

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAYISAL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MODÜLASYON  
TEKNİKLERİNİN MATLAB VE FPGA KULLANILARAK  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE ZEDBOARD'A AKTARILMASI**

**Rabia YILMAZ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇANKIRI  
2023**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Rabia YILMAZ tarafından hazırlanan “**Sayısal Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Modülasyon Tekniklerinin MATLAB ve FPGA Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Zedboard’a Aktarılması**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Halil Tanyer EYYUBOĞLU

### Jüri Üyeleri :

**Başkan** : Prof. Dr. Halil Tanyer EYYUBOĞLU  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

**Üye** : Prof. Dr. Murat ARI  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

**Üye** : Prof. Dr. Hüsnü Deniz BAŞDEMİR  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hamit ALYAR**

**Enstitü Müdürü**

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Sayısal Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Modülasyon Tekniklerinin MATLAB ve FPGA Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Zedboard’a Aktarılması**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı’yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim. (04/08/2023).

**Rabia YILMAZ**



*Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından MF211221L26 numaralı proje ile desteklenmiştir.*

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SAYISAL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MODÜLASYON TEKNİKLERİNİN MATLAB VE FPGA KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE ZEDBOARD'A AKTARILMASI

Rabia YILMAZ

Çankırı Karatekin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halil Tanyer EYYUBOĞLU

Bu araştırmanın amacı 5G ortamında sayısal modülasyon tekniklerinden PSK (Faz Kaydırmalı Anahtarlama), QPSK (Dört Evreli Faz Kaydırmalı Anahtarlama) ve OFDM (Dik Frekans Bölmeli Çoğullama) Modülünün MATLAB HDL Coder yardımıyla gerçekleştirmek ve Zynq-7000 Zedboard'ına aktararak gerçek ortamda haberleşme projelerine destek vermektir. Projenin ilk aşamasında MATLAB ta PSK sembolleri oluşturulup bir M-ary seviye sinyal ile QPSK sembolleri oluşturulmuştur. Ardından HDL kod üretici kullanılarak oluşturulanlar VHDL e çevrilmiştir. Son olarak oluşturulan bit dosyası FPGA kartına yüklenmiş ve doğrulaması yapılmıştır. Projenin son kısımlarında QPSK modülasyonundan OFDM Modülüne geçiş yapılmıştır. OFDM'in 5G'deki kullanımı göz önüne alındığında, projenin yerli üretim ve araştırma potansiyeline önemli katkılar yapacağı düşünülmektedir. Öte yandan hazırlanan düzeneğin yeni nesil şebekelerde kullanılacak modülasyon türlerini de araştırmak için iyi bir ortam sağlayacağı öngörülmektedir.

**2023, 37 sayfa**

**ANAHTAR KELİMELER:** FPGA, MATLAB, OFDM modülü, PSK modülasyon, QPSK modülasyon, VHDL, 5G

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### REALIZATION OF MODULATION TECHNIQUES USED IN DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS USING MATLAB AND FPGA AND TRANSFER TO ZEDBOARD

Rabia YILMAZ

Çankırı Karatekin University  
Institute of Science  
Department of Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Prof. Dr. Halil Tanyer EYYUBOGLU

The aim of this research is to realize PSK, QPSK modulations and OFDM module from digital modulation techniques in 5G environment with the help of MATLAB HDL Coder and to support communication projects in real environment by transferring them to Zynq-7000 Zedboard. In the first stage of the project, PSK symbols were created in MATLAB and QPSK symbols were created with a M-ary level signal. Then, the ones created using the HDL code generator were translated to VHDL. Finally, the created bit file was uploaded to the FPGA card and verified. In the last part of the project, a transition was made from QPSK modulation to OFDM module. Considering the use of OFDM in 5G, it is thought that the project will make significant contributions to the domestic production and research potential. On the other hand, it is predicted that the prepared setup will provide a good environment for researching modulation types to be used in new generation networks.

**2023, 37 pages**

**Keywords:** FPGA, MATLAB, OFDM module, PSK modulation, QPSK modulation, VHDL, 5G

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Sayısal Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Modülasyon Tekniklerinin MATLAB ve FPGA Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Zedboard’a Aktarılması” adlı bu çalışma 2021-2023 yılları arasında hazırlanarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur. Bu projenin amacı OFDM’ in 5G’deki kullanımı göz önüne alındığında, projenin yerli üretim ve araştırma potansiyeline önemli katkılar yapacağı düşünülmektedir. Öte yandan hazırlanan düzeneğin yeni nesil şebekelerde kullanılacak modülasyon türlerini de araştırmak için iyi bir ortam sağlayacağı öngörülmektedir.

Bu projenin konusunda bana fikir önerisi sunan ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Halil Tanyer Eyyuboğlu’na sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Araştırma proje desteği için Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonuna teşekkür ederim.

Bu aşamaya gelmemde bana emeği geçen tüm hocalarıma, hakkı hiçbir zaman ödenemeyecek olan anneme ve babama, adını burada saymadığım bana katkısı olan herkese ayrıca şükranlarımı sunarım.

**Rabia YILMAZ**

**Çankırı, Ağustos 2023**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Modülasyon.....	1
1.1.1 Analog Modülasyon.....	2
1.1.2 Sayısal Modülasyon.....	3
1.2 Çoğullama.....	4
2. TEORİK ALTYAPI.....	6
2.1 Sinyal Dalga Formlarının Geometrik Gösterimleri.....	6
2.2 Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK) ve Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK).....	8
2.3 Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM).....	15
2.4 Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM).....	16
3. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI.....	17
3.1 MATLAB ve HDL Kodlayıcı hakkında.....	17
3.2 Projeye başlarken.....	17
3.3 MATLAB ortamında OPSK Sembollerinin elde edilmesi.....	21
3.4 QPSK Sembolünün Fonksiyon Bloğu ve Test Bloğunun oluşturulması.....	22
3.5 QPSK Sembollerinden OFDM Sembollerinin elde edilmesi.....	23
4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME.....	26
KAYNAKLAR.....	27
EKLER.....	28
ÖZGEÇMİŞ.....	37

## SİMGELER DİZİNİ

$c_{ni}$	Sinyaller arası hesaplanan izdüşüm
$s_m(t)$	Sinyal değeri
$\epsilon_n$	Sinyalin enerji değeri
$f$	Sinyalin frekansı
$d_n(t)$	Sinyalin ortogonal değeri
$\psi_n(t)$	Sinyalin ortonormal değeri
$T$	Sinyal periyodu
$M$	Sinyalin sayısı
$A$	Sinyalin tepe değeri
$N$	Sinyal uzayında bir alan
$t$	Zaman

## KISALTMALAR DİZİNİ

AM	Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation)
ASIC	Uygulamaya Özel Tümlşik Devre (Application Specific Integrated Circuit)
ASK	Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (Amplitude Shift Keying)
APSK	Genlik ve Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Amplitude Phase Shift Keying)
AWGN	Toplam Beyaz Gauss Gürültüsü (Additive White Gaussian Noise)
CDM	Kod Bölmeli Çoğullama (Code Division Multiplication)
CORDIC	Koordinat Rotasyonlu Dijital Bilgisayar (Coordinate Rotation Digital Computer)
DEMUX	Çözücü (Demultiplexer)
DSB	Çift Yan Bant Modülasyonu (Double Sideband Modulation)
DSL	Sayısal Abone Hattı (Digital Subscriber Line)
FDM	Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplication)
FM	Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation)
FPGA	Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array)
FSK	Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Frequency Shift Keying)
HDL	Donanım Tanımlama Dili (Hardware Description Language)
IP	İnternet İletişim Kuralı (Internet Protocol)
ISI	Semboller Arası Girişim (Intersymbol Interference)
JTAG	Ortak Test Eylem Grubu (Joint Test Action Group)
LAN	Yerel Ağ Bağlantısı (Local Area Network)
MUX	Çoğullama (Multiplexer)
OFDM	Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
PDM	Polarizasyon Bölmeli Çoğullama (Polarization Division Multiplexing)
PM	Faz Modülasyonu (Phase Modulation)
POTS	Düz Eski Telefon Servisi (Plain Old Telephone Services)
PSK	Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Phase Shift Keying)
QAM	Karesel Genlik Modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation)
QPSK	Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying)
RF	Radyo Frekansı (Radio Frequency)
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification)
SDM	Uzay Bölmeli Çoğullama (Space Division Multiplexing)
SDR	Yazılım Tabanlı Radyo (Software Defined Radio)

SNR	Sinyal Gürültü Oranı (Signal Noise Ratio)
SOC	Güvenlik Operasyonları Merkezi (Security Operations Center)
SSB	Tek Yan Bant Modülasyonu (Single Sideband Modulation)
TDM	Zaman Bölmeli Çoğullama (Time Division Multiplication)
VHDL	Verilog Donanım Tanımlama Dili (Verilog Hardware Description Language)
VSB	Artık Yan Bant Modülasyonu (Vestigial Sideband Modulation)
WDM	Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama (Wavelength Division Multiplication)



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Analog modülasyon çeşitleri (Alper 2009) .....	2
Şekil 1.2	Sayısal modülasyon çeşitleri (Kırkaya 2016). .....	3
Şekil 1.3	Temel bir çoğullama sistemi yapısı .....	4
Şekil 1.4	Çoğullama çeşitleri (Sheldon and Burke 2021).....	5
Şekil 2.1	İki set ortonormal fonksiyonlar $\psi_1(t)$ , $\psi_2(t)$ ve $\psi_1^a(t)$ , $\psi_2^a(t)$ .....	9
Şekil 2.2	$s_1(t)$ ve $s_2(t)$ sinyal dalga formları .....	11
Şekil 2.3	$s_1(t)$ ve $s_2(t)$ sinyal yıldız diyagramı .....	13
Şekil 2.4	4 PSK (QPSK) sinyal yıldız diyagramı .....	13
Şekil 2.5	8 PSK sinyal yıldız diyagramı .....	14
Şekil 2.6	Frekans bölmeli çoğullama iletim hattı şeması .....	16
Şekil 3.1	Xilinx zed board .....	18
Şekil 3.2	Xilinx zed board'ın bilgisayar bağlantısı .....	19
Şekil 3.3	Subsystem formatında 8 PSK verici alıcı, gürültü üretici ve hardware cosim bloğu .....	19
Şekil 3.4	Subsystem altı 8 PSK verici sistemi .....	20
Şekil 3.5	Subsystem altı 8 PSK alıcı sistemi .....	20
Şekil 3.6	Subsystem altı gürültü üretici sistemi .....	21
Şekil 3.7	SIMULINK ortamında QPSK oluşturma .....	21
Şekil 3.8	OFDM sembolü test fonksiyon grafiği .....	22
Şekil 3.9	OFDM sembolü test fonksiyon grafiği (Sabit nokta dönüşümlü) .....	23
Şekil 3.10	MATLAB HDL kod jeneratöründe QPSK-OFDM sabit nokta dönüşüm aşaması .....	24
Şekil 3.11	MATLAB HDL kod jeneratöründe QPSK-OFDM HDL kod dönüşümü .....	24
Şekil 3.12	OFDM sembollerinin Zedboard'a aktarılması.....	25

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada “Sayısal Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Modülasyon Tekniklerinin MATLAB ve FPGA Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Zedboard’a Aktarılması” konusu için gerekli olan bilgi, yöntem ve simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir. Giriş bölümünde genel olarak modülasyon ve çeşitleri, kullanım alanları gibi konular hakkında bilgi verilmiştir.

### 1.1 Modülasyon

Modülasyon, aktarılmak istenen bilgi sinyalinin bir taşıyıcı sinyal vasıtası ile istenilen biçim ve teknikte iletilmesi tekniğidir (Ugweje 2000).

Yüksek frekanslı sinyallerin iletimi alçak frekanstaki sinyallere göre daha kolaydır bu sebepten dolayı alçak frekanslı bilgi sinyallerimizin iletimi, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyallere bindirilerek sağlanmaktadır (Türkyılmaz vd. 2012).

Neden modülasyon;

- ❖ Anten boyunun küçülmesi,
- ❖ Sinyalde çoklama ve girişimin engellenmesi,
- ❖ Yüksek frekans aralığına çıkabilme,
- ❖ Sinyalde oluşan gürültü performansının iyileştirilmesi,
- ❖ Bir kanaldan iletilen bit hızının iyileştirilmesi.

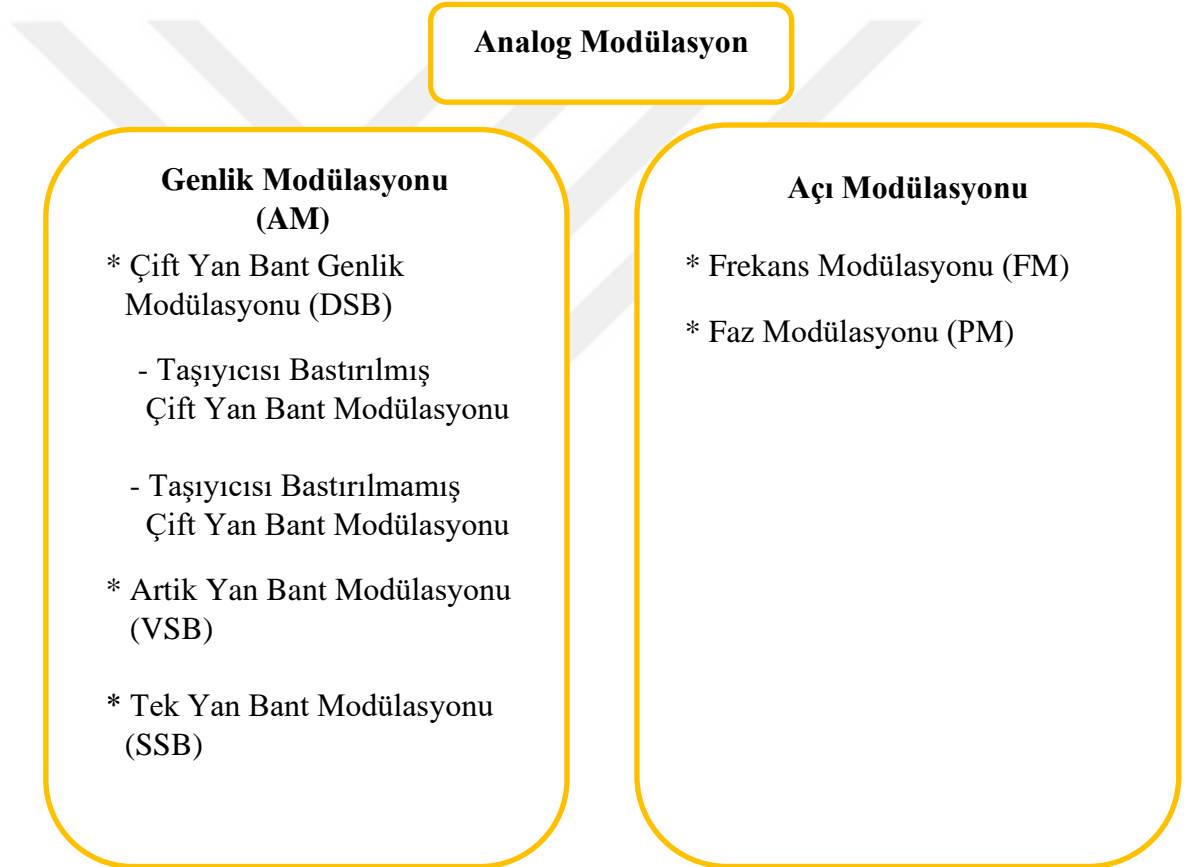
Modülasyonda ses veya görüntü yayınlanmaz RF sinyali yayınlanır. RF sinyali ses ve görüntüdeki bilgiyi iletir. Genelde orijinal sinyal taşıyıcının faz, frekans veya genliğine modüle edilir.

Modülasyon çeşitleri ikiye ayrılmaktadır; analog modülasyon ve sayısal modülasyon.

### 1.1.1 Analog Modülasyon

Konuşma, görüntü ve video, zamanın sürekli bir fonksiyonu olarak değişen analog bilgi işaretlerine örnektir. Analog bilgi işaretleri sayısal modülasyon tekniklerini kullanarak doğrudan veya dijital verilere dönüştürülerek iletilebilir (Proakis and Salehi 2001).

Analog modülasyon analog bir işaret sinyalinin (sinüzoidal işaret sinyali gibi) bilgilerinin taşıyıcı sinyalin işaretine bağlı olarak değişmesine denir. Karasal yayıncılıkta kullanılır. Şekil 1.1 de gösterildiği gibi analog modülasyon ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 1.1 Analog modülasyon çeşitleri (Alper 2007)

### 1.1.2 Sayısal Modülasyon

Sayısal sinyalleri iletim kanallarına uygun dalga şekillerine çevirmek için kullanılmaktadır. Başka bir ifade ile sayısal modülasyon, bilgi sinyaline göre analog taşıyıcı sinyalinin karakteristik özelliklerinin değiştirilmesidir. Bilişim teknolojilerinde kullanılmaktadır (Türkyılmaz vd. 2012).

Sayısal modülasyonun, analog modülasyona göre farkları;

- ❖ Bilgi kapasitesi daha üst seviyededir.
- ❖ Sayısal veri servisleri ile uyumlu çalışmaktadır.
- ❖ Analog modülasyona göre veri güvenliği üst seviyededir.
- ❖ Analog haberleşmeye göre daha haberleşme kalitesi üst seviyededir.
- ❖ Gürültüye sinyallerine karşı daha dayanıklıdır.
- ❖ Çoğullama işlemlerinde daha elverişlidir.

Şekil 1.2 de Sayısal modülasyon çeşitleri gösterilmiştir.

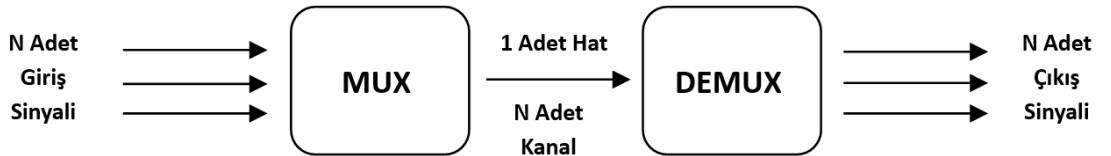


Şekil 1.2 Sayısal modülasyon çeşitleri (Kırkkaya 2016).

## 1.2 Çoğullama

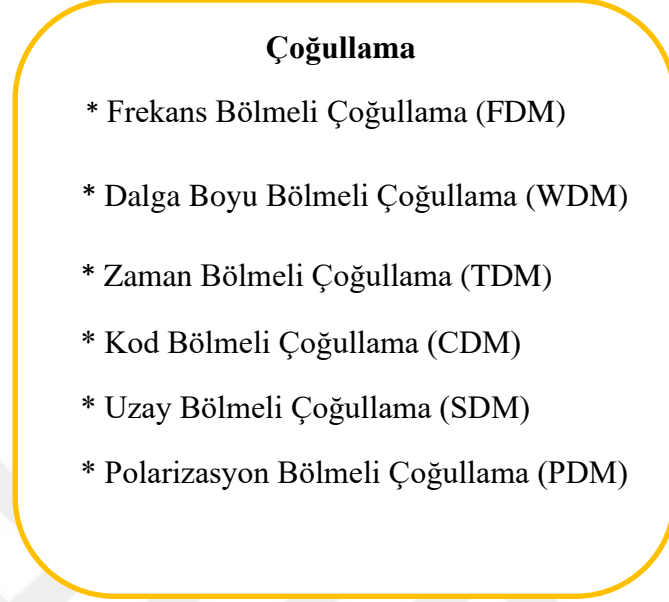
İki cihazı birbirine bağlayan haberleşme ortamının bant genişliği, cihazların bant genişliği ihtiyaçlarından daha büyük olduğunda, bu bağlantı paylaşılabilir. Çoğullama birden fazla sinyalin tek bir iletim ortamında iletilmesini sağlar. Veri iletimi ve telekomünikasyon sektöründe birden fazla sinyal gönderildiği için bu sinyal trafiği artmaktadır. Sinyal sayısı arttıkça iletim hatta sayısı ve bant genişliği artacaktır. Eğer iletim hattının bant genişliği haberleşme sinyallerinden fazla ise iletim hattının bant genişliği boşa harcanmış olur. Çoğullama sistemi bu kaybı önlemiş olur. oğullamada aktarılacak bilgi analog veya dijital olabilir (Forouzan 2007).

oğullanmış bir sistemde, N sayıda giriş sinyalleri bir bağlantının bant genişliğini paylaşır. Şekil 1.4 oğullanmış bir sistemin temel formatını gösterir. Giriş sinyalleri iletimlerini tek bir akışta birleştiren bir çoklayıcıya (MUX) aktarır. Alıcı uçta, bu akış bir oğullama çözücüye (DEMUX) beslenir; akışı bileşen aktarımlarına (birden çoğa) ayırır ve ilgili satırlara yönlendirir. Kanal kelimesi, belirli bir hat çifti arasında bir iletimi taşıyan bir bağlantının bölümünü ifade eder. Bir bağlantının birçok (N) kanalı olabilir (Forouzan 2007).



Şekil 1.3 Temel bir oğullama sistemi yapısı

Şekil 1.3 de oğullama sisteminin Şeması, Şekil 1.4 de oğullama sisteminin eřitleri gösterilmiştir.



**Şekil 1.4** oğullama eřitleri (Sheldon and Burke 2021)

## 2. TEORİK ALTYAPI

Bu kısımda sinyal iletimine katkı sağlayan iletişim kanallarından, sinyal işaretleme yöntemlerinden, çoğullama tekniklerinden olan FDM den, sayısal modülasyon tekniklerinden olan PSK, QPSK' dan ve OFDM modülünden detaylı bilgiler verilmiştir.

Sayısal verinin iletimi çeşitli yöntemlerle karakterize edilmiş haberleşme kanalları üzerinden olmaktadır. Beyaz Gauss Gürültüsü (AWGN) bu yöntemlerden biridir ayrıca çeşitli iletişim kanalları için sinyal iletimine katkı sağlayan önemli bir matematiksel yöntemdir. Kablolu iletişim ve bazı radyo kanallarında sıkça kullanılmaktadır.

Çoğu temel bant kanalının geçiş bandı frekansı sıfırdır ( $f = 0$ ) veya çoğu bant geçiren kanalın geçiş bandı  $f=0$  'dan çok uzaktadır bu sebepten dolayı dijital bilgi bu iletişim kanallarında iletildiğinde taşıyıcı frekansa gerek yoktur. Telefon haberleşme kanalları, radyo kanalları ve uydu haberleşme kanalları bant geçiren kanallara birer örnektir.

(Proakis and Salehi 2001)

### 2.1 Sinyal Dalga Formlarının Geometrik Gösterimleri

Sinyal dalga formlarının sinyal uzayındaki noktasal geometrik gösterimleri için birçok çalışma mevcuttur. İşaretleme yöntemi bir kanal üzerinden iletilen bilgi sinyal setlerinin karakterizasyonu ve performanslarını değerlendirmemizi sağlar. Sinyallerin vektörlerini işaretleme yöntemi kullanarak belirtebilmemiz mümkündür aynı şekilde bu vektörler dalga formlarının iletişim kanallarını belirtmemizi sağlar.

İletişim kanallarından bilgi iletmek için kullanılan  $M$  adet sinyal aşağıdaki gibi (2.1)

$$s_1(t) \dots s_m(t) \dots s_M(t) \quad 1 \leq m \leq M \quad (2.1)$$

belirtilmiştir. Sinyal uzayında bir alan olarak  $N$  belirlenmiştir. Amaç  $N \leq M$  kadar ortonormal dalga formu üretmektir. Bu yöntem Gram-Schmidt Ortogonalizasyon yöntemi adı verilir. Bu yöntem bir dizi sinyal dalga formunu ortogonal haline dönüştürmek için kullanılmaktadır.

$M$  adet bir dizi sinyalin  $s_1(t)..... S_M(t)$ ,  $n$  derece bir dizi ortonormal temel fonksiyonunu  $\psi_1(t)..... \psi_n(t)$  bulmak için aşağıdaki denklem (2.2) kullanılmaktadır.

$$\psi_1(t) = \frac{s_1(t)}{\sqrt{\varepsilon_1}} \quad (2.2)$$

$\varepsilon_1$ ,  $s_1(t)$  nin enerjisi olduğu için denklemdeki (2.3) gibi ifade edilebilir.

$$\varepsilon_1 = \int_{-\infty}^{\infty} s_1^2(t) dt \quad (2.3)$$

Buradaki amaç ortonormal temel fonksiyonunun bazı ölçekleme problemlerinden kaçınmak için bir birim enerji oluşturulmasıdır.

Denklemden (2.6) gösterilen  $s_2(t)$ 'nin ortonormal fonksiyonu olan  $\psi_2(t)$ 'yi bulmak için önce sinyallerin izdüşümü aşağıdaki formüle (2.4) göre hesaplanmaktadır.

$$c_{21} = \int_{-\infty}^{\infty} s_2(t)\psi_1(t)dt \quad (2.4)$$

Ardından eşitlikte (2.5) gösterildiği gibi önce  $s_2(t)$  nin ortogonalini, sonra denklemden (2.6) gösterilen  $s_2(t)$  'nin ortonormali hesaplanmaktadır. En son aşağıda (2.7) gösterilen enerji sinyali hesaplanmaktadır.

$$d_2(t) = s_2(t) - c_{21}\psi_1(t) \quad (2.5)$$

$$\psi_2(t) = \frac{d_2(t)}{\sqrt{\varepsilon_2}} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_2 = \int_{-\infty}^{\infty} d_2^2(t) dt \quad (2.7)$$

Genel olarak  $n$  derecede bir ortonormal temel fonksiyon aşağıdaki fonksiyonlar (2.9), (2.10), (2.11) ve (2.12) yardımıyla bulunabilmektedir.

$$\psi_n(t) = \frac{d_n(t)}{\sqrt{\varepsilon_n}} \quad (2.9)$$

$$d_n(t) = s_n(t) - \sum_{i=1}^{n-1} c_{ni} \psi_i(t) \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_n = \int_{-\infty}^{\infty} d_n^2(t) dt \quad (2.11)$$

$$c_{ni} = \int_{-\infty}^{\infty} s_n(t) \psi_i(t) dt \quad (2.12)$$

$$i = 1, \dots, n-1$$

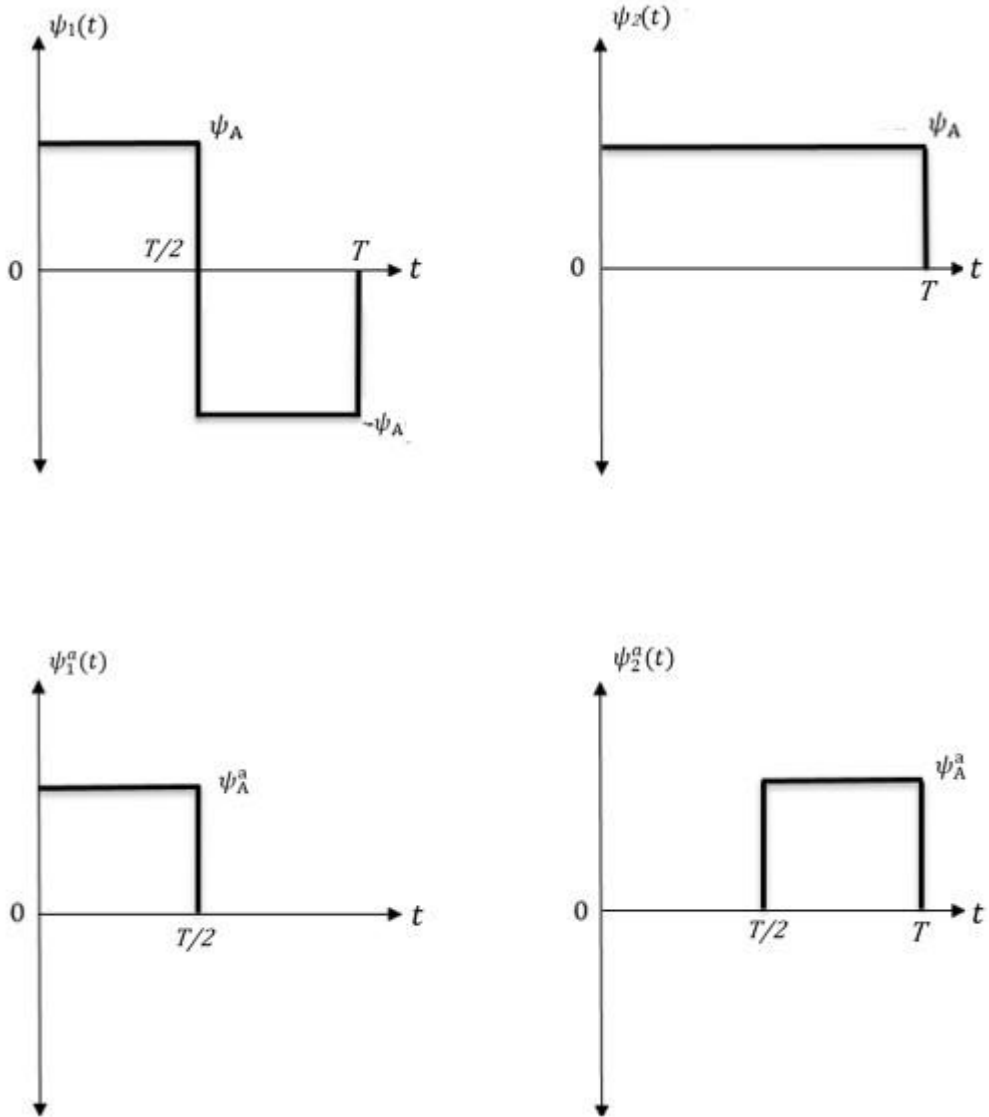
Yukarıdaki işlemler  $n = M$  olana kadar devam etmektedir. (Proakis and Salehi 2001)

## 2.2 Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK) ve Karesel Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK)

Gürültüden en az etkilenen modülasyon tekniğidir bu sebepten dolayı askeri ve uydu sistemlerinde, orta-hızlı ve yüksek-hızlı sayısal haberleşme uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Günümüzde birçok sayısal haberleşme sistemlerinde kullanılan üst seviyeli” bir modülasyon tekniğidir ve modülasyon yöntemlerinin en temelini oluşturmaktadır (Ertürk 2005).

Ayrıca belirli bir zamanda sinüs ve kosinüs girişlerinin değiştirilerek taşıyıcı sinyalin fazının değiştirildiği sayısal modülasyon tekniğidir. PSK tekniği, kablosuz LAN' lar, biyometrik, temassız işlemler, RFID ve Bluetooth iletişimleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Anonim 2022).

İki boyutlu bir eksende  $\psi_1(t)$  ve  $\psi_2(t)$  olarak iki ortonormal dizi oluşturduğumuzda eksen görüntüsü aşağıdaki gibidir.



**Şekil 2.1** İki set ortonormal fonksiyonlar  $\psi_1(t)$ ,  $\psi_2(t)$  ve  $\psi_1^a(t)$ ,  $\psi_2^a(t)$

Şekil 2.1 deki grafiklerden  $\psi_1(t), \psi_2(t), \psi_1^a(t)$  ve  $\psi_2^a(t)$  için eşitlikler aşağıdaki gibi (2.13), (2.14) ifade edilebilmektedir.

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } \psi_1(t) = \psi_A$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } \psi_1(t) = -\psi_A \quad (2.13)$$

$$t < 0 \text{ veya } t > T \text{ için } \psi_1(t) = 0$$

$$0 \leq t \leq T \text{ için } \psi_2(t) = \psi_A, t < 0 \text{ veya } t > T \text{ için } \psi_2(t) = 0$$

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } \psi_1^a(t) = \psi_A^a, t < 0 \text{ veya } t > T/2 \text{ için } \psi_1^a(t) = 0 \quad (2.14)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } \psi_2^a(t) = \psi_A^a, t < T/2 \text{ veya } t > T \text{ için } \psi_2^a(t) = 0$$

Bu eşitliklerden çıkarılan denklemler aşağıdaki (2.15) (2.16) gibidir.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_1(t)\psi_2(t)dt = 0 \quad (2.15)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_1^a(t)\psi_2^a(t)dt = 0 \quad (2.16)$$

Böylece  $\psi_1(t), \psi_2(t), \psi_1^a(t)$  ve  $\psi_2^a(t)$  kendi aralarında ortogonallik oluştururlar.

Yine yukarıdaki denklemi kullanarak

$$\psi_A = \frac{1}{\sqrt{T}} \quad (2.17)$$

$$\psi_A^a = \sqrt{\frac{2}{T}} \quad (2.18)$$

Denklemler (2.17), (2.18) elde edilmektedir ve bu denklemler sayesinde  $\psi_1(t), \psi_2(t), \psi_1^a(t), \psi_2^a(t)$  değerlerini bulabilmekteyiz.

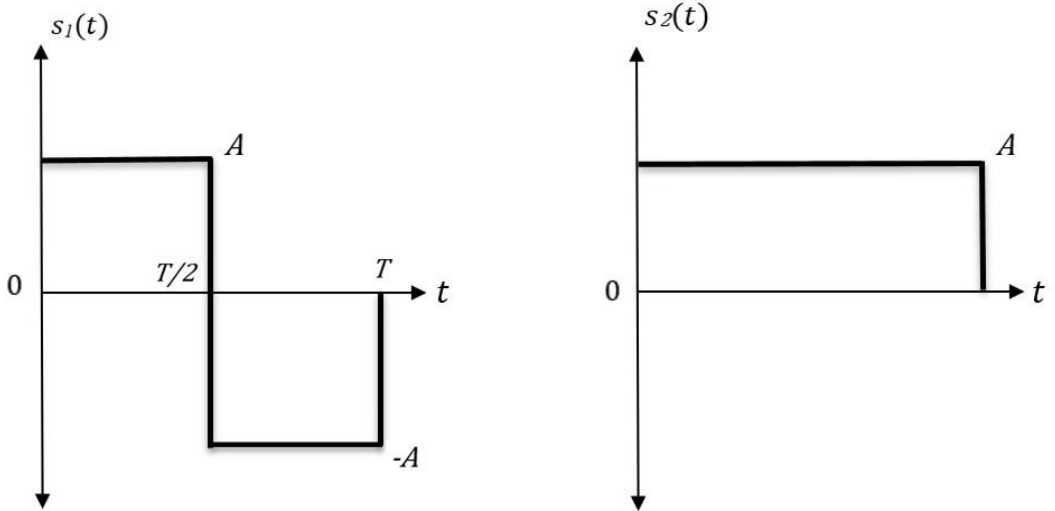
Son olarak  $\psi_1(t), \psi_2(t), \psi_1^a(t)$  ve  $\psi_2^a(t)$  değerlerinin enerji denklemleri (2.19), (2.20), (2.21), (2.22) aşağıdaki gibidir.

$$\int_{-\infty}^{\infty} [\psi_1^a(t)]^2 dt = 1 \quad (2.19)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} [\psi_2^a(t)]^2 dt = 1 \quad (2.20)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_1^2(t) dt = 1 \quad (2.21)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_2^2(t) dt = 1 \quad (2.22)$$



**Şekil 2.2**  $s_1(t)$  ve  $s_2(t)$  sinyal dalga formları

$\psi_1(t), \psi_2(t)$  değerleri hesaplandığı gibi aynı şekilde Şekil 2.2 deki grafiklerden  $s_1(t)$  ve  $s_2(t)$  sinyalleri aşağıdaki gibi (2.23), (2.24), (2.25), (2.26) ifade edilebilmektedir. Son olarak bu sinyallerin Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.4 te gösterildiği gibi yıldız diyagramları oluşturulmuştur.

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } s_1(t) = A$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } s_1(t) = -A \quad (2.23)$$

$$t < 0 \text{ veya } t > T \text{ için } s_1(t) = 0$$

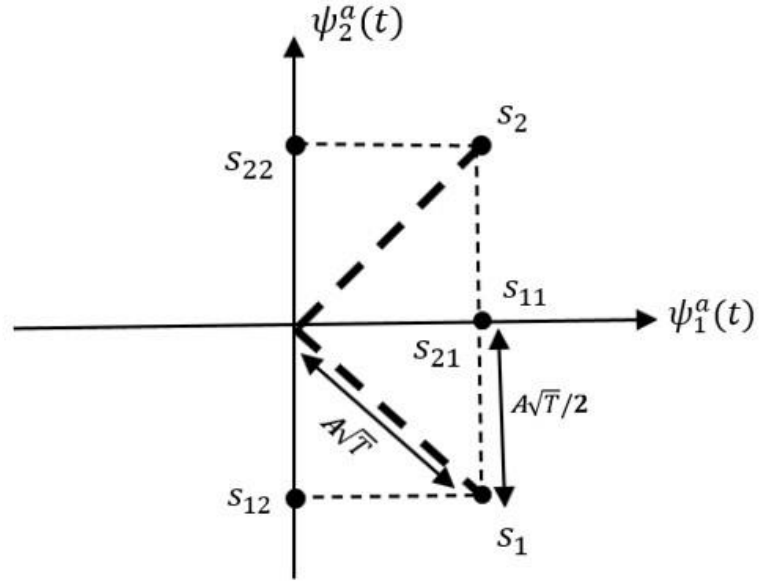
$$0 \leq t \leq T \text{ için } s_2(t) = A, t < 0 \text{ veya } t > T \text{ için } s_2(t) = 0$$

$$0 \leq t \leq T \text{ için } S_1(t) = A \sqrt{\frac{T}{2}} \psi_1^a(t) - A \sqrt{\frac{T}{2}} \psi_2^a(t), t < 0 \text{ veya } t > T \text{ için } s_1(t) = 0 \quad (2.24)$$

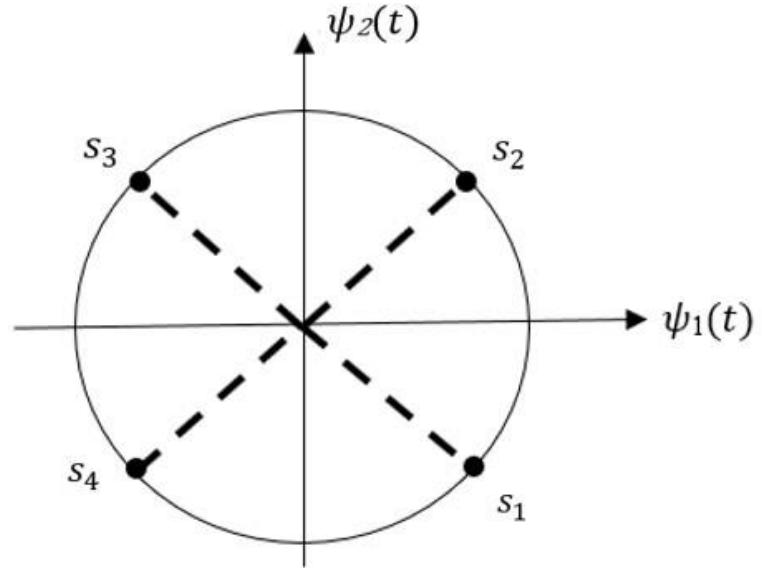
$$0 \leq t \leq T \text{ için } S_2(t) = A \sqrt{\frac{T}{2}} \psi_1^a(t) + A \sqrt{\frac{T}{2}} \psi_2^a(t), t < 0 \text{ veya } t > T \text{ için } s_2(t) = 0$$

$$s_1 = [s_{11}, s_{12}] = \left[ A \sqrt{\frac{T}{2}} - A \sqrt{\frac{T}{2}} \right] \quad (2.25)$$

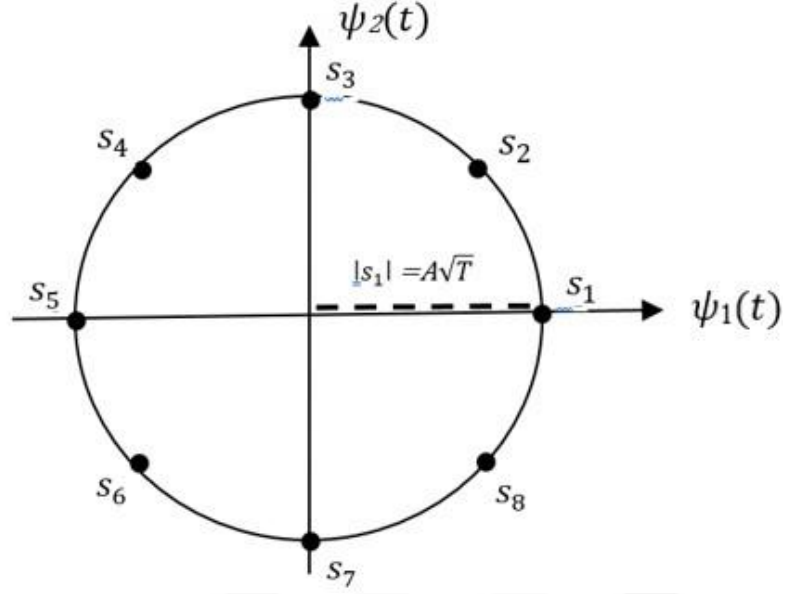
$$s_2 = [s_{21}, s_{22}] = \left[ A \sqrt{\frac{T}{2}}, A \sqrt{\frac{T}{2}} \right] \quad (2.26)$$



Şekil 2.3  $s_1(t)$  ve  $s_2(t)$  sinyal yıldız diyagramı



Şekil 2.4 4 PSK (QPSK) sinyal yıldız diyagramı



Şekil 2.5 8 PSK sinyal yıldız kümesi

$s_1(t)$  için hesaplanan enerji formülü ve  $s_2(t)$  için hesaplanan enerji formülü aşağıdaki denklemler (2.27), (2.28) gibidir.

$$\mathcal{E}_1 = \|S_1\|^2 = s_{11}^2 + s_{12}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} s_1^2(t) dt = A^2 T \quad (2.27)$$

$$\mathcal{E}_2 = \|S_2\|^2 = s_{21}^2 + s_{22}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} s_2^2(t) dt = A^2 T, \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 \quad (2.28)$$

### 2.3 Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM)

Bu çoğullama tekniği birbirinden bağımsız sinyallerin aynı frekans spektrumunda veri göndermesi için analog ve hücreli sistemlerde kullanılır. Yöntem, frekans bandını 30'a bölüp, her bir bölümden ses ve data haberleşmesi gerçekleştirir. Her kanaldan aynı anda sadece 1 kişi yararlanabilir ve kanallar kullanıcı talebi olduğunda ilgili kullanıcıya tahsis edilir. Tahsis edilen her kanala ait ayrı bir frekans bandı bulunur. Günümüz mobil iletişimde, FDM yerini TDM, Time Division Multiplexing (Zaman Bölmeli Çoğullama) ve CDM, Code Division Multiplexing (Kod Bölmeli Çoğullama)'e bırakmıştır. Bu metot sınırlı erişime imkan tanır. FDM, eşleme ya da zaman kontrolü gerektirmez. FDM, daha çok analog sistemlerde kullanılır. Dijital sistemlerin sağlamış olduğu avantajlardan tamamen faydalanmak için FDM tekniği iyi bir çözüm değildir. Örnek olarak DSL, Digital Subscriber Line (Sayısal Abone Hattı), teknolojisi verilebilir. DSL; alışı kanalı (downstream), gönderiş kanalı (upstream) ve ses iletimi için POTS, Plain Old Telephone Service (Düz Eski Telefon Servisi), hizmetleri aynı hat üzerinden farklı frekans bantlarından iletim sağlar. Örneğin 3100 – 300 Hz frekans genişliğindeki ses sinyallerinin telefonun dışından yapılan iletimi bu şekilde olmaktadır. Sinyaller aynı bant genişliğinde iletim hattından iletilirken ayrı ayrı iletilir bu şekilde iletilen sinyaller birbirinden bağımsız şekilde iletilmiş olur (Haykin 2001).

Frekans Bölmeli Çoğullama yöntemini kullanabilmemiz için iletim hattının bant genişliğinin sinyallerin toplam bant genişliğinden büyük olması gerekmektedir. Ayrıca taşınacak sinyalin analog olması gerekmektedir. Bu yöntemi kullanarak Şekil 2.6 da gösterildiği gibi iletim hattını 3'e bölüp sinyalleri birbirinden bağımsız şekilde tek seferde iletmemiz mümkündür. (Forouzan 2007)



**Şekil 2.6** Frekans bölmeli çoğullama iletim hattı şeması

#### 2.4 Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)

Yüksek veri hızlı kablosuz iletişim ilk zamanlarından günümüze kadar dik frekans çoğullama yöntemi (OFDM) ile en az dört kat hızlanmıştır (Kirubanandasarathy and Karthikeyan 2012).

Telekomünikasyonda OFDM dijital (ikili) verileri birden fazla taşıyıcı frekansta kodlamak için dijital modülasyonda kullanılan bir dijital iletim türüdür. OFDM, dijital televizyon ve ses yayını, DSL internet erişimi, kablosuz ağlar, güç hattı ağları ve 4G / 5G mobil iletişim gibi uygulamalarda kullanılan geniş bant dijital iletişim için popüler bir şema haline gelmiştir (Ergen 2009).

Başka bir deyişle OFDM, tek bir bilgi akışının, tek bir geniş bant kanal frekansı yerine birkaç yakın aralıklı dar bant alt kanal frekansı arasında bölündüğü bir veri iletim yöntemidir (Wright and Burke 2021).

### **3. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE SONUÇLAR**

#### **3.1 MATLAB ve HDL Kodlayıcı hakkında**

MATLAB milyonlarca mühendis ve bilim insanı tarafından verileri analiz etmek, algoritmalar geliştirmek ve modeller oluşturmak için kullanılan bir programlama ve sayısal hesaplama platformudur (Anonim.1 2023).

HDL Coder MATLAB işlevlerinden, Simulink modellerinden ve Stateflow çizelgelerinden taşınabilir, sentezlenebilir Verilog ve VHDL kodları oluşturarak FPGA'ler, SoC'ler ve ASIC'ler için üst düzey tasarım sağlar. Oluşturulan HDL kodu FPGA programlama, ASIC prototipleme ve üretim tasarımı için kullanabilmektedir (Anonim.2 2023).

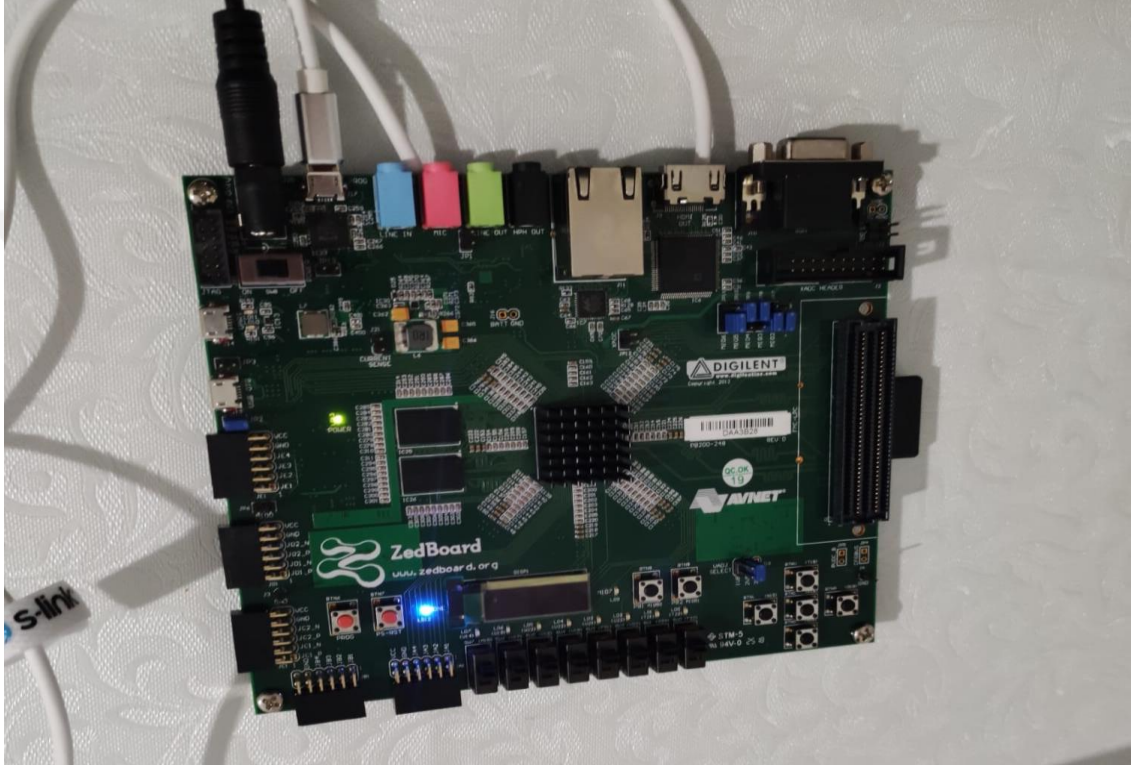
HDL Coder, Xilinx, Intel ve Microchip kartlarında üretilen kodu prototiplemeyi otomatikleştiren veya ASIC ve FPGA iş akışları için IP çekirdekleri oluşturan bir iş akışı danışmanı içerir. Hız ve alan için optimizasyon yapabilir, kritik yolları vurgulayabilir ve sentezden önce kaynak kullanım tahminleri oluşturabilirsiniz. HDL Coder, Simulink modelleriniz ile oluşturulan Verilog ve VHDL kodu arasında izlenebilirlik sağlayarak DO-254 ve diğer standartlara bağlı yüksek bütünlüklü uygulamalar için kod doğrulama sağlar (Anonim.2 2023).

#### **3.2 Projeye başlarken**

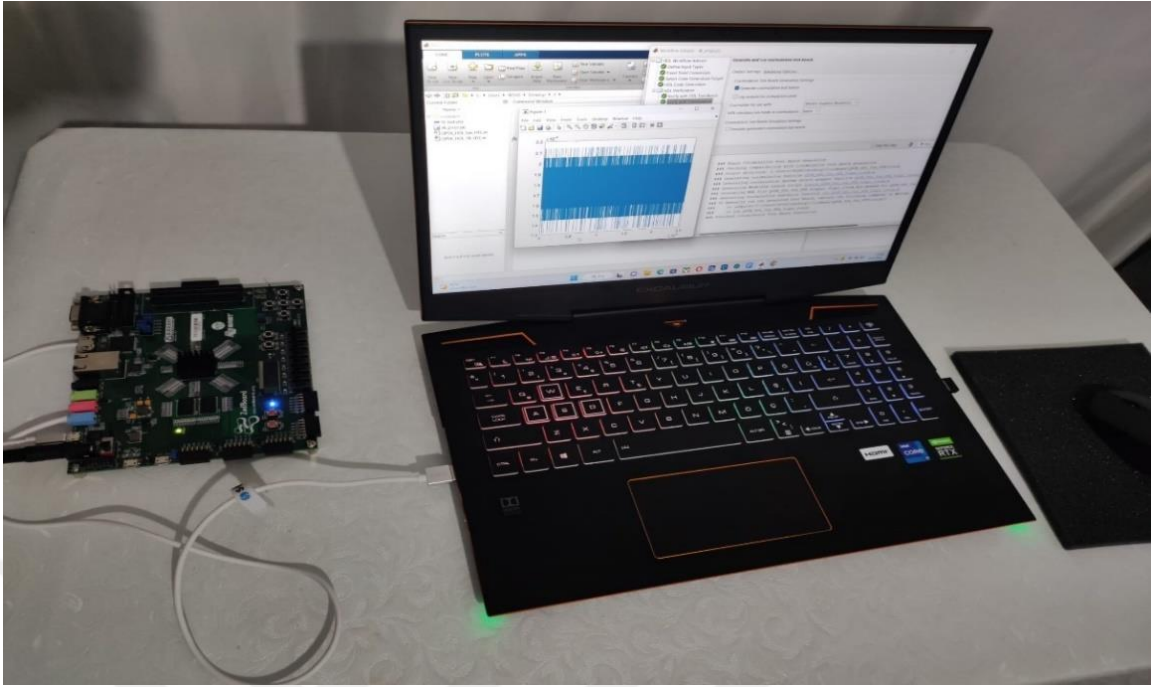
Projeye başlamadan önce MATLAB, SIMULINK ve Vivado programları kurulup System Generator ile birbirlerine bağlantısı yapılmıştır. Projede Zed board olarak Şekil 3.1 de gösterilen Xilinx Zedboard ZC-706 Serisi kullanılmıştır. Programlar kurulduktan sonra Şekil 3.2'deki gibi bilgisayar bağlantısı yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında QFDM modülü, PSK ve QPSK haberleşme modülasyonlarını kullanarak bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma MATLAB programı kullanılarak geliştirilmiş ardından MATLAB HDL Coder ile yazılan kod karta aktarılmıştır (Şekil 3.12).

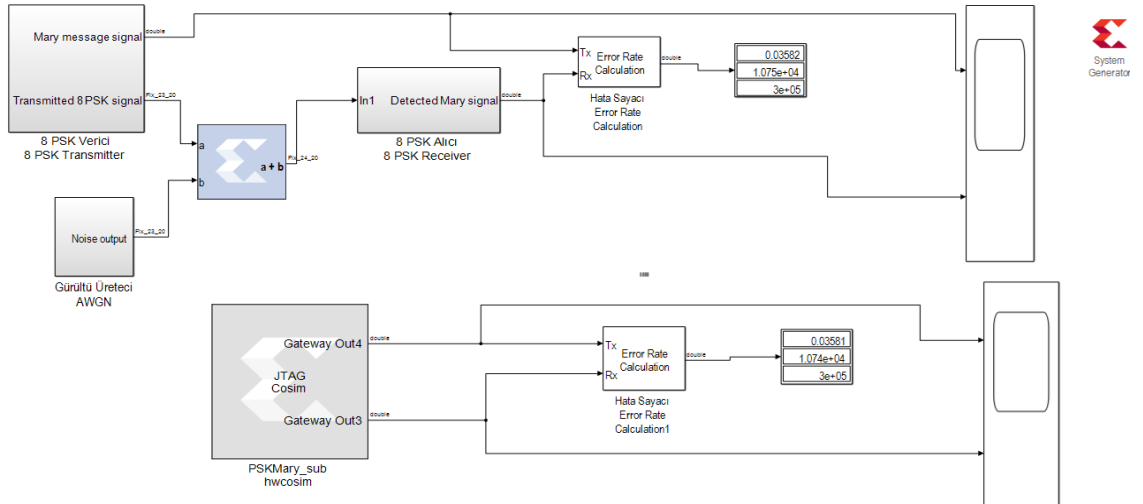
Önce Şekil 3.4 de MATLAB ve SIMULINK kullanılarak Subsystem formatında 8 PSK verici devresi oluşturulmuştur. Şekil 3.5 de ise Subsystem formatında 8 PSK alıcı devresi oluşturup Şekil 3.6 da gürültü üretici sistemi kurularak 8 PSK formatında bütün bir alıcı verici devresi (Şekil 3.3) oluşturulup değerler analiz edilmiştir.



Şekil 3.1 Xilinx Zedboard

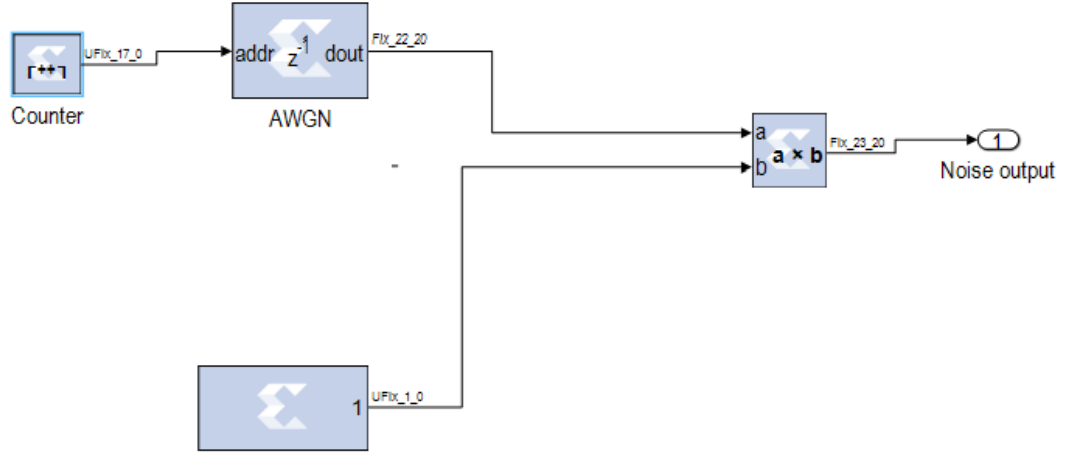


Şekil 3.2 Xilinx Zedboard'ın bilgisayar bağlantısı



Şekil 3.3 Subsystem formatında 8 PSK verici alıcı, gürültü üretici ve hardware cosim bloğu

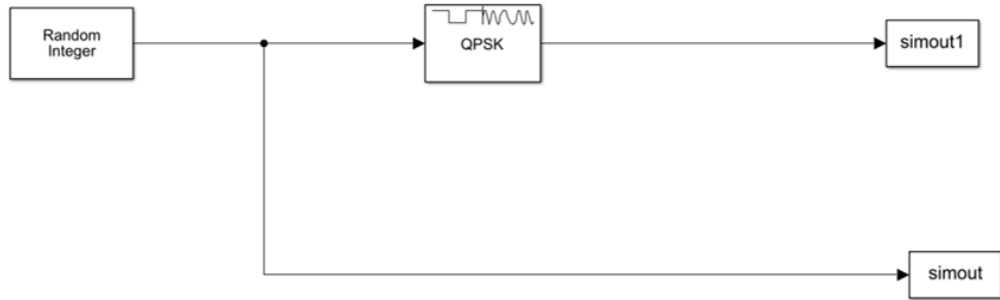




Şekil 3.6 Subsystem altı gürültü üretici sistemi

### 3.3 MATLAB ortamında QPSK Sembollerinin elde edilmesi

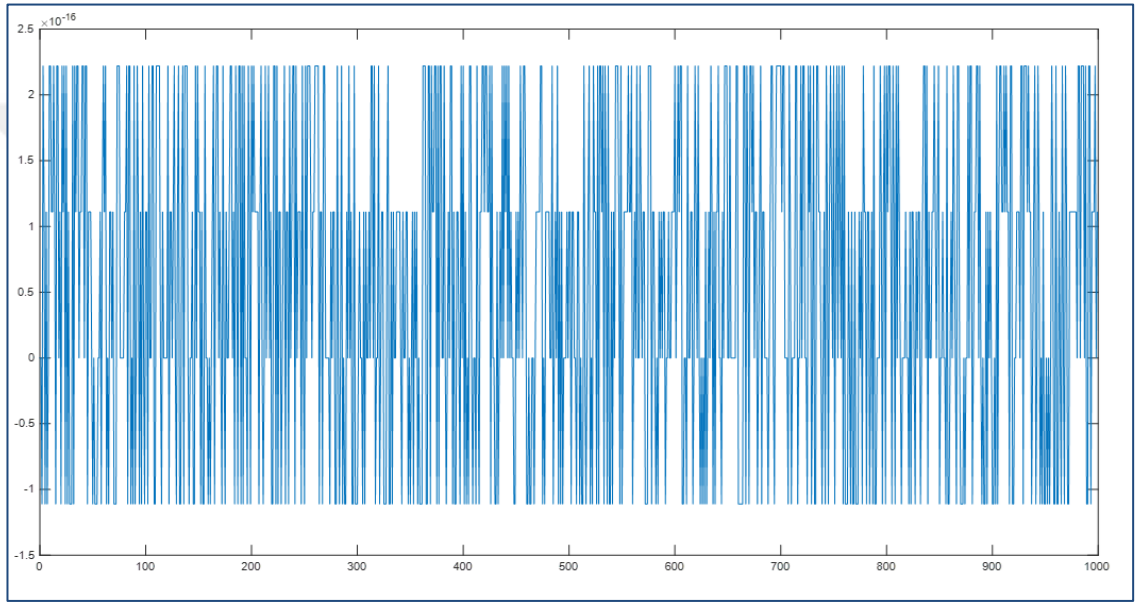
Bu kısımda önce 4 seviyeli M-ary sinyali oluşturulup sonrasında PSK modülasyonu kullanılarak QPSK sembolleri elde edilmiştir. EK 1 'de detaylı biçimde gösterilmiştir. Oluşturulan kodu çalıştırmak için SIMULINK kullanılarak destek alınmıştır (Şekil 3.7).



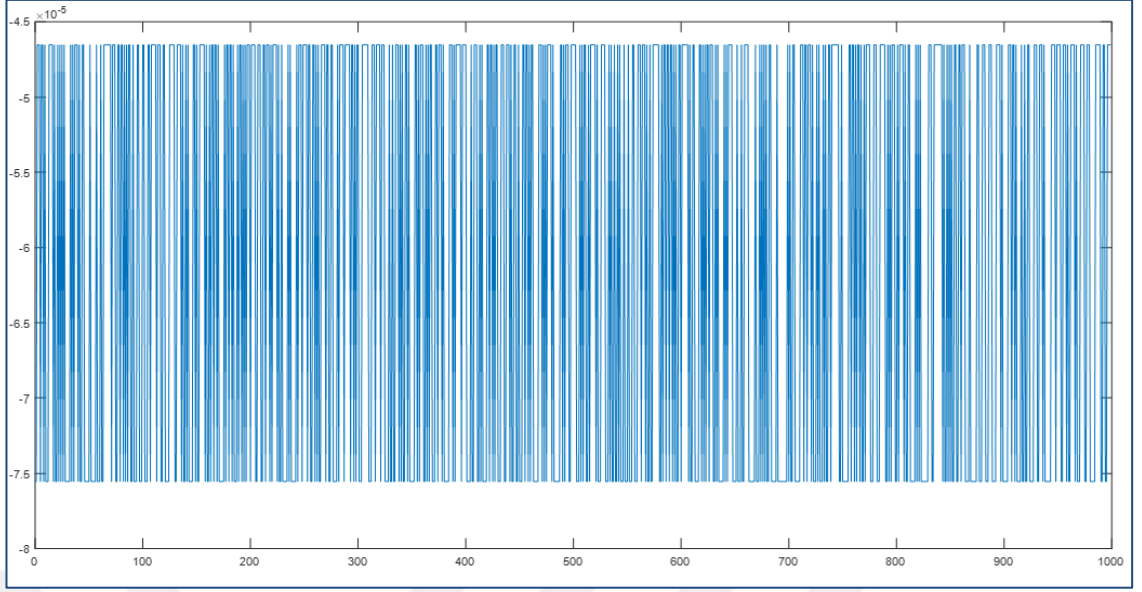
Şekil 3.7 SIMULINK ortamında QPSK oluşturma

### 3.4 QPSK Sembolünün Fonksiyon Bloğu ve Test Bloğunun oluşturması

Öncelikle EK 2 'de yazılan fonksiyon kodu ve test kodu MATLAB kullanılarak çalıştırılmıştır. İlk çıkan analiz sonucu Şekil 3.8 de gösterilmiştir. Ardından oluşturulan kodlar HDL Coder'a aktarılmıştır. HDL Coder Workflow Advisor kısmında birkaç analiz aşamasından geçip kodlar HDL e çevrilmiştir ardından tekrardan bir analiz sonucu çıkarılmıştır (Şekil 3.9).



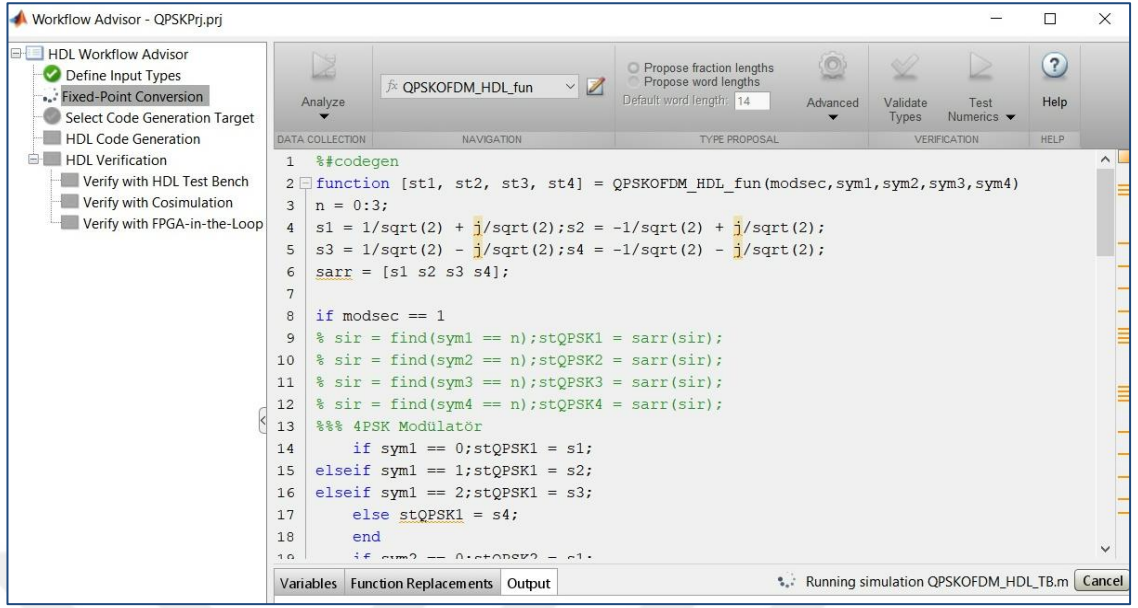
Şekil 3.8 OFDM sembolü test fonksiyon grafiği



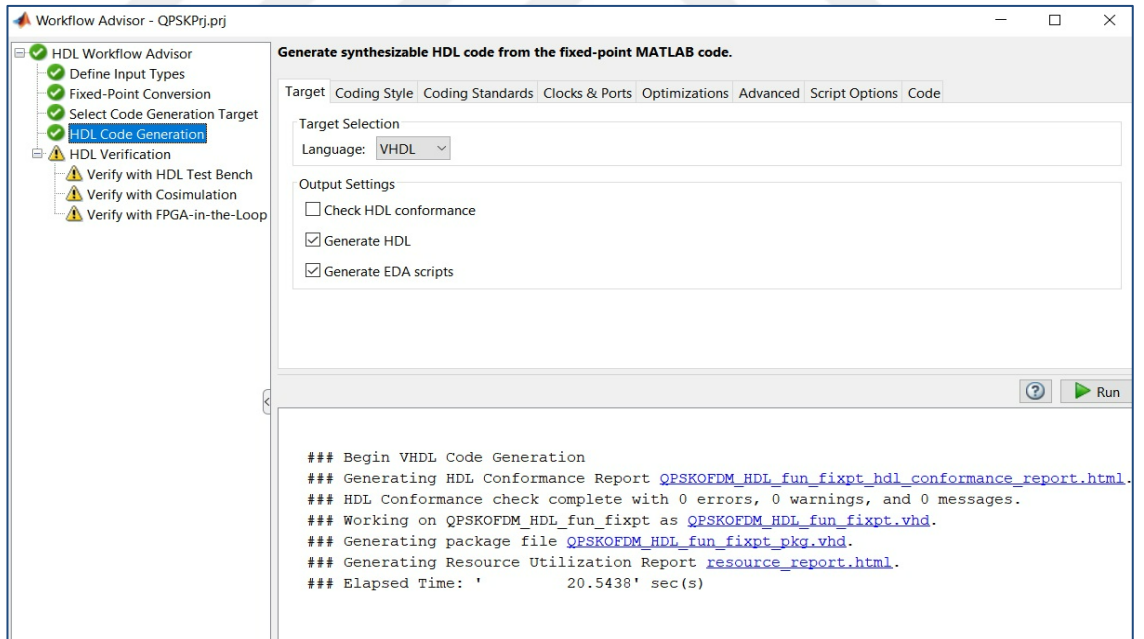
**Şekil 3.9** OFDM sembolü test fonksiyon grafiği (Sabit nokta dönüşümlü)

### **3.5 QPSK Sembollerinden OFDM Sembollerinin elde edilmesi**

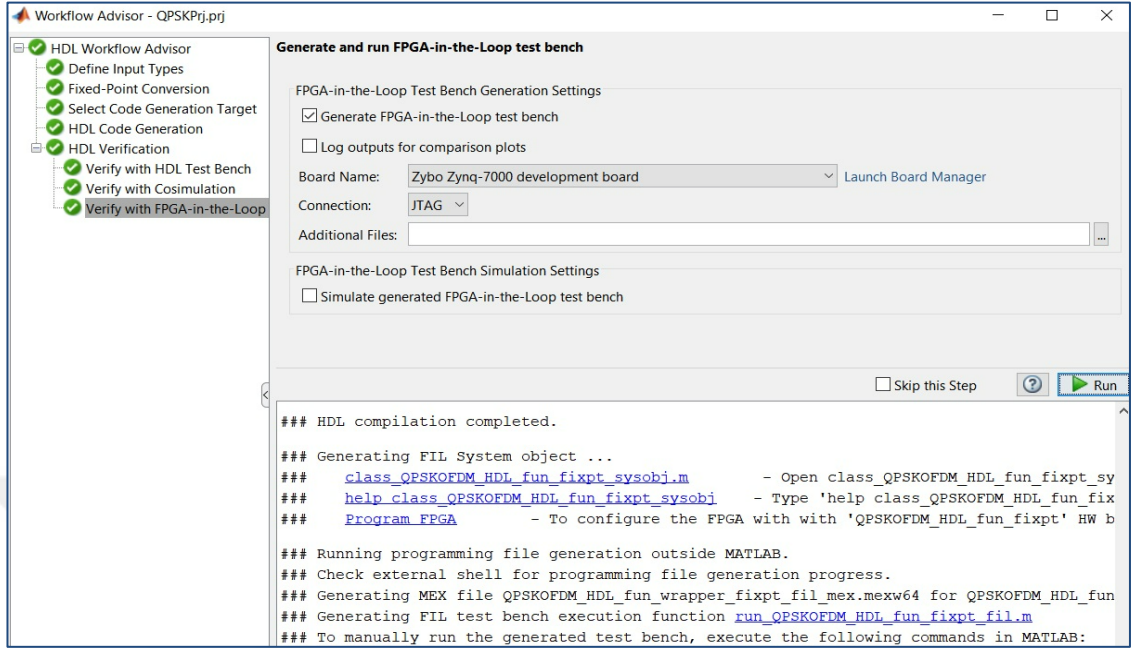
Bu kısımda MATLAB kullanılarak EK.3 'te gösterilen fonksiyon kodu ardından test kodu yazılarak önce QPSK sembolleri oluşturulup ardından OFDM sembolleri oluşturulmuştur. HDL Workflow Advisor sabit nokta dönüşüm kısmında kodlar HDL çevrilmiştir (Şekil 3.10), (Şekil 3.11). HDL Doğrulama kısmında yazılan kodlar karta aktarılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.10 MATLAB HDL kod jeneratöründe QPSK-OFDM sabit nokta dönüşüm aşaması



Şekil 3.11 MATLAB HDL kod jeneratöründe QPSK-OFDM HDL kod dönüşümü



Şekil 3.12 OFDM sembollerinin Zedboard'a aktarılması

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tezde öncelikle OFDM'i süren PSK ve QPSK modülasyonlarının ardından ISI, çoklu güzergâh ve düzgün olmayan haberleşme kanallarındaki başarısını ölçmek amacıyla OFDM üzerinde yoğunlaşmıştır. Öte yandan yazılım tanımlı radyo (software defined radio, (SDR)) kapsamında tüm modülasyon türlerinin donanımdan bağımsız, yazılım tabanlı olacak şekilde MATLAB ve SIMULINK kullanılması uygun bulunmuştur.

Ayrıca tezde içeren PSK, QPSK ve OFDM projelerini MATLAB'ın sunduğu HDL kod üretici sayesinde yazılımların yerli olarak üretilip ve kart üzerinde test edilmiştir. HDL kod üretici VHDL kod öğrenme ve yazmakla geçen zamanı bize geri kazandırmıştır.

Şekil 3.12 de görüldüğü gibi HDL kod üreticinin dahil olduğu HDL Workflow advisor kısmında üretilen kod test eden ve Zedboard'a yüklemeye hazır eden HDL Verification kısmı bulunmaktadır. Böylece yazılan kod karta ulaşmadan doğruluğu teyit edilmiştir.

Projeyi şu şekilde özetleyecek olursak:

- MATLAB ve SIMULINK kullanarak PSK, QPSK ve OFDM modülünün yazılımı mümkün olmaktadır
- MATLAB' ta HDL kod üretici tarafından üretilen ve karta yüklenen VHDL dosyalarına geriye yönelik hataları gidermek veya kodu revize etmek mümkün olmaktadır.
- MATLAB ın her yıl yenilenen kütüphaneleri sayesinde oluşturulan projeleri yeniden değerlendirme ve PSK, QPSK ve OFDM'e yönelik alternatif modülasyon yöntemleri üzerinde çalışma olanağı sağlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Alper, A. Turan 2009. Analog haberleşme. Mersin Üniversitesi, ss. 11, Mersin.
- Ergen, M. 2009. Mobil broadband including WiMAX and LTE. Springer, pp.109-175, Berkeley.
- Ertürk, S. 2005. Sayısal haberleşme. Birsen Yayınevi, ss. 220, 230-231, İstanbul.
- Forouzan, B. A. 2007. Data communications and networking, Fourth Edition. McGraw Hill, pp.161-163,167-168, New York.
- Haykin, S. 2001. Communications system, Fourth Edition. McMaster University, pp. 105, New York.
- Kırkkaya, E. 2016. Sayısal haberleşme sistemlerinde esnek karar verme demodülasyon yöntemlerinin FPGA üzerinde etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 70 Sayfa, Sakarya.
- Kirubanandasarathy, N. and Karthikeyan, K. 2012. VLSI design and implementation of MIMO-OFDM system for wireless communications. European Journal of Scientific Research, EuroJournals Publishing, pp. 269-277.
- Proakis, J.G. and Salehi M. 2001. Communication system engineering, Second Edition. Prentice Hall, 801 pages, New Jersey.
- Sheldon, R. and Burke, J. 2021. Web sitesi <https://www.techtarget.com>. Erişim Tarihi: 30.08.2021
- Türkyılmaz, A.H. ve Burakçın, A.B. ve Eroğlu, U ve Kaplan, E. 2012. Sayısal modülasyon tekniklerinin simülasyonu. Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 84 Sayfa, Trabzon.
- Ugweje, O. 2000. Modulation and demodulation techniques in communication systems. Communication systems seminer, GlennResearch Center, The Universtiy of Akron, 37 pages, Ohio.
- Anonim. 2022. Web sitesi. <https://www.tutorialspoint.com>. Erişim Tarihi: 07.02.2023.
- Anonim.1, 2023. Web sitesi. <https://www.mathworks.com>. Erişim Tarihi: 07.09.2022.
- Anonim.2, 2023. Web sitesi. <https://www.mathworks.com>. Erişim Tarihi: 07.09.2022.

## **EKLER**

**EK 1. MATLAB Ortamında OPSK sembollerinin elde edilmesi MATLAB kodu**

**EK 2. QPSK Sembolünün fonksiyon bloğu ve test bloğunun oluşturması**

**EK 3. QPSK Sembollerinden OFDM sembollerinin elde edilmesi**



## EK 1. MATLAB Ortamında OPSK sembollerinin elde edilmesi MATLAB kodu

```
Mary = 4;
Marys = num2str(Mary);    % 4PSK'daki sembol sayısı, Mary = 4
Nsyms = 10;              % Yaratılacak sembol sayısı
Nsymsstr = num2str(Nsyms);

%% %% Mary girişi kullanarak QPSK sembollerini simulink QPSKMod.slx dosyasını
sürerek elde etme

set_param('QPSKMod/Random Integer Generator','SetSize',Marys);
set_param('QPSKMod','StopTime',Nsymsstr);
sim('QPSKMod');
PSKMslx = simout1;

%% %% Varsayılanları kullanarak 4PSK modülatörünü Matlab nesnelere
yararlanarak tanımlama

PSK4Mod = comm.QPSKModulator;

%% %% Mary giriş sinyalini üretilmesi

Marytx = simout; % Marytx = randi([0 M-1],[Nsyms, 1]);Marytxs = [(1:Nsyms)'
Marytx];

%% %% QPSK sembollerini yaratma (mapping)

PSKMsem = PSK4Mod(Marytx);
PSKMslx - PSKMsem == 0
(PSKMslx == PSKMsem)'
```

## EK 2. QPSK Sembolünün fonksiyon bloğu ve test bloğunun oluşturması

### Matlab fonksiyon kodu:

```
function [st1, st2, st3, st4] = QPSK_HDL_fun(sym1, sym2, sym3, sym4)
s1 = 1/sqrt(2) + j/sqrt(2);
s2 = -1/sqrt(2) + j/sqrt(2);
s3 = 1/sqrt(2) - j/sqrt(2);
s4 = -1/sqrt(2) - j/sqrt(2);
sarr = [s1 s2 s3 s4];
st1 = sarr(sym1+1);
st2 = sarr(sym2+1);
st3 = sarr(sym3+1);
st4 = sarr(sym4+1);
end
```

### Matlab Test Kodu:

```
clear;
clc;
close all
starr = [];
M = 4;
symlen = 1e5/M; %symlen = M;
symarr = randi([0 3],M,symlen);
PSK4Mod = comm.QPSKModulator;
PSKtx = [];

%%% Section for modulator

for is = 1:symlen
    symr = symarr(:,is);
    sym1 = symr(1);
    sym2 = symr(2);
    sym3 = symr(3); sym4 = symr(4);
```

```

[st1, st2, st3, st4] = QPSK_HDL_fun_HTE(sym1,sym2,sym3,sym4);
starr = [starr [st1;st2;st3;st4]];
PSK1 = PSK4Mod([sym1;sym2;sym3;sym4]);
PSKtx = [PSKtx PSK1];
end

% symarr
% starr
% PSKtx

[r c] = size(starr);siz = r*c;
ErrNor = sqrt(sum(sum((real(starr) - real(PSKtx)).^2 + (imag(starr) -
imag(PSKtx)).^2)))/siz
Err = sqrt(sum((real(starr) - real(PSKtx)).^2 + (imag(starr) - imag(PSKtx)).^2));
plot(Err)

```

### EK 3. QPSK Sembollerinden OFDM sembollerinin elde edilmesi

#### Matlab fonksiyon kodu:

```
%#codegen
function [st1, st2, st3, st4] = QPSKOFDM_HDL_fun(modsec,sym1,sym2,sym3,sym4)
n = 0:3;
s1 = 1/sqrt(2) + j/sqrt(2);
s2 = -1/sqrt(2) + j/sqrt(2);
s3 = 1/sqrt(2) - j/sqrt(2);
s4 = -1/sqrt(2) - j/sqrt(2);
sarr = [s1 s2 s3 s4]
if modsec == 1
% sir = find(sym1 == n);stQPSK1 = sarr(sir);
% sir = find(sym2 == n);stQPSK2 = sarr(sir);
% sir = find(sym3 == n);stQPSK3 = sarr(sir);
% sir = find(sym4 == n);stQPSK4 = sarr(sir);
%% 4PSK Modölatör

if sym1 == 0;
stQPSK1 = s1;
elseif sym1 == 1;
stQPSK1 = s2;
elseif sym1 == 2;
stQPSK1 = s3;
else stQPSK1 = s4;
end
if sym2 == 0;
stQPSK2 = s1;
elseif sym2 == 1;
stQPSK2 = s2;
elseif sym2 == 2;
stQPSK2 = s3;
```

```

else stQPSK2 = s4;
end
if sym3 == 0;
stQPSK3 = s1;
elseif sym3 == 1;
stQPSK3 = s2;
elseif sym3 == 2;
stQPSK3 = s3;
else stQPSK3 = s4;
end
if sym4 == 0;
stQPSK4 = s1;
elseif sym4 == 1;
stQPSK4 = s2;
elseif sym4 == 2;
stQPSK4 = s3;else stQPSK4 = s4; end
%% OFDM Modulator

stm1 = stQPSK1*(cos(2*pi*1*n/4) + j*sin(2*pi*1*n/4));
stm2 = stQPSK2*(cos(2*pi*2*n/4) + j*sin(2*pi*2*n/4));
stm3 = stQPSK3*(cos(2*pi*3*n/4) + j*sin(2*pi*3*n/4));
stm4 = stQPSK4*(cos(2*pi*4*n/4) + j*sin(2*pi*4*n/4));
st = (stm1 + stm2 + stm3 + stm4)/4;

%% Gürültü ekleme
% N0 = -(10 + 10*log10(2) + 10*log10(length(n)));
% nt = wgn(1,4,N0);
st = st + nt;
st1 = st(1);
st2 = st(2);
st3 = st(3);
st4 = st(4);

```

```
%% OFDM Demodulator %
```

```
elseif modsec == 2
```

```
stOFDM = [sym1 sym2 sym3 sym4];
```

```
stQPSK1 = stOFDM*(cos(2*pi*1*n/4) + j*sin(2*pi*1*n/4));
```

```
stQPSK2 = stOFDM*(cos(2*pi*2*n/4) + j*sin(2*pi*2*n/4));
```

```
stQPSK3 = stOFDM*(cos(2*pi*3*n/4) + j*sin(2*pi*3*n/4));
```

```
stQPSK4 = stOFDM*(cos(2*pi*4*n/4) + j*sin(2*pi*4*n/4));
```

```
%% 4PSK Demodulator
```

```
dc = stQPSK1 - s1; dr = real(dc); di = imag(dc); d1 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK1 - s2; dr = real(dc); di = imag(dc); d2 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK1 - s3; dr = real(dc); di = imag(dc); d3 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK1 - s4; dr = real(dc); di = imag(dc); d4 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
[dum, sir] = min([d1 d2 d3 d4]); st1 = n(sir);
```

```
dc = stQPSK2 - s1; dr = real(dc); di = imag(dc); d1 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK2 - s2; dr = real(dc); di = imag(dc); d2 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK2 - s3; dr = real(dc); di = imag(dc); d3 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK2 - s4; dr = real(dc); di = imag(dc); d4 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
[dum, sir] = min([d1 d2 d3 d4]); st2 = n(sir);
```

```
dc = stQPSK3 - s1; dr = real(dc); di = imag(dc); d1 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK3 - s2; dr = real(dc); di = imag(dc); d2 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK3 - s3; dr = real(dc); di = imag(dc); d3 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK3 - s4; dr = real(dc); di = imag(dc); d4 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
[dum, sir] = min([d1 d2 d3 d4]); st3 = n(sir);
```

```
dc = stQPSK4 - s1; dr = real(dc); di = imag(dc); d1 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK4 - s2; dr = real(dc); di = imag(dc); d2 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK4 - s3; dr = real(dc); di = imag(dc); d3 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
dc = stQPSK4 - s4; dr = real(dc); di = imag(dc); d4 = sqrt(dr^2 + di^2);
```

```
[dum, sir] = min([d1 d2 d3 d4]); st4 = n(sir);
```

```
else
```

```
st1 = n(1);
st2 = n(2);
st3 = n(3);
st4 = n(4)
```

```
End
```

### **Matlab test bench kodu**

```
clear;
clc;
close all;
warning off
bitSNR = 0:10;
Parr = [];
M = 4;
Pethe = PeMaryPSK(bitSNR,M);
symlenarr = fix(10./Pethe/M);
for iP = 1:length(bitSNR)
bSNR = bitSNR(iP);symlen = symlenarr(iP);
symarr = randi([0 3],M,symlen);

%%% Section for modulator

modsec = 1;
sttx = [];
for is = 1:symlen
    symr = symarr(:,is);
    sym1 = symr(1);sym2 = symr(2);
    sym3 = symr(3);sym4 = symr(4);
[st1, st2, st3, st4] = QPSKOFDM_HDL_fun(modsec,sym1,sym2,sym3,sym4);
stOFDM = [st1, st2, st3, st4];
sttx = [sttx stOFDM.'];
end
```

```

N0 = -(bSNR + 10*log10(2) + 10*log10(M));
nt = wgn(length(sttx(:,1)),length(sttx(1,:)),N0,'complex');
sttx = sttx + nt;

% %%% Demodulator section

modsec = 2;strx = [];
for is = 1:symlen
    symr = sttx(:,is);
    sym1 = symr(1);sym2 = symr(2);
    sym3 = symr(3);sym4 = symr(4);
    [st1, st2, st3, st4] = QPSKOFDM_HDL_fun(modsec,sym1,sym2,sym3,sym4);
    stOFDM = [st1, st2, st3, st4];
    strx = [strx stOFDM'];
end
[num, Pe] = symerr(strx,symarr);
Pearr = [Pearr Pe];
end
semilogy(bitSNR,Pethe,'-r','lineWidth',3);hold on
semilogy(bitSNR,Pearr,'--b','lineWidth',3);hold off
set(gca,'FontSize',16)
xlabel('SNR = E_b/N_0 (dB)')
ylabel('Sembol Hata Olasılığı')
grid on

```

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Rabia YILMAZ

### Eğitim

Yüksek Lisans Çankırı Karatekin Üniversitesi 2020-2023  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği  
Anabilim Dalı

Lisans Atılım Üniversitesi 2009-2015  
Mühendislik Fakültesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği  
Bölümü

### İş Deneyimi

Yıl	Kurum	Görev
2022-Halen	ELTAŞ Transformatör A.Ş.	Elektromanyetik Tasarım ve Analiz Mühendisi
2022-2023	Koryon Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.	Endüstriyel Tesisler Elektrik Proje Mühendisi
2021	BPRO Mühendislik	AG ve OG Elektrik Proje Mühendisi
2017-2019	ELTE Elektrik Proje Ltd. Şti	AG, OG ve ENH Elektrik Proje Mühendisi
2016	GAZİ İnşaat	Elektrik Mühendisi Şantiye Şefi
2015	FİGES A.Ş.	Elektromanyetik Tasarım ve Analiz Mühendisi