor, hem de o kablonun ve teçhizatın maliyeti; radyolink sistemin maliyetinden 4 ile 5 kat daha fazladır. Bu nedenle ana transmisyon planlamasında, bu tip yerlere; işletmeciliğini kolay yapmak, hızla tesis etmek amacıyla radyolink sistemi tercih edilmektedir. Türk Telekom'un yurt genelinde yaklaşık 335 radyolink istasyonu vardır. Bu istasyonlarda hem analog sistemler hem de sayısal sistemler çalışmaktadır. Toplam alıcı verici sayısı yaklaşık 11 bin 26 adet, bunun 7 bin 500 adedi sayısal sistemdir. Analog radyolink sistemler üzerinde trafik yok denecek kadar azdır. Yaklaşık olarak da 5 bin adet merkez radyolink sistemi ile çalışmaktadır. Ayrıca her geçen gün Türk Telekom, santrallerin sayısal yoldan radyolinkle irtibatını sağlamayı da hedeflemektedir [1].

1.1.1 Bazı Yüksek Frekans Elektroniği Bilgileri

Radyo Frekansı, kısaca RF, alternatif akımın; bir antene uygulandığında kablosuz haberleşmeye imkan verecek şekilde elektromanyetik alan oluşturabilen şekline verilen bir terimdir. Radyo frekansı, elektromanyetik spektrumun büyük bir kısmını kaplamaktadır. RF akımı bir antene uygulandığında, anten boşluğa yayılan bir elektromanyetik alan üretmektedir. Bu alan genellikle RF alanı olarak literatürde geçmektedir, fakat daha az teknik bir bakış açısıyla radyo dalgası olarak isimlendirilebilir. Her RF alanı, frekans ile ters orantılı olan bir dalga boyuna sahiptir. Denklem 1.1'de frekans ile dalga boyu arasındaki bağıntı verilmiştir.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

Bu bağıntıda c ışık hızını (yaklaşık $3 \cdot 10^{10}$ cm/s), f frekansı (1/s), λ ise dalga boyunu (cm) ifade etmektedir. Örnek bir hesaplama yapacak olursak, 300 kHz frekansındaki dalga, 1000 metre dalga boyuna sahip olacaktır. En yüksek frekanslardaki radyo dalgalarının dalga boyları milimetreler mertebesinde bulunmaktadır. Frekans RF spektrumundan daha da yüksek değerlere taşındığında, elektromanyetik dalga kızılötesi ışık, görünen ışık, mor ötesi ışık, X ışınları ve gama ışınları şekillerine girmektedir. Birçok kablosuz cihaz, RF alanlarını kullanmaktadır. Kablosuz ve GSM telefonlar, radyo ve televizyon yayın istasyonları, uydu haberleşme sistemleri ve çift yönlü radyolink sistemleri gibi sistemlerin hepsi RF spektrumunda çalışmaktadır. Tablo 1.1 ve Tablo 1.2 frekans bantlarının isimleri, kısaltmaları ve dalga boyları verilmiştir.

Çizelge 1.1: Frekans Spektrumu

Band İsmi	Kısaltma	ITU Band	Frekans , Dalga boyu
Mükemmel Düşük Frekans	ELF	1	3-30 Hz , 100000km-10000km
Süper Düşük Frekans	SLF	2	30-300 Hz , 10000km-1000km
Ultra Düşük Frekans	ULF	3	300-3000 Hz , 1000km-100km
Çok Düşük Frekans	VLF	4	3-30 kHz , 100km-10km
Düşük Frekans	LF	5	30-300 kHz , 10km-1km
Orta Frekans	MF	6	300-3000 kHz , 1km-100m
Yüksek Frekans	HF	7	3-30 MHz , 100m-10m
Çok Yüksek Frekans	VHF	8	30-300 MHz , 10m-1m
Ultra Yüksek Frekans	UHF	9	300-3000 MHz , 1m-100mm
Süper Yüksek Frekans	SHF	10	3-30 GHz , 100mm-10mm
Mükemmel Düşük Frekans	EHF	11	30-300 GHz , 10mm-1mm

Çizelge 1.2: IEEE Frekans Spektrumu

Band İsmi	Frekans Aralığı
HF	3 MHz - 30 MHz
VHF	30 MHz - 300 MHz
UHF	300MHz - 1000MHz
L	1GHz - 2 GHz
S	2GHz - 4GHz
C	4GHz - 8GHz
X	8GHz - 12GHz
Ku	12GHz - 18GHz
K	18GHz - 26GHz
Ka	26GHz - 40GHz
V	40GHz - 75GHz
W	75GHz - 111GHz

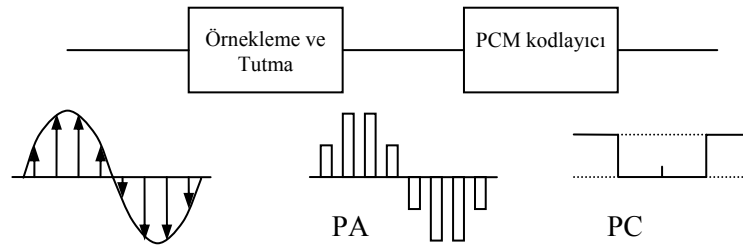
1.1.2 Niçin Sayısal Radyo?

20. yüzyılın son yıllarına kadar analog işaretlerin üretilmesi ve iletilmesi başlıca iletişim konularından biriydi. Fakat son yıllarda her türlü işaretin sayısal olarak üretilmesi, analog olarak üretilenlerin de kolayca sayısal hale getirilebilmeleri mümkün olmuştur. Sayısal işaretlerin sayısal ortamlardan taşınması ihtiyacı, çok çeşitli sayısal iletişim cihazının geliştirilmesine neden olmuştur. Tahminlere göre,

yakın gelecekte analog iletişimden tümüyle vazgeçilecektir. Sayısal radyoların ilk sunulduğu yıllarda analog sistemlere göre avantajları ve dezavantajları listelenir, avantajlarının daha fazla olduğu ispatlanmaya çalışılırdı. Oysa günümüzde dezavantajlarından neredeyse hiç bahsedilmemektedir. Teknolojinin ve üretimin sağladığı imkanlar ve yetenekler, sistemleri son derece güvenilir ve ucuz elde edilebilir hale getirmiştir [1].

1.1.3 Sayısal Kodlama

Analog ses işaretleri sayısal hale getirildikten sonra PCM (Pulse Code Modulation) biçiminde kodlanır. Bu kodlanmış işaretlerin birçoğu zaman paylaşımli olarak iletilebilir. Şekil 1.1 ' de analog işaretin, sayısal işarete çevrilmesi gösterilmiştir.

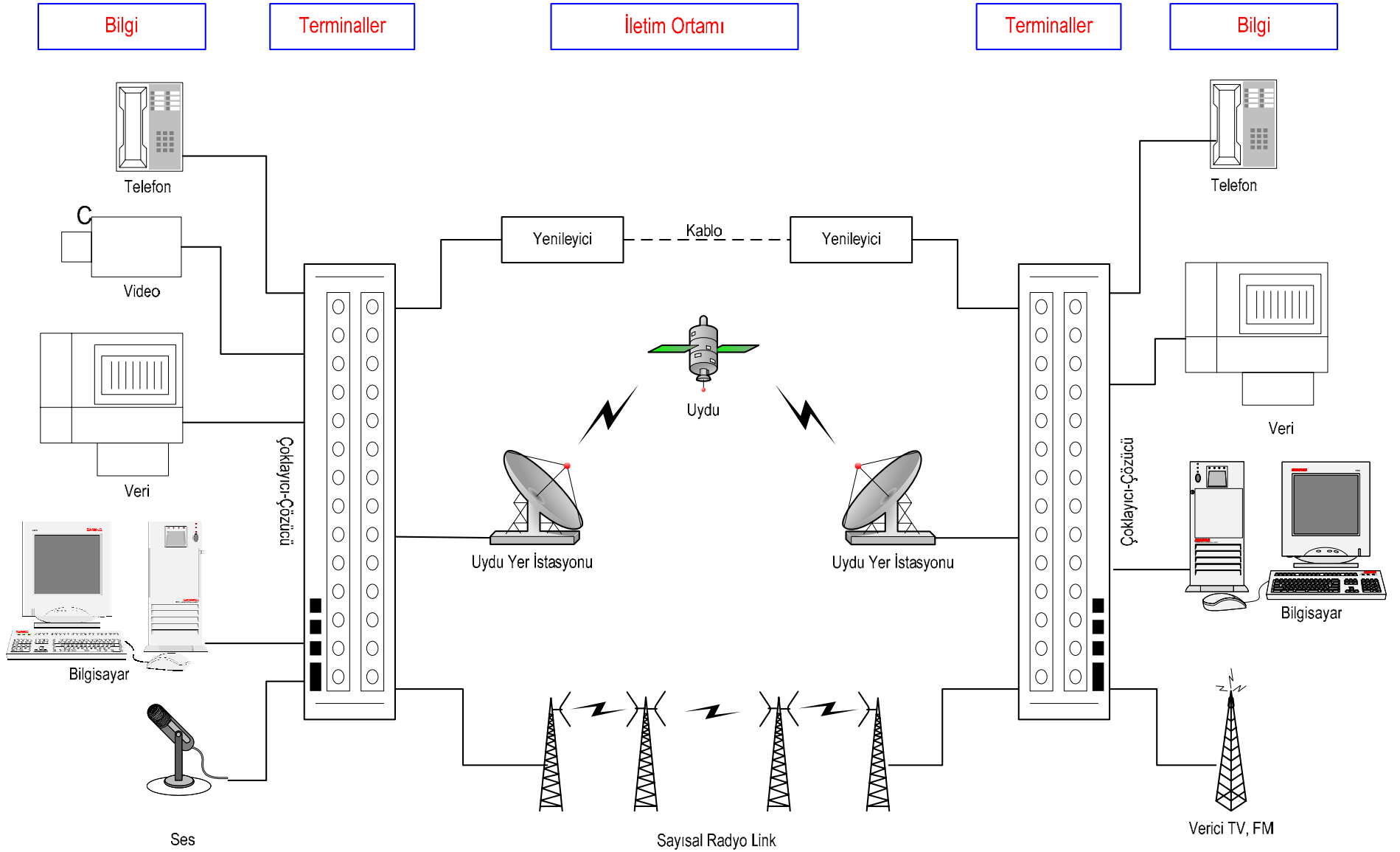


Şekil 1.1: Analog İşaretin Sayısala Çevrilmesi

Video işaretleri ve diğer her türlü analog işaretler sayısal iletme uygun hale getirilebilir. Ayrıca, değişik biçimdeki sayısal işaretlerin de uygun kodlama teknikleri kullanılarak aynı sayısal kanaldan birlikte iletilmeleri mümkündür. Sayısal iletişimin en büyük avantajlarından biri de hemen hemen tüm modern anahtarlama sistemlerinin (santral, router, veri işleme, depolama...) sayısal olmasıdır. Dolayısıyla, analogdan sayısala dönüşüme çoğunlukla ihtiyaç bile duyulmamaktadır. Sayısal işaretlerin en önemli özelliği yenilenebilir olmalarıdır. Sayısal işaretler, pratikte gürültüden etkilenmezler.

1.1.4 Radyolink Tanım ve Özellikleri

Şekil 1.2 ' de görülen haberleşme senaryolarının bir parçası olan radyolink sistemleri, genel olarak karşılıklı olarak trafik ileten iki terminalden meydana gelir. Şekil 1.3'te 2 terminalden oluşan bir radyolink hattı verilmiştir.



Şekil 1.2: Örnek Haberleşme Senaryoları

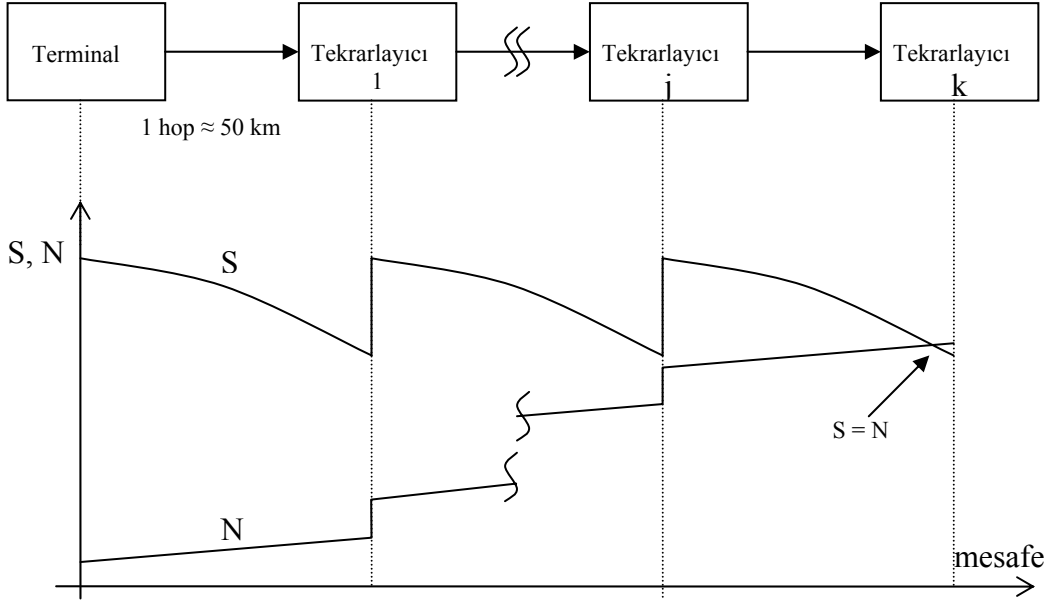
Ayrıca Şekil 1.5'te terminal alt bileşenlerinin birbirleriyle olan ilişkilerini göstermek açısından öbek şeması verilmiştir.

1.1.5 Sayısal ve Analog Radyoların Farklı Özellikleri

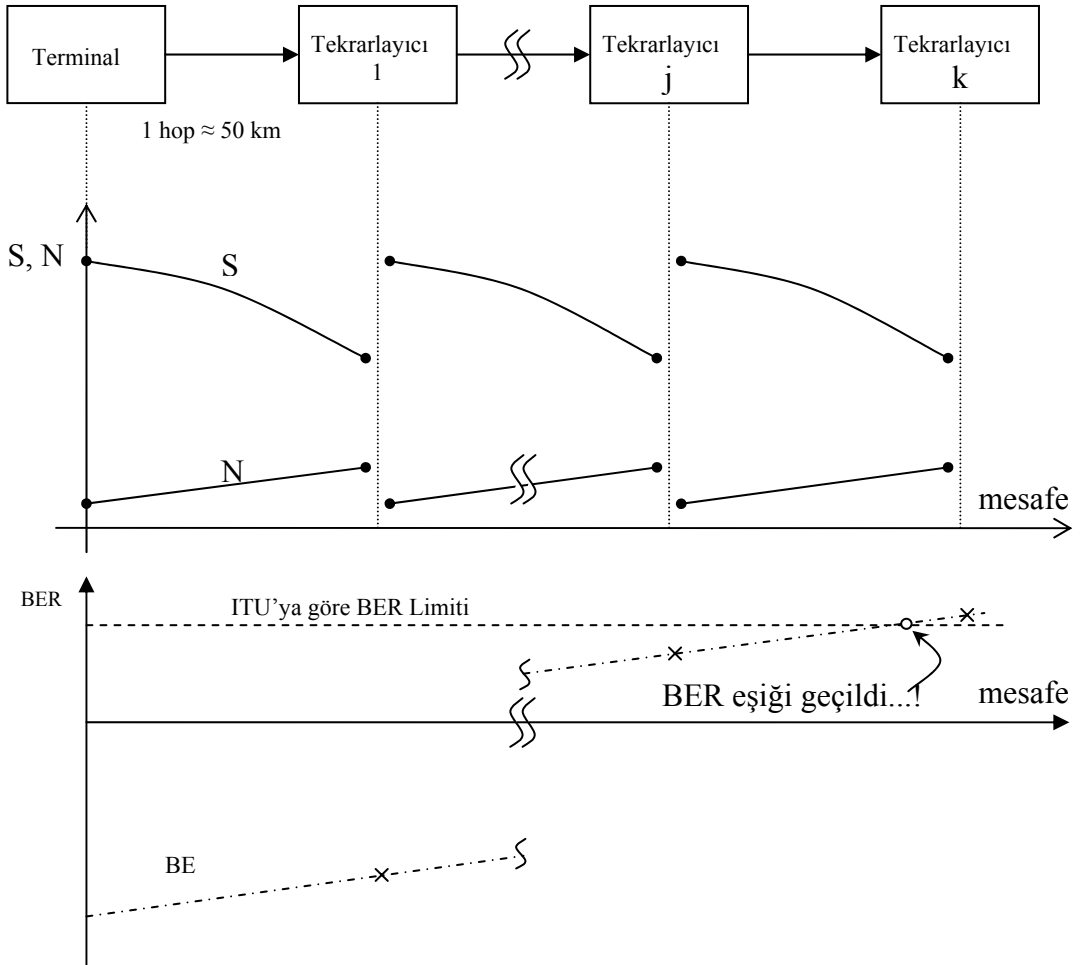
Çok atlamalı bir analog link Şekil 1.6 da verilmiştir. Aradaki her bir istasyon tekrarlayıcı adını alır. Tekrarlayıcı aldığı işareti yükseltir ve bir sonraki radyo alıcısına gönderir. Bu işlem sırasında alıcıdan gelen gürültü de yükseltilerek iletilir. Şekil 1.6 ' da görülen gürültü ve işaret seviyelerine dikkat edilirse, belirli bir atlamadan sonra, işaret seviyesi gürültü seviyesinin altında kalmaktadır. Bu demektir ki, işaret / gürültü oranı mesafe veya atlama sayısı ile orantılı olarak gittikçe kötüleşmektedir. Buna gürültünün toplamsal olarak artması özelliği adı verilir. İşaret / gürültü oranının belirli bir sayının altına düşmesi, işaretin düzgün olarak alınmasını engeller [1]. Sayısal radyolinklerde böyle bir probleme rastlanmaz, çünkü işaret kodlanarak karşı tarafa yollanmaktadır. Her bir ara istasyonda kod algılanarak çözülür, yeniden oluşturularak bir sonraki alıcıya iletilir. Bu sayede sayısal linklerde gürültünün toplamsal olarak artması söz konusu olmaz. Bununla birlikte, sayısal linklerde sayısal kodun algılanarak sayısal işaretin yenilenmesi sırasında bit hatası yani sayısal işarete 1 yerine 0, 0 yerine 1 gelmesi durumu oluşabilir. Oluşan hatalı bitler, sonraki alıcılara aynen iletilir. Link boyunca oluşacak her bir hata, uçtan uca toplanarak BER adını verdiğimiz bit hata hızını oluşturur. Analog radyodaki gürültü problemine karşılık, sayısal radyolarda BER problemi vardır. Ama, gerekli önlemler alınırsa, BER problem olmaktan çıkar. Bunlar:

- Daha yüksek çıkış gücü
- Daha yüksek kazançlı anten
- Daha iyi yenileme
- Uzay çeşitlemeli yapı
- FEC gibi hata düzelten kodlama teknikleri kullanmak.

Analog ve sayısal sistemleri karşılaştırırken, RF giriş seviyesi ile çıkış kalitesi arasında bir grafiksel ilişki oluşturabiliriz. Her iki sistem için de geçerli olan bu ifade, C/N oranı adıyla bilinir.

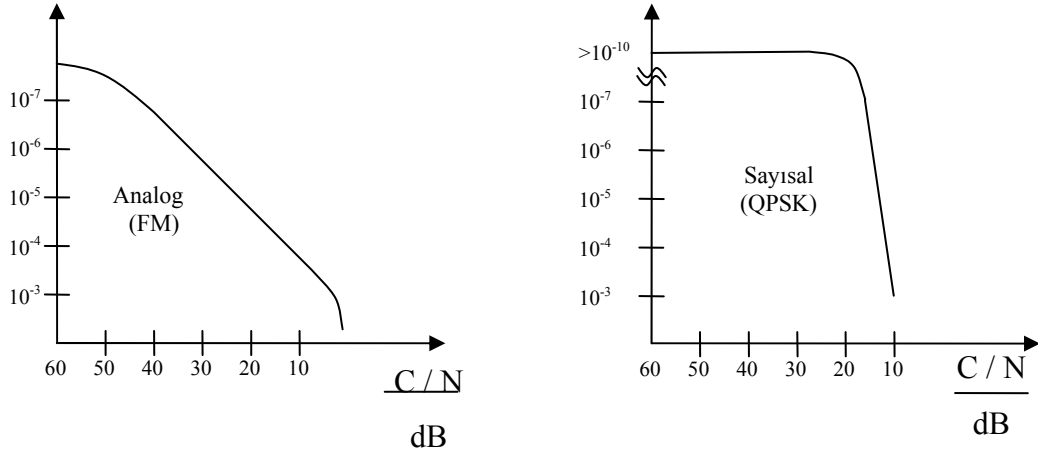


Şekil 1.6: Analog Radyo ve Gürültünün Etkisi



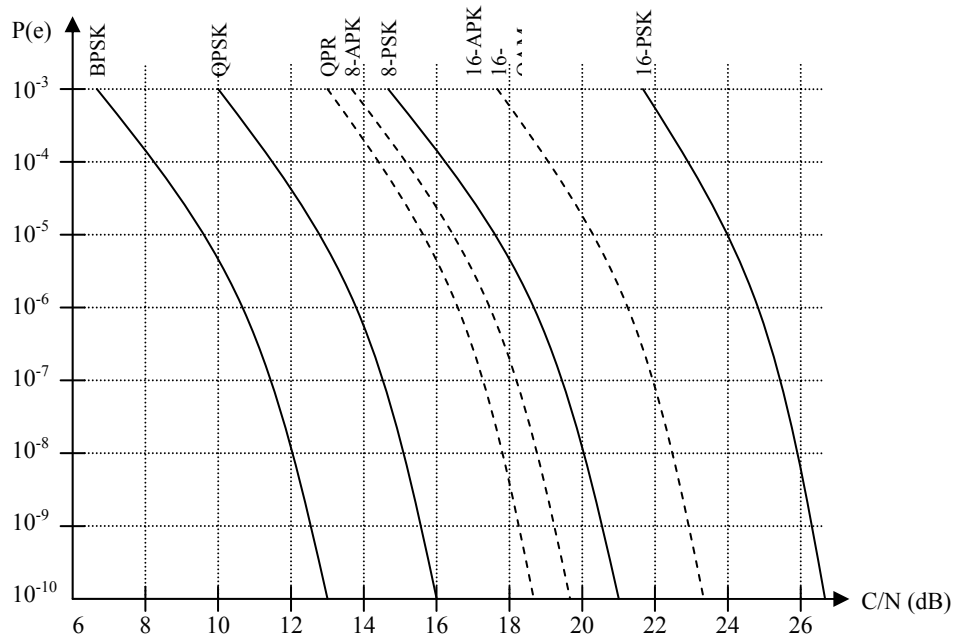
Şekil 1.7: Sayısal Radyo, Gürültü ve BER

Örneğin, Frekans Modülasyonlu analog sistemler için çıkış kalitesi işaret / gürültü ile tanımlanırken, BPSK gibi sayısal modülasyona sahip sayısal sistemler için kalite kriteri BER olmaktadır. Bu iki eğrinin grafik olarak gösterimi aşağıdaki Şekil 1.8’de verilmiştir.



Şekil 1.8: Analog / Sayısal Radyolink Performanslarının Karşılaştırılması

Şekil 1.8 ‘de de görüldüğü gibi, analog sistemde C/N 20 dB iken, sistem performansı oldukça kötüleşmiş durumdadır. Buna karşılık sayısal sistemde aynı C/N oranı, analog sistemdeki 60 dB C/N oranına denk performans sunmaktadır.



Şekil 1.9: Çeşitli Sayısal Modülasyon Türlerinin P(e) Performans Eğrileri

Burada P(e) “Hata Olasılığı”, APK “Amplitude Phase Keying” QAM ve türevi genliği ve evresi değişen modülasyon türleridir.

Özetle;

- Sayısal radyolar kodlanmış mesajları iletir.
- Kodlanmış mesajlar yenilenebilir.
- Gürültü etkisizdir.
- Sınırlayan faktör BER'dir.
- BER, C/N değişimlerinden az etkilenir.
- Sayısal radyo düşük güçlerde bile daha kaliteli bir iletişim sağlar.

Sayısal radyoların yukarıdan sayılan üstün özelliklerini daha da artırabilmek ve haberleşmeyi sorunsuz kılabilme için, mikrodalga taşıyıcısının oldukça kararlı olması ve evre gürültüsünün de olabildiğince düşük olması gibi faktörler önem kazanmaktadır. Bu nedenle radyolink sistemleri için kullanılacak osilatör yapılarında yüksek değer katsayısı nedeniyle düşük evre gürültüsüne sahip olan dielektrik rezonatörlü osilatörler tercih edilmektedir.

1.2 Rezonatörler ve Osilatörler

Rezonatörler, osilatör tasarımı için anahtar elemanlardır. Osilatör tasarımında kullanılan rezonatörün değer katsayısı, osilatörün evre gürültüsü performansını belirlemektedir. Tasarlanacak osilatörde hangi çeşit rezonatörün kullanılacağı, osilasyon frekansı ile bağlantılı olabilmektedir. Tablo 1.3' te çeşitli rezonatörlerin birbirleri ile çeşitli faktörlerde karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 1.3: Rezonatörler ve Bazı Özellikleri

Rezonatör	Q Aralığı	Frekans Aralığı	Kısıtlamalar	Faydalar
RLC	0.5 - 200	10Hz - 100GHz	Q	Fiyat
Varaktör	0.5 - 100	10Hz - 100GHz	Q	Ayarlı
Stripline	100 - 1000	1MHz - 100GHz	Boyut	Fiyat, Q
Dalga Kılavuzu	1000 - 10000	1 - 600GHz	Fiyat, Boyut	Q
YIG	1000	1 - 50GHz	Fiyat, Mıknatıs	Q, Ayarlı
TL	200 - 1500	500MHz - 3GHz	Fiyat	Q, Isıl kararlı
DR	5000 - 30000	1 - 30GHz	Fiyat, Boyut	Q, Isıl kararlı
Quartz	100k-2.5M	1kHz - 500MHz	Frekans	Q, Isıl kararlı
SAW	500k	1MHz - 2 GHz	Fiyat, Frekans	Q

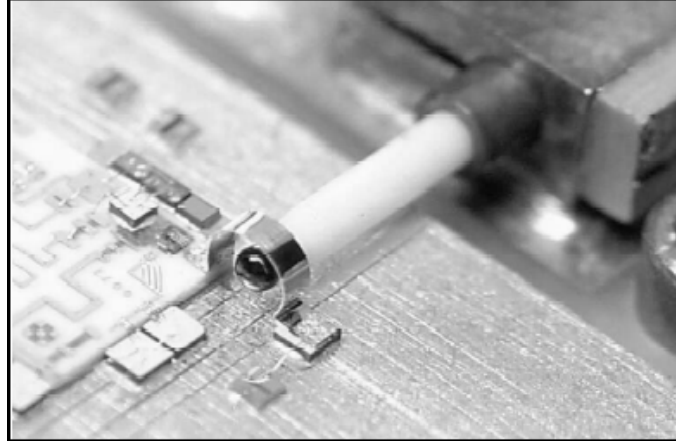
1.2.1 Dielektrik Rezonatör ve DRO

Mikrodalga osilatörlerinde önceleri, osilasyon frekansını kontrol etmek amacıyla boşluk rezonatörleri kullanılmaktaydı. Rezonatör boyutlarının, rezonans frekansındaki dalga boyu ile belirlenmesi nedeniyle, düşük tutulması oldukça zordu. Bunların yerine kullanılan mikroşerit rezonatörleri ise boyutları küçültmekle beraber rezonatörün yüksek haldeki Q_0 değer katsayısının değerini de önemli ölçüde düşürmekteydi. Bu nedenle bu yapıların yerine, oldukça kararlı dielektrik materyallerin üretilmeye başlanmasından sonra dielektrik rezonatörler kullanılmıştır. Dielektrik rezonatör, yüksek dielektrik sabitli ve genellikle disk şeklinde bir seramiktir. Bu seramik içerisinde oluşturulan elektromanyetik dalgaların yansımaları sonucu bir elektrik birikimi meydana gelir ve yapı mikrodalga rezonatörü olarak çalışabilir. Konvansiyonel metal duvarlı rezonatörlerde olduğu gibi dielektrik rezonatörde de sonsuz sayıda mod oluşumu söz konusudur. Dielektrik rezonatör, ilk yaklaşımda manyetik duvar kavramıyla açıklanabilmektedir. Manyetik duvar; elektrik alanının normal bileşeni ile, manyetik alanın teğetsel bileşeninin 0 olduğu ($E_n = H_t = 0$) sınır yüzeyidir. Kabaca bir yaklaşımla yüksek dielektrik sabitli materyal ile havanın temas ettiği yüzeyi böyle bir manyetik duvar ile modellemek mümkündür. (Açık devre) Pratikte, rezonatör içerisindeki alanların bir kısmı dışarı sızar ve rezonatörün yakın civarında üstel olarak azalır. Bu olay mod indisi olan δ ile tanımlanır. Bu durumu da hesaba katarak model daha da geliştirilebilir. Daha ileri seviyedeki modellerde, dielektrik tutucular akort vidaları, mikroşerit taban malzemesi gibi diğer faktörlerde hesaba katılır.

1.2.2 YIG Rezonatör ve Osilatör

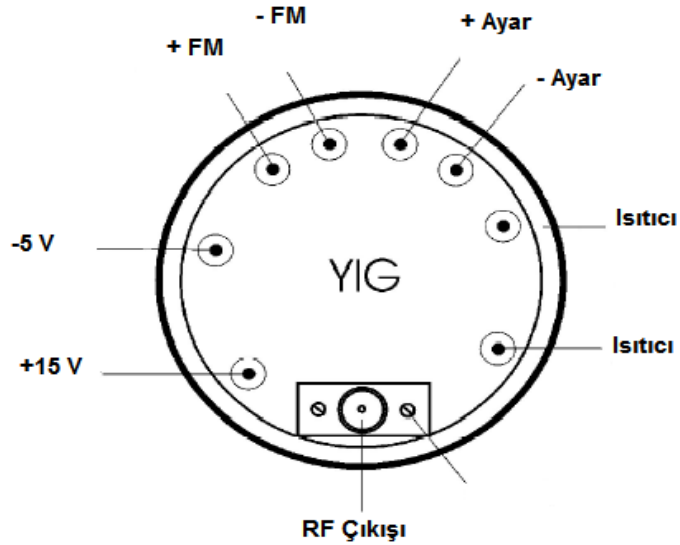
YIG (Yttrium Iron Garnet) osilatörleri yakın geçmişe kadar büyük üreticilerin çok profesyonel uygulamalar için geliştirdiği ve ürettiği bir eleman olarak bulunmaktaydı. Bu nedenle YIG osilatörler kullanım alanı olarak gerektiği kadar genişleyememiştir. Fakat günümüzde bu yapıların fiyatların aşağı çekilmesiyle birlikte büyük ve küçük ölçekte bir çok tasarım grubu bu yüksek kalitedeki osilatörleri kullanabilmeye başladı. Özellikle diğer osilatör türlerine göre daha uzun ömürlü olması dikkatleri bu yapının üstüne çekmektedir. YIG osilatörleri diğer osilatörlere göre en önemli avantajı yukarıda da belirtildiği gibi çok iyi işaret kalitesi yani evre gürültüsünün çok az olmasıdır. Buna bir de geniş bantlı olarak

çalışabilmesi özelliği de eklenebilir. Bu özellik onu özellikle ölçme uygulamaları için vazgeçilmez hale getirmektedir. Şekil 1.10'da YIG osilatörün temel elemanı



Şekil 1.10 : YIG Rezonatör

olan YIG rezonatör görülmektedir. YIG rezonatörü; ayarlama bobinlerinin oluşturduğu manyetik alandan etkilenerek, uygun frekansta osilasyon yapmayı sağlamaktadır. Şekil 1.11'de ise YIG osilatörün temel bağlantı şekilleri verilmiştir.

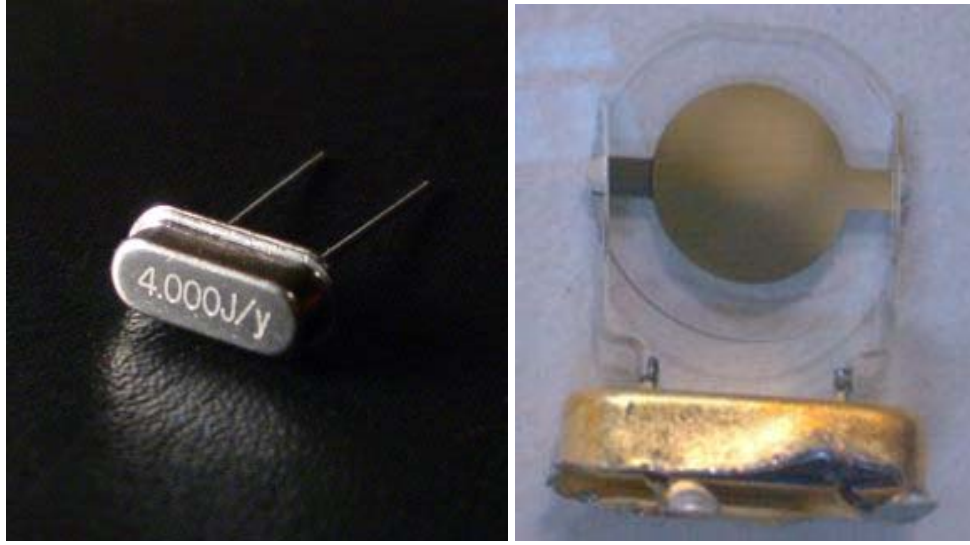


Şekil 1.11 : YIG Osilatör Girişleri

1.2.3 Kuartz Rezonatör

Kristal osilatör, yüksek doğruluğa sahip bir elektriksel işaret üretebilmek için titreşen piezoelektrik malzeme kristalinin mekanik rezonansını kullanan bir elektriksel devre olarak tanımlanabilir. Bu yüksek doğruluklu frekansa sahip işaret genellikle sayısal devrelerdeki saat işaretlerinde ve radyo frekansı vericilerinde

frekansı stabilize etmek için kullanılabilir. Şekil 1.12’de çeşitli kristal osilatör görünümleri verilmiştir. Kuartz kristali; seri düşük empedanslı ve paralel yüksek

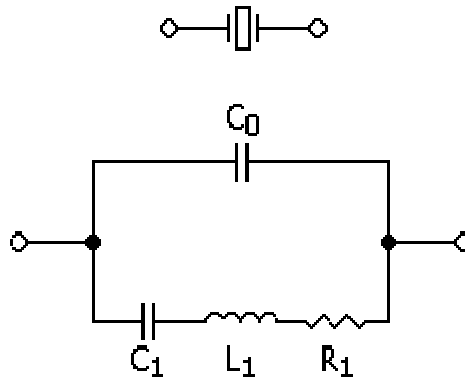


Şekil 1.12 : Çeşitli Kristal Osilatör Görünüşleri

empedanslı rezonans devrelerinin birbirine yakın olarak yerleştirilmesiyle oluşmuş bir elektriksel devre olarak modellenebilir. Kristalin matematiksel olarak empedans değeri s domeninde şu şekilde yazılabilir.

$$Z(s) = \frac{s^2 + s \frac{R_1}{L_1} + \omega_s^2}{s^2 + s \frac{R_1}{L_1} + \omega_p^2} \quad (1.2)$$

Bu eşitlikte; s kompleks frekans (jw), ω_s seri rezonans frekansı, ω_p ise paralel rezonans frekansı ifadelerine karşılık gelmektedir. Devre modeli Şekil 1.13 ‘ de gösterilmektedir.



Şekil 1.13 : Kristal Osilatör Eşdeğer Devresi

1.2.4 RLC Rezonatör

Ayrık elemanlı rezonatörler; alçak geçiren, yüksek geçiren veya bant geçiren filtrelere şekil verme amacıyla kullanılabilirler. Bu tip en basit rezonatörler RLC rezonatörleridir ve bir adet endüktans ve kapasite elemanlarından oluşurlar. Şekil 1.14 ve Şekil 1.15 'te seri ve paralel bağlanmış RLC rezonatörleri verilmiştir. Bu tip rezonatörler genellikle yüksek değer katsayısının gerekmediği osilatör yapılarında kullanılmaktadır. Osilatör gürültüsü ve jitteri Q^2 ile orantılı olduğu düşünülür ise yüksek gürültülü ve jitterli işaretler ile karşılaşılması olasıdır. 1.3 ve 1.4 bağıntıları seri ve paralel bağlı RLC rezonatörleri için değer katsayısı ifadeleridir.

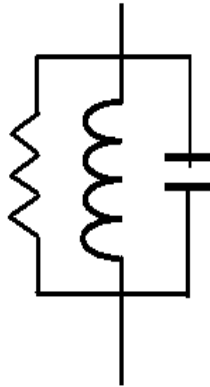
$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (1.3)$$

$$Q = \frac{R}{\omega L} \quad (1.4)$$



Şekil 1.14 : Seri RLC Rezonatör

Rezonans durumunda iletim evresi sıfırdır ve devre daha az kayıplıdır. Seri rezonatör işaret akışına engel olmakta iken, paralel devre işaret iletimine imkan vermektedir. Bu tip rezonatörlerde temel problem, istenilen değer katsayısı değerini elde edebilmektir.



Şekil 1.15 : Paralel RLC Rezonatör

Örneğin değer katsayısı olarak 50 değerini elde etmek istediğimizde 1 GHz frekansında seri olarak bağlanmış şu değerlerde L ve C değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$L = \frac{2.R.Q}{w} = \frac{2*50*50}{2\pi*1E9} = 795nH \quad C = \frac{\left(\frac{1}{2\pi*f}\right)^2}{L} = \frac{\left(\frac{1}{2\pi*1E9}\right)^2}{795E-9} = 0.03pF$$

Yapılan hesaplamalarda 795nH endüktans değeri ve 0.03pF kapasite değeri elde edilmiştir. Endüktans değeri fiziksel olarak elde edilebilir olmakla beraber, kapasite değeri sadece inter dijital kapasite olarak elde edilebilmektedir. Bu durum ek işlem yükü getirmektedir. Ayrıca sabit frekansta osilasyon yapma şartı da tasarımın diğer bir külfetli yanını oluşturmaktadır çünkü bu kadar küçük değerli varaktör fiziksel olarak elde etmek mümkün değildir. Bu durum iki elemandan daha fazlasını kullanarak geliştirilebilir.

1.3 RF Osilatörleri

Bir RF osilatörünün sahip olması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1 - Frekans kararlılığının iyi olması
- 2 - Kararlı çıkış gücü elde edilebilmesi
- 3 - Düşük evre gürültüsü
- 4 - Boyutların küçük olması
- 5 - Maliyetin düşük olması

Osilatörün elektrik özellikleri, boyutları ve maliyeti daha çok aktif devre tarafından belirlenir [2]. 1970'li yıllara kadar, silikon bipolar transistörlerin elektrik özellikleri en yüksek osilasyon frekansını (fmaks) 2GHz değerinde sınırlamaktaydı. Daha yüksek frekanslara çıkabilmek için frekans çoklayıcıların kullanımı zorunluydu. Rezonatör olarak dikdörtgen veya koaksiyel dalga kılavuzları kullanılıyordu. Bu ise osilatör boyutlarının oldukça büyük olmasına neden oluyordu. X bandının üzerindeki frekanslarda ise aktif devre olarak GUNN veya Impatt diyotları kullanılmaktaydı. Si bipolar transistör ve GaAs FET'lerdeki son gelişmeler X bandı üzerine çıkıldıkça, frekans çoklayıcıların kullanımını önemli ölçüde azaltmıştır. Buna ek olarak, osilasyon frekansını stabilize etmek amacıyla dielektrik rezonatör

kullanımı osilatör boyutlarını küçültmekle kalmamış performansı daha da iyileştirmiştir [2].

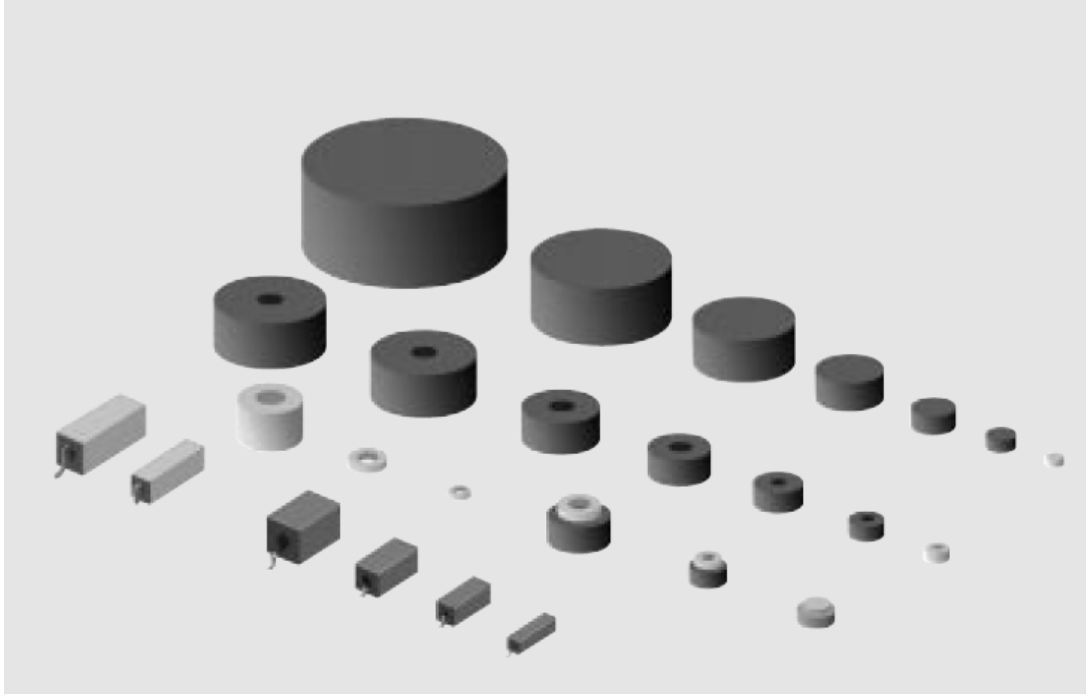
1.4 Amaç ve İzlenecek Yol

Radyolink sistemlerinde performansı artırmak amacıyla, kararlı ve düşük evre gürültülü bir osilatör ihtiyacı doğmuştur ve dielektrik rezonatörlü osilatör yukarıda anlatılan özellikler nedeniyle tercih edilmiş, tasarlanabilmesi için uygun elemanlar seçilmiştir. Ana elemanlar Murata firmasından dielektrik rezonatör, Fujitsu firması tarafından geliştirilmiş FHX13LG yüksek elektron hareket yetenekli transistordür. Yardımcı elemanlar olarak, çeşitli değerlerde kapasiteler ve devre çizim programlarıyla oluşturulan iletim hatları kullanılmıştır. Baskı devre ise TÜBİTAK UEKAE baskı devre merkezinde oluşturulmuştur. Tasarım TÜBİTAK UEKAE RF Sistemleri laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2. DİELEKTRİK REZONATÖR

2.1 Genel Özellikleri

Dielektrik rezonatör, genellikle mikrodalga bandında bulunan dar bir aralıkta rezonans özelliği gösteren bir elektronik elemandır. Rezonatörler mikrodalga haberleşme devrelerinin önemli bileşenlerindedir. Bu yapılar, elektrik alanı noktada toplanarak RF haberleşme araçlarında filtreler ile bağlantılarda, düşük gürültülü osilatörlerde, dipleksirlarda önemli faydalar sağlamaktadır. Günümüzde kablosuz haberleşmeye duyulan ihtiyacın artmasıyla birlikte, mikrodalga sistemlerini kullanan cihazların tasarımı da daha önem kazanmaktadır. Kablosuz haberleşmede kullanılan cihazlar sürekli daha küçük boyutlar ve daha yüksek kapasiteye doğru özellik kazanma eğilimindedirler. Aynı zamanda kullanılan frekans bantları da GHz'ler mertebesinde hızla ilerlemektedir. Bu tip rezonatörler mikrodalga devrelerinde yüksek değer katsayıları ve frekans kararlılıkları nedeniyle rağbet görmektedir. Değişik tasarıma sahip dielektrik rezonatörler, radar, radyolink gibi sistemlerde osilatör devrelerindeki frekansı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır [3]. Dielektrik sabiti yüksek bir malzemeden üretilmiş olan rezonatörler, diğer rezonatör yapılarına göre daha küçük yer kaplamaktadır. Bu da minyatürleşmenin daha da hızlanmasında yarar sağlamaktadır. Bu yapılar, boşluk rezonatörleri ile yarışabilecek değer katsayısına, yüksek güç seviyelerinde etkili lineerliğe, yüksek mekanik dayanıklılığa, düşük ısı duyarlılığına ve küçük boyutlara sahiptir. Mikrodalga bandında kullanılacak olan tipik bir dielektrik rezonatör dikdörtgenel veya silindirik forma sahiptir. Çeşitli dielektrik rezonatör şekilleri Şekil 2.1'de görülmektedir. Dielektrik rezonatör şekillerini içeren bu resim, Murata firmasının 2006 yılına ait ürün kataloğundan alınmıştır. Radyolink sistemlerinde kullanılan mikrodalga osilatörleri, özellikle anten kısmına yakın yerleştirilen dielektrik rezonatörlü osilatörler, ara frekans ile iletim frekansı arasındaki frekans değişimini gerçekleştirir. Haberleşme devrelerinde lokal osilatör işareti, cihazda kullanılan sayısal modülasyon planına uygun düşük evre gürültüsü sergilemelidir. İşaret ayrıca kabul edilebilir bir hata oranını sağlamalıdır. Bu nedendir ki dielektrik rezonatörlü



Şekil 2.1 : Dielektrik Rezonatör Şekilleri

osilatörler, radyo frekanslarında oldukça popülerdir. DRO'ların popülerliği yüksek değer katsayısı, düşük kayıplar ve küçük boyutlar gibi özellikleri ile sağlanmaktadır. Bir dielektrik rezonatörlü osilatörün çalışma frekansı ise, bu elemanın boyutlarıyla ve kullanıldığı konumun elektromanyetik özellikleri ile ilgilidir [4]. Bir dielektrik rezonatörün sahip olması gereken bazı elektriksel özellikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Yüksek Q_0 (yüksüz haldeki değer katsayısı) : Frekans kararlılığını iyileştirmek ve osilasyon frekansındaki kayıp gücü azaltmak için Q_0 değerinin yüksek olması gerekmektedir.
2. Yüksek bağıl dielektrik sabiti (ϵ_r) : ϵ_r ne kadar büyükse, dalga boyu ϵ_r ile ters orantılı olduğundan rezonatör boyutları o ölçüde küçülür.
3. τ_f ısı katsayısı: Sıcaklık değişiminin rezonans frekansında neden olduğu kaymayı gösteren bir sabittir. Osilatörün frekans kararlılığı τ_f 'in küçük olmasına bağlıdır. Bir rezonatör içinde rezonans frekansında eşit miktardaki elektrik ve manyetik enerji depolanır. Rezonans frekansında rezonatör empedansı saf reeldir. Çünkü reaktans rezonatörde biriken manyetik enerji ile elektrik enerji arasındaki fark ile orantılıdır.

2.2 Q Değer Katsayısı

Bir rezonatörde, rezonatörün elektromanyetik enerji depolama kapasitesi ve ısı yoluyla enerji kaybı arasındaki ilişkiyi belirleyen faktöre, Q değer katsayısı adı



Şekil 2.2 : Çeşitli Dielektrik Rezonatörler

verilir. Değer katsayısı; bir periyot boyunca rezonatörde biriken maksimum enerji miktarının, bir periyot boyunca ortalama kayıp olan enerjiye oranının $2.\pi$ ile çarpılması sonucunda elde edilebilir. İlgili bağıntı denklem 2.1’de verilmiştir.

$$Q = 2.\pi \frac{W_t}{P_k.T} = \frac{W_t.\omega_0}{P_k} \quad (2.1)$$

W_t : Rezonatörde biriken toplam enerji

P_k : Kayıp güç

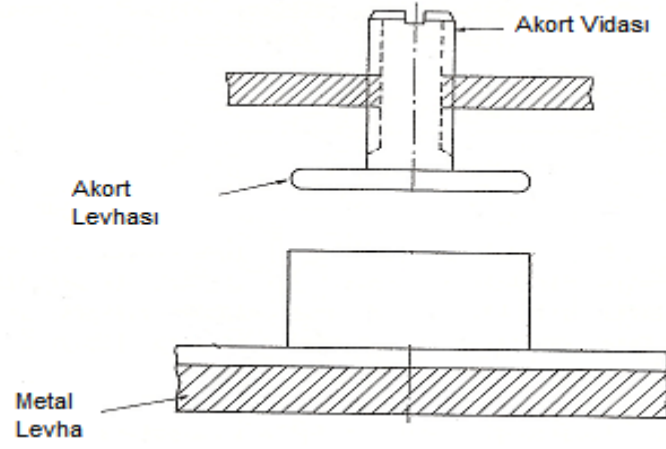
T : Periyot = $2 \pi / \omega_0$

ω_0 : Açısal rezonans frekansı

2.3 Rezonans Frekansı İçin İnce Ayar Tekniği

Her dielektrik rezonatörün üretim aşamasında belirlenen bir çalışma aralığı vardır. Örneğin 7.5 GHz ile 8 GHz arasında çalışabilen bir dielektrik rezonatör ile tasarım yapılacağı düşünülür ise; bu rezonatörün tam olarak hangi frekansta rezonansa gireceğini tasarımcı belirlemek zorundadır. Bu işlem, osilatör kartının içine yerleştirileceği mekanik parçanın üst kısmına bir akort vidası kısmı eklenmesi ile mümkün olabilir. Bu vida tam dielektrik rezonatörün üstüne gelmelidir. Vida yukarı

aşağı hareket ettirilerek, rezonatörün davranışı spektrum analizörde incelenmeli ve uygun frekansta kilitlemesi sağlanmalıdır [1].



Şekil 2.3 : Dielektrik Rezonatör için Mekanik Akort Uygulaması

3. YÜKSEK ELEKTRON HAREKET YETENEKLİ TRANSİSTÖRLER

3.1 Genel Tanıtım

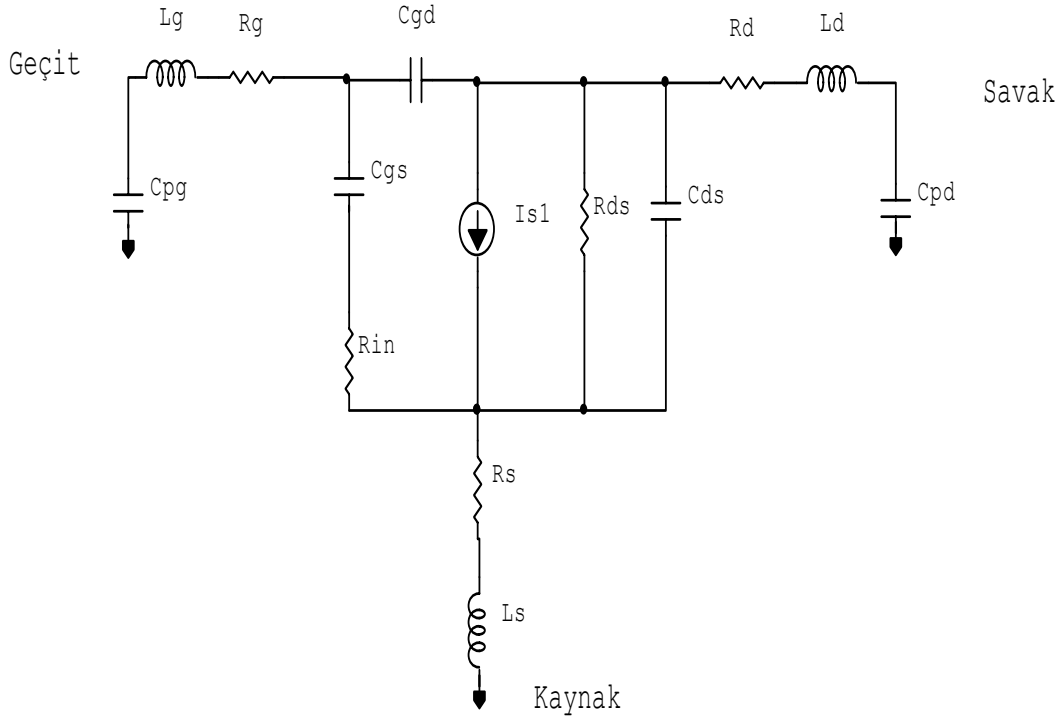
Yüksek Elektron Hareket Yetenekli Transistör (HEMT), bir çeşit alan etkili transistördür (FET) ve günümüzde mikrodalga frekanslarında yüksek performans sağlamak için kullanılmaktadır. HEMT elemanının geliştirilmesi uzun yıllar almıştır ve bu transistör basit FET yapıları ortaya çıktıktan çok daha sonra piyasada kullanılabilir hale gelmiştir. HEMT cihazları 1969 yılında keşfedilmelerine rağmen 1980’li yıllarda ilk prototip meydana çıkarılmış ve 1980’li yıllar boyunca bu cihazlar kullanılmaya başlanmıştır. Fakat fiyatlarının çok yüksek mertebelerde olması nedeniyle, kullanım miktarı sınırlı kalmıştır. Artık günümüzde fiyatları makul seviyelere gerilediği için yüksek elektron hareket yetenekli transistörler daha yaygın biçimde kullanılmaktadırlar.

3.2 Cihaz Eşdeğer Devresi

HEMT cihazlarının anahtar elemanı, özelleşmiş bir tür pn jonksiyonudur. Bu özel jonksiyon, heterojonksiyon olarak bilinmektedir ve her iki tarafında da farklı yarıiletken malzemeler kullanılan bir jonksiyon içermektedir. Bu yarıiletken malzemelerin en çok kullanılanları alüminyum galyum arsenit (AlGaAs) ve galyum arsenittir (GaAs). Galyum arsenit malzemesinin silikona göre tercih edilmesinin nedeni, çok daha yüksek elektron hareket yeteneği sağlayabilmesidir ve bu özellik HEMT cihazının aslına uygun çalışabilmesi için vazgeçilmez bir özelliktir. Silikon malzeme daha düşük düzeyde elektron hareket yeteneği sağlayabilmektedir ve bu nedenle HEMT yapılarda kullanılmamaktadır. HEMT cihazlarında kullanılacak birçok yapı mevcuttur fakat hemen hemen hepsinde aynı üretim metodu geçerlidir. HEMT elemanının küçük işaret eşdeğer devresi Şekil 3.1 ‘ te verilmiştir. Şekil 3.1 ‘ teki eleman isimlerinin karşılıkları Tablo 3.1 ‘ te verilmiştir [9].

3.3 Fujitsu FHX13LG

FHX13LG model adı ile üretilmiş olan yüksek elektron hareket yetenekli transistör, yüksek kazanç verebilen, 12 GHz de yaklaşık 13dB, 200um kapı genişliğine ve



Şekil 3.1 : HEMT Küçük İşaret Eşdeğer Devresi

Çizelge 3.1: HEMT Küçük İşaret Eşdeğer Devresi Sembol Tanımlamaları

gm	Geçiş İletkenliği	Ls	Kaynak Endüktansı
Cgs	Geçit-Kaynak Kapasitesi	Rg	Geçit Direnci
Cgd	Geçit-Savak Kapasitesi	Lg	Geçit Endüktansı
Cds	Savak-Kaynak Kapasitesi	Rd	Savak Direnci
Rin	Giriş Direnci	Ld	Savak Endüktansı
Rds	Çıkış Direnci	Cpg	Geçit Terminal Kapasitesi
Rs	Kaynak Direnci	Cpd	Savak Terminal Kapasitesi
Is1	$gm \cdot \exp(-j\omega\tau)$		

0.15µm kapı uzunluğuna sahip olan bir aktif elemandır. Terminallerinin altın ile kaplanması, iletkenlik ve dayanıklılık bakımından tasarımcıya güven vermektedir. Çok düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımında 2 ile 18 GHz arasında çalışabilmektedir. Tasarlanan osilatörün 7.7 GHz de çalışacağı göz önüne alındığında, kararlılık çarpanının 1 değerinden küçük olması gerekmektedir. Elemanın $V_{DS}=2$ Volt ve $I_{DS}=10$ mA çalışma koşulları altında kararlı olması yani kararlılık çarpanının 1 den büyük olması nedeniyle, kaynak ucuna sonlandırılmış bir iletim hattı bağlanmıştır. Bu durumda kararsız hale dönüştürülen transistör, osilatör tasarımı için uygun hale gelmiştir. Elemanın çalışma koşulları ve bazı değerler

Tablo 3.3'te verilmiştir. Daha ayrıntılı bilgiye sahip olmak için EK bölümünde verilen katalog bilgilerinden yararlanılabilir.

Çizelge 3.2: FHX13LG'nin Bazı Karakteristik Değerleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Savak - Kaynak Gerilimi	V_{DS}	3.5	V
Geçit - Kaynak Gerilimi	V_{GS}	-3.0	V
Toplam Güç Harcaması	P_t	180	mW
Depolama Sıcaklığı	T_{stg}	-65 - +175	°C
Kanal Sıcaklığı	T_{ch}	175	°C

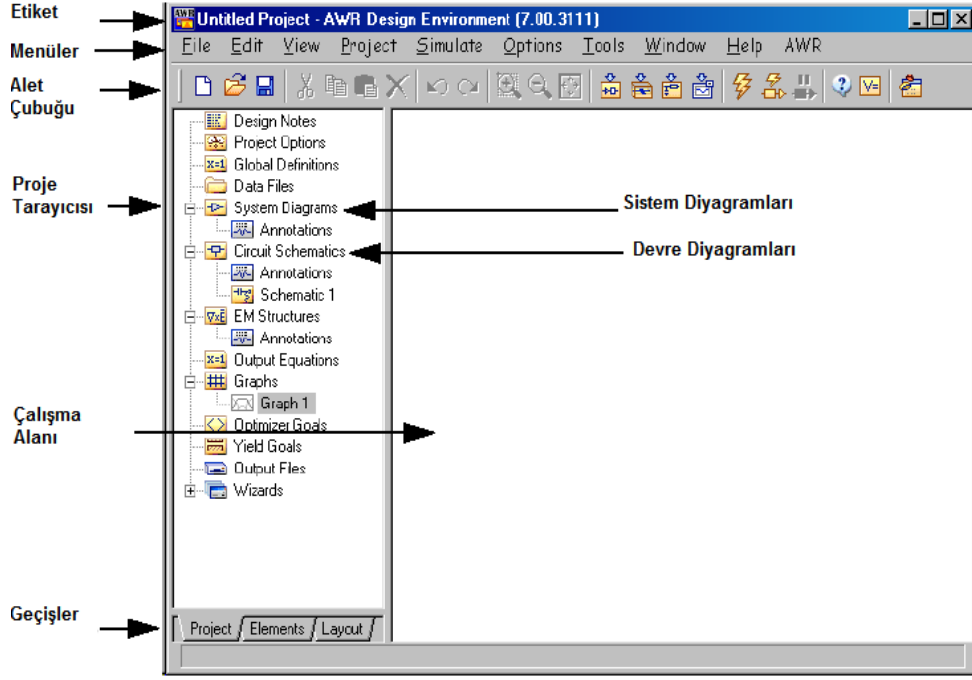
4. MİKRODALGA OFİS TASARIM YAZILIMI

4.1 Genel Tanıtım

Mikrodalga Ofis; şematik özelliği ile elektromanyetik yapıları gelişmiş model desteği ile tasarlamaya ve devre kartlarının hazırlanmasına olanak sağlayan bir tasarım programıdır. Hedeflenen osilatör devresinin gerçekleşmesi konusunda öngörülerini artırabilmek amacıyla, yüksek frekans uygulamalarında başarılı sonuçlar üretebilen bir yazılım olan Mikrodalga Ofis kullanılmıştır. Mikrodalga Ofis benzetim programının motorlarından birini kullanarak, doğrusal simülasyon, gelişmiş harmonik ayarlı simülasyon, 3 boyutlu elektromanyetik simülasyon, devrelere ve sistemlere özgü bir öngörü sağlanabilir. Bu tasarımın başarısını artıran bir faktördür. Tasarımı ince ayar ve eniyileme işlemleri ile istenilen seviyeye getirmeye çalışan ve yapılan bu değişiklikleri otomatik olarak yerleşim şemasına geçiren ve yarattığı etkiyi benzetimde gösterebilen Mikrodalga Ofis, yüksek frekans tasarım dünyasında önemli bir yer tutmaktadır [6].

4.2 Mikrodalga Ofis ile Basit İşlemler

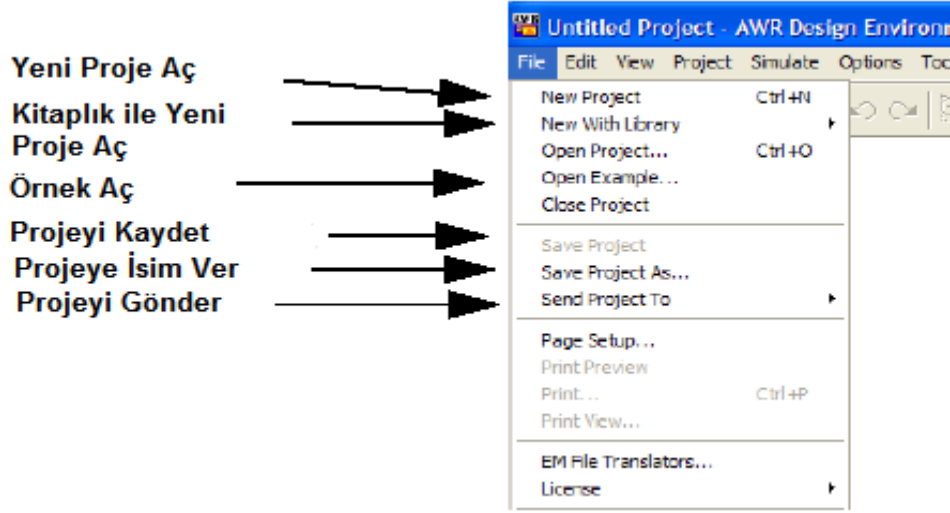
Mikrodalga Ofis tasarım ortamı paketi; tasarım pencereleri, tasarım elemanları, seçimli menüler ve doğrusal veya doğrusal olmayan elemanlardan oluşan şematik oluşturma araçları içerir. Bu doğrultuda program, benzetimler gerçekleştirerek, sonuçları grafik olarak veya tablo olarak görüntüleyebilir. Mikrodalga Ofis tasarım programının temel unsurlarının açıklaması ilerleyen bölümde verilmiştir. Şekil 4.1 'de açılan ana proje penceresi ve bileşenleri görülmektedir. Menü bölümü, tasarım penceresinin üst kısmında yer alan menüler kümesini barındıran bölüm olarak ifade edilebilir. Bunlar File, Edit, View gibi komutları içerir. Araç Çubuğu bir butonlar dizisidir ve yeni şematik yaratma, benzetim başlatma, parametrelere ince ayar uygulama gibi sık kullanılan komutların yer aldığı bölümdür. Proje Tarayıcısı, tasarım penceresinin sol kısmında yer alan bölümdedir ve çalışmakta olan projenin bütün verileri ve elemanları bu kısımda bulunmaktadır. Maddeler ağaç bağlantıları ile sıralanmıştır. Eleman tarayıcısı geçişler kısmından geçilebilen bölüm olup; kapasiteler, transistörler, rezonatörler



Şekil 4.1 : Proje Penceresi ve Açıklamalar

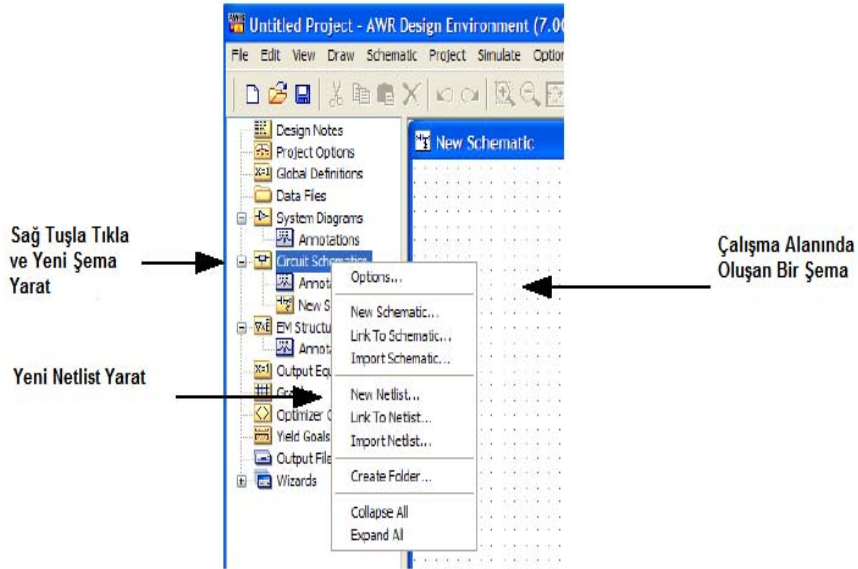
gibi birçok devre elemanlarını; filtreler, çeviriciler, kuvvetlendiriciler gibi sistem öbeklerini barındırır ve bunları benzetimlerde kullanmamıza olanak sağlar. Çalışma Alanı ise tasarım şemalarının, diyagramların ve grafiklerin yer alabileceği bölümdür. Aşağı yukarı çubukları ile çeşitli yönlere hareket edilebilir veya şema daha yakından izlenebilir. Geçişler bir geçiş kümesi olan bölümdür ve tasarım penceresinin sol kısmında yer almaktadır. Proje, eleman tarayıcısı ve layout geçişleri bu bölümde bulunmaktadır. Bir projeyi oluşturmak ve benzetim gerçekleştirebilmek için ilk adım yazılımın File menüsünden yeni proje başlatmaktır. Bu yeni proje seçeneği bize tasarım elemanlarını yerleştirebileceğimiz bir çalışma ortamı sağlayacaktır. Program, oluşturduğumuz bu proje tasarımını düzenlemek ve yönetmek için, bu tasarıya dahil her şeyi içeren bir ağaç yapısı oluşturacaktır. Oluşturulan proje birden çok doğrusal olan veya olmayan benzetim, elektromanyetik yapılar, sistem öbekleri, evrensel parametre değerleri, içeri aktarılmış dosyalar ve çeşitli grafikleri içerebilir. İlgili örnek görüntü Şekil 4.2 'de verilmiştir. Mikrodalga Ofis programı çalıştırıldığında, sabit olarak isimlendirilmemiş bir proje yüklenmektedir. Sadece bir proje aynı anda aktif olarak çalışabilmektedir. Aktif olan projenin ismi ana tasarım penceresinin en üst kısmında yazmaktadır. Bir projeyi başlattıktan sonra, tasarım yaratılabilir hale gelmektedir. Tasarımı analiz edebilmek için çeşitli benzetimler proje üstünde uygulanabilir ve bu benzetimlerin sonuçları grafiksel olarak

gözlenebilir. Daha sonra parametreleri ince ayar tekniği ile ayarlamak, istenilen sonuca ulaşabilmek açısından yararlı olmaktadır. Yeni bir proje başlatmak



Şekil 4.2 : Dosya Menüsü ve Açıklamalar

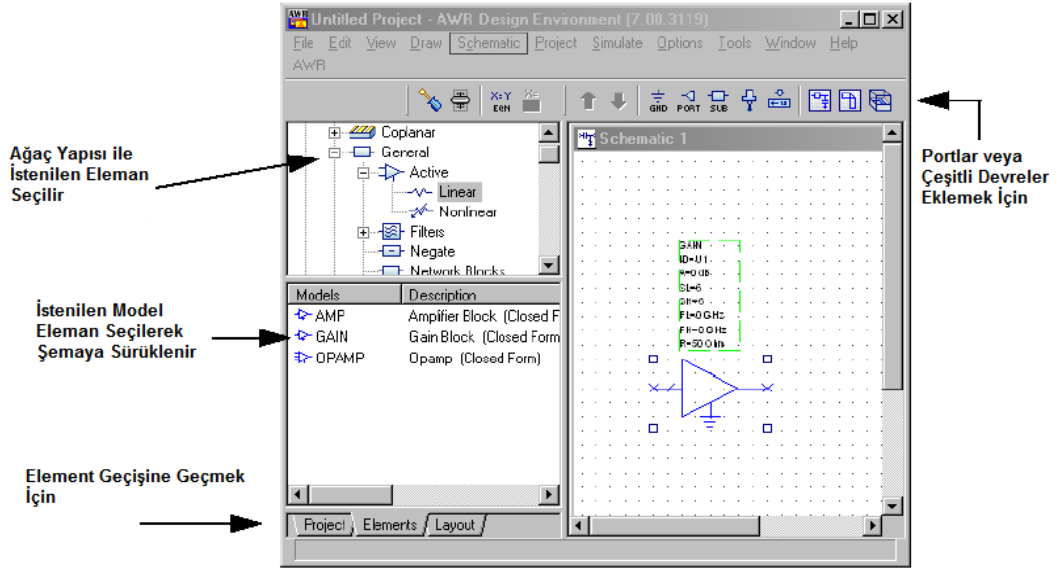
için File menüsünden “New Project” sekmesi seçilir. Daha sonra bu projeyi yeniden isimlendirmek için yine aynı menüden “Save Project As” sekmesi çalıştırılmalıdır.



Şekil 4.3 : Yeni Şematik

Varolan bir projeyi açıp tekrar işlemek veya gözlemek için ise; yine aynı menüden “Open Project” sekmesi seçilir. Bir proje kayıt edildiğinde, o proje ile ilgili her şey otomatik olarak kaydedilir. Mikrodalga Ofis, oluşturulan projeleri emp uzantılı dosya olarak kayıt etmektedir. Şema, bir elektriksel devrenin grafiksel görünümü

iken; netlist ise devrenin yazı tabanlı ifade şeklidir. Bir Mikrodalga Ofis projesi doğrusal olan veya olmayan birçok devre şeması veya netlist içerebilir. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi şematik veya netlist oluşturabilmek için "Circuit Schematic" seçeneği sağ tuşla tıklanarak "New Netlist" veya "New Schematic" seçeneği seçilmelidir.



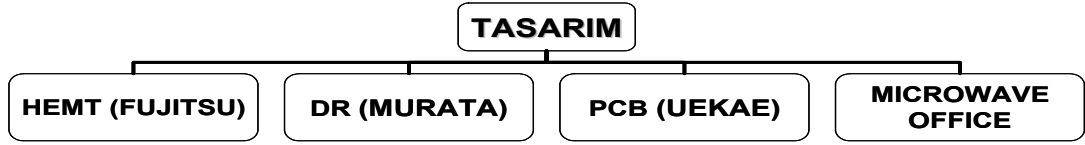
Şekil 4.4 : Şematik için Elemanlar ve Sistemler

Şekil 4.4'te gösterilen eleman tarayıcısı bölümü, hiyerarşik olarak gruplanmış devre elemanlarına, sistem öbeklerine ulaşımı sağlamaktadır. Eleman tarayıcısındaki XML kitaplığı ise birçok üreticinin elemanlarının elektriksel modellerini ve s parametrelerini sağlamaktadır. Devre elemanları modeller, kaynaklar, portlar, ölçüm aletleri, bilgi kitaplıkları ve model kitaplıkları içermektedir ve bunlar doğrusal veya doğrusal olmayan benzetimlerde kullanılmak üzere devre şemasına yerleştirilebilmektedir.

5. TASARIM

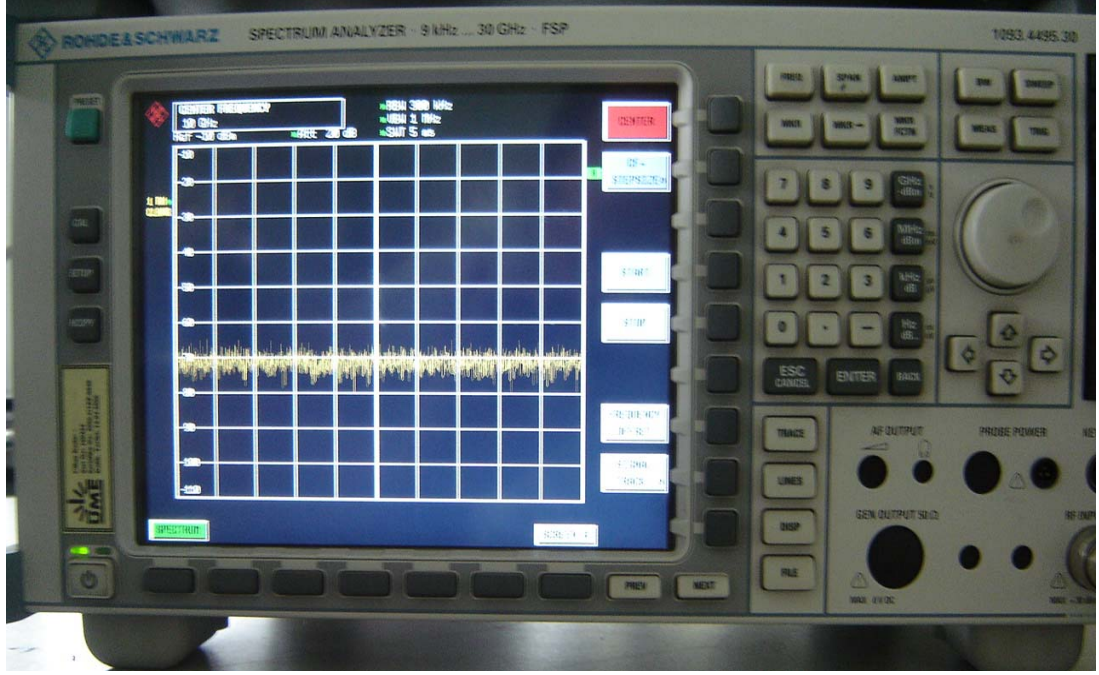
5.1 Amaca Uygun Elemanların ve Cihazların Seçimi

Bu çalışmada, TÜBİTAK UEKAE bünyesinde tasarlanan radyolink sistemlerinin dış ünitesinde kullanılmak üzere bir dielektrik rezonatörlü osilatör tasarlanacaktır. Osilatörün merkez frekansının 7.7 GHz mertebesinde olması ve evre gürültüsünün mümkün mertebe düşük olması beklenmektedir. Tasarlanacak osilatörün temel elemanı olan dielektrik rezonatörün çalışabileceği frekans aralığı 7.5 GHz ile 8 GHz arasındadır. Bu aralıkta osilatörün kilitleneceği frekans osilatörün içine yerleştirileceği mekanik parçadaki ayar vidası ile veya x-y doğrultusunda konum kaydırarak ayarlanacaktır. Seçilen dielektrik rezonatörün yüksüz değer katsayısı 15000 değerindedir. Bu değer yüksek olması, tasarımın düşük evre gürültüsü gereğini sağlamak için gereklidir. Aktif eleman olarak, yüksek elektron hareket yetenekli transistör olan FHX13LG kullanılmıştır.



Şekil 5.1 : Tasarım Tedarikçileri

Hem kurum bünyesinde diğer projelerde de kullanılacak olması sebebiyle, hem de tasarım ihtiyaçlarına cevap verebilen kesim frekansı, düşük gürültü özelliği ve güvenilirliği artıran altın kaplama terminalleri nedeniyle belirtilen transistör seçilmiştir. Şekil 5.1’de tasarım için kullanılan ekipmanın tedarikçileri gösterilmiştir. Tasarım boyunca, Şekil 5.2’de gösterilen 9 kHz ile 30 GHz arasında çalışabilen Rohde&Schwarz Spektrum Analizör ile Şekil 5.3’de gösterilen Agilent E3610A DC güç kaynağı cihazları kullanılmıştır. Kullanılan ölçüm cihazlarının bağlantı Şekil 5.4’te verilmiştir. Rohde&Schwarz tasarımı olan FSP30 spektrum analizör 9 kHz ile 30 GHz arasında çalışabilmektedir. Çözünürlük band genişliği 1 Hz ile 10 MHz arasında değiştirilebilmektedir. Beklenen ölçüm hatası 0.5 dB mertebesinde, 30 dB’ye kadar elektronik zayıflatma yapabilmektedir.



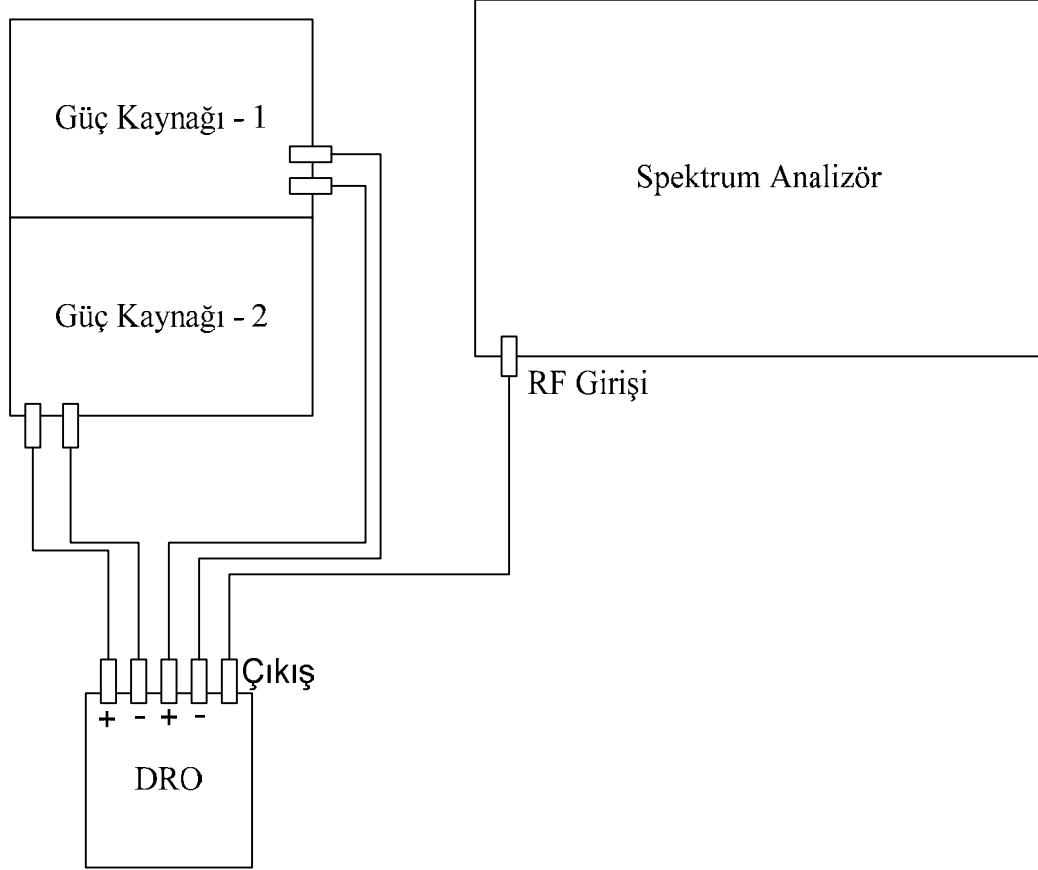
Şekil 5.2 : Spektrum Analizör

Cihazın güvenliği için, kullanılırken dikkat edilecek en önemli unsur, RF girişine DC gerilim gitmemesidir. Bu amaçla DC engelleyici konektörler kullanılmalıdır. Ayrıca cihazın kalibre edilmiş olması da ölçümlerin sağlıklı olabilmesi için gereklidir. Cihazın kalibrasyonu Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde yapılmıştır.



Şekil 5.3 : Güç Kaynağı

Hewlett Packard tasarımı olan E3630A güç kaynağı 6 Volt gerilime kadar 2.5 Amper, 20 Volt gerilime kadar ise 0.5 Amper akım verebilen bir güç kaynağıdır. 20 Volt çıkışları kullanılarak 40 Volt gerilim de elde edilebilmektedir.

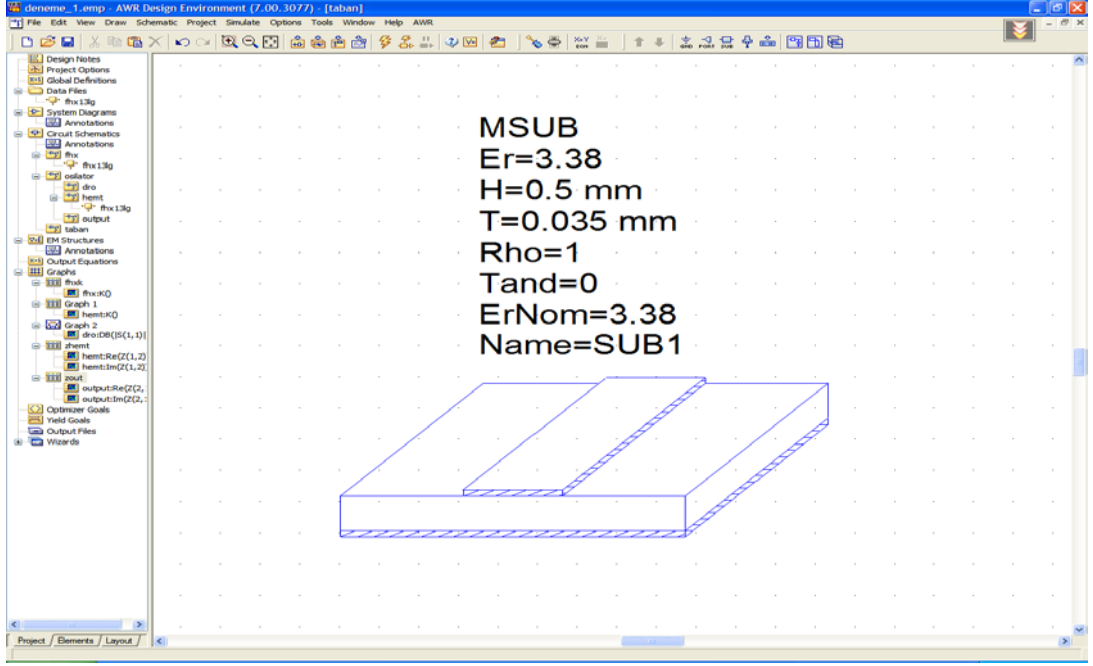


Şekil 5.4 : Test Şeması

Devre kart üzerine basılacağından, kartın ve iletken malzemelerin kalınlığı, iletim hattının kalınlığı gibi çeşitli parametre değerleri benzetim programına girilmelidir. Bu değerler Tablo 5.1'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.5 'te Mikrodalga Ofis üzerinde taban parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: Taban Malzemesi Parametreleri

Parametre	Değer
Bağıl Dielektrik Sabiti	3.38
Kart Malzeme Kalınlığı	0.5mm
İletim Hattı Kalınlığı	0.035m
Altına Göre Normalize Metal Gövde Direnci	1 Ohm
Nominal Bağıl Dielektrik Sabiti	3.38



Şekil 5.5 : Taban Malzemesi Parametreleri

Osilatör tasarımında kullanılacak aktif elemanı olan FHX13LG'nin özelliklerini belirleyen s parametreleri Tablo 5.2 'de verilmiştir. Bu parametreler savak kaynak geriliminin 2 Volt, savak kaynak akımının ise 10 mA olduğu durumlarda geçerli olan s parametreleridir. Elimizde olan s parametrelerinin çeşitli hesaplamalar için kullanılacak olması nedeniyle, transistör için istenen çalışma koşulları ayrıca sağlanacaktır.

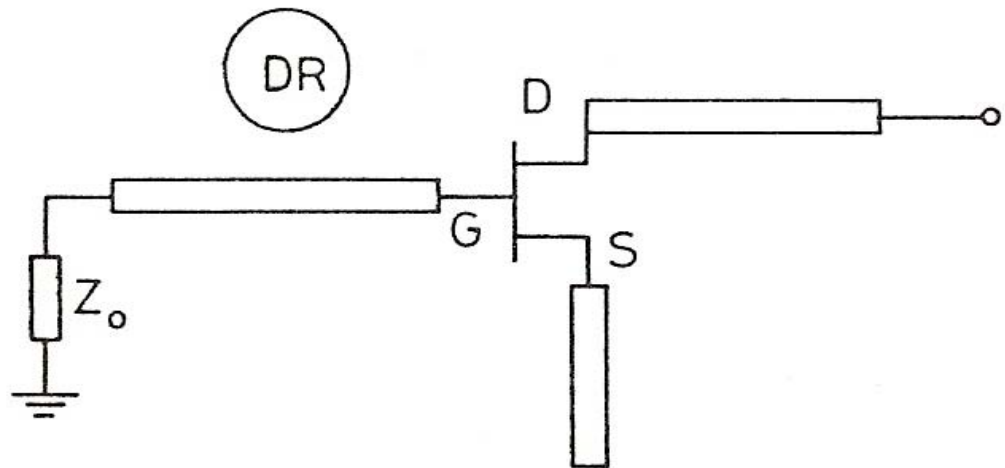
Çizelge 5.2: FHX13LG S parametreleri ($V_{DS} = 2V$, $I_{DS} = 10mA$)

Frekans	S11	S11	S21	S21	S12	S12	S22	S22
MHz	mag	ang	mag	ang	mag	ang	mag	ang
1000	0.988	-20	5.327	160,1	0.015	75,7	0.574	-16,3
2000	0.956	-39,5	5.133	141	0.028	63,3	0.560	-32,1
3000	0.908	-58,1	4.851	123	0.039	50,1	0.539	-47,3
4000	0.862	-75,5	4.534	105,9	0.048	39	0.522	-62
5000	0.811	-91,6	4.213	89,7	0.053	29,3	0.502	-75,6
6000	0.763	-107,1	3.886	74,4	0.056	21	0.488	-89,6
7000	0.727	-121,1	3.582	60	0.057	13,2	0.487	-103
8000	0.701	-133,3	3.300	46,4	0.056	7,9	0.498	-114,9
9000	0.682	-144,1	3.078	33,8	0.055	3,5	0.515	-125
10000	0.659	-154,2	2.899	21,4	0.055	0	0.531	-134,4
11000	0.636	-164,4	2.748	9,3	0.054	-2,6	0.544	-144
12000	0.618	-175,4	2.593	-3,3	0.054	-5,2	0.561	-155,1

13000	0.608	175,5	2.466	-14,8	0.054	-5,7	0.590	-164
14000	0.596	166,6	2.366	-26,6	0.055	-7,8	0.619	-172,4
15000	0.585	158,3	2.279	-38,3	0.056	-9,7	0.654	-179,7
16000	0.564	148,8	2.244	-50,7	0.058	-12,8	0.677	172,6
17000	0.543	138,2	2.217	-63,6	0.061	-17,6	0.701	163,4
18000	0.525	127,3	2.185	-77,1	0.063	-24,7	0.727	154,1
19000	0.506	116,2	2.143	-91,4	0.063	-33,1	0.748	143,6
20000	0.470	106,5	2.089	-105,4	0.061	-43,7	0.763	137,2

5.2 Adım Adım Tasarım

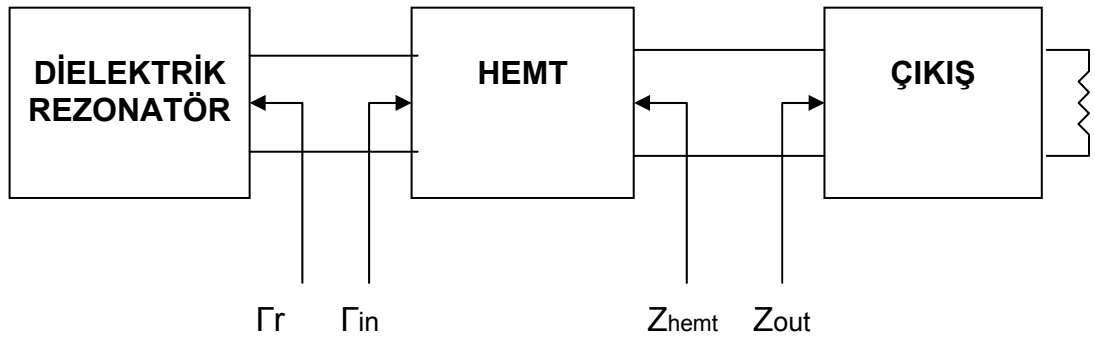
Bu çalışmada bir geri beslemeli türden osilatör tasarlanacaktır. Geri beslemeli tipten osilatörlerde dielektrik rezonatör, geri besleme elemanı, frekans belirleyici eleman veya empedans uydurma elemanı olarak kullanılır. Bu yaklaşım mod atlama ve histerezis olaylarının istenmeyen etkilerini ortadan kaldırdığı gibi devre boyutlarının küçük, maliyetin düşük olmasını sağlar. Geri beslemeli osilatörler, kendi içlerinde paralel geri beslemeli ve seri geri beslemeli olarak ikiye ayrılır. Paralel geri beslemeli yapıda, rezonatör, devrenin giriş ve çıkışı arasında (geçit ile kaynak veya geçit ile savak arasında) yerleştirilir. Osilasyon koşulları rezonatörün rezonans frekansında sağlanır. Bu yapıda dielektrik rezonatör, savak ve geçit transmisyon hatlarına çok sıkı bir şekilde kuple olduğundan devrenin yüklü haldeki değer katsayısı düşük ve evre gürültüsü performansı kötüdür.



Şekil 5.6 : Seri Geribeslemeli DRO İlkesel Gösterilimi

Oysa seri geri beslemeli yapıda, hem kararlılık daha iyi hem evre gürültüsü azdır. Şekil 5.6 'daki seri geribeslemeli yapıda, rezonatör geçit ucuna bağlanan 50 Ohm

luk bir mikroşerit hat üzerinden kuple olmaktadır. Mikroşerit hattın sonu band dışı kararlılığını sağlamak için 50 Ohm ile sonlandırılmıştır. FET'in kaynağına bir paralel reaktans, savağa ise empedans uydurma devresi yerleştirilmektedir. Geçit ucuna bağlanmış olan bir rezonatör, çok düşük savak geçit kapasitesi, Cgd, nedeniyle çıkıştan izole olmaktadır. Bu izolasyon girişin çıkışa çok zayıf bir şekilde kuple olması ve dolayısıyla kalite faktörünün çok yüksek, evre gürültüsünün ise minimum olmasını sağlamaktadır. Bu raporda şekildeki gibi seri geri beslemeli bir osilatör devresi tasarımı açıklanmaya çalışılacaktır.



$$Z_{hemt} = R_{hemt} + jX_{hemt}$$

$$Z_{out} = R_{out} + jX_{out}$$

Şekil 5.7 : Osilatör Öbek Gösterilimi

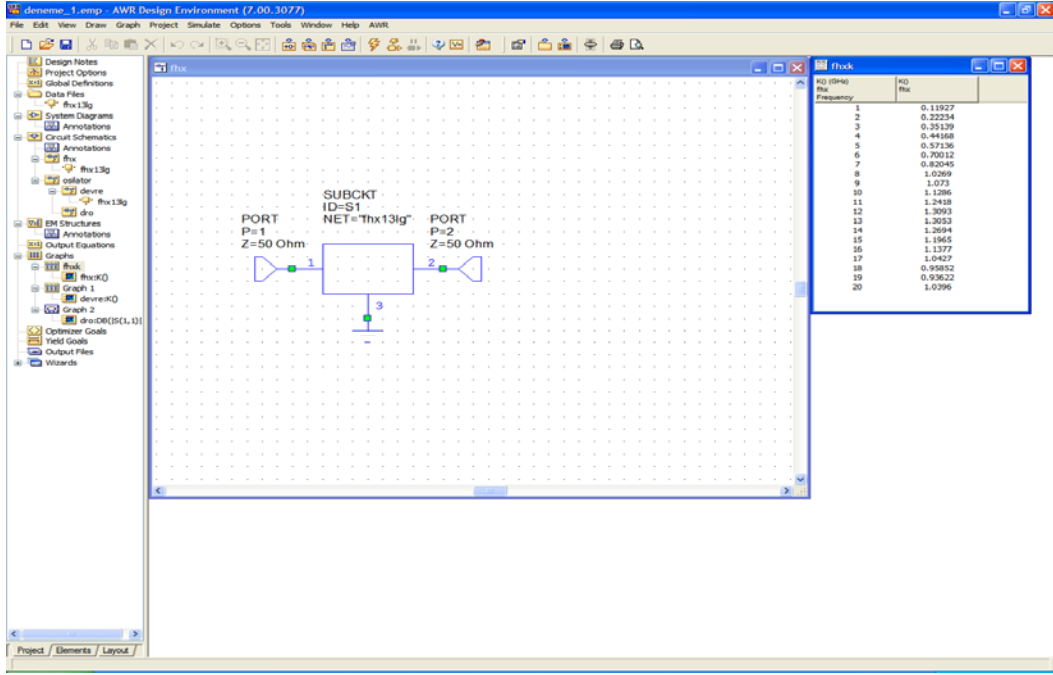
Şekil 5.7 de belirtilen öbek diyagramında belirtilen çeşitli empedans ve yansımaya katsayısı değerlerinin aralarında, aşağıda belirtilen bağıntılar sağlanmalıdır. 5.1, 5.2 ve 5.3 bağıntıları osilatörün tasarımında izlenen temel kuralları da belirtmektedir.

$$|\Gamma_r| > 1 / |\Gamma_{in}| \quad (5.1)$$

$$\text{Arg}(\Gamma_r) = \text{Arg}(1 / \Gamma_{in}) \quad (5.2)$$

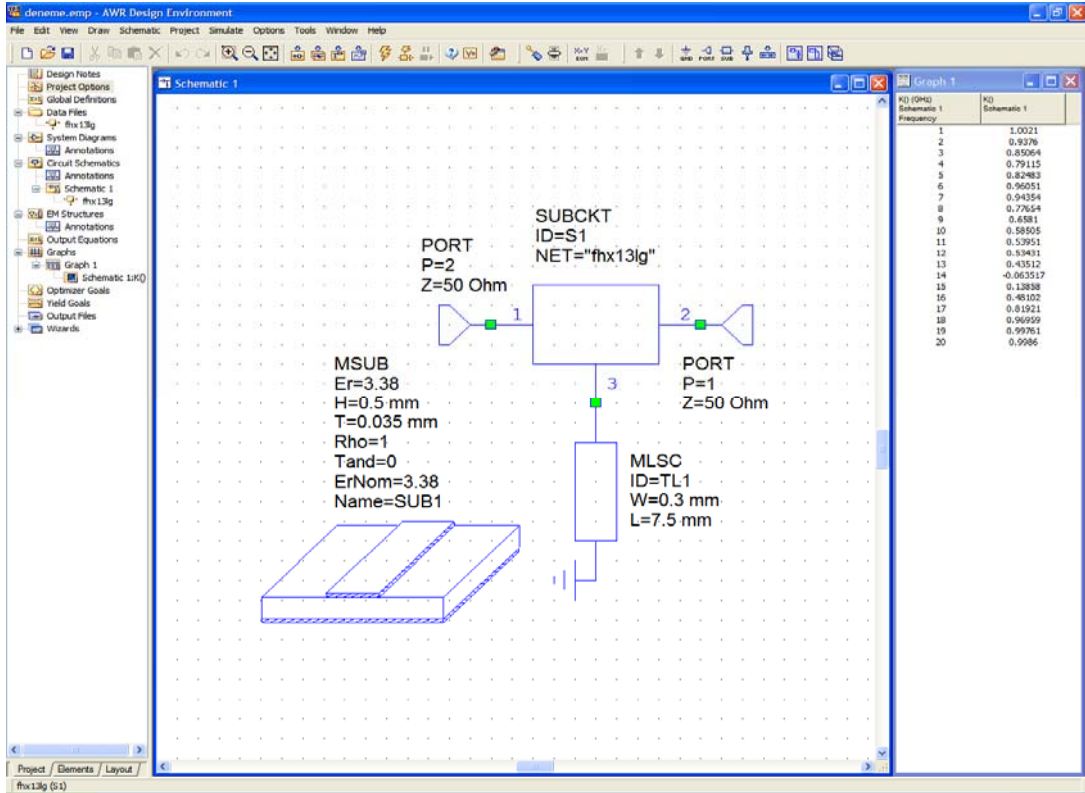
$$R_{out} + jX_{out} = -(R_{hemt}) - jX_{hemt} \quad (5.3)$$

7.7 GHz frekansında kararlı halde bulunan transistör Şekil 5.8' de görülmektedir. Yapılan hesaplamada K kararlılık çarpanı değeri 7.7 GHz frekansında 0.8245 olarak elde edilmiştir. Bu ölçümün yapılabilmesi için transistorün savak ve geçit uçları 50 Ohm değerindeki kapılar ile bağlanmış; kaynak ucu ise toprağa kısa devre edilmiştir. Bu konum transistorün bu frekansta kararlı olduğunu ve kuvvetlendirme yapacağını bir göstergesidir. Osilasyon elde edebilecek duruma gelmek için transistorün uçlarına ek elemanlar yerleştirilmesi gereklidir [11].



Şekil 5.8 : Kararlı Haldeki FHX13LG

Şekil 5.9’da kararsız hale dönüştürülmüş öbek verilmektedir. Aynı şekilde ayrıca devrenin kurulacağı taban özellikleri de programa girilmiştir. Tabanın özellikleri benzetimin başarılı olması açısından önemlidir.



Şekil 5.9 : Kararsız Hale Dönüştürülmüş FHX13LG

Kararlı halde bulunan ve kararsız hale dönüştürülen transistörün kararlılık çarpanı tablosu Tablo 5.3 te verilmiştir. 7.7 GHz frekansında osilasyon kararlı durumda olan kararlılık çarpanı 1 değerine yakın olan transistörün kararsız hale getirilmesi yani kararlılık çarpanının 1 değerinden çok daha küçük hale getirilmesi gerekmektedir. Bu şartı sağlayabilmek için transistörün kaynak ucuna, bir ucu kısa devre edilmiş iletim hattı bağlanır. Bu iletim hattının uzunluğu, dalga boyunun yaklaşık dörtte birine eşit olmalıdır [11]. 7.7 GHz frekansında dalga boyu 38 mm olmaktadır.

$$K = \frac{1 - |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 + \Delta^2}{2 |s_{12} \cdot s_{21}|} < 1 \quad \Delta = s_{11}s_{22} - s_{12}s_{21} \quad (5.4)$$

K kararlılık faktörü parametresinin hesabı, birçok yazılım ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Mikrodalga Ofis aktif elemanın model dosyasından s parametrelerine erişerek, kararlılık çarpanını hesaplayabilmektedir.

Çizelge 5.3: Kararlılık Çarpanı

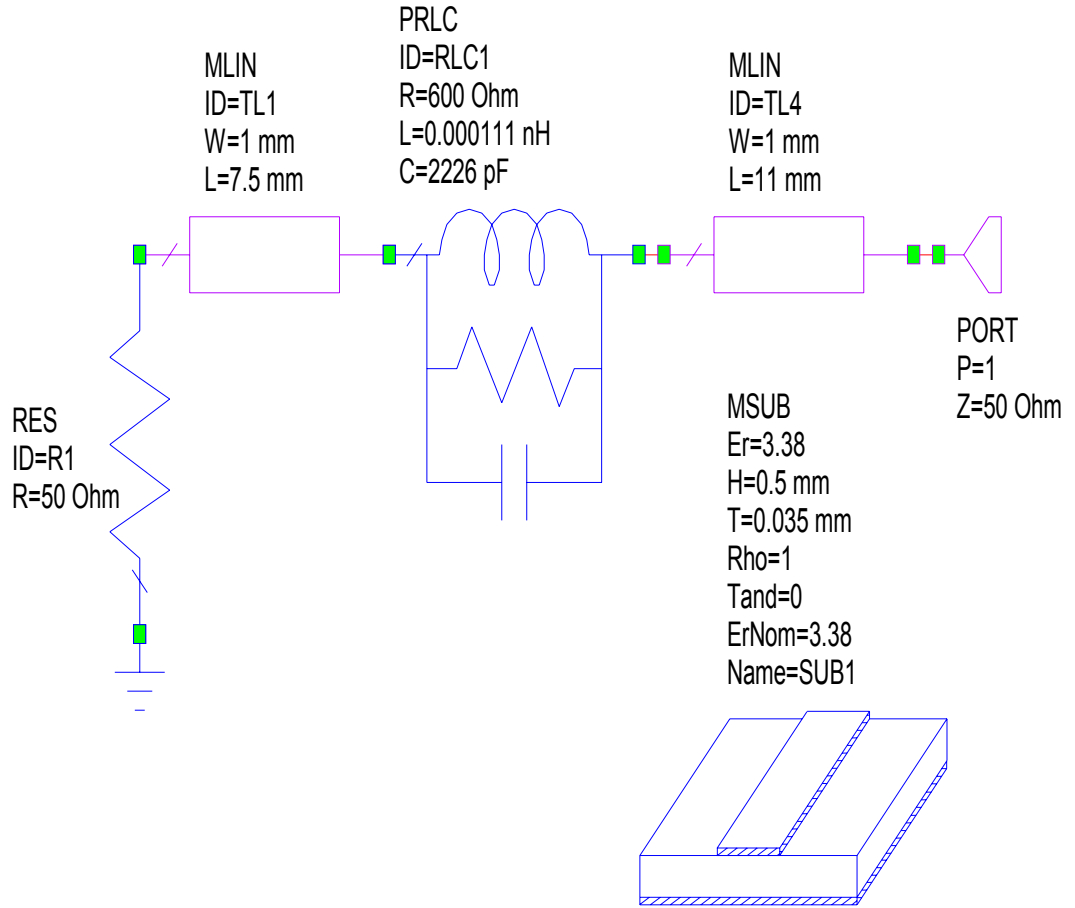
Frekans (GHz)	Kararlılık Çarpanı "K" (Saf FHX13LG)	Kararlılık Çarpanı "K" (Kısa Hat ile)
1	0.11927	1.6634
2	0.22234	-0.1801
3	0.35139	-0.69
4	0.44168	-0.6443
5	0.57136	0.6645
6	0.70012	0.7401
7	0.82045	0.71
8	1.0269	1.77
9	1.073	0.40054
10	1.1286	0.7355
11	1.2418	0.43467
12	1.3093	0.23532
13	1.3053	0.20502
14	1.2694	0.83906
15	1.1965	0.80555
16	1.1377	-0.3012
17	1.0427	0.1644
18	0.95852	0.9970
19	0.93622	1.6338
20	1.0396	3.2406

Bu noktaya kadar tasarıma yardım edecek olan elemanlar hazırlanmıştır. Bundan sonra, dielektrik rezonatörü içeren giriş bölümünün, transistör içeren aktif bölümün ve çıkış katının tümleştirilmesi işlemine geçilecektir. Şekil 5.10 de dielektrik

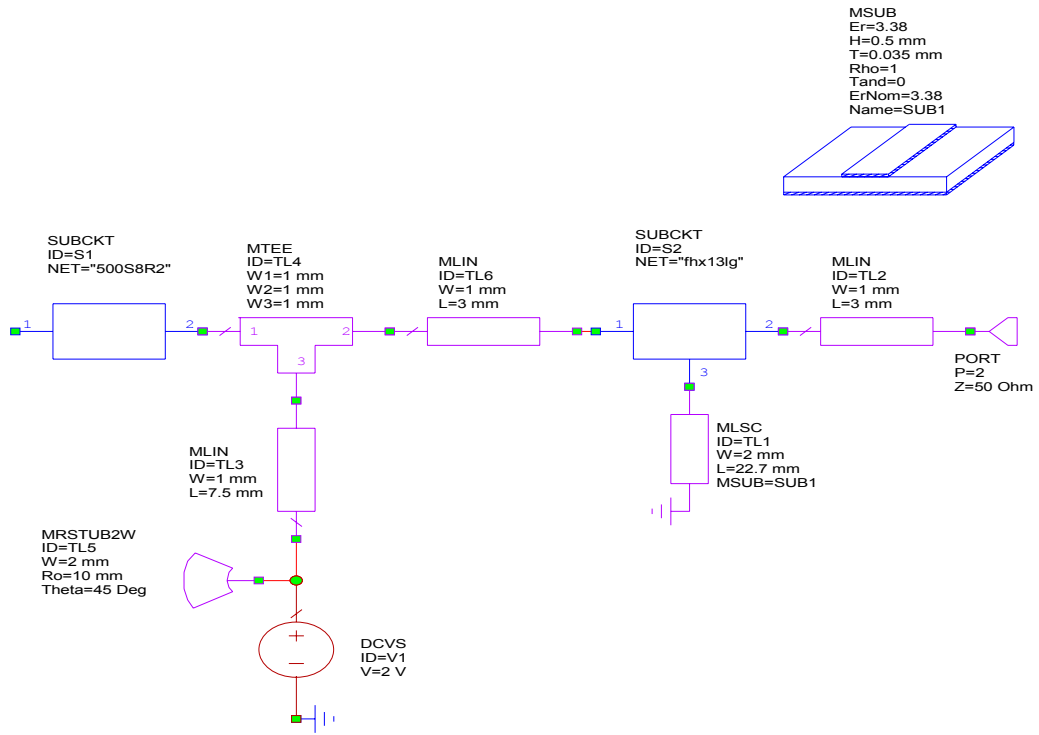
rezonatörün iletim hattına nasıl yerleştirileceği gösterilmiştir. RLC devresi rezonatörü simgelemektedir ve R, L ve C elemanlarının değerleri, rezonatörün yüksüz Q değerinin yaklaşık 15000 olacak biçimde ayarlanmıştır. Rezonatörün sol kısmı 50 Ohm yük ile kapatılmıştır.

5.3 Benzetim Aşaması

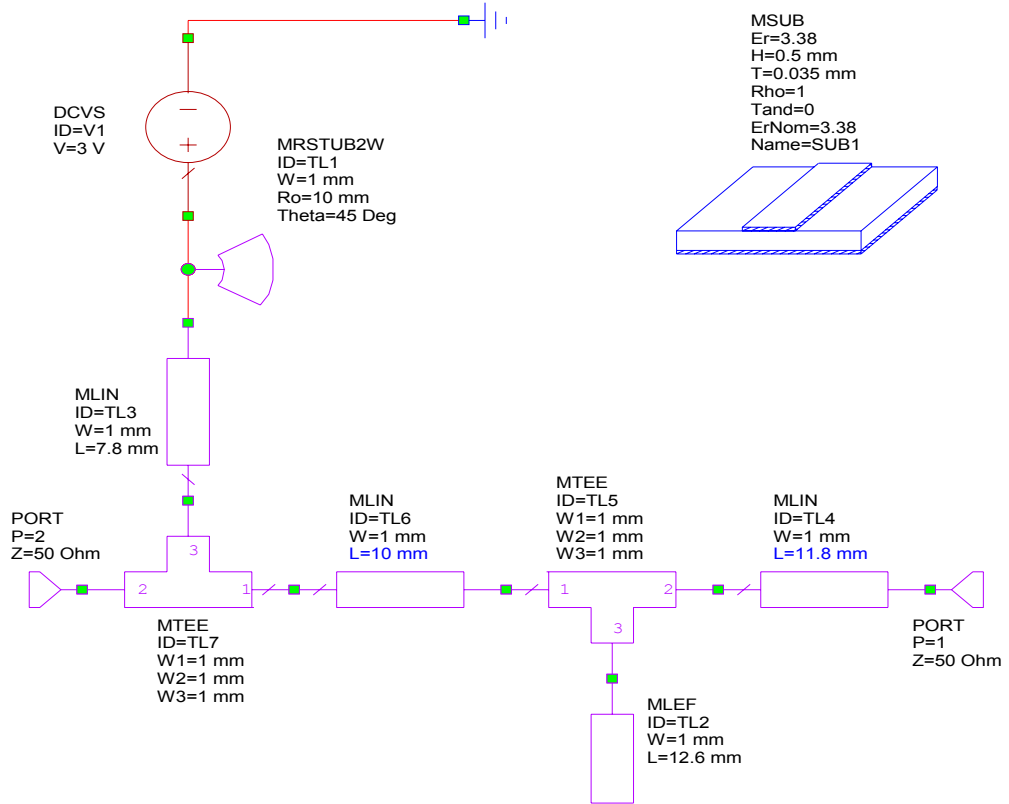
Şekil 5.11 de görülen devre ile aktif eleman kullanılarak negatif direnç devresi ve çıkış katı tasarlanmıştır. Üçlü kesişim noktaları için için T tipi ara hat bağlantıları kullanılmıştır. Aktif elemanın üzerinden akan akımı kontrol edebilmek için, transistorün geçit ucuna ayarlı gerilim kaynağı bağlanmıştır.



Şekil 5.10 : Dielektrik Rezonatör Modeli ve Pasif Devre



Şekil 5.11 : Aktif Devre Bölümü



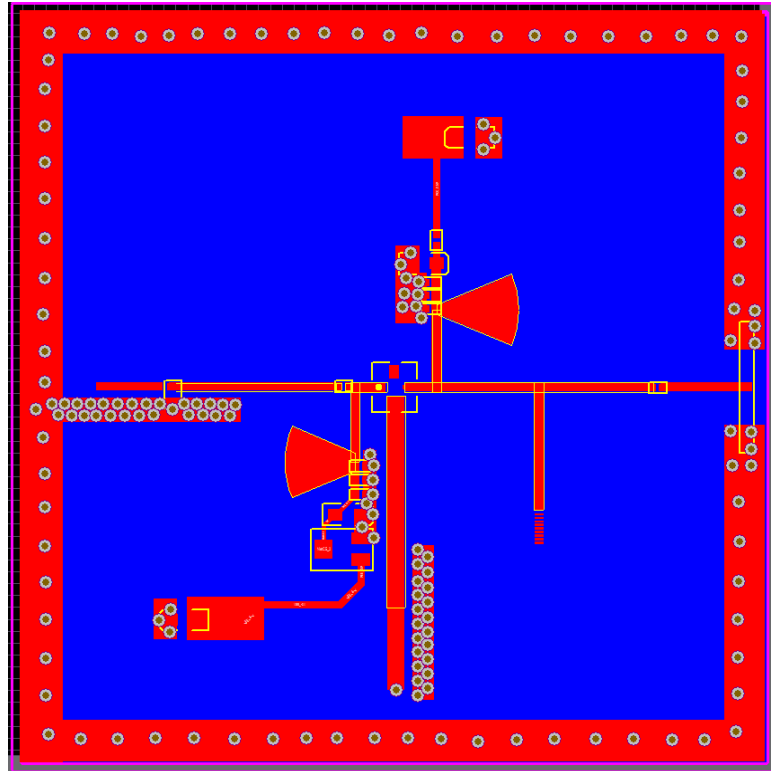
Şekil 5.12 : Çıkış Bölümü

Tablo 5.4'te görülebileceği gibi 7.7 GHz frekansında, osilasyon için gerekli şartlar olan 5.1 5.2 ve 5.3 bağıntıları sağlanmaktadır.

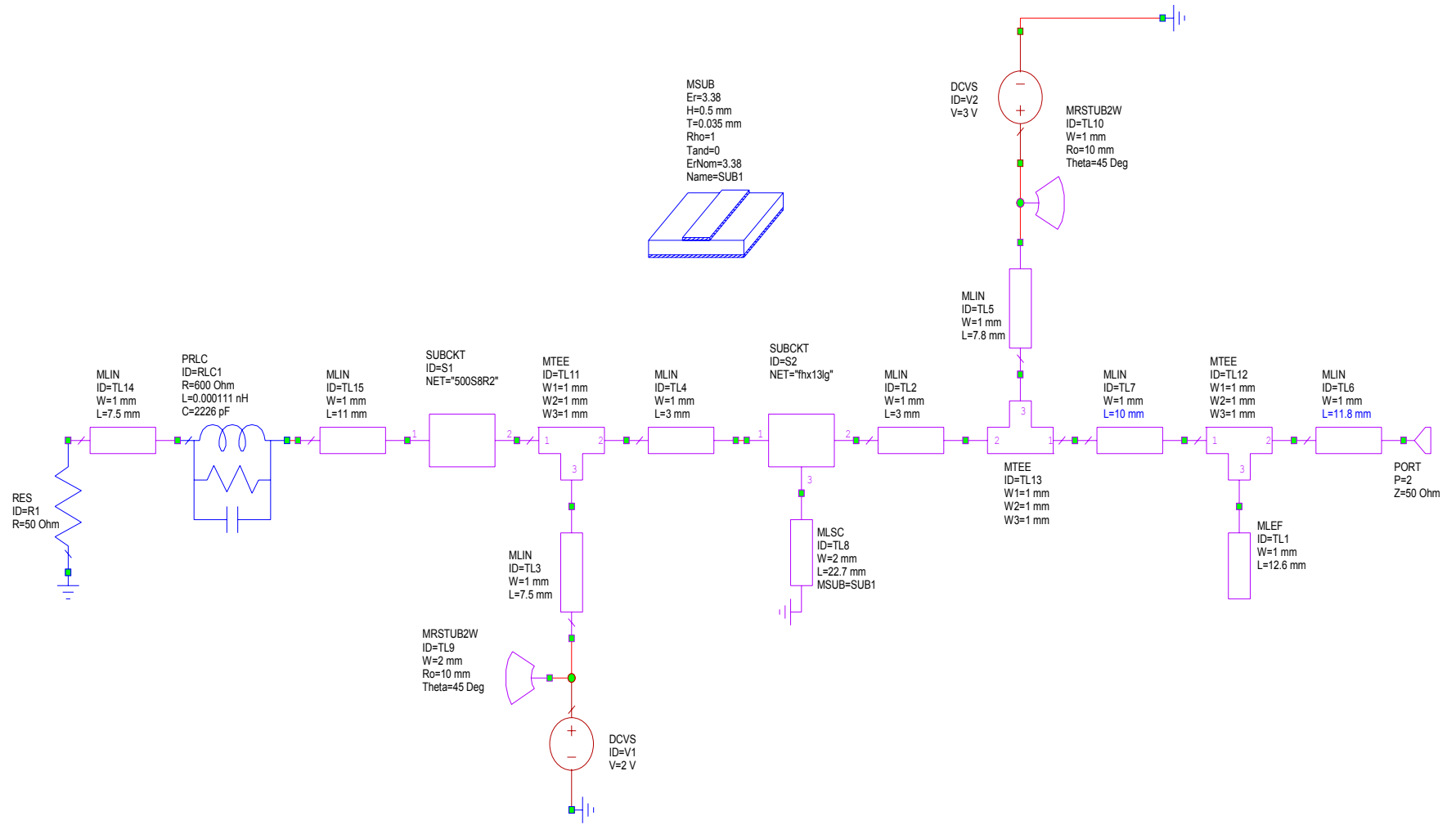
Çizelge 5.4: Benzetim sonuçları

Frekans (GHz)	Γ_r	Γ_{in}	Rout	Xout	Rhemt	Xhemt
7.400	0.0084707	3.4102	23.451	50.093	-44.448	-12.783
7.500	0.0031597	2.5224	30.056	56.774	-50.622	-22.119
7.600	0.0043978	1.8036	39.799	60.391	-53.157	-36.366
7.700	0.84428	1.4167	48.412	55.499	-47.794	-53.808
7.800	0.012203	1.1986	41.631	46.946	-31.078	-68.564
7.900	0.018022	1.0668	23.677	56.11	-6.9853	-71.902
8.000	0.023494	0.98621	11.861	82.401	14.452	-62.752
8.100	0.028743	0.93971	7.066	121.28	27.949	-47.606

Bu safhadan sonra tasarımın baskı devre haline getirilerek, prototip olarak test edilmesi gündeme gelmiştir. Şekil 5.14'te PROTEL baskı devre çizim programı ile çizilmiş 8 x 8 cm boyutlarındaki devre kartı gösterilmektedir. Deney aşaması için kart olması gerekenden daha büyük boyutlarda tasarlanmıştır. Kartın 4 bir tarafı ve gerekli görülen yerler via kullanılarak topraklanmıştır. Güç bağlantıları için devre şemasında olmayan 10 uF değerinde kapasiteler eklenmiştir.

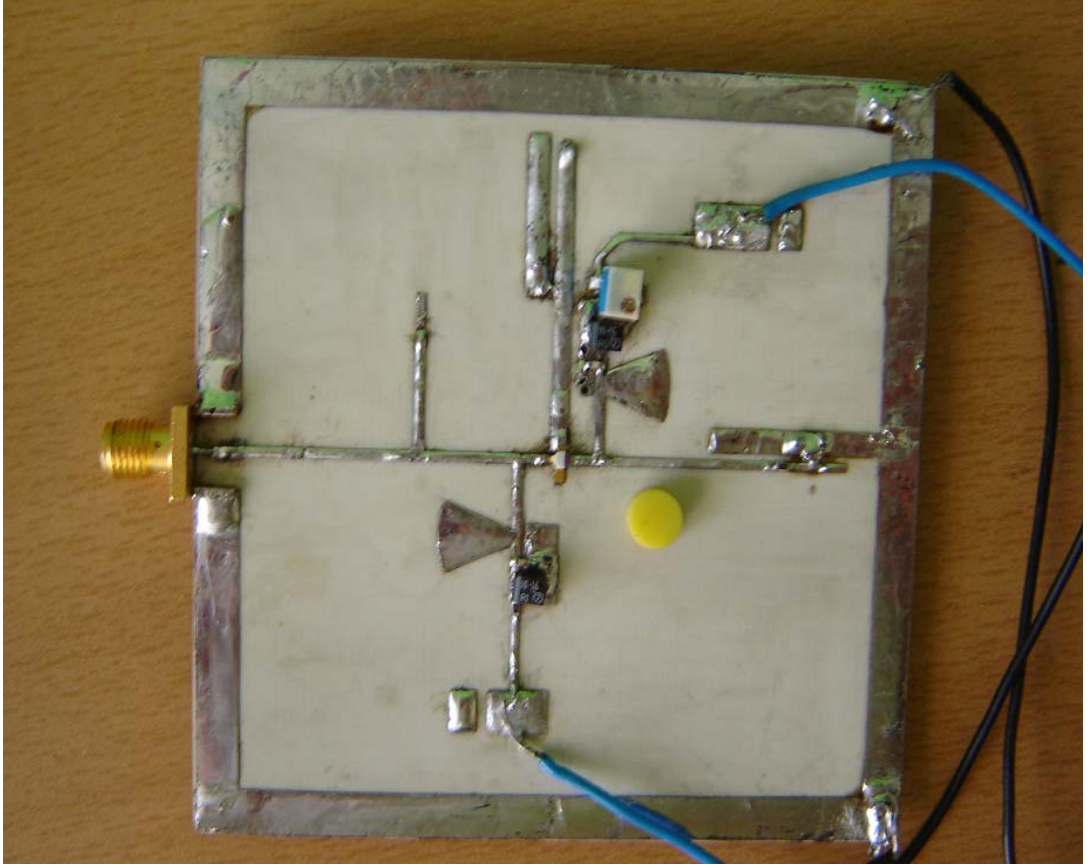


Şekil 5.13 : Baskı Devre



Şekil 5.14 : DRO Devre Şeması

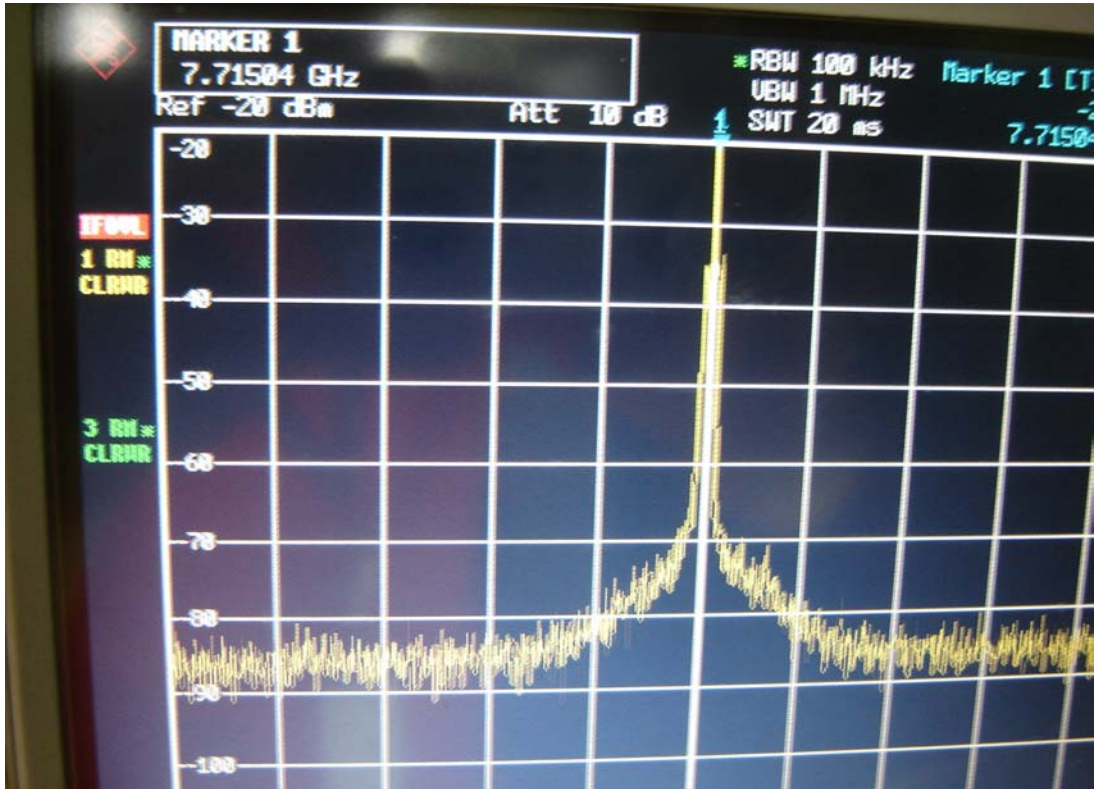
Baskı devre çizim programı ile çizildikten sonra, üretim aşamasına geçilmiştir. Şekil 5.15'te elemanların üretilen kartın üzerine dizilmiş hali görülmektedir. Spektrum analizör ile bağlantıyı sağlayabilmek için çıkış kısmına dişi SMA konektör, spektrum analizör girişine DC engelleyici konektör takılmıştır. Merkez frekansı, evre gürültüsü gibi kriterleri beklenen gibi elde edebilmek için, hat uzunlukları kesilerek veya lehim yardımıyla birleştirilerek bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu tür değişiklik gereksinimleri ile yüksek frekans devrelerinde sık karşılaşılmaktadır. Eleman değerleri ve hat uzunlukları %10 ile %20 arası oranlarda büyüklük değiştirebilir.



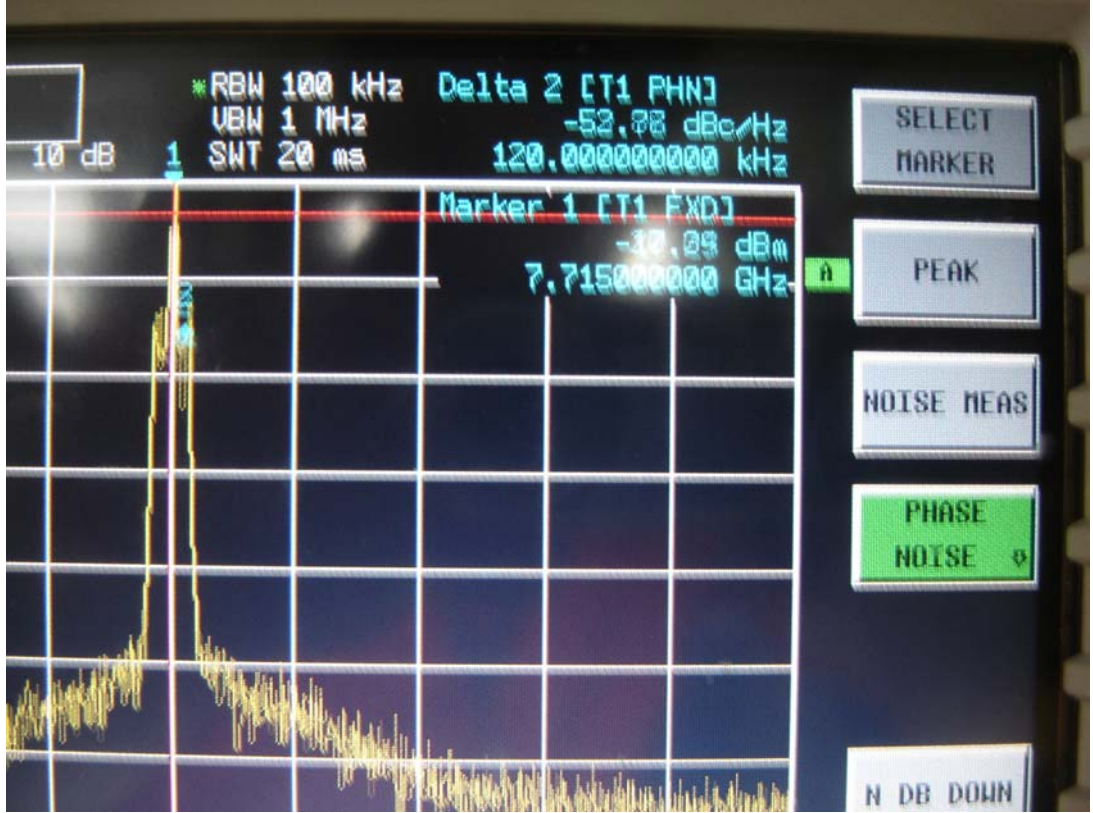
Şekil 5.15 : Devre Kartı

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada; kararlılığı yüksek, basit bir seri geri beslemeli dielektrik rezonatörlü osilatör tasarlanmıştır. Benzetim programlarından mümkün mertebe faydalanarak tasarıma dair öngörülerin artırılması sağlanmıştır. Fakat yüksek frekanslı devrelerde benzetim ve hesaplama ile varılabilen sonuçlar, uygulama sırasında gerçekleşemeyebilmektedir. Bunda bulunan ortamın özelliklerinin, cihazdaki diğer işaretlerin etkisi büyük olmaktadır ve izolasyonun gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bütün hesaplamalar ve benzetimler en azından yakın bir çerçevede tasarımın hedefine yakınsayabilmek amacını taşımaktadır. Tasarlanan yapının başarı ile gerçekleşmesi en az tasarlama işlemi kadar önemli ve zahmetlidir. Şekil 6.1 de tasarlanan osilatörün spektrum analizör çıkışı verilmiştir. Şekil 6.2 te ise işaretçi fark seviyesi 120 kHz değerinde iken, spektrum analizörde evre gürültüsü -56 dBc olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.1 : Spektrum Analizörde Osilasyon Görüntüsü



Şekil 6.2 : Spektrum Analizörde Evre Gürültüsü Ölçümü

KAYNAKLAR

- [1] **Kiraz, M.**, 2007. Tefics 2. Aşama SRC8000A Sayısal Radyolink Eđitim Dokümanı, TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Belentepe, B.**, 1988. Dielektrik rezonatörlü - mesfetli bir osilatörün bilgisayar yardımı ile tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Kajfez, D. and Guillon, P.**, 1998. Dielectric Resonators 2nd Edition, Noble publishing Corporation, Atlanta.
- [4] **Chen, S., Chang, L. and Chin, J.Y.**, 1986. A unified design of dielectric resonator oscillators for telecommunications systems, Microelectronics Technology Inc. Science-Based Park, Hsinchu, Taiwan, Republic Of China.
- [5] **Jones, R. and Estrick, V.**, 1990 Low phase noise dielectric resonator oscillator, Hughes Aircraft Company, California.
- [6] **Kiraz, M.** 2007. Kişisel Görüşme.
- [7] **Odyniec, M.**, 2002. RF and Microwave Oscillator Design, Artech House, Newyork.
- [8] **Rohde, U. L.**, 2000. Oscillator Basics and Low - Noise Techniques for Microwave Osillators and VCOs.
- [9] **Smith, J.**, 1998. Modern Communication Circuits, Mc-Graw Hill, Boston.
- [10] **Uzawa, K. and Matsumoto, K.**, 1991. Low Noise Microwave Oscillator using Ultra High Q Dielectric Resonator, Central Research Laboratory, Japan.
- [11] **Wilson, P. G. and Carver, R.D.**, 1989. An Easy - to - Use FET DRO Design Procedure Suited to Most CAD Programs. Ipswich, United Kingdom.

EKLER

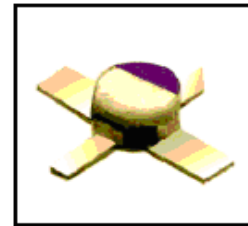
EK A.1

FHX13LG, FHX14LG

Super Low Noise HEMT

FEATURES

- Low Noise Figure: 0.45dB (Typ.)@f=12GHz (FHX13)
- High Associated Gain: 13.0dB (Typ.)@f=12GHz
- $L_g \leq 0.15\mu\text{m}$, $W_g = 200\mu\text{m}$
- Gold Gate Metallization for High Reliability
- Cost Effective Ceramic Microstrip (SMT) Package
- Tape and Reel Packaging Available



DESCRIPTION

The FHX13LG, FHX14LG is a Super High Electron Mobility Transistor(SuperHEMT™) intended for general purpose, ultra-low noise and high gain amplifiers in the 2-18GHz frequency range. The devices are packaged in cost effective, low parasitic, hermetically sealed metal-ceramic package for high volume telecommunication, TVRO, VSAT or other low noise applications.

Fujitsu's stringent Quality Assurance Program assures the highest reliability and consistent performance.

ABSOLUTE MAXIMUM RATING (Ambient Temperature $T_a=25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Rating	Unit
Drain-Source Voltage	V_{DS}	3.5	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	-3.0	V
Total Power Dissipation	P_T	180	mW
Storage Temperature	T_{stg}	-65 to +175	$^\circ\text{C}$
Channel Temperature	T_{ch}	175	$^\circ\text{C}$

*Note: Mounted on Al_2O_3 board (30 x 30 x 0.65mm)

Fujitsu recommends the following conditions for the reliable operation of GaAs FETs:

1. The drain-source operating voltage (V_{DS}) should not exceed 2 volts.
2. The forward and reverse gate currents should not exceed 0.2 and -0.05 mA respectively with gate resistance of 4000 Ω .
3. The operating channel temperature (T_{ch}) should not exceed 80 $^\circ\text{C}$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ambient Temperature $T_a=25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Condition	Limit			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Saturated Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 2V, V_{GS} = 0V$	10	30	60	mA
Transconductance	g_m	$V_{DS} = 2V, I_{DS} = 10\text{mA}$	35	50	-	mS
Pinch-off Voltage	V_p	$V_{DS} = 2V, I_{DS} = 1\text{mA}$	-0.1	-0.7	-1.5	V
Gate Source Breakdown Voltage	V_{GSO}	$I_{GS} = -10\mu\text{A}$	-3.0	-	-	V
Noise Figure	FHX13LG	NF	-	0.45	0.50	dB
Associated Gain			G_{as}	11.0	13.0	-
Noise Figure	FHX14LG	NF	-	0.55	0.60	dB
Associated Gain			G_{as}	11.0	13.0	-
Thermal Resistance	R_{th}	Channel to Case	-	300	400	$^\circ\text{C/W}$

AVAILABLE CASE STYLES: LG

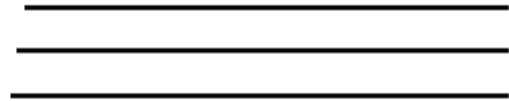
Note: RF parameters for LG devices are measured on a sample basis as follows:

Lot qty.	Sample qty.	Accept/Reject
1200 or less	125	(0,1)
1201 to 3200	200	(0,1)
3201 to 10000	315	(1,2)
10001 or over	500	(1,2)

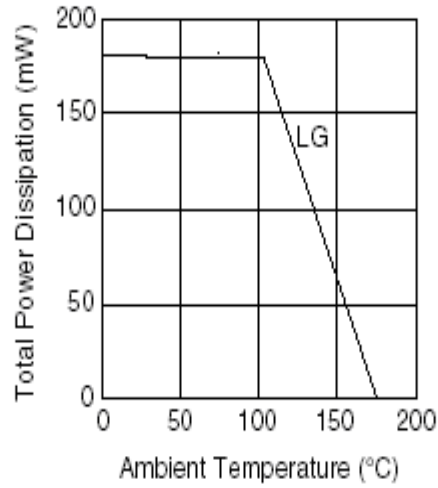
Edition 1.1
July 1999

FHX13LG, FHX14LG

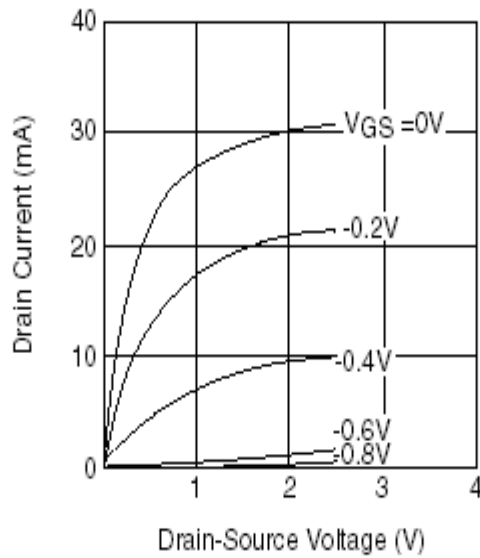
Super Low Noise HEMT



POWER DERATING CURVE

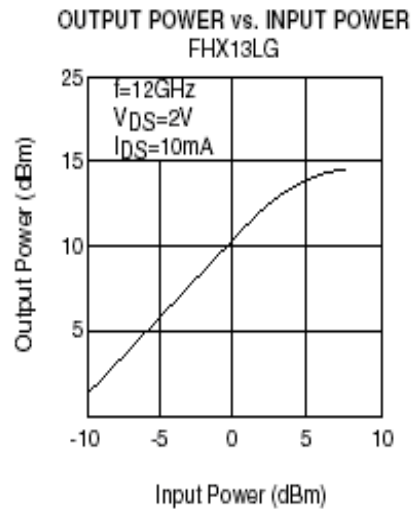
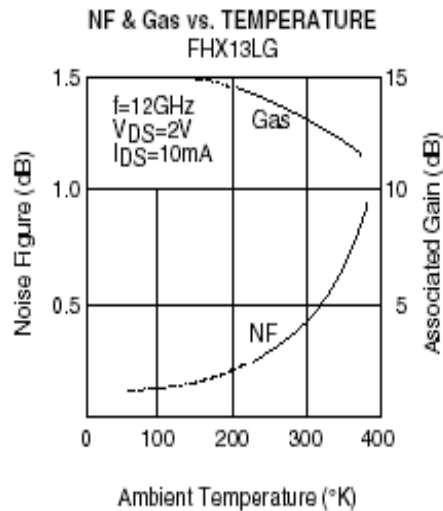
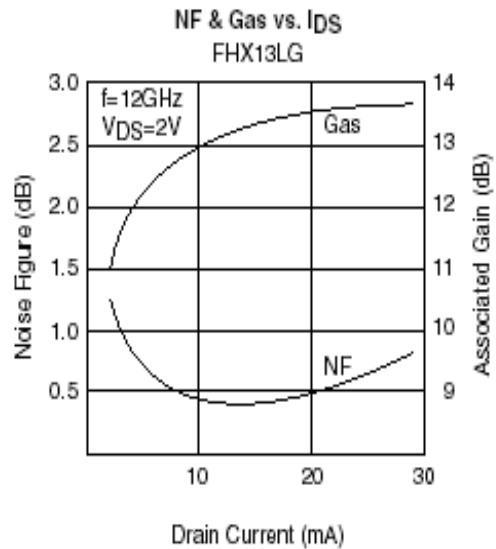
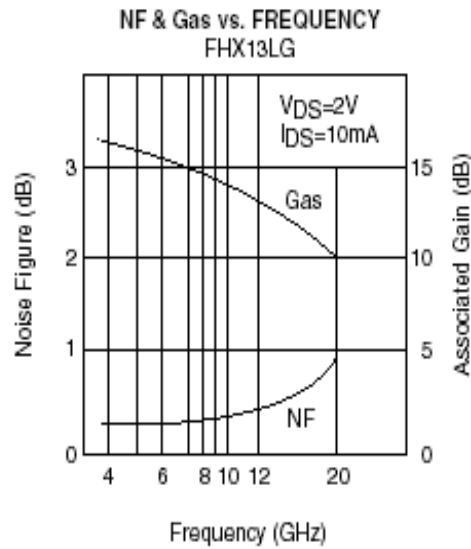


DRAIN CURRENT vs. DRAIN-SOURCE VOLTAGE



FHX13LG, FHX14LG

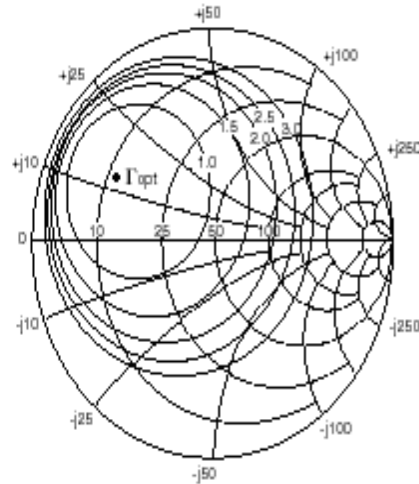
Super Low Noise HEMT



FHX13LG, FHX14LG

Super Low Noise HEMT

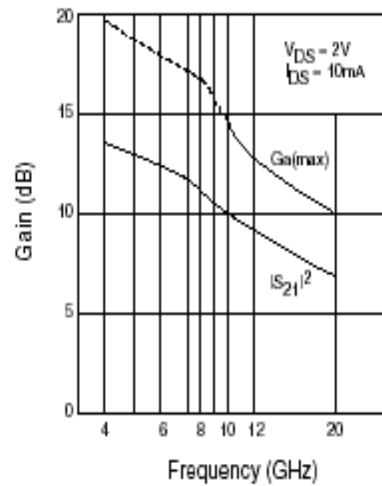
TYPICAL NOISE FIGURE CIRCLE FHX13LG



$f = 12 \text{ GHz}$
 $V_{DS} = 2V$
 $I_{DS} = 10mA$

$\Gamma_{opt} = 0.61 \angle 150^\circ$
 $Rn/50 = 0.04$
 $NF_{min} = 0.45dB$

Ga(max) & $|S_{21}|^2$ vs. FREQUENCY



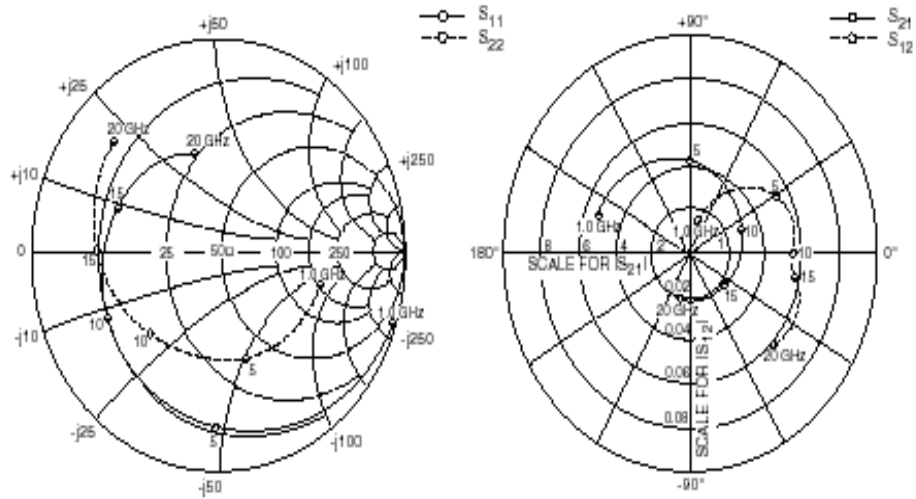
NOISE PARAMETERS FHX13LG $V_{DS}=2V, I_{DS}=10mA$

Freq. (GHz)	Γ_{opt} (MAG) (ANG)	NFmin (dB)	Rn/50
2	0.96 29	0.33	0.22
4	0.92 57	0.34	0.20
6	0.86 83	0.35	0.15
8	0.79 107	0.37	0.11
10	0.71 129	0.40	0.07
12	0.61 150	0.45	0.04
14	0.50 168	0.53	0.04
16	0.38 -175	0.63	0.06
18	0.24 -161	0.83	0.10



FHX13LG, FHX14LG

Super Low Noise HEMT



S-PARAMETERS

FHX13/14LG

$V_{DS} = 2V, I_{DS} = 10mA$

FREQUENCY (MHZ)	S11		S21		S12		S22	
	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG
1000	0.988	-20.0	5.327	160.1	0.015	75.7	0.574	-16.3
2000	0.956	-39.5	5.133	141.0	0.028	63.3	0.560	-32.1
3000	0.908	-58.1	4.851	123.0	0.039	50.1	0.539	-47.3
4000	0.862	-75.5	4.534	106.9	0.048	39.0	0.522	-62.0
5000	0.811	-91.6	4.213	89.7	0.053	29.3	0.502	-75.6
6000	0.763	-107.1	3.886	74.4	0.056	21.0	0.488	-89.6
7000	0.727	-121.1	3.582	60.0	0.057	13.2	0.487	-103.0
8000	0.701	-133.3	3.300	46.4	0.056	7.9	0.498	-114.9
9000	0.682	-144.1	3.078	33.8	0.055	3.5	0.515	-125.0
10000	0.659	-154.2	2.899	21.4	0.055	-0.0	0.531	-134.4
11000	0.636	-164.4	2.748	9.3	0.054	-2.6	0.544	-144.0
12000	0.618	-175.4	2.593	-3.3	0.054	-5.2	0.561	-155.1
13000	0.608	-175.5	2.466	-14.8	0.054	-5.7	0.590	-164.0
14000	0.596	-166.6	2.366	-26.6	0.055	-7.8	0.619	-172.4
15000	0.585	-158.3	2.279	-38.3	0.056	-9.7	0.654	-179.7
16000	0.564	-148.8	2.244	-50.7	0.058	-12.8	0.677	-172.6
17000	0.543	-138.2	2.217	-63.6	0.061	-17.6	0.701	-163.4
18000	0.525	-127.3	2.185	-77.1	0.063	-24.7	0.727	-154.1
19000	0.506	-116.2	2.143	-91.4	0.063	-33.1	0.748	-143.6
20000	0.470	-106.5	2.089	-105.4	0.061	-43.7	0.763	-137.2

[Download S-Parameters, click here](#)

EK A.2

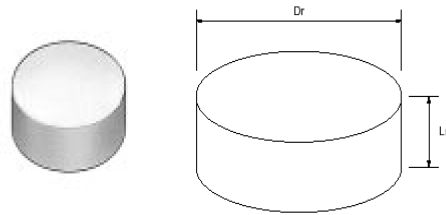
Dielectric Resonators (RESOMICS®)



Dielectric Resonator R Series (DRD Type)

■ Features

1. High Q of 15,000 at 10GHz
2. High dielectric constant : $\epsilon_r=30$
3. Resonant frequency temperature coefficient can be chosen from 0 to 6ppm/(degree C). Tolerance of the frequency temperature coefficient can be chosen from ± 0.5 , ± 1 and ± 2 ppm/(degree C).
4. Resonant frequency can be chosen from 4.6 to 24.2GHz.



Part Number	Outer Dia. (mm)	Thickness (mm)	Frequency Range
DRD0260115R□□□00T	2.59 ±0.05 mm	1.15 ±0.05 mm	22.1-24.2 GHz
DRD0280125R□□□00T	2.82 ±0.05 mm	1.25 ±0.05 mm	20.4-22.1 GHz
DRD0310136R□□□00T	3.06 ±0.05 mm	1.36 ±0.05 mm	18.9-20.4 GHz
DRD0330148R□□□00T	3.33 ±0.05 mm	1.48 ±0.05 mm	17.5-18.9 GHz
DRD0360161R□□□00T	3.62 ±0.05 mm	1.61 ±0.05 mm	16.2-17.5 GHz
DRD0390176R□□□00T	3.94 ±0.05 mm	1.76 ±0.05 mm	15.0-16.2 GHz
DRD0430191R□□□00T	4.28 ±0.05 mm	1.91 ±0.05 mm	13.5-15.0 GHz
DRD0460206R□□□00T	4.65 ±0.05 mm	2.06 ±0.05 mm	12.6-13.5 GHz
DRD0510224R□□□00T	5.06 ±0.05 mm	2.24 ±0.05 mm	11.6-12.6 GHz
DRD0550244R□□□00T	5.50 ±0.05 mm	2.44 ±0.05 mm	10.8-11.6 GHz
DRD0600265R□□□00T	5.98 ±0.05 mm	2.65 ±0.05 mm	9.7-10.8 GHz
DRD0650288R□□□00T	6.50 ±0.05 mm	2.88 ±0.05 mm	9.0-9.7 GHz
DRD0710314R□□□00T	7.07 ±0.05 mm	3.14 ±0.05 mm	8.3-9.0 GHz
DRD0770341R□□□00T	7.69 ±0.05 mm	3.41 ±0.05 mm	7.7-8.3 GHz
DRD0840371R□□□00T	8.36 ±0.05 mm	3.71 ±0.05 mm	6.9-7.7 GHz
DRD0910403R□□□00T	9.09 ±0.05 mm	4.03 ±0.05 mm	6.4-6.9 GHz
DRD0990438R□□□00T	9.88 ±0.05 mm	4.38 ±0.05 mm	5.9-6.4 GHz
DRD1070477R□□□00T	10.75 ±0.05 mm	4.77 ±0.05 mm	5.5-5.9 GHz
DRD1170518R□□□00T	11.68 ±0.05 mm	5.18 ±0.05 mm	5.0-5.5 GHz
DRD1270563R□□□00T	12.70 ±0.05 mm	5.63 ±0.05 mm	4.6-5.0 GHz

Codes for temperature coefficient of resonant frequency and the tolerance should be put into the three blank boxes of the above Part Numbers.
Please see "Part Numbering" (ex.) 2.0±1.0ppm/°C : 20A.

■ Freq. Temp. Coefficient, Dielectric Constant and Q

• R series

Characteristic Code	Frequency Temperature Coefficient (τf) (ppm/°C)	Dielectric Constant (εr)	Q (at 10GHz)
00	0	29.7±0.8	12,000 min.
20	2	30.3±0.8	
40	4	30.9±0.8	
60	6	31.5±0.8	

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan Kızılbey; 1983 yılında İstanbul'da dünyaya geldi. 1997 yılında başladığı lise öğrenimini, yabancı dil ağırlıklı Cibali Süper Lisesi'nin fen bölümü birincisi olarak 2001 yılında tamamladı. Aynı sene girdiği öğrenci seçme sınavı sonucunda; İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği programını kazandı. 2004 yılında Siemens Sanayi ve ABB Elektrik şirketlerinde pratik stajlarını tamamladı. Bu stajlarda telefon santralleri ve motor hız sürücüleri konularını inceleme fırsatı buldu. 2005 yılında İTÜ Elektrik Elektronik fakültesinden Prof. Dr. İnci Çilesiz yönetimindeki RF Termometre konulu bitirme tezi ile mezun oldu. Yine aynı proje ile Elektrik Mühendisleri Odası'nın düzenlemiş olduğu proje yarışmasına katıldı. 2005 yılı Kasım ayında TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü RF Sistemleri grubunda araştırmacı olarak çalışmaya başladı. Grup bünyesinde; 2006 ve 2007 yıllarında 5.8 GHz ve 8 GHz frekanslarındaki 4x2 MBit hızındaki radyolink sistemlerinin, abone ve santral tipi ses çoklayıcı cihazlarının üretim, test, doğrulama ve frekans planlaması konuları ile ilgilendi. Bu aşamada, TAFICS 2 safha projesinde 100 adet ve Genelkurmay Elektronik Sistemleri için 50 adet radyolink sisteminin üretiminden sahaya gönderilişine kadar geçen süreçten sorumlu oldu. 2006 yılı Ocak ayında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği programında Prof. Dr. Osman Palamutçuoğulları danışmanlığında, X-Band Uygulamaları için Dielektrik Rezonatörlü Osilatör tez konusu ile yüksek lisans eğitimine başladı.