



**T.C.**  
**Uludağ Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**ÇEVİRİMİÇİ MODÜLASYON SİMÜLATÖRÜ TASARIMI**  
**DENİZ ŞEN**

**Yüksek Lisans Tezi**

ÇEVİRİMİÇİ MODÜLASYON SİMÜLATÖRÜ TASARIMI

DENİZ ŞEN



T.C

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEVİRİMİÇİ MODÜLASYON SİMÜLATÖRÜ TASARIMI**

**Deniz ŞEN**

DANIŞMAN

Doç.Dr. Fahri VATANSEVER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2016

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Deniz Şen tarafından hazırlanan “Çevrimiçi Modülasyon Simülatörü Tasarımı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç.Dr. Fahri VATANSEVER

**Başkan:** Doç.Dr. Fahri VATANSEVER

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Sait Eser KARLIK

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Cemal HANİLÇİ

İMZA

İMZA

İMZA

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman Demir

Enstitü Müdürü

22.09.2016

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel,işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

15/07/2016

Deniz Şen



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÇEVİRİMİÇİ MODÜLASYON SİMÜLATÖRÜ TASARIMI

**Deniz ŞEN**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç.Dr.Fahri VATANSEVER

Mühendislik eğitiminin en önemli aşamalarından biri laboratuvar çalışmalarıdır. Derste öğrenilen teorik bilgiler, laboratuvar çalışmalarında uygulamaya dökülerek daha iyi kavranmaktadır. Bununla birlikte, laboratuvar imkanlarının kısıtlı olması, kurulum ve bakım için yüksek maliyet gereksinimi, ekipman yetersizliği ve fazla öğrenci sayısı gibi bazı olumsuzluklardan dolayı, çözüm olarak yazılım tabanlı sanal laboratuvarlar tasarlanmaktadır. Sanal laboratuvarlar sayesinde bu laboratuvar çalışmaları, uzaktan yapılabilmektedir. Böylece öğrenciler istedikleri zamanda, istedikleri kadar süre ayırarak çalışabilmektedirler. Bu sayede konuyu öğrenme daha kalıcı olmakta, ayrıca yazılım tabanlı olduğu için yüksek maliyet gerektirmemektedir.

Gerçekleştirilen tez çalışmasında Elektronik Mühendisliği alanındaki Haberleşme dersine yönelik çevrimiçi simülatör tasarlanmıştır. Tasarlanan çevrimiçi simülatörün yapısı, mimarisi, tasarım aşamaları ayrıntılı olarak sunulmuş ve her bir modülle uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu simülatörde analog ve sayısal modülasyon yöntemleri tanımları, matematiksel ifadeleri, grafikleri, blok devre diyagramları vb. ile ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Bunun yanında teorik bilgilerin uygulamaları da etkileşimli olarak gerçekleştirilebilmektedir. Hem analog hem de sayısal modülasyon tekniklerini içeren ve web sayfası olarak tasarlanan simülatörle teorik bilgiler, pratik uygulamalarla desteklenerek konuların daha iyi anlaşılması ve kavranması sağlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Analog ve sayısal modülasyon, sanal laboratuvar, simülatör.

**2016, x + 110 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **DESIGN OF ONLINE MODULATION SIMULATOR**

**Deniz ŞEN**

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Fahri Vatansever

Laboratory studies constitute one of the most important stages of engineering education. The theoretical knowledge provided by the courses of the engineering education can be better apprehended by putting it into practice through laboratory studies. However, due to the problems such as limited laboratory possibilities, high laboratory setup and maintenance cost, equipment insufficiency and an excessive number of students, web based virtual laboratories have been designed as a solution. Laboratory studies can be carried out from a distance by means of these virtual laboratories, thus enabling students to perform their laboratory studies at any time and for any duration they desire. This convenience makes learning more lasting. Besides, since it is web based, it does not require a high cost.

In the thesis realized, an online modulation simulator has been designed for Communication Courses in the field of electronics engineering. The structure, architecture and design stages of the online modulation simulator designed have been presented in detail, and applications with each module have been carried out. Analog and digital modulation methods, their definitions, their mathematical explanations, related graphics, block circuit diagrams and etc have been provided in detail in this simulator. In addition, the applications of the theoretical knowledge have been carried out interactively. The simulator, designed as a web page, includes both analog and digital modulation techniques; therefore, the subjects which have been supported by practical applications can be better understood and apprehended.

**Key Words:** Analog ve digital modulation, virtual laboratory, simulator.

**2016, x + 110 pages.**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu tezin oluşumunda bana bilgilerini, tecrübelerini ve yardımlarını, araştırmamın her bölümünde sunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fahri Vatansever'e teşekkür ederim. Ayrıca her zaman yanımda olan ve beni destekleyen aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Deniz Şen

15.07.2016



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2. ANALOG VE SAYISAL MODÜLASYON	8
2.1 Modülasyon	8
2.2 Modülasyon İşleminin Başlıca Yararları	10
2.3 Analog Modülasyon	11
2.3.1 Çift yan bant genlik modülasyonu	13
2.3.2 Tek yan bant modülasyonu	17
2.3.3 Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu	21
2.3.4 Artık yan bant modülasyonu	24
2.3.5 Açık modülasyonu	27
2.3.5.1 Frekans modülasyonu	27
2.3.5.2 Faz modülasyonu	35
2.4 Sayısal Modülasyon	38
2.4.1 Örnekleme ve sinyalin tekrar elde edilmesi	39
2.4.2 Darbe kod modülasyonu	41
2.4.2.1 Örnekleme ve tutma devresi	42
2.4.2.2 Kuantalama işlemi	43
2.4.2.2.1 Düzgün kuantalama	45
2.4.2.2.2 Kuantalama hataları	45
2.4.2.2.3 Düzgün olmayan kuantalama	46
2.4.2.3 Kodlama işlemi	47
2.4.2.4 Analog sayısal dönüştürücüler	48
2.4.3 Delta modülasyonu	49
2.4.3.1 Doğrusal delta modülasyonu	50
2.4.3.2 Adaptif delta modülasyonu	51
2.4.4 Darbe genlik modülasyonu	53
2.4.5 Darbe genişlik modülasyonu	56
2.4.6 Darbe konum modülasyonu	61
3. MATERYAL VE YÖNTEM	64
3.1 MATLAB Programı	64
3.2 ASP.NET Programı	67
3.2.1 ASP.NET proje oluşturma	68
3.2.2 ASP.NET MATLAB ile bağlantı kurumu	69
4. UYGULAMALAR	74
4.1 Ana Sayfa	74
4.2 Modülasyon	76
4.2.1 Tek yan bant modülasyonu	76
4.2.2 Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu	77

4.2.3 Çift yan bant modülasyonu	78
4.2.4 Artık yan bant modülasyonu	79
4.2.5 Frekans modülasyonu	80
4.2.6 Faz modülasyonu	81
4.2.7 Darbe kod modülasyonu	82
4.2.8 Darbe konum modülasyonu	83
4.2.9 Darbe genişlik modülasyonu	84
4.2.10 Darbe genlik modülasyonu	85
4.2.11 Delta modülasyonu	86
4.3 Simülatör	87
4.3.1 Çift yan bant modülasyon simülatörü	87
4.3.2 Tek yan bant modülasyonu simülatörü	87
4.3.3 Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu simülatörü	88
4.3.4 Frekans modülasyonu simülatörü	92
4.3.5 Faz modülasyonu simülatörü	92
4.3.6 Delta modülasyonu simülatörü	92
4.3.7 Darbe genlik modülasyonu simülatörü	92
4.3.8 Darbe kod modülasyonu simülatörü	93
4.3.9 Darbe pozisyon modülasyonu simülatörü	93
4.3.10 Darbe genişlik modülasyonu simülatörü	93
5.SONUÇLAR	101
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	109

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgerler

$\Delta$

$\lambda$

### Kısaltmalar

ADC

AM

B

DM

DPCM

DSB

DSB-SC

FET

FM

KBÇE

PAM

PCM

PDM

PLL

PM

PPM

PWM

Q

SSB

T

VSB

W

### Açıklama

Dirac Delta Fonksiyonu Simgesi

Dalga Boyu

### Açıklama

Analog Dijital Dönüştürücüler

Genlik Modülasyonu

Bant Genişliği

Delta Modülasyonu

Diferansiyel Darbe Kod Modülasyonu

Çift Yan Bant Modülasyonu

Taşıyıcısı Bastırılmış Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu

Alan Etkili Transiztör

Frekans Modülasyonu

Kod Bölmeli Çoklu Erişim

Darbe Genlik Modülasyonu

Darbe Kod Modülasyonu

Darbe Süresi Modülasyonu

Faz Kilitlemeli Döngü

Faz Modülasyonu

Darbe Konum Modülasyonu

Darbe Genişlik Modülasyonu

Kuantalama Adım Sayısı

Tek Yan Bant Modülasyonu

Örnekleme Periyodu

Artık Yan Bant Modülasyonu

Darbe Genişliği

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bir haberleşme sisteminin blok şeması	9
Şekil 2.2. Modülasyon türleri	11
Şekil 2.3. Genlik modülasyonu	12
Şekil 2.4. Çift yan bant genlik modülasyonu verici blok şeması	15
Şekil 2.5. Modüledi işaretde bilgi işaretine ait büyüklükler	15
Şekil 2.6. Çift yan bant modülasyonu için bant genişliği	16
Şekil 2.7. Temel bant, genlik modülasyonu ve tek yan bant modülasyonu	20
Şekil 2.8. İki filtre kullanan SSB verici	20
Şekil 2.9. Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu spektrumu	22
Şekil 2.10. Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu	24
Şekil 2.11. Artık yan bant modülasyonu spektrumları	25
Şekil 2.12. Artık yan bant modülasyonu verici şeması	26
Şekil 2.13. FM modülatör	29
Şekil 2.14. Frekans modülasyonu işaretleri	29
Şekil 2.15. FM sinyali için frekans spektrumunu	30
Şekil 2.16. Basit FM verici blok şeması	31
Şekil 2.17. FM alıcı blok şeması	32
Şekil 2.18. PLL Devresinin blok şeması	33
Şekil 2.19. Faz Dedektörünün Çıkışı	34
Şekil 2.20. VCO'nun ürettiği frekans girişindeki DC gerilim ile ters orantılıdır	34
Şekil 2.21. Faz ve frekans modülasyonu sinyalleri	35
Şekil 2.22. Faz modülasyonu blok şeması	36
Şekil 2.23. Faz modülasyonu modülatör devresi	37
Şekil 2.24. Örnekleme teoremi	40
Şekil 2.25. Darbe modülasyonunda örnekleme ve sinyalin tekrar elde edilmesi	41
Şekil 2.26. Yetersiz sayıda örneklenmiş sinyal	42
Şekil 2.27. PCM sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı	43
Şekil 2.28. Örnekleme ve tutma devresi	44
Şekil 2.29. Kuantalama seviyeleri	44
Şekil 2.30. Düzgün kuantalama eğrisi	45
Şekil 2.31. Düzgün olmayan kuantalama yöntemi blok şeması	47
Şekil 2.32. Örnek delta modülasyonu a) analog $m(t)$ işareti ve yaklaşık merdiven işareti $m_q(t)$ , b) modülatör çıkışı binary sıralaması	50
Şekil 2.33. Doğrusal Delta Modülasyonu; a) verici, b) alıcı	51
Şekil 2.34. 6 seviyeli adaptif delta modülasyonlu sistem	52
Şekil 2.35. Q seviyeli adaptif delta modülasyonlu sistem	52
Şekil 2.36. Darbe genlik modülasyonlu sistem	53
Şekil 2.37. Darbe genlik modülasyonu blok şema	55
Şekil 2.38. Doğal örnekleme ile PAM işareti üretme	56
Şekil 2.39. Darbe genişlik modülasyonu dalga biçimleri	57
Şekil 2.40. Darbe genişlik modülasyonu blok diyagramı	58
Şekil 2.41. Darbe genişlik modülasyon işaretinin üretilmesi	59
Şekil 2.42. Darbe konum modülasyonu blok diyagramı	61
Şekil 2.43. PWM sinyalinden PPM sinyalinin elde edilmesi	62

Şekil 2.44 PWM ve PPM sinyallerinin üretimi	63
Şekil 3.1. NET ortamı için dll uzantılı dosyasının hazırlanması	65
Şekil 3.2. NET ortamına aktarılacak sınıf fonksiyon yapısı	66
Şekil 3.3. NET ortamı için <i>webfigure()</i> fonksiyonun yapısı	67
Şekil 3.4. Microsoft Visual Studio karşılama ekranı	68
Şekil 3.5. ASP.NET yeni proje oluşturma	69
Şekil 3.6. MWArray.dll ve WebFigureService.dll dosyalarının programa eklenmesi	70
Şekil 3.7. MWArray ve WebFigureService dosyalarının isim uzaylarının eklenmesi	71
Şekil 3.8. MATLAB'da üretilen dll uantılı dosyalarının projeye referans olarak eklenmesi	71
Şekil 3.9. MATLAB'da üretilen dll uzantılı dosyanın isim uzayının projeye eklenmesi	72
Şekil 3.10. MATLAB füğürlerinin çalıştırılması için gerekli web.config'in yapılandırılması	72
Şekil 3.11. MATLAB referanslar eklendikten sonra, ASP.NET üzerinde yazılan program	73
Şekil 4.1. Simülâtör programları	74
Şekil 4.2. Program ana sayfa	75
Şekil 4.3. Tek yan bant modülasyonu	76
Şekil 4.4. Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu	77
Şekil 4.5. Çift yan bant modülasyonu	78
Şekil 4.6. Artık yan bant modülasyonu	79
Şekil 4.7. Frekans modülasyonu	80
Şekil 4.8. Faz modülasyonu	81
Şekil 4.9. Darbe kod modülasyonu	82
Şekil 4.10. Darbe konum modülasyonu	83
Şekil 4.11. Darbe genişlik modülasyonu	84
Şekil 4.12. Darbe genlik modülasyonu	85
Şekil 4.13. Delta modülasyonu	86
Şekil 4.14. Çift yan bant modülasyonu simülâtörü	89
Şekil 4.15. Tek yan bant modülasyonu simülâtörü	90
Şekil 4.16. Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu	91
Şekil 4.17. Frekans modülasyonu simülâtörü	94
Şekil 4.18. Faz modülasyonu simülâtörü	95
Şekil 4.19. Delta modülasyonu simülâtörü	96
Şekil 4.20. Darbe genlik modülasyonu simülâtörü	97
Şekil 4.21. Darbe kod modülasyonu simülâtörü	98
Şekil 4.22. Darbe pozisyon modülasyonu simülâtörü	99
Şekil 4.23. Darbe genişlik modülasyonu simülâtörü	100

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Bessel fonksiyonuna baēlı olarak elde edilen modülasyon indisine baēlı yan bant ve taşıyıcı genlikleri	31
Çizelge 2.2. Çeşitli işaret genliklerine karşılık gelen kuantal seviyeleri ve kod kelimeleri	44
Çizelge 5.1. Çalışmanın literatürdeki bazı modülasyon simülatörleri ile karşılaştırılması	102

## 1.GİRİŞ

Elektronik mühendisliği eğitiminde laboratuvar çalışmaları, konuların kavranması açısından oldukça önemlidir. Derslerde öğrenilen teorik bilgiler laboratuvarlarda uygulanarak ve değişik parametrelerle bu deneyler tekrarlanarak bilgiler kalıcı hale gelmektedir. Ancak bu laboratuvar çalışmalarının gerçek laboratuvarlarda yapılmasının bir takım zorlukları vardır. Örneğin; öğrenci sayısının fazla olması, yeterli zamanın olmaması, laboratuvar için gerekli malzemelerin yüksek maliyetli olması ve yeterli miktarda sağlanamaması bunlardan bazılarıdır. Buna çözüm olarak yüksek maliyetler gerektirmeyen yazılım tabanlı uzaktan internet ağı üzerinden erişilebilen sanal laboratuvarlar tasarlanmıştır. Sanal laboratuvarlar sayesinde bir çok öğrenci bireysel olarak uygulamaları deneyerek konuları daha iyi öğrenebilmektedir. Kalabalık laboratuvar ortamı yerine bireysel olarak çalışılması, daha etkin öğrenme sağlamaktadır. Ayrıca zaman kısıtlaması yoktur, öğrencilere istediği zaman istenildiği kadar uygulama yapma şansı vermektedir.

Haberleşme sistemleri insanların birçok yönden gereksinimlerini karşılamaktadır. İnsanlar birbirleriyle haberleşmeyi hep daha fazla geliştirmek istemektedirler. Telekomünikasyon bugünlerde uzak mesafeler için en çok kullanılan haberleşme tipidir. Telekomünikasyonda bilgi, elektriksel olarak iletilmektedir. Bu sayede bilgi, çeşitli yöntemler ile hızlı ve kaliteli bir biçimde aktarılabilir. Haberleşme alanında birçok çalışmalar yapılmıştır. Kaplan ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada sayısal modülasyon teknikleri ve simülasyonları yapılmıştır. Çalışmanın ilk kısmında, teorik bilgiler toplanmış ve ikinci kısmında da bu modülasyonlar hakkındaki teorik bilgilerin bilgisayar ortamında uygulamaları yapılmıştır (Kaplan ve ark. 2012).

Esen Kaplan ve ark. sayısal modülasyon teknikleri ve bunların simülasyonu için yaptığı çalışmalarında birçok sayısal modülasyon uygulamalarına yer vermişlerdir. M-QAM, QPSK ve BPSK modülasyon türlerini ayrıntılı irdelemişlerdir. Mesaj sinyalinin modülasyonunu, alınan sinyalin demodülasyonunu ve bu modülasyon ve demodülasyon işlemlerinin sayısal biçimlerini, örnekler, blok diyagramları, formüller ve şekiller

yardımıyla açıklamışlardır, MATLAB programı yardımıyla simülasyon kısmını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada amaç, değişik modülasyon türleri için işlem basamakları ne şekilde elde edilir, sonuç olarak elde edilen güç hesaplamaları ne şekilde yapılabilir, yıldız diyagramları ne şekilde elde edilir tarzı soruları cevaplayabilmektedir (Kaplan ve ark. 2012).

Barış Şahin gerçekleştirdiği çalışmasında, yeni nesil hücrel haberleşme sistemlerinde en çok geleceği olan kod bölmeli çoklu erişim tekniğini incelemiştir. Bu sistemlerde en büyük problem hareketli kullanıcıların işaretleri arasındaki karışımdır. Karışımın değeri arttığında bit hata oranı da artmaktadır ve bu da performansı düşürmektedir. Çalışmada dalgacık fonksiyonları ve kıymık şekillendiricileri kullanılarak kod bölmeli çoklu erişim tekniği işaretlerinin iki farklı kanaldaki bit hata oranları simülasyonla hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Optimum dalgacık yöntemi ile en iyi bit hata oranı elde edilmiştir (Şahin 2006).

Oğuzhan Kızılbey, yaptığı çalışmada öncelikle dielektrik rezonatörlü osilatörlerin farklı kullanım yerleri üzerinde durmuş, tercih edilme sebeplerini araştırmış ve 7.7 GHz'de çalışabilen bir osilatör gerçekleştirilmiştir (Kızılbey 2008).

Ahmet Akbulut çalışmasında lazer kaynaklarını inceleyerek bir bilgisayar simülasyonu gerçekleştirmiştir. Bu simülasyonu hazırlarken iki yönlü yer uydu bağlantısında kullanılacak dedektör ve laserler için matematiksel ifadeleri kullanmıştır. Bu tasarım MATLAB/Simulink yazılım programı kullanılarak hazırlanmıştır. Kanallar, lazer kaynakları, dedektörler bu program aracılığı ile modellenmiş ve parametreleri değiştirilerek performansları ölçülecek bloklar tasarlanmıştır. İletişim sisteminin performansını değerlendirmek için ise yer-uydu veya uydu-yer bağlantılarının değişen atmosferik koşullarda iletişim sistemine olan etkilerine bakılmıştır. Sistem performansını iyileştirmek için, alıcıya iletilen lazer sinyalinin ortalama şiddeti artırılmıştır (Akbulut 2006).



Tolga Özer ve ark. çalışmalarında MATLAB GUI programını kullanarak analog ve sayısal modülasyon için bir simülatör tasarlamışlardır. Öğrencilerin teorik bilgi yerine uygulama ile daha kolay öğrenmeleri amaçlanmıştır. Bu simülatörde bazı modülasyon türleri hakkında bilgi verilmiş ve uygulamaya dökülmüştür (Özer ve ark. 2014).

Cüney Bayılmış ve Sezgin Kaçar bu çalışmalarında web tabanlı analog modülasyon için bir simülatör gerçekleştirmişlerdir. Kullanıcılar MATLAB programını indirmeden sadece internet aracılığı ile simülatörü kolaylıkla kullanabilmektedirler (Bayılmış ve ark. 2013).

Jake Gunther, Brandon Eames ve Darin Nelson bu çalışmalarında sayısal haberleşme sistemlerini öğrenmek için EduCOM isimli bir grafik dili geliştirmişlerdir. EDuCOM öğrenciler için sayısal haberleşimde gerekli alıcı ve vericileri, blok diyagramları ve kanalları inşa edebilmektedir (Gunter ve ark 2011).

Mühendislik alanında birçok simülatör çalışmaları yapılmıştır. Sezin Kaçar ve İlyas Çankaya çalışmalarında, doğrusal olmayan sistemlerin analizinin web tabanlı bir arayüz ile gerçekleştirmişlerdir. Bu analiz için Volterra Serileri yöntemi kullanılmıştır. Tasarımı gerçekleştirmek amacıyla MATLAB Web Figure ve ASP.NET programlarından yararlanılmıştır. Bu sayede yöntemin yayılmasını sağlayan, aynı anda birçok kullanıcının bağlanabileceği, eğitim ve akademik amaçlı bu tasarım gerçekleştirilmiştir (Kaçar ve ark 2012).

Seda İşgüzar'ın, web tabanlı eğitim ve sanal laboratuvar sistemleri ile ilgili çalışması SCORBOT-ER uygulaması ile ilgilidir. Seda İşgüzar bu çalışmasında, ilgili sistemlere neden gereksinim duyulduğu incelenmiş ve teknoloji fakültelerinde okutulan robotik dersi için bir sanal laboratuvar uygulaması geliştirilmiştir. Uygulama için maliyeti yüksek ve hasar görmeye elverişli olan SCORBOT-ER V robot kolu seçilmiştir. Böylelikle, bu robot koluna sahip olmayan kurumlarda okuyan öğrencilere, bu robot kolunu tanıma fırsatı sunulması ve kalıcı öğrenmeler sağlanması hedeflenmiştir. Benzetim ve animasyon yazılımları kullanılarak, SCORBOT-ER V robot hareketlerinin

sanal ortamda, ekranda gerçeğe uygun yapılması sağlanmıştır. Bu yazılım sayesinde öğrenciler kendi bilgisayarlarında da robot uygulamalarını yapabileceklerdir (İşgüzar 2010).

Ali Tiftikçi, Cemil Kocar ve Mehmet Tombakoğlu, çalışmalarında Monte Carlo yöntemi ve Java dili kullanılarak nükleer fizik laboratuvarlarında yapılan alfa, beta, gama algıla ve ölçme deneylerinin sanal laboratuvarlarda benzetimini yapmışlardır. Gerçekte bu tip laboratuvarların kurulumu oldukça pahalıdır. Aynı zamanda, bazı deneyler için kullanılan yüksek aktiviteli kaynaklar öğrenciler ve laborantlar için risk içermektedir. Bu çalışmada en az maliyetle bir sanal radyasyon laboratuvarı kurmak ve öğrencilerin herhangi bir radyasyon riski taşımaksızın radyasyon fiziği eğitimini hızlandırmaları amaçlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan yazılım, MonteCarlo yöntemi yardımıyla radyasyon ve radyasyon taşınımı kavramlarının doğasını yansıtmaktadır. Yazılımda deney değişkenleri kullanıcı tarafından girilebilmektedir ve deney sonuçları eş zamanlı olarak MCA (Çok Kanallı Analizör) yada SCA (Tek KanallıAnalizör) tarafından izlenebilmektedir. Deneyler sonrası gerekli sonuçlar bu MCA yada SCA panellerinde analiz edilebilmektedir. Oluşturulan sanal radyasyon laboratuvarının güvenilir sonuçlar vermesi ve sınırsız deney imkanı sunması nedeniyle faydalı bir eğitim materyali olduğu görülmüştür (Tiftikçi ve ark 2009).

Sabina Jeschke, Jarir Nsour, Olivier Frederic Pfeiffer, Nicole Martina Natho ve Abdullah Y. Al-Zoubi, sayısal elektroniğin hem elektrik mühendisliği hemde birçok bilgi teknolojisi ve bilim programında temel ders olduğundan bilgisayar bilimi ve mühendislik öğrencileri için web tabanlı mantık devreleri tasarımları ve uygulamalarını LabVIEW de gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyler, mantık devre kapıları, mantık devresi kombinasyonlarını, 7 bölmeli gösterge dönüştürücüsü sırasal mantık, sayaçlar konularını içermektedir. Bunlar geleneksel ve çevrimiçi ayarlarla kolayca yapılıp uygulanmıştır. Bu çalışma teorik bilgilerin ve uygulamanın eş zamanlı olarak kullanılmasının bir örneğidir. Öğretim üyesinin aynı anda hem teorik anlatımı hemde uygulamayı ders müfredatında vermesini sağlamaktadır (Jeschke ve ark 2008).

Osamah Fadhil Taher ve Ömer Faruk Bay, çalışmalarında Oracle,VB.NET ve Remot Desktop Protokolü kullanılarak web tabanlı bir sanal laboratuvar uygulaması gerçekleştirilmişlerdir. Bu uygulama ile bulut bilişim platformu ve yazılım hizmetleri kullanılabilir. Web tabanlı sanal laboratuvar, MS Office programlarının da web sayfası üzerinden kullanıcıya sunabilmektedir (Taher ve ark 2013).

Kubilay Taşdelen, çalışmasında microdenetleyici dersine yönelik elektrik, elektronik, haberleşme ve bilgisayar mühendisliğinde eğitimi verilen , 8051 tabanlı bir uzaktan eğitim laboratuvarı tasarlamıştır. Bu çalışmadaki laboratuvar, sanal bir laboratuvar değildir, internete dayalı gerçek bir laboratuvardır. Deneyle web üzerinden gerçek elektronik devreler kullanılarak yapılmaktadır. Öğrenciler laboratuvar çalışmalarını istedikleri yerde istedikleri kadar süre ayırarak yapabilmektedir. Bu deney setleri sunucu ile yerel ağ aracılığı ile haberleşmektedir. Öğrenciler tarafından hazırlanan bu programlar internet yoluyla sunucu aracılığı ile yerel ağa gönderilmekte ve ilgili deney seti programlanmaktadır. Deney sonuçları sunucu ile sanal olarak izlenebilir veya kamera ile de izlenebilmektedir. Öğrencilerin bu deneye internet üzerinden bağlanabilmeleri için ara yüz olarak Java ve C# yazılım dilleri kullanılmıştır (Taşdelen 2004).

Zeki Candan ise çalışmasında web tabanlı sıcaklık kontrol sistemi tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. Bu sistemde oda sıcaklığını kontrol edebilmek için aynı zamanda sıcaklık sensöründen veri alabilmesi için bir elektronik kontrol kartı tasarlanmış ve bu tasarım bir cihaz haline getirilmiştir. Sonraki aşamalarda, kontrol edilen bu sisteme internet tabanlı erişimi sağlayabilecek web arayüzü geliştirilmiştir (Candan 2008).

Ayşe Kocalmış Bilhan ve Erhan Akbal çalışmalarında iki seviyeli inverter için uzay vektörü PWM kullanılmıştır. İki seviyeli inverter kullanarak uzay vektör modülasyonu stratejisi modellenmiş ve pasif R - L yükü ile simüle edilmiştir. İki seviyeli bir deşitiricide fotovoltaiik hücreler DC kaynağı olarak kullanılmıştır. Sistemi doğrulamak için simülatör çeşitli koşullarda operasyon sonuçlarını sunmuşlardır. Bu çalışmada PV

hücreler ve iki katlı uzay vektörü darbe genişlik modülasyonu inverterü için MATLAB/Simulink paket programı kullanılmıştır (Bilhan ve ark 2013).

Ömer Faruk Ocakoğlu çalışmasında web tabanlı bir öğretim yönetim sistemi yazılımı geliştirilmiştir. Bir çatı model halinde tasarlanan yazılım esnek bir kullanıma sahiptir. Bu amaçla herhangi bir eğitim kurumu bu yazılımı kullanarak asenkron olarak web tabanlı eğitim hizmeti sunabilmektedir. Bu yazılımda yönetici, öğretmen ve öğrenci rolleri bulunmaktadır. Yönetici, kullanıcı ekleyip silebilir, sisteme eklenen soruları aktif veya pasifleştirebilir, sisteme yönelik hemen her şeyi kontrol edebilmektedir. Öğretmen, ders ekleyip çıkarabilir, soru havuzu oluşturabilir, öğrenci istatistiklerini kontrol edebilir. Öğrenci ise seçmiş olduğu derse ait içerikleri, sisteme yüklenen soruları, çözmüş olduğu sorulara yönelik istatistiklerini görüntüleyebilmektedir. Sonrasında girdikleri sınavların geri bildirimleri öğretmenler ve öğrenciler tarafından izlenebilmektedir. Öğretmen ve öğrencilerin web tabanlı olan bu yazılımı sayesinde zaman ve mekan kısıtlaması olmadan internet altyapısı olan her yerden sisteme girmeleri hedeflenmiştir (Ocakoğlu 2014).

Nedim Aktan Yalçın ve Fahri Vatanserver çalışmalarında web tabanlı güç elektroniği dersi için sanal laboratuvar gerçekleştirmişlerdir. Mühendislik eğitiminde teorik bilgi ve uygulamaları beraber yapılmaktadır. Eğitim kurumlarındaki eksik laboratuvar imkanlarına çözüm olarak uzaktan erişimli bu sanal laboratuvar tasarlanmıştır (Yalçın ve ark 2015).

Maria Grazia Violante ve Enrico Vezzetti çalışmalarında, uzaktan erişimli bir platform tasarlayarak mühendislik eğitime yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Bu çalışma ile yeni bilgi teknolojilerinin (Web 3D) çevrimiçi mühendislik eğitiminin üzerine etkisi açıklanmıştır (Violante ve ark 2014).

Balamuralithara Balakrishnan ve P.C. Woods çalışmalarında bilgisayar ve iletişim teknolojisinin mühendislik eğitime olan etkisini incelemişler ve bu teknolojinin

çevrimiçi öğrenmeye etkisini görmüşlerdir. Bu çalışmalarında uzaktan erişimli bir sanal laboratuvar tasarlamışlardır (Balakrishnan ve ark 2009).

Bu tez çalışmasında, bir çevrimiçi modülasyon simülatörü tasarlanmıştır. Bu simülatör tasarlanırken ASP.NET ve MATLAB yazılım programları kullanılmıştır. Analog ve sayısal modülasyonlar teorik olarak açıklanmış, matematiksel ifadeleri grafikleriyle birlikte verilmiş ve modülasyon türlerinin uygulamaları yapılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde simülatörün ana konusu analog ve sayısal modülasyon teorik olarak açıklanmış; üçüncü bölümde simülatörün tasarım aşamaları verilmiş ve dördüncü bölümde de uygulamaları gerçekleştirilerek beşinci bölümde sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. ANALOG VE SAYISAL MODÜLASYON

### 2.1 Modülasyon

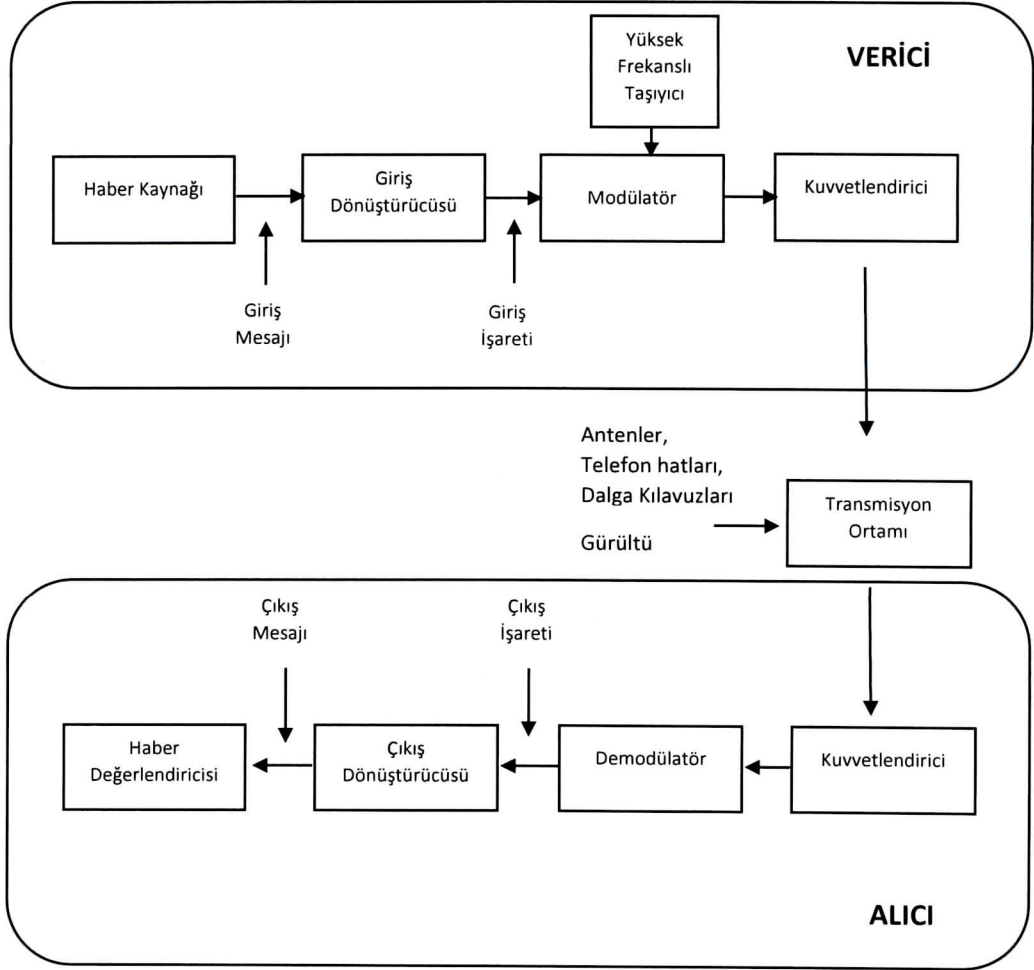
Haberleşme, bir bilgi işaretinin zaman ve uzay içinde kaynak adı verilen bir noktadan kullanıcı olarak adlandırılan diğer bir noktaya aktarılmasıdır. Aktarılan bilgi işareti farklı biçimlerde ortaya çıkabilmektedir. Örnek olarak, konuşma ve ses işaretleri gibi zamanın sürekli bir fonksiyonu veya bilgisayarlar arası aktarımlarda kullanılan ayrık sembollerden oluşabilmektedir (Kayran 2002).

Haberleşme sistemleri bilgi iletmek için tasarlanmıştır. Tasarımcı için dört önemli faktör bulunur. Bunlar; bilgiyi taşıyan dalga'nın seçimi, bant genişliği, dalga'nın gücü, gürültü etkisi ve sistemin maliyetidir (Couch 2013).

Bir iletişim sisteminin blok şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. İlk olarak kaynak tarafından üretilen giriş mesajı, giriş dönüştürücüsü ile elektriksel akım ve gerilim biçimine dönüştürülmektedir. Dönüştürücüden çıkan giriş işareti alıcıya gizlilik içinde hatasız ulaşması için kodlama işlemi yapılır ve değiştirilmiş olarak transmisyon ortamına iletilmektedir. Telli ve telsiz bağlantılar, lazer ışınları ve dalga kılavuzları transmisyon ortamı olarak kullanılabilir (Kayran 2002).

Bilgi işaretlerinin iletim ortamına uygun hale dönüştürülerek vericiden alıcıya iletilmesine modülasyon denir. Modülasyon analog bir taşıyıcının belirli bir özelliğini bilgi işaretinin ilk halini dikkate alarak değiştirme ve modülasyonlu taşıyıcının iletimini gerçekleştirme sürecidir (Toması 1997).

Modülasyon işlemi bilgi işaretlerini iletme daha uygun bir hale getirmektedir. Modülasyon türünü bu sebeple seçmek için gürültü, bant genişliği ve verici gücüne bakılır (Çıbuk 2004).



**Şekil 2.1.** Bir haberleşme sisteminin blok şeması (Kayran 2002).

Modülasyon işlemi haberleşmenin temelidir. Modülasyon işlemine olan ihtiyaç üç grup altında özetlenebilir; (Çıbuk 2004).

- **Anten uzunluğu:** Bir işaretin iletilmesi amacıyla kullanılacak olan antenin minimum uzunluğu, işaretin dalga boyunun en az dörtte biri olması gerekmektedir. Örnek olarak; 0 ile 3 kHz arasında bir konuşma işareti iletilmek isteniyorsa, bu sinyalin dalga boyu,

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000(\frac{km}{s})}{3.000(1/sn)} = 100.000 m \quad (2.1)$$

elde edilmektedir. Antenin minimum uzunluğu ise,

$$l_{min} = \frac{\lambda}{4} = 250.000 \text{ m} \quad (2.2)$$

olarak elde edilir. Bu değerin, pratikte gerçekleştirilebilecek bir boyda olması için, işaretin frekans spektrumunda kaydırılması gerekmektedir.

- Çoğullama: Modülasyon işlemi sayesinde bir veya daha fazla işaret aynı anda uzaktaki bir noktaya iletilmektedir. Bunun için frekans veya zaman çoğullaması yöntemleri kullanılmaktadır.
- Kanal gürültüsünü azaltmak: Haberleşme sistemlerinin en büyük sorunlarından biri gürültüdür. İletim ortamının özellikleri iletilen sinyalleri zayıflatmaktadır. Bu sorunu çözmek için hem iletim ortamına uygun hem de gürültüden etkilenmeyecek biçime işaret taşınmalıdır (ıbuk 2004).

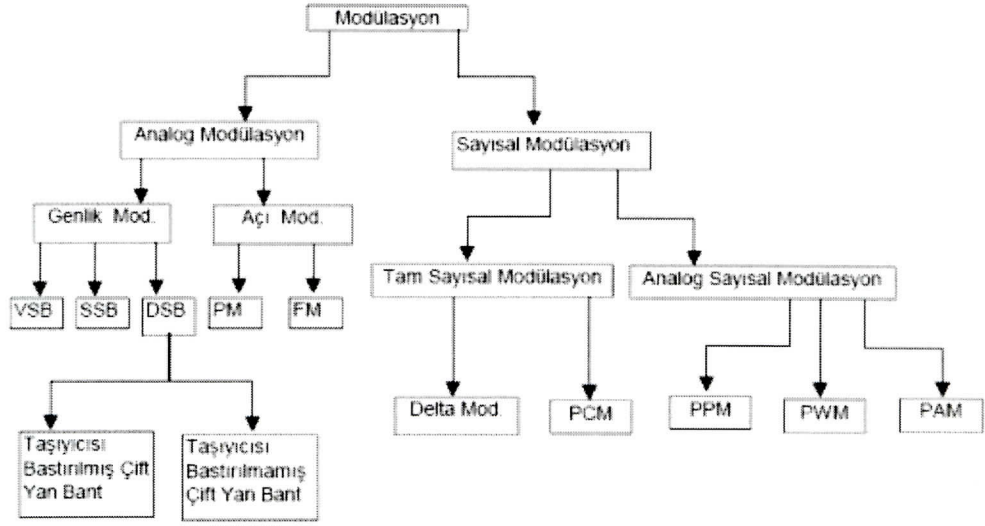
## 2.2 Modülasyon İşleminin Başlıca Yararları

Modülasyon işleminin yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Gürültüyü ve bozulmayı azaltmaktadır.
- Çevresel etkilerin sebep olduğu bir çok sınırlayıcı etkiyi ortadan kaldırmaktadırlar.
- Modülasyon alışma frekansını arttıracadı için çalışılan dalga boyu ( $\lambda$ ) ve verici antenin boyu da küçülür.
- Modülasyon işlemi yayılımı kolaylaştırmaktadır.

şekil 2.2'de modülasyon türleri özetlenmektedir (MEB 2013).





Şekil 2.2. Modülasyon türleri (MEB 2013)

### 2.3 Analog Modülasyon

Tarihsel olarak radyo işaretlerinde ses iletmek için kullanılan en eski teknik genlik modülasyonudur. Genlik modülasyonunda, taşıyıcı işaretin genliği, bilgi işaretine uygun olarak değişir. Taşıyıcı ise kararlı sinüsoidal bir işettir (Killen 1997). Genlik modülasyonuna ait matematiksel ifadeler denklem 2.3 ve 2.4'te; zaman ve frekans domenindeki grafikleri de Şekil 2.3'te gösterilmektedir (Haykin ve ark. 2007).

Taşıyıcı işaret:

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (2.5)$$

Modüleli işaret:

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (2.6)$$

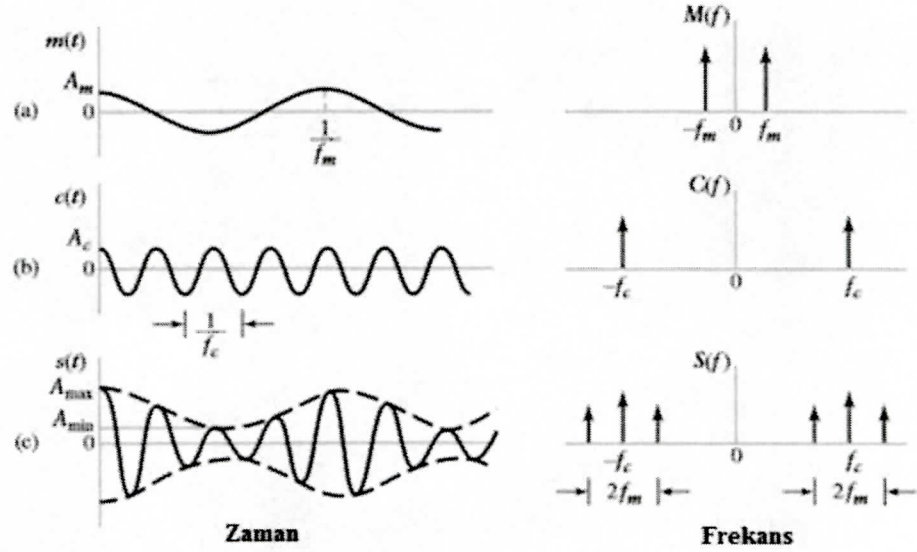
Burada;

$f_c$ : Taşıyıcı frekansını,

$A_c$ : Taşıyıcı genliğini,

$k_a$ : Genlik duyarlılığını,

$m(t)$ : Mesaj işaretini göstermektedir.



Şekil 2.3. Genlik modülasyonu (Haykin ve ark. 2007)

Modüle edici işaret, taşıyıcı frekansına oranla yavaş değiştiği için zarf değişimi olarak tanımlanır. Modüle edici işaretin pozitif ve negatif tepeleri taşıyıcı genliğinin maksimum ve minimum şiddet düzeylerine ulaşmasına neden olmaktadır. Zaman eksenine göre simetrik bir dalga biçimi oluşmaktadır. Dalga biçiminin üst ve alt kısımları modüle edici işaret tarafından belirlenen özellikleri taşımaktadır. Zarfın gösterdiği bilgi diyot doğrultmasıyla tekrar elde edilebilmektedir (Killen 1997).

Genlik modülasyonlu zarftaki genlik değişikliğini belirleyen modülasyon katsayısıdır. Modülasyon yüzdesi ise modülasyon katsayısının yüzde olarak ifadesidir. Diğer bir ifadeyle, modülasyon yüzdesi modüle edici bir işaret taşıyıcısı değiştirdiğinde, çıkış dalganın genliğinde meydana gelen değişikliğin yüzdesini verir. Modülasyon katsayısı,

$$m = \frac{E_m}{E_c} \quad (2.3)$$

ile verilmektedir (Toması 1997).

Burada,

$m$ : modülasyon katsayısını,

$E_m$ : çıkış dalganın genliğindeki tepe değışikliğini,

$E_c$ : modüle edilmemiş taşıyıcının tepe genliğini göstermektedir.

Modülasyon yüzdesi ise

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100 \text{ veya } m \times 100 \quad (2.4)$$

ile verilmektedir (Toması 1997).

### 2.3.1 Çift yan bant genlik modülasyonu

Genlik modülasyonu işlemi sırasında bilgi işaretindeki bütün frekanslara üst ve alt yan bantlar olarak ulaşılmaktadır. Veri iletilirken bu iki yan banttan ikisinin de kullanıldığı genlik modülasyonu türüne çift yan bant genlik modülasyonu (DSB- Double Side Band Modulation) denir (MEGEP 2007). Çift yan bant genlik modülasyonunda (Haykin ve ark. 2007)

Mesaj işareti,

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (2.7)$$

Taşıyıcı işaret,

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (2.8)$$

Çift yan bant modülasyonu,

$$S_{DSB}(t) = c(t)m(t) \quad (2.9)$$

$$S_{DSB}(t) = A_c A_m \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t) \quad (2.10)$$

$$S_{DSB}(t) = \frac{1}{2} A_c A_m \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{1}{2} A_c A_m \cos[2\pi(f_c - f_m)t] \quad (2.11)$$

Bu eşitliklerde;

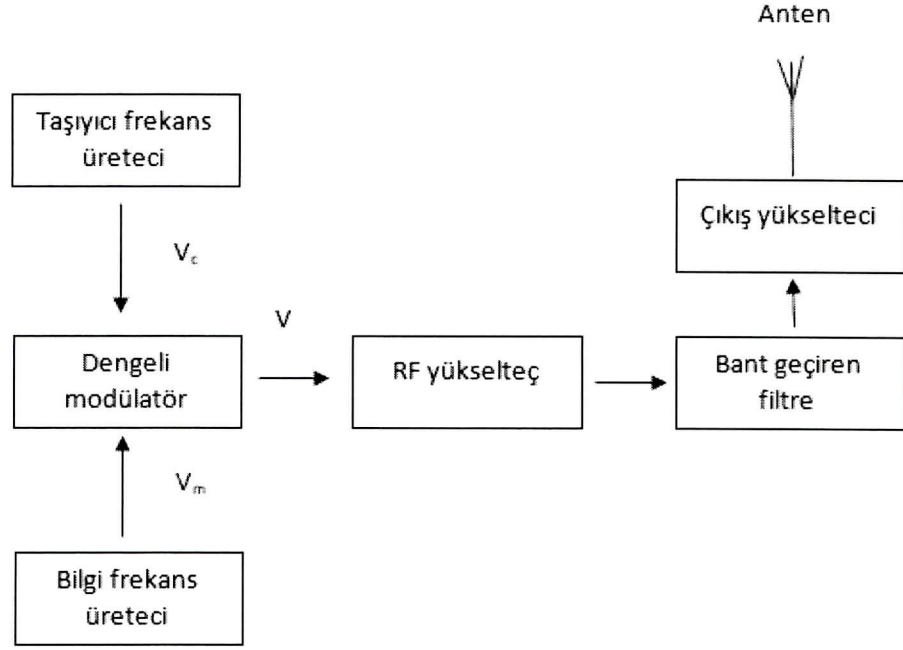
$A_m$ :Mesaj genliğini,

$A_c$ :Taşıyıcı genliğini,

$f_m$ :Mesaj frekansını,

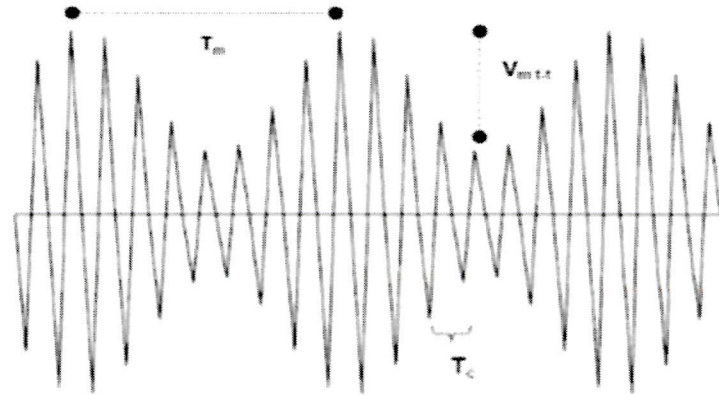
$f_c$ :Taşıyıcı frekansı belirtmektedir.

Çift yan bant genlik modülasyonunda modülatörler, taşıyıcı ve bilgi sinyalini uygun biçimde birleştirerek modüleli sinyalin elde edilmesini sağlamaktadırlar. Çift yan bant modülasyonu verici blok şemasındaki dengeli modülatörün iki girişi vardır bunlar taşıyıcı işaret ve bilgi işaretidir. Dengeli modülatör bir çarpım modülatörü türüdür ve bu iki giriş işareti çarpılarak modüleli işaret elde edilmektedir. RF yükselteç ise anteni kuvvetlendiren gerekli kazancı ve gücü sağlayan devre elemanıdır. Modüleli işaret kuvvetlendirilerek bant geçiren filtreye iletilir. Bant geçiren filtreler belirli frekans aralığındaki işaretleri iletir. Alt kesim ve üst kesim frekanslarının arasında kalan bölgede kazanç fazladır. Çıkış yükseltecinde ise işaret tekrar kuvvetlendirilerek anten aracılığı ile alıcıya iletilir. Şekil 2.4' te gösterilmektedir (MEGEP 2007).



Şekil 2.4. Çift yan bant genlik modülasyonlu verici blok şeması (MEGEP 2007)

Burada gönderilmek istenen işaret bilgi işaretidir. Bu işaret düşük frekanslıdır. Taşıyıcı işaret sinüs ya da kosinüs işaretidir. Bu işaret ise yüksek frekanslıdır. Modüleli işaret ise, bilgi ve taşıyıcı işaretin birleşiminden oluşmaktadır (Şekil 2.5) (MEGEP 2007). Burada;



Şekil 2.5. Modüleli işaretde bilgi işaretine ait büyüklükler (MEGEP 2007)

$T_c$ : Taşıyıcı işaretin periyodudur.

$$f_c = \frac{1}{T_c} \quad (2.12)$$

$T_m$ : Bilgi işaretinin periyodudur.

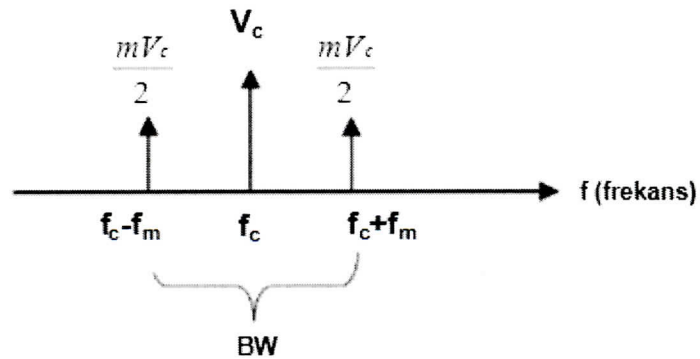
$$f_m = \frac{1}{T_m} \quad (2.13)$$

$V_{m(t-t)}$ : Bilgi işaretinin tepeden tepeye genlik değeridir.

$$V_m = \frac{V_{m(t-t)}}{2} \quad (2.14)$$

Çift yan bant genlik modülasyonunda bant genişliği bilgi işaretinin frekansının 2 katıdır. Şekil 2.6'da bant genişliği gösterilmiştir. Bant genişliğinin bu şekilde çıkmasının sebebi alt ve üst yan banttır. (MEGEP 2007).

$$B = 2f_m \quad (2.15)$$



Şekil 2.6. Çift yan bant modülasyonu için bant genişliği (Alper 1992).

Burada,

$m$ : Modülasyon indisi,

$V_m$ : Mesaj genliği,

$V_c$ : Taşıyıcı genliği,

$f_m$ : Mesaj frekansı,

$f_c$ : Taşıyıcı frekansı göstermektedir.

### 2.3.2 Tek yan bant modülasyonu

Genlik modülasyonlu işaretin yan bantlarından her biri bilgiyi taşımaktadır. Yalnız tek bir yanbant ile iletilirse iletim verimliliğinin artırılabilceği açıktır bu modülasyona tek yan bant modülasyonu (SSB-Single Side Band Modulation) denir. Güç yarıya düşürüldüğü gibi bant genişliği de yarıya düşer. Bant genişliğinin azalması sinyal-gürültü oranında bir iyileşme meydana getirir (Killen 1997).

Üst yan bant,

$$S_{USSB}(t) = \frac{1}{2} A_c A_m \cos[2\pi(f_c + f_m)t] \quad (2.16)$$

$$S_{USSB}(t) = \frac{1}{2} A_c A_m \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t) - \frac{1}{2} A_c A_m \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_m t) \quad (2.17)$$

Alt yan bant,

$$S_{LSSB}(t) = \frac{1}{2} A_c A_m \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t) + \frac{1}{2} A_c A_m \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_m t) \quad (2.18)$$

Tek yant bant modülasyonu çıkışında alt veya üst yan banttan biri elde edilmektedir.

$$S_{SSB}(t) = \frac{1}{2} A_c A_m \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t) \mp \frac{1}{2} A_c A_m \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_m t) \quad (2.19)$$

Bu eşitliklerde;

$f_m$ : Mesaj frekansı,

$f_c$ : Taşıyıcı frekansı,

$A_m$ : Mesaj Genliği,

$A_c$ : Taşıyıcı genliği,

$m(t)$ : Mesaj işareti,

$c(t)$ : Taşıyıcı işaret belirtilmektedir (Haykin ve ark. 2007).

Tek yanbant modülasyonlu sinyali üretmenin çeşitli yolları vardır. En yaygını filtre yöntemidir. Dengeli karıştırıcı, bir genlik modülasyonlu sinyal üretir. Bu sinyal bant kenarlarından keskin kesim özellikleri içeren darbantlı filtreden geçirilmektedir. SSB'yi üretmek için alt veya üst yanbantlardan biri seçilmektedir. Filtrenin kritik zayıflayarak azalma özelliklerinden dolayı alçak frekanslarda darbantlı filtreleme uygulanmaktadır. Tek yan bant modülasyonunu elde etmek için ilk olarak dengeli modülatör devreleri kullanılmaktadır (Killen 1997).

Hilbert ve Fourier dönüşümü tek yan bant modülasyonuna uygulanan iki matematiksel operasyondur (Chang 2012). Hilbert dönüşümü genlik modülasyonlu işaretin fazını 90° derece değiştirmektedir. Bunlar aynı büyüklüğe sahiptir. Eğer  $\hat{h}(t)$ , Hilbert dönüşümü ise  $h(t)$ 'nin, bu durumda  $\hat{h}(t)$ 'nin Hilbert dönüşümünde  $-h(t)$ 'dir.  $\hat{h}(t)$  ve  $h(t)$   $-\infty$  dan  $+\infty$  tüm zaman boyunca birbirlerine diktir (Chang 2012).

$$\hat{h}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{h(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (2.20)$$

$$h(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\hat{h}(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (2.21)$$



Fourier dönüşümü, işareti sin ve cos olmak üzere parçalamaktadır. Çıkış işareti frekans fonksiyonu giriş işareti ise zaman fonksiyonudur. Bilgisayar algoritmalarında ayrık Fourier dönüşümü kullanılır. Ayrık Fourier dönüşümü dönüştürülebilir, doğrusal bir dönüşümdür. N periyotlu sonsuzi şaret üretilir. Şekil 2.7'de tek yan bant modülasyonu gösterilmiştir (Chang 2012).

Ayrık Fourier Dönüşümü,

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i2\pi\frac{k}{N}n} \quad (2.22)$$

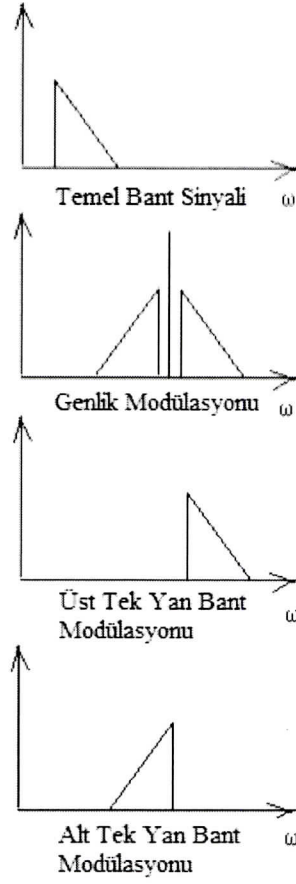
Burada;

N: Periyot,

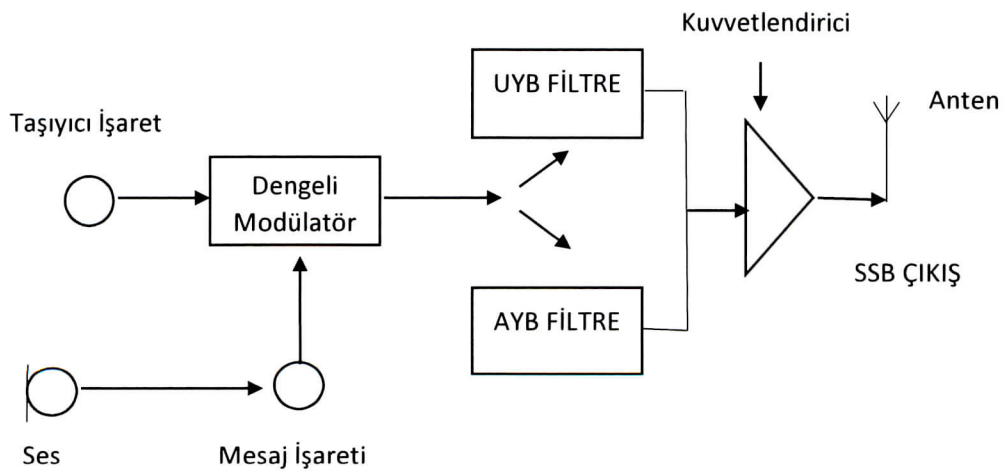
$x_n$ :Giriş işareti,

$k$ : Öteleme değeri belirtmektedir.

İki filtre kullanan tek yan bant vericide, mesaj işareti bir ses işaretidir ve taşıyıcı işaret ile dengeli modülatör de modüleli işaret elde edilmektedir. Modüleli işaret elde edildikten sonra üst veya alt yan bantlardan birini seçmek için alçak veya yüksek geçiren filtredn biri kullanılır. Filtreden geçirme işlemi bittikten sonra sinyal kuvvetlendirilerek anten aracılığı ile alıcıya iletilmektedir. Şekil 2.8'de örnek verici devresi verilmektedir. Tek yan bant modülasyonunda bant genişliği çift yan bantlı genlik modülasyonunun bant genişliğinin yarısıdır ve  $B = f_m$  şeklinde ifade edilmektedir (MEGEP 2007).



Şekil 2.7. Temel bant, genlik modülasyonu ve tek yan bant modülasyonu (Chang 2012).



Şekil 2.8. İki filtre kullanan SSB verici (MEGEP 2007)

### 2.3.3 Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu

Genlik modülasyonunun, dönüşümü çok basittir ayrıca çok basit bir şekilde modüle edilmektedir. Fakat bu modülasyonun iki dezavantajı bant genişliği israfı ve güç israfıdır. Bantların herbiri birbirinden bağımsız aynı bilgiyi taşımaktadırlar (Özçalışkan 2003).

Güç israfı yalnızca kenar bantlar iletilerek giderilmektedir. Diğer bir çözüm de tam genlik modüleli sinyal formundaki taşıyıcıyı kaldırmaktır. Bu modülasyon türüne taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu (DSB-SC Double Side Band With Suppressed Carrier) denir. Bu modülasyon genellikle taşıyıcı ile temel bant işaretinin çarpımı ile elde edilmektedir (Özçalışkan 2003).

$$V_{DSBSC} = V_M \times V_C \quad (2.23)$$

$$V_{DSBSC} = E_M \cos \omega_M t \times E_C \cos \omega_C t \quad (2.24)$$

$$V_{DSBSC} = \frac{1}{2} E_M E_C [\cos(\omega_C - \omega_M)t + \cos(\omega_C + \omega_M)t] \quad (2.25)$$

En basit şekilde yazıldığında,

$$V_{DSBSC} = E_D \cos(\omega_C - \omega_M)t + E_D \cos(\omega_C + \omega_M)t \quad (2.26)$$

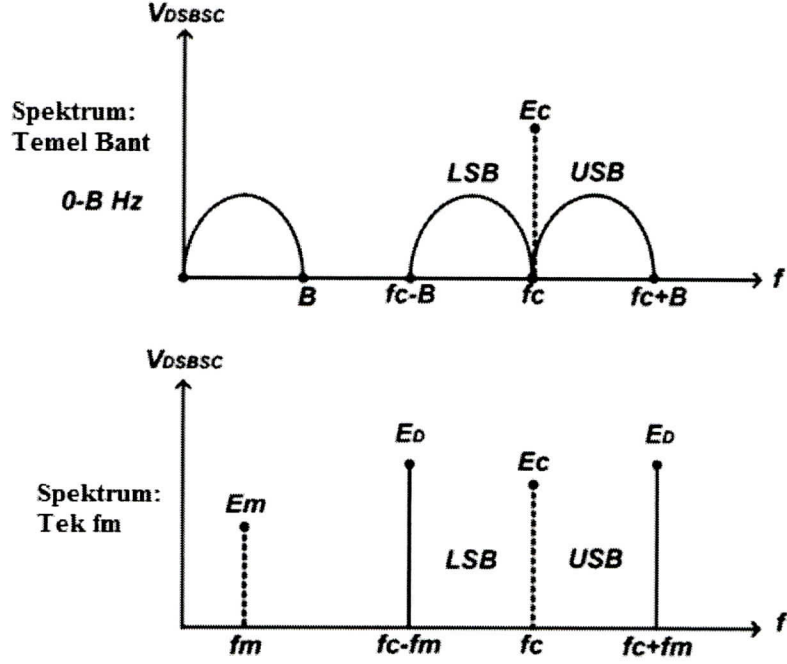
elde edilmektedir. Burada;

$E_M$ : Mesaj genliği,

$E_C$ : Taşıyıcı genliği,

$\omega_M$ : Mesaj işareti açısal frekans,

$\omega_c$ : Taşıyıcı işaretin açısal frekansı göstermektedir.



**Şekil 2.9.** Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu spektrumu ( Özçalışkan 2003)

ED sadece EM ve EC genlik faktörüyle orantılı olmaktadır ve bu sebepten dolayı boyutu gerilim karedir. Bu çift yan bant spektrum karakteristiği Şekil 2.9'un alt tarafını verir (Özçalışkan 2003).

Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonunun üç özelliği bulunmaktadır. Bunlar:

- Modülasyon işlemi sonucunda işaretin spektrum biçimi değişmez fakat mesaj işaretinin spektrumu  $\pm\omega$  frekansına kaymıştır. Genlik modülasyonunun  $\omega_c$  frekansına göre çift simetrik ve faz spektrumunda tek simetrik olduğu görülmektedir.
- Taşıyıcı frekansını belirleyecek frekans bileşeni modüle edilmiş işarete yoktur. Bu sebeple taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu olarak adlandırılır.

- Modüle edilmiş dalganın bant genişliği işaretin bant genişliğinin iki katıdır (Kayran 2002).

DSBSC işaret formundaki spektrumda bant genişliğini incelersek tamamen aynı şekilde genlik modülasyonundaki gibidir (Özçalışkan 2003).

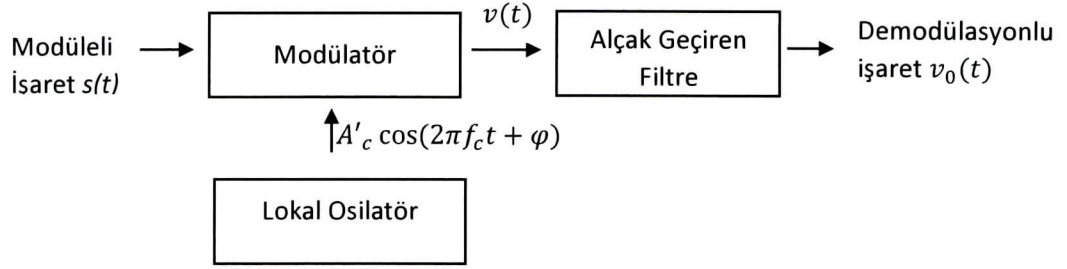
$$\frac{B}{W} = 2f_{max} \quad (2.27)$$

Taşıyıcı bastırılmış çift yan bant işaretlerinin üretmek için iki tür modülatör kullanılır. Bunlar kırıyıcı ve doğrusal olmayan modülatörlerdir (Kayran 2002).

Kırıyıcı modülatörde sistem  $\omega_c$  rad/s frekansı ile açılıp kapanan bir anahtar gibi hareket etmektedir. Burada anahtar periyodun yarısında işaretin filtreye uygulanmasını sağlamaktadır diğer yarısında da işareti topraklamaktadır. İşlem  $f(t)$  işaretinin periyodik kare dalga  $p(t)$  ile çarpılması işlemidir (Kayran 2002).

Doğrusal olmayan aygıt modülasyonunda  $f(t)$  mesaj işareti ile  $\cos(\omega)t$  taşıyıcısının çarpımı doğrusal olmayan elemanlarla gerçekleştirilir. Örnek olarak diyot devreli kırıyıcı modülatör kullanılabilir. Böyle bir aygıtta akım ile gerilim arasında doğrusal olmayan bir ilişki söz konusudur. Doğrusal olmayan eleman olarak yarıiletken diyotlar da kullanılabilir. Bu tip bir modülatörün performansı kullanılan diyotların karakteristiklerinin birbirine yakınlığı ile ilişkilidir (Kayran 2002).

Şekil 2.10 taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonunun blok diyagramı gösterilmiştir (Haykin ve ark. 2007).

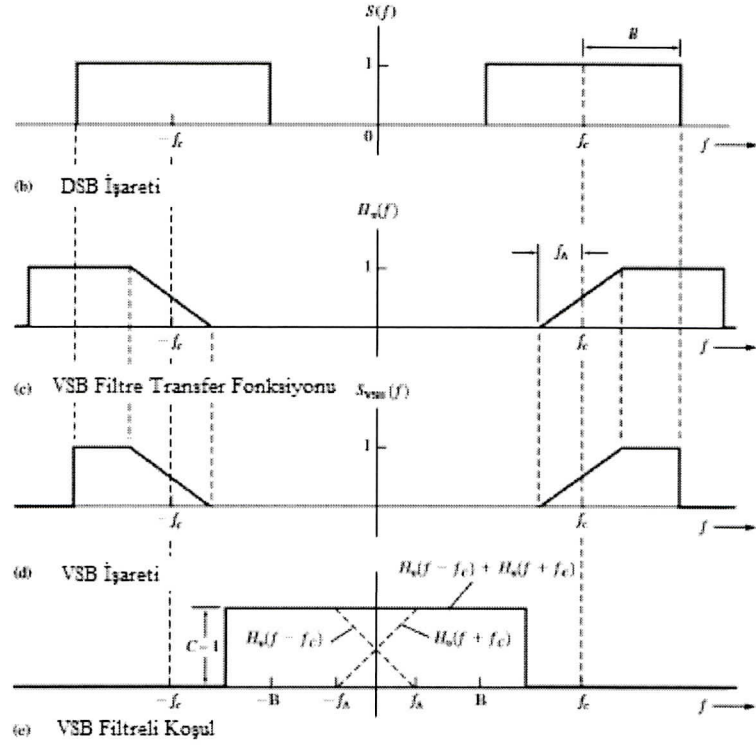


Şekil 2.10. Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu (Haykin ve ark. 2007).

### 2.3.4 Artık yan bant modülasyonu

Tek yan bant modülasyonunun çift yan bant modülasyonuna göre frekans bandı kullanımında avantaj sağlamaktadır. Fakat TYB'li modülatör ve demodülatörleri gerçekleştirmek daha zordur. TYB ile ÇYB arasında tanımlı modülasyon türüne artık yan bant modülasyonu denir. Bu modülasyon türü için gerekli bant genişliği çift yan bant modülasyonundan daha az, tek yan bant modülasyonundan daha fazladır. Örnek olarak video işaretlerinin iletilmesi verilirse, tek yan bant için gerekli bant genişliği 4 MHz, çift yan bant için 8 MHz ve ayrık yan bant için ise bant genişliği 5 MHz olmaktadır (Kayran 2002).

Artık yan bant modülasyonunun bant genişliği incelendiğinde, tek yan bant modülasyonunun bant genişliği ( $f_m$ ) ile çift yan bant modülasyonun bant genişliği ( $2f_m$ ) arasında bir değer bulunmaktadır.



Şekil 2.11. Artık yan bant modülasyonu spektrumları (Couch 2013)

Şekil 2.11’de artık yan bant modülasyonuna ait spektrumlar gösterilmiştir. Çift yan bant işaretten filtre ile artık yan bant işareti elde edilmiştir.

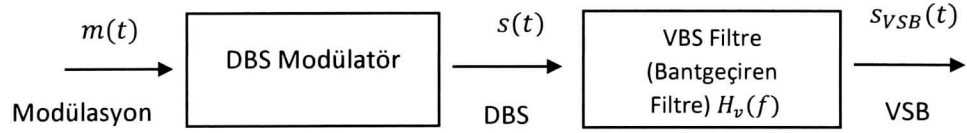
Artık yan bant modülasyonunda modülatörlerin tasarımı kolaydır. Bu modülasyon için ideal olmayan bir bant geçiren filtre kullanılmaktadır. Artık yan bant modülasyonu, çift yan banttan birinin yaklaşık olarak tümünü diğerinin ise sadece küçük bir bölümünü geçiren bir filtrenin çıkışından elde edilmektedir. Bu filtre artık yan bant filtresidir ( $H_v(\omega)$ ). AYB modülasyonlu dalgayı üretmek için kullanılan filtrenin sağlaması gereken şart, filtre transfer fonksiyonunun  $\omega_c \pm W$  bandı için  $\omega_c$  frekansına göre tek simetrik olması ve  $\omega_c$ ’deki genliğin maksimum genliğin yarısına eşit olmasıdır (Kayran 2002). Kısaca her  $\omega_c - W \leq \omega' \leq \omega_c + W$  için,

$$H_v(\omega_c - \omega') + H_v(\omega_c + \omega') = 2H(\omega_c) = \text{sabit} \quad (2.28)$$

ilişkisi gerekmektedir. Artık yan bant işaretin spektral yoğunluğu,

$$F_{AYB}(\omega) = \left[ \frac{1}{2}F(\omega + \omega_c) + \frac{1}{2}F(\omega - \omega_c) \right] H_v(\omega) \quad (2.29)$$

(Kayran 2002). Şekil 2.12’de artık yan bant modülasyonu verici şeması gösterilmiştir.



**Şekil 2.12.** Artık yan bant modülasyonu verici şeması (Couch 2013)

Artık yan bant modülasyonunun başlıca özellikleri aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

- Bant genişlikleri karşılaştırıldığında AYB'nin bant genişliği TYB den fazladır.
- Artık yan bant modülasyonunda gönderilen güç tek yan bant modülasyonunda gönderilen güçten biraz fazladır.
- Kesimi hafif eğimli süzgeçler ile ÇYB işaretinden AYB işareti elde edilmektedir.
- ÇYB ile AYB yi karşılaştırdığımızda, AYB'nin seçmeli sönmülemeye fazla duyarlı olmadığı görülmektedir, nerdeyse TYB kadar iyidir.
- Demodülasyonun eş zamanlı yapılması gerekmektedir. Büyük taşıyıcılar zarf sezici ile de demodüle edilebilmektedir (Önal 2008).



### 2.3.5 Açı modülasyonu

İşaretlerin genlikleri sabit kalırken, taşıyıcının açısının bilgi işaretine bağlı olarak değişmesine açı modülasyonu denir. Taşıyıcı işaretin açısı faz veya frekans değişimlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu modülasyonun avantajı, gürültü ve diğer bozucu etkileri azaltmaktadır. Açı modülasyonunu gerçekleştiren aygıtlara bakarsak bunların karmaşıklığının fazla olmadığı görülür. Bant genişliği ise çok artmaktadır (Kayran 200).

Açı modülasyonunun bazı önemli özellikleri vardır. Bunlar; açı modülasyonu doğrusal değildir, bantgenişliği modülasyon indeksi arttığı için artmaktadır. Modüleli dalganın belirli türleri için ayırık taşıyıcı düzeyleri modülasyonlu işarete bağlı ve sıfırdır. Darbant açı modülasyonunun bant genişliği modüleli işaretin iki katıdır. Gerçek bir açı modülasyonunun değeri sabittir ve modüle olmuş işarete bağlı değildir (Couch 2013).

#### 2.3.5.1 Frekans modülasyonu

Taşıyıcı frekansı bilgi işaretinin genliğine göre değiştirildiğinde oluşan modülasyona, frekans modülasyonu (FM-Frequency Modulation) denir. Frekans modülasyonu açı modülasyonu türüdür ve taşıyıcının anlık açısı modüle edilir. Frekans modülasyonunun geniş çapta kullanılması ilk 1920'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Bu yıllardaki düşünce modülasyonlu işaretin bant genişliğini sınırlamak için taşıyıcının frekansını çok dar sınırlar içinde değiştirmektir. Bu yaklaşım istasyonların kalabalıklaşması problemine çözüm vaat ediyordu. Günümüzde bilgiyi iletmek için gereken bant genişliğinden daha büyük bir bant genişliği kullanmak suretiyle genişbantlı frekans modülasyonlu sistemde gürültü performansının iyileştirildiği anlaşılmıştır. Frekans modülasyonu frekans artışı ve azalışı olarakta düşünülebilmektedir (Killen 1997).

Frekans modülasyonunun avantajları şu şekilde özetlenebilir;

- Ses kalitesi iyidir.

- Gürültü bağışıklıkları karşılaştırıldığında frekans modülasyonunun gürültü bağışıklığı genlik modülasyonuna göre daha yüksektir.
- Yakalama etkisi sayesinde istenmeyen sinyaller frekans modülasyonunda basitçe yok edilmektedir.
- PLL sentezör devreleri kullanır.

Frekans modülasyonunun dezavantajları ise;

- FM'nin bantgenişliğı büyük kullanılan devreleri de yüksek maliyetlidir (Alper 1992).

Frekans modülasyonunda A sabit genlikli ve  $\theta(t)$  ani açılı sinüsoidal işaret,

$$\varphi(t) = A \cos[\theta(t)] \quad (2.30)$$

olarak tanımlanmaktadır.  $\theta(t)$  açısı zamanın bir fonksiyonudur ve  $\theta(t)$ 'nin zamana göre türevi ani frekans  $\omega_i(t)$ 'yi vermektedir. Eğer  $\theta(t)$  doğrusal ise,  $\theta(t) = \omega_0(t) + \theta$ , bu durumda sinüsoidin  $\omega_0$  rad/s'de bir frekansı vardır ve ani frekans sabittir (Kayran 2002). Ani frekans,

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2.31)$$

Ani frekans mesaj işareti  $f(t)$  ile doğrusal olarak değişirse frekans modülasyonlu işaret elde edilmektedir. Denklemdaki  $\omega_c$  ve  $k_f$  sabitlerdir. Frekansı modüle edilmiş sinüsoidalın açısı,

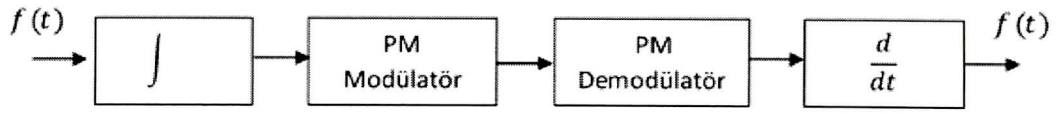
$$\theta(t) = \int_0^t \omega_i(\tau) d\tau = \int_0^t [\omega_c + k_f f(\tau)] d\tau + \theta_0 = \omega_c t + k_f \int_0^t f(\tau) d\tau + \theta_0 \quad (2.32)$$

şeklindedir. Frekansı modüle edilmiş sinüsoidal işaret,

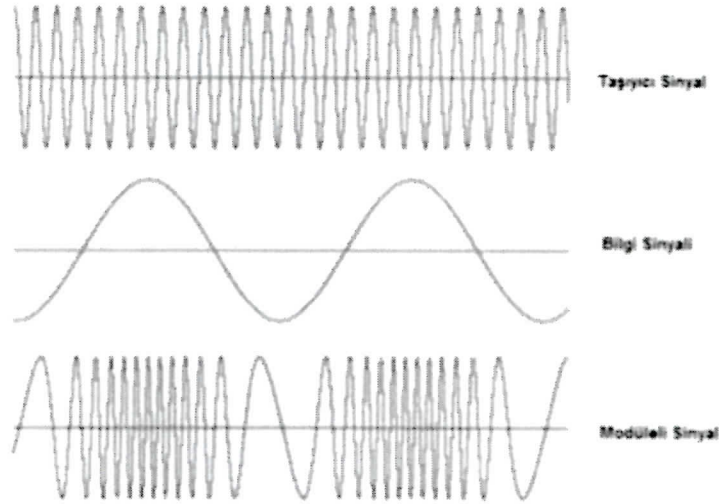
$$\varphi_{FM}(t) = A \cos[\omega_c t + k_f \int_0^t f(\tau) d\tau + \theta_0] \quad (2.33)$$

şeklindedir (Kayran 2002).

Faz ve frekans modülasyonları birbirlerine çok benzemektedirler. Faz modülasyonunda açı, mesaj işareti ile orantılı olarak değişirken frekans modülasyonunda ise açı mesaj işaretinin integrali ile doğrusal olarak değişir.  $f(t)$  işaretinin integralini alınıp bu işaretle taşıyıcının açısı modüle edilerek frekans modülasyonlu işaret (Şekil 2.14) elde edilmektedir (Kayran 2002). Şekil 2.13'te FM modülatör gösterilmiştir.



Şekil 2.13. FM modülatör (Kayran 2002)

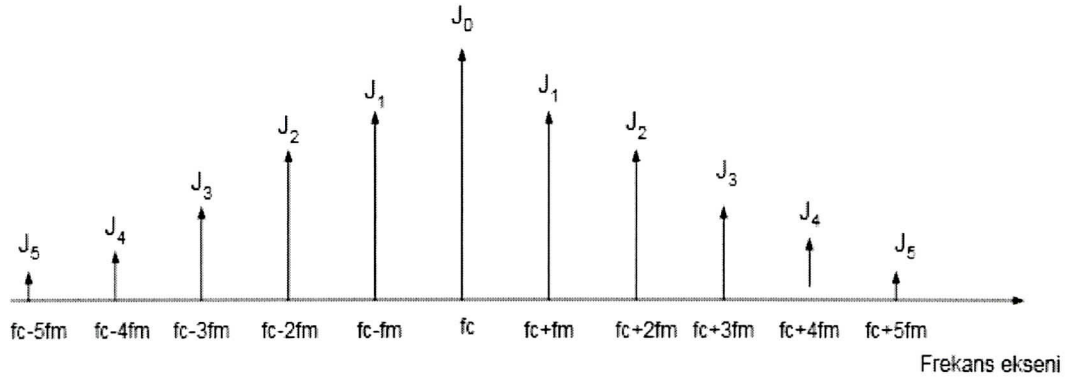


Şekil 2.14. Frekans modülasyonu işaretleri

Bir sinüzoidal mesaj işaretinin frekans modülasyonunda sonsuz sayıda yan banttan oluşmaktadır. En önemli yan bant sayısına göre bantgenişiği bulunmaktadır (Kayran 2002). Hesaplamalarda kullanılacak olan  $\Delta\omega$  tepe frekans değişikliğidir,  $\omega_m$  ise modüle

edici frekans olmaktadır. Modülasyon indeksi  $m_f$  de aynı zamanda tepe faz sapması olarakta adlandırılmaktadır (Killen 1997).

$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (2.34)$$



**Şekil 2.15.** FM sinyali için frekans spektrumu (Alper 1992)

Şekil 2.15'te FM sinyaline ait frekans spektrumu gösterilmiştir. Frekans modülasyonuna ait bant genişliği aşağıdaki iki formül ile hesaplanmaktadır.

- $BW = 2 \times f_m * \text{önemli bant sayısı},$  (Tablo Kuralı) (2.35)

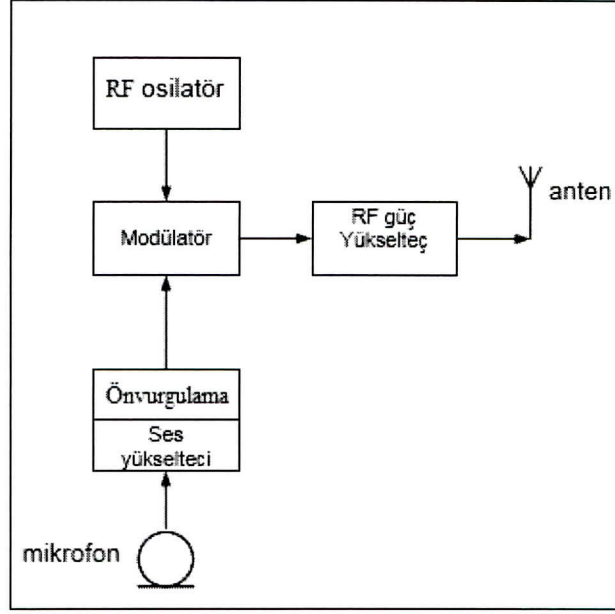
- $BW = 2 * (\Delta f + f_m),$  (Carson Kuralı) (2.36)

Önemli yanbant sayısı için taşıyıcının genliğinin %1 oranına kadar harmonik genlikler dikkate alınır diğerleri hesaplanmaz. Önemli yan bant sayısı belirlenirken Çizelge 2.1 kullanılır. Çizelge taşıyıcı genliği 1 Volt alınarak normalize hale getirilmiştir (Alper 1992).

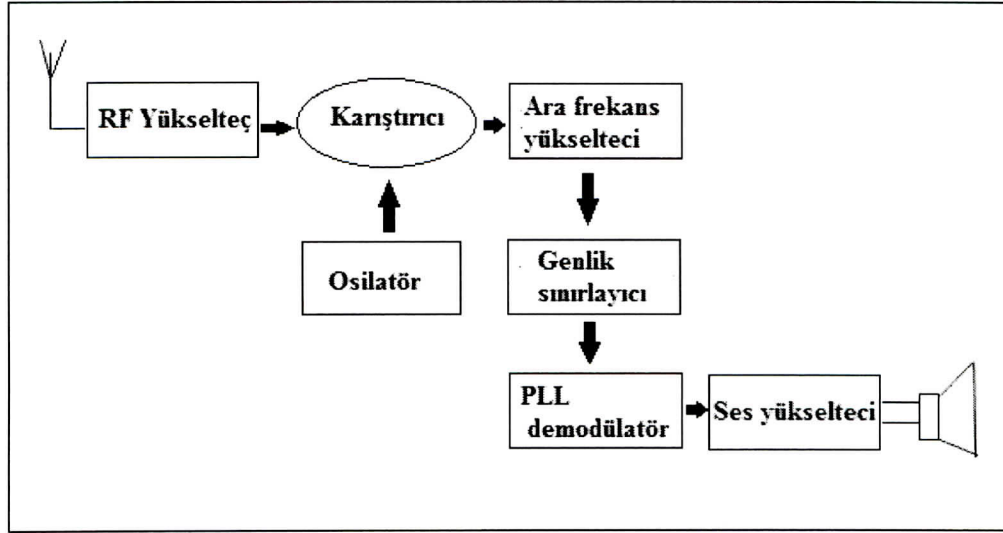
**Çizelge 2.1.** Bessel fonksiyonuna bağlı olarak elde edilen modülasyon indisine bağlı yan bant ve taşıyıcı genlikleri (Alper 1992).

Mod. İnd.	$J_0$ Taşıyıcı	$J_1$ 1 st	$J_2$ 2nd	$J_3$ 3d	$J_4$ 4th	$J_5$ 5th	$J_6$ 6th	$J_7$ 7th	$J_8$ 8th
0,0	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	0,98	0,12	-	-	-	-	-	-	-
0,5	0,94	0,24	0,03	-	-	-	-	-	-
1,5	0,51	0,56	0,23	0,06	0,01	-	-	-	-
1	0,77	0,44	0,11	0,02	-	-	-	-	-
2	0,22	0,58	0,35	0,13	0,03	-	-	-	-
3	-0,26	0,34	0,49	0,31	0,13	0,04	0,01	-	-
4	-0,40	-0,07	0,36	0,43	0,28	0,13	0,05	0,02	-
5	-0,18	-0,33	0,05	0,36	0,39	0,26	0,13	0,05	0,02

Şekil 2.16 ve Şekil 2.17 de frekans modülasyonuna ait alıcı verici şemaları gösterilmiştir (Alper 1992). Verici bölümünde, mikrofondan iletilen ses işareti bilgi işaretidir, RF osilatör ile taşıyıcı işaret üretilmektedir. Modülatör kısmında bu iki işaretin frekansları çarpılarak modüleli işaret elde edilmektedir. RF yükselteç ile işaret kuvvetlendirilerek yani akım ve gerilim değerleri yükseltilecek anten aracılığı ile alıcıya iletilmektedir. Alıcı bölümünde ise, anten elektromanyetik dalgalar halinde uzayda vericiden gelen işaretleri elektriksel işarete dönüştürülmektedir. Bu işaretlerin genlik değerleri küçük olduğu için RF güç yükselteci ile akım ve gerilim değerleri yükseltilmektedir. Karıştırıcı bölümünde ise bir frekansa daha ihtiyaç olduğu için osilatör ile bir frekans daha üretilmektedir. Bu frekans ile antenden gelen frekans karıştırılmaktadır. Gürültü sebebiyle oluşan genlik değişimleri genlik sınırlayıcıda yok edilmektedir. PLL demodülatör kısmında ise gerilim kontrollü osilatör kullanılmaktadır. Bu osilatörün giriş gerilimini modüle eden bilgi işaretidir. Bilgi işareti taşıyıcı işareten ayrılır ve zayıflamaktadır. Ses yükseltecinde bilgi işaretinin genliği hoparlörden iletilecek büyüklükte değildir bu sebeple işaret kuvvetlendirilerek yani akım ve gerilim değerleri yükseltilecek iletilmektedir (Kayran 2002).

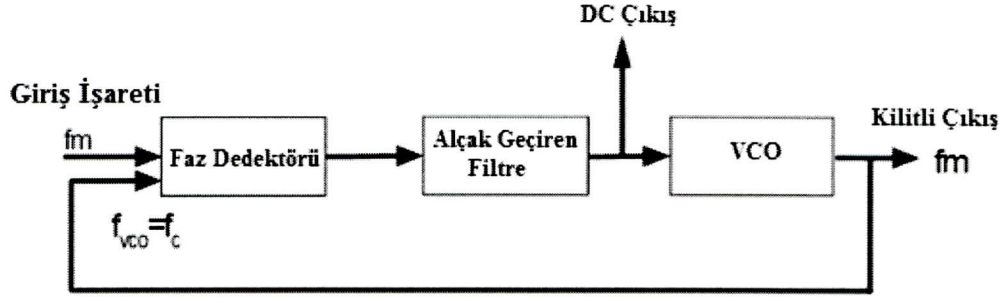


Şekil 2.16. Basit FM verici blok şeması (Alper 1992)



Şekil 2.17. FM alıcı blok şeması (Alper 1992)

Faz dedektörlerin en çok kullanıldığı yerler şunlardır; frekans modülasyon sentezörlü vericilerde, demodülasyon işlemlerinde, uydu takip sistemlerinde ve dar bant keskin filtre devreleridir. PLL devresinin blok şeması Şekil 2.18’de gösterilmiştir (Alper 1992).



**Şekil 2.18.** PLL Devresinin blok şeması (Alper 1992)

**Faz dedektörü :** Bu dedektörler çarpıcı devrelerdir.  $f_m$  ve  $f_{vco}$  frekansları birbiri ile çarpılmaktadır. (Alper 1992).

**Alçak Geçiren Filtre:** Çarpıcı devrenin çıkışındaki toplam ve fark frekanslarından sadece fark frekansını içeren bileşeni geçirmektedir (Alper 1992).

$$V_m \sin a \cdot V_c \sin b = -\frac{1}{2} V_m \cdot V_c [\cos(a + b) - \cos(a - b)] \quad (2.37)$$

$$V_m \sin 2\pi f_m t \cdot V_c \sin 2\pi f_c t = \frac{V_m \cdot V_c}{2} \cos 2\pi t(f_c - f_m) - \frac{V_m \cdot V_c}{2} \cos 2\pi t(f_c + f_m) \quad (2.38)$$

Filtre Çıkışı:

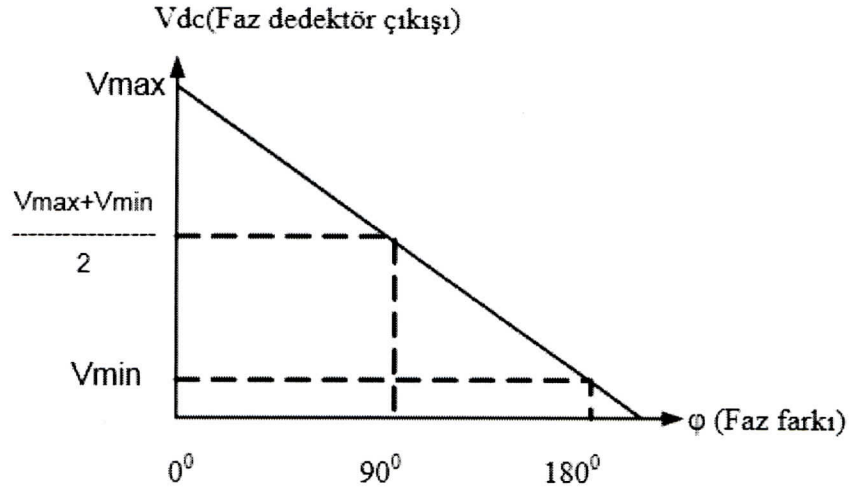
$$V_{dc} = \frac{V_m \cdot V_c}{2} \cos 2\pi t(f_c - f_m) \quad (2.39)$$

Faz dedektörü girişindeki  $f_c = f_m$  ise PLL kilitlenir ve

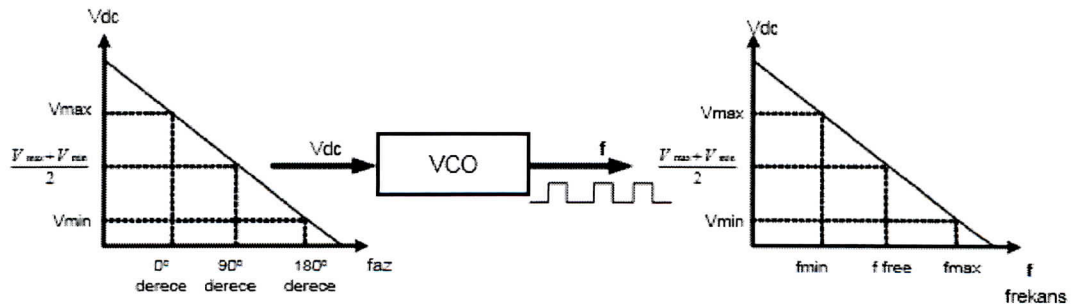
$$\cos 0 = 1 \quad V_{dc} = \frac{V_m \cdot V_c}{2} \quad (2.40)$$

olur.

**VCO:** Gerilim Kontrollü Osilatörler, serbest salınım frekansını üretmektedir. Filtre çıkışındaki DC gerilime göre salınım yaptığı frekans değerini değiştirir (Alper 1992). Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’de faz dedektörü çıkışını ve VCO frekans ve DC gerilim ters orantısını gösterir (Alper 1992).



Şekil 2.19. Faz Dedektörünün Çıkışı (Alper 1992)



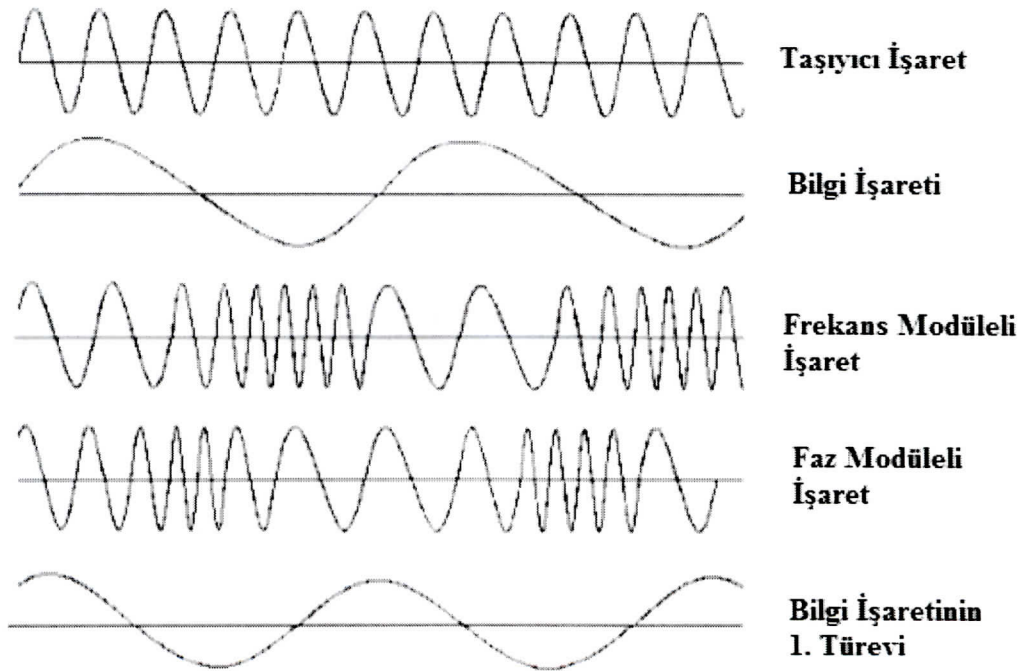
Şekil 2.20. VCO’nun ürettiği frekans grafiğindeki DC gerilim ile ters orantılıdır (Alper 1992)



### 2.3.5.2 Faz modülasyonu

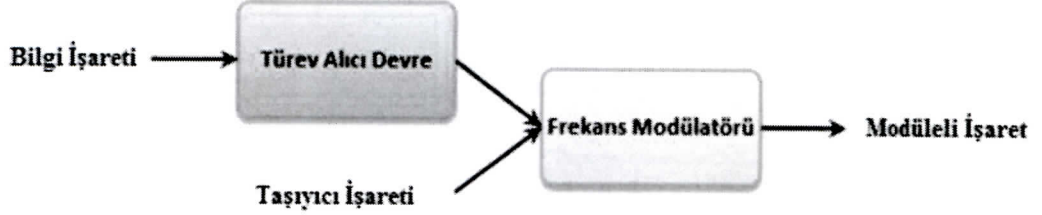
Taşıyıcı işaretinin faz açısının, mesaj işaretinin genliğine ve frekansına göre doğrusal olarak değiştiği modülasyon türüne faz modülasyonu (PM-Phase Modulation) denir. Faz modülasyonunda ani frekans modüle edilen işaretin türevi ile doğrusal değişmektedir. Faz ve frekans modülasyonları birbirlerine çok benzemektedirler. Faz modülasyonunda açılı mesaj sinyali ile, frekans modülasyonunda ise açılı mesaj işaretinin integrali ile doğrusal olarak değişir. Bu durumda mesaj işaretinin integralini alıp bu işaretle taşıyıcının açısını modüle ederek frekans modülasyonlu işaret elde edilmektedir. Faz modülasyonu doğrusal değildir. Fakat derbant faz modülasyonu genlik modülasyonu gibi doğrusaldır (Kayran 2002).

Faz ve frekans modülasyonu işaretleri Şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Faz ve frekans modülasyonu sinyalleri (MEB 2013)

Faz modülasyonu blok şeması aşağıdaki Şekil 2.22’de gösterilmiştir (MEB 2013).

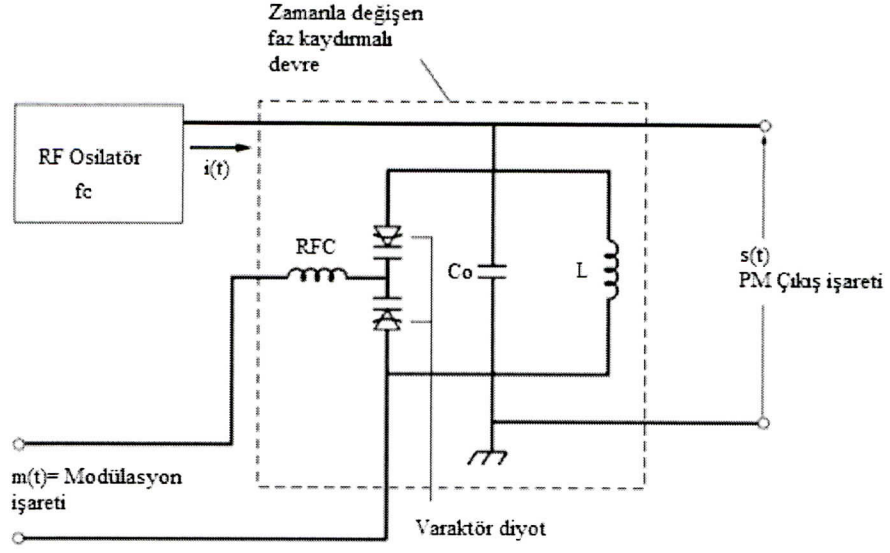


**Şekil 2.22.** Faz modülasyonu blok şeması(MEB 2013)

Bir sinüs işaretinin türevi alınırsa kosinüs işareti elde edilir. Mesaj işareti eğer bir sinüs işareti ise taşıyıcı sinyali de kosinüs işareti ile modüle edilmektedir. Faz modülatörü ile frekans modülatörünü karşılaştırılırsa aralarındaki tek fark frekans modülatöründe frekans sapması olabilirken faz modülatöründe faz sapması olmamaktadır (MEB 2013).

Doğrudan değişen PM devrelerine uygulanan modülasyon gerilim ile değişen bir faz kayması ile devre boyunca bir modüledi sinyal geçirerek PM çıkışı elde edilmektedir. Faz kaydırmalı istemde taşıyıcının fazı değiştirilir her periyot için genlik sabittir fakat faz değişmektedir. RF osilatör ile bir taşıyıcı işaret üretilmektedir. Varaktör diyotlara ters gerilim uygulandığında kondansatör gibi davranırlar bunlara değişken kapasiteli diyotta denilmektedir (Couch 2013).

Örnek bir faz modülasyonu modülatör devresi Şekil 2.23’te gösterilmiştir.



**Şekil 2.23.** Faz modülasyonu modülatör devresi (Couch 2013)

Sinüzoidal  $f(t) = a \cos \omega_m t$  işareti için, frekans modülasyonu dalga biçiminin ani frekansı denklem 2.57 'te gösterilmiştir.

$$w_i(t) = \omega_c + ak_f \cos \omega_m t = \omega_c + \Delta\omega \cos \omega_m t \quad (2.41)$$

$\Delta\omega$  tepe frekans kayması ve  $k_f$  frekans modülasyonu sabitidir.  $\beta = \Delta\omega/\omega_m$  ifadesiyle tanımlanan modülasyon indeksi ise, taşıyıcı ve yan bandların davranışını gösteren bir büyüklüktür. Aynı sinüzoidal giriş işareti için faz modülasyonu dalga biçiminin faz açısı 2.58 denkleminde gösterilmiştir.

$$\theta(t) = \omega_c t + ak_p \cos \omega_m t + \theta_0 = \omega_c t + \Delta\theta \cos \omega_m t + \theta_0 \quad (2.42)$$

Burada  $\Delta\theta$  tepe faz kayması ve  $k_p$  faz modülasyonu sabitidir. Ani frekans 2.59 denkleminde gösterilmiştir.

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \omega_c - \Delta\omega \sin \omega_m t \quad (2.43)$$

Sonuç olarak denklem 2.60 elde edilir.

$$\Delta\omega = \begin{cases} ak_f & FM \text{ için} \\ ak_p \omega_m = (\Delta\theta)\omega_m & PM \text{ için} \end{cases} \quad (2.44)$$

O halde, faz modülasyonu tepe frekans kayması sadece işaretin genliğine bağlı olmayıp aynı zamanda frekansına da bağlıdır. Bu önemli özellik nedeniyle,  $\Delta\omega$ 'nin sabit olması gereken uygulamalarda faz modülasyonu daha az tercih edilir. Modülasyon indeksi  $\beta$ 'nin rolü faz modülasyonunda değişmez.  $\beta$ 'nin sayısal değeri tepe faz kaymasına eşittir. Gerçekten, 2.36 ifadesinde faz modülasyonu 2.61 denklemi elde edilir (Kayran 2002).

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{(\Delta\theta)\omega_m}{\omega_m} = \Delta\theta \quad (2.45)$$

## 2.4 Sayısal Modülasyon

Sayısal iletim sisteminde analog veya sayısal işaretler sayısal darbe biçiminde bir noktadan diğerine iletilmektedir. Eğer iletilen işaret analogsa önce sayısal darbe haline dönüştürülür ve alıcıya ulaştıktan sonra tekrar analog biçime dönüştürülmesi gerekmektedir. Burada darbeler fiziksel malzemenin içinde yayılım yapmaktadır (Toması 1997).

Sayısal modülasyonun avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Gürültüden etkilenmezler. Analog işaretler ile sayısal darbeler karşılaştırıldığında analog işaretlerin istenmeyen genlik, frekans ve faz değişimlerine daha yatkın olduğu görülmektedir (Toması 1997).

- Sayısal darbeler, işleme ve çoğullama işlemleri için daha uygundur. Ayrıca kolaylıkla saklanabilir. Fakat analog işaretleri saklamak kolay değildir. Sayısal bir sistemin iletim hızında kolaylıkla ortama uygun olarak değiştirilmektedir (Toması 1997).
- Maliyet olarak daha uygun fiyatlı sayısal devreler kullanılabilir (Couch 2013).
- Hatalar kodlama yöntemi ile sıklıkla düzeltilmektedir (Couch 2013).
- Gizlilik, veri şifreleme ile korunur (Couch 2013).

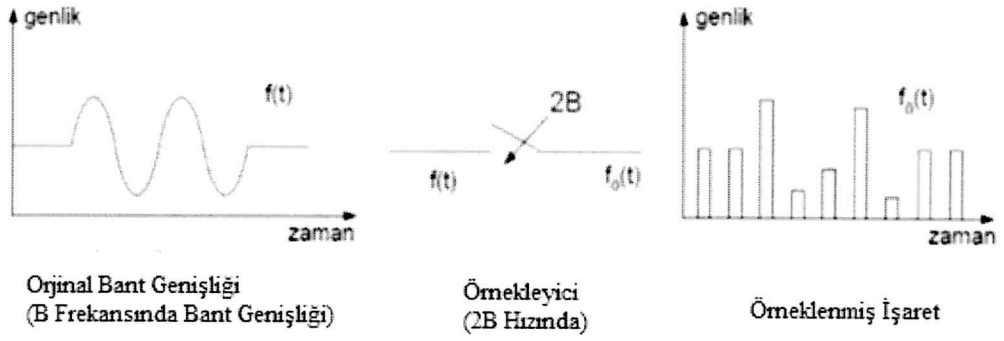
Sayısal modülasyonun dezavantajları ise;

- Sayısal olarak kodlanmış analog sinyallerin iletimi daha fazla bantgenişliği gerektirir.
- Mesaj işareti ilk olarak sayısal kodlara dönüştürülür. Demodülasyon işleminde ise alıcı kısmında tekrar mesaj işareti analog olarak elde edilir.
- Sayısal modülasyonda alıcı ve verici arasındaki senkronizasyon önemlidir.
- Sayısal sistemlerde kullanılan analog sistem donanımları günümüzde kullanılan sistemlerle uyumluluk sorunları yaşamaktadır (Toması 1997)

şeklinde sıralanabilir.

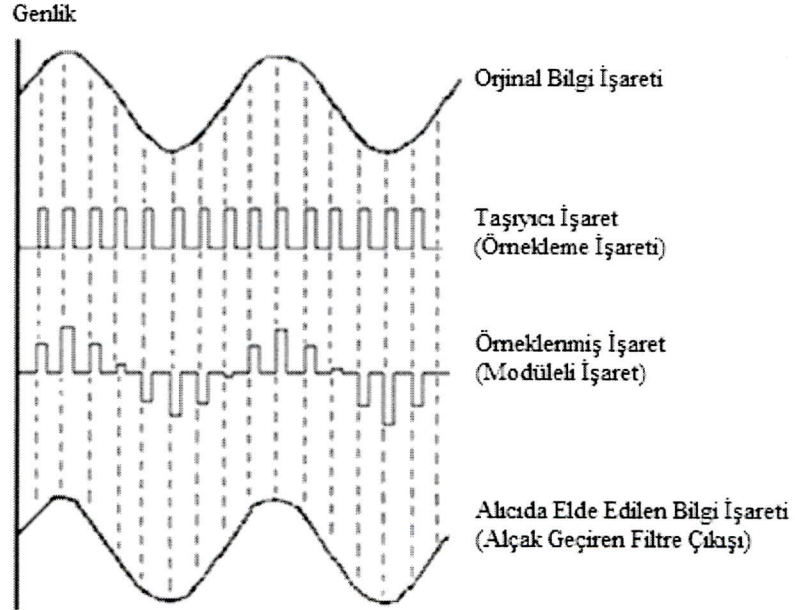
#### **2.4.1 Örneklemeye ve sinyalin tekrar elde edilmesi**

Nyquist başlangıçtaki işaretin örneklemeye işleminden sonra tekrar elde edilebilmesi için, işaret örneklemesinin, işarettaki en yüksek frekansın en az iki katı hızda gerçekleşmesi gerektiğini göstermektedir (Killen 1997). Şekil 2.24'te örneklemeye teoremi gösterilmiştir.



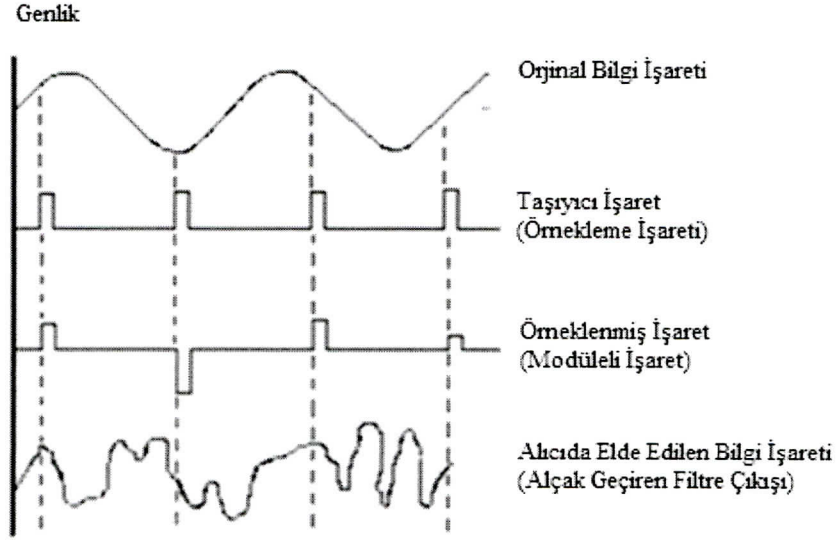
Şekil 2.24. Örnekleme teoremi (MEB 2013)

Şekil 2.25'te örnekleme ve tekrar elde edilme işlemi gösterilmiştir (MEB 2013).



Şekil 2.25. Darbe modülasyonunda örnekleme ve sinyalin tekrar elde edilmesi (MEB 2013).

Alıcıda elde edilecek bilgi sinyalinin bozulmaması için örnekleme sayısı bant genişliğinin en az iki katı olmalıdır. Şekil 2.26'da yetersiz sayıda örnekleme sonucunda alıcıda oluşan sinyalin orijinal sinyale benzemediği görülmektedir. (MEB 2013).



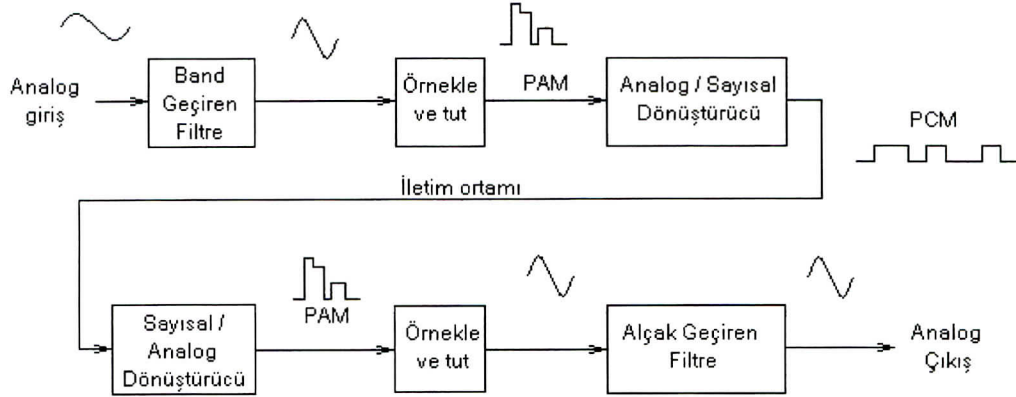
Şekil 2.26. Yetersiz sayıda örneklenmiş sinyal (MEB 2013)

#### 2.4.2 Darbe kod modülasyonu

Genliği sürekli olan örneklenmiş işaret belirli seviyelerde kuantaladıktan sonra her örnek anında her seviyesi için bir kod kullanılan modülasyon türüne darbe kod modülasyonu denir (PCM-Pulse Code Modulation). Kısaca açıklanırsa, bilgiyi taşıyan  $x(t)$  işareti ilk olarak uygun örnekleme frekansıyla örneklenir. Örnekleme işlemi bittikten sonra belirli kuanta seviyelerine kuantalanır. En son işlemde de her kuanta seviyesi bir ikili kod kelimesiyle,  $\{0,1\}$  gösterilir (Panayırıcı ve ark. 2004).

Şekil 2.27'de darbe kod modülasyonunun basitleştirilmiş blok diyagramı görülmektedir. Bant geçiren filtre analog giriş sinyalini 300 Hz ile 3000 Hz arasındaki ses bandı aralığına sınırlar. Örnekleme ve tutma devresi analog girişi örnekleyerek PAM sinyaline dönüştürmektedir. Analog/sayısal dönüştürücü PAM örneklemelerini iletim için seri ikili kod biçimine dönüştürür. Sayısal analog dönüştürücü ise seri ikili veri akışını çok

düzeyle bir PAM işaretine dönüştürür. Örnekleme ve tutma devresi ile alçak geçiren filtre ise PAM işaretini başlangıçtaki analog işarete dönüştürür (Toması 1997).



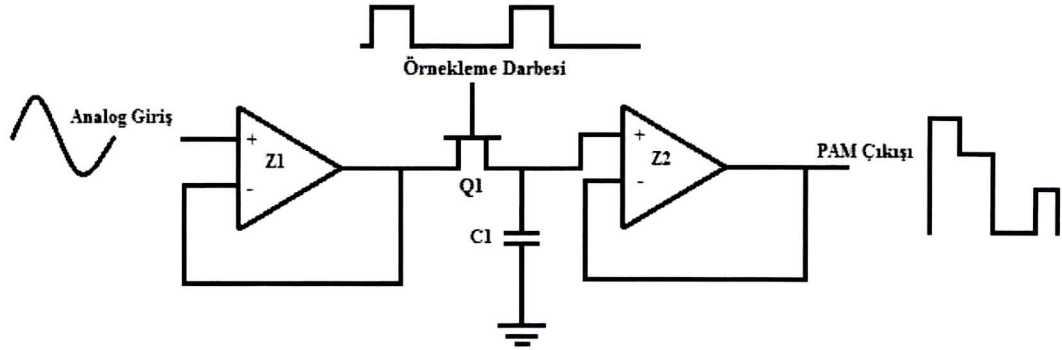
**Şekil 2.27.** PCM sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı (Toması 1997).

Darbe kod mülasyonunun birçok avantajının olması onu popüler yapmaktadır. Bunlar; Diğerlerine göre daha ucuz oldukları için sayısal devre sistemlerinde daha çok kullanılabilirler. Her türlü analog kaynaktan üretilebilirler ve veri sinyalleri ile zaman bölemeli çoklama yöntemi ile birleştirilip iletim hızı yüksek sayısal sistemlerde iletebilirler. Uzun mesafeli telefon sistemlerinde tekrarlayıcılara gerek vardır ve girişteki gürültülü dalga için temiz PCM dalgası her tekrarlayıcı için bir çıkış üretir. Buradaki gürültü sebebiyle bit hataları oluşabilmektedir. Bu hatalar kodlama teknikleri ile düşürülebilmektedir (Couch 2013).

#### 2.4.2.1 Örnekleme ve tutma devresi

Analog biçimdeki bilgi işareti hızlı bir şekilde değişmektedir. Bu değişen değerın sabit bir değerde kalması istenmektedir. Bu işlemi sağlayan devrelere Örnekleme ve Tutma Devresi denir (MEB 2013).





Şekil 2.28. Örneklemeye ve tutma devresi (Toması 1997)

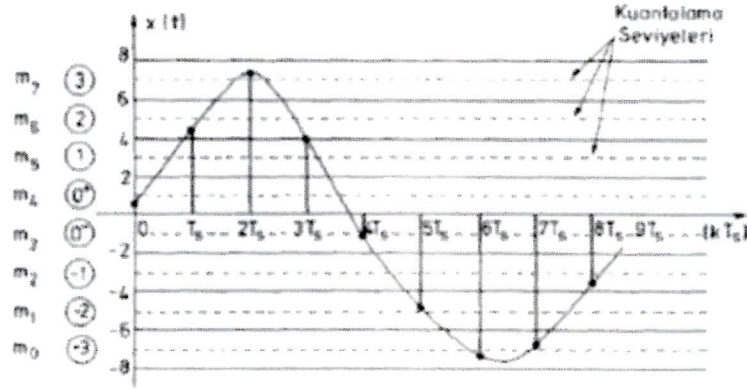
Şekil 2.28' de bu devreye ait örnek şematik diyagram gösterilmiştir. FET burada anahtar görevi görmektedir. Bu anahtar eğer açık ise örneklemeyi C1 üzerinde oluşturmak için düşük empedanslı bir yol oluşturur. Yakalama süresi Q1'in açık kaldığı süredir. Buradaki C1 tutma devresidir. Q1 kapalı olduğunda kondansatör örneklenen gerilimi saklar. Bu saklama süresine analogtan dijital dönüşüm süresi de denmektedir. Yakalama için gereksürenin kısa olması gerekmektedir. Analog sinyal C1 kondansatörü üzerinde oluşturulup sinyalde minimum değişiklik gerçekleştirilmektedir. Dönüşme sırasında giriş değişirse bozulma oluşur buna da apertür bozulması denir (Toması 1997).

#### 2.4.2.2 Kuantalama işlemi

İşaret genliğini belirli kuantalama seviyelerine yuvarlatılmasına kuantalama işlemi denir. Kuantalama işleminden sonra her kuantalama seviyesine uygun bir kod kelimesi belirlenmelidir (Panayırıcı ve ark 2004).

$x(t)$  işaretinin maksimum ve minimum genlikleri  $A_{max}$  ile  $-A_{max}$  arasında değişiyorsa ve aralıkta değişen genlik değerleri  $Q = 2n$  adet eşit kuantalama seviyesine bölünmek istenirse kuantalama aralığı 2.62'deki formülle hesaplanır (Panayırıcı ve ark 2004).

$$a = \frac{2A_{max}}{2^n} \quad (2.46)$$



Şekil 2.29. Kuantalama seviyeleri (MEB 2013)

Şekil 2.29'da çeşitli kuantalama seviyeleri gösterilmiştir. Farklı işaret genlik değerlerinin kuantalama seviyeleri ve kod kelimeleri aşağıdaki Çizelge 2.2'de gösterilmiştir (MEB 2013).

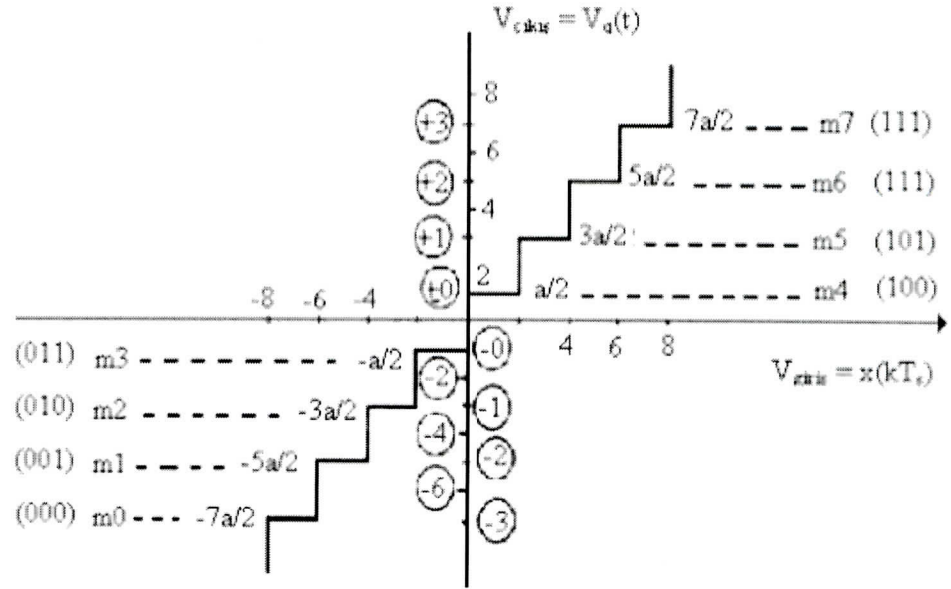
**Çizelge 2.2.** Çeşitli işaret genliklerine karşılık gelen kuantalama seviyeleri ve kod kelimeleri (MEB 2013).

Örneklenen İşaret Genliği	Kuantalama Aralığı	Kuantalama Seviyesi
-2.768	-2 V, -4 V	-1
2.432	2 V, 4 V	+1
6.536	6 V, 8 V	+3
-0.025	0 V, -2 V	-0

Kuantalama gürültüsünü azaltmak için kuantalama adım sayısı (Q) artırılmaktadır. Fakat adım sayısındaki artış kodlamada kullanılacak olan bit sayısını arttırmaktadır (MEB 2013).

### 2.4.2.2.1 Düzgün kuantalama

Bir sinyale ait genlik değerlerinin kuantalması eğer eşit oranlarda bölünerek yapılırsa bu işleme düzgün kuantalama denir. Bu kuantalama türünde bütün kuantal aralıkları eşittir. Şekil 2.30'da +8 V ve -8 V arasında değişen genliğine sahip bir bilgi işareti, 8 kuantal seviyesine ayrılmasıyla elde edilen kuantalama eğrisi gösterilmiştir (MEB 2013).



Şekil 2.30. Düzgün kuantalama eğrisi (MEB 2013)

### 2.4.2.2.2 Kuantalama hataları

Tersine bir işlem olmayan kuantalama sonucunda bilgi kaybı yaşanır. Kuantalanmış örnek işaret  $x_q(t)$ , mesaj işareti  $x(t)$ 'nin yaklaşık bir değeri olduğu için bir bozulma oluşur. Bu meydana gelen bozulmaya kuantalama hatası denir (Panayırıcı ve ark. 2004).

$$x_q(t) = x(t) - x_q(t) \quad (2.63)$$

Denklem 2.63 ifadesiyle gösterilen kuantalama hatasının etkisi bir gürültü etkisi ile aynı büyüklüktedir. Bu hata etkisine kuantalama gürültüsü denmektedir. Meydana gelen gürültü ortadan kaldıramaz fakat çeşitli yöntemlerle etkisi azaltılabilmektedir. (Panayırıcı ve ark. 2004).

Kuantalama seviyesi  $a$  olan bir kuantalama gürültüsünün yoğunluk fonksiyonu denklem 2.64 'te verilmiştir (Panayırıcı ve ark. 2004).

$$p(e) = \begin{cases} \frac{1}{a}, & -\frac{a}{2} \leq e \leq \frac{a}{2} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.47)$$

Kuantalama gürültüsünün karesel ortalaması denklemler 2.65-2.66 da verilmiştir. Ortalama değer  $E[e] = 0$  olarak bulunur (Panayırıcı ve ark. 2004).

$$\langle e^2 \rangle = E[e^2] \quad (2.48)$$

$$\langle e^2 \rangle = \int_{-a/2}^{a/2} e^2 p(e) de = \frac{a^2}{12} \quad (2.49)$$

#### 2.4.2.2.3 Düzgün olmayan kuantalama

Ses işareti küçük genlikli işaretler içermektedir. Bu işaretler boş kanal gürültüsünü sebep olmaktadır. Bu gürültüden kurtulmak için adım sayısı ( $Q$ ) artırılmalıdır. Fakat bit sayısı ve maliyetide artmaktadır. Ayrıca büyük genlikli işaretler için kullanılmayan kuantalama adımları ayrılmış olabilir (MEB 2013).

Kuantalanan işaret gürültü oranının sabit tutulması için büyük işaretler için büyük adım kullanılır, küçük işaretler için ise küçük adım kullanılmaktadır. İlk olarak işareti düzgün kuantalamaya uygun hale getirmesi için sıkıştırma işlemi yapılır daha sonra alıcı

tarafında da genişletme işlemi yapılmaktadır. Düzgün olmayan kuantalama yöntemi blok şeması Şekil 2.31’de gösterilmiştir (MEB 2013).



Şekil 2.31. Düzgün olmayan kuantalama yöntemi blok şeması (MEB 2013)

Düzgün olmayan kuantalama için iki adet kural vardır. Bunlardan ilki Amerika’da kullanılan “ $\mu$ -kuralı”dır ve denklem 2.50 ile gösterilmiştir. En yüksek genlik  $\omega_1(t)$  için  $|\omega_1(t)| \leq 1$  olarak ifade edilir (Couch 2013).

$$|\omega_2(t)| = \frac{\ln(1+\mu|\omega_1(t)|)}{\ln(1+\mu)} \quad (2.50)$$

Diğer kural Avrupada kullanılan “A-kuralı”dır ve denklem 2.51 ile gösterilmiştir (Couch 2013).

$$|\omega_2(t)| = \begin{cases} \frac{A|\omega_1(t)|}{1+\ln A} & , 0 \leq |\omega_1(t)| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln(A|\omega_1(t)|)}{1+\ln A} & , \frac{1}{A} \leq |\omega_1(t)| \leq 1 \end{cases} \quad (2.51)$$

#### 2.4.2.3 Kodlama işlemi

İşaret örneklendikten sonra kuantalanır ve sayıya işarete dönüştürmek içinde kodlama işlemi yapılmaktadır. Kodlama işlemi analog sayısal dönüştürücüler ile yapılmaktadır. Dönüştürme işleminden sonra kodlanmış işaret elde edilmektedir (Panayırıcı ve ark 2004).

Bu işlem düzgün bir kuantalama sonucu elde edilen genliklerin kodlanmasıdır. Eğer kuantalama düzgün değilse ikinci bir kodlama işlemi gerekmektedir (Panayırıcı ve ark 2004).

#### 2.4.2.4 Analog sayısal dönüştürücüler

Analog sayısal dönüştürücüleri üç gruba ayrılmaktadır; bunlar basamaklı, ardışıl yaklaşımlı ve paralel dönüştürücülerdir.

Basamak dönüştürücü türünde, giriş işareti,  $V_A$ , örnekleme süresi ( $T_s$ ) içinde sayısal analog dönüştürücü çıkışında  $V_B$  gerilimiyle karşılaştırılır. Eğer  $V_A > V_B$  ise, karşılaştırıcı çıkışı yüksek seviyede (mantık 1) ve kapı açıktır. Bu durumda, gelen saat devreleri sayıcıya ulaşır ve sayma devam eder. Sayısal analog dönüştürücü çıkışındaki gerilim her basamak geldiğinde bir basamak yükselir ve  $V_B$  gerilimi  $V_A$  giriş işaret gerilimini bir süre sonra geçecektir. Bu sırada karşılaştırıcı çıkışı sıfıra düşer ve kapı kapanır. İşlem bitmiştir ve Q çıkışları giriş gerilimine karşı düşen çıkış kodlarını verecektir (Panayırıcı ve ark 2004).

Örnekleme süresi dolduğunda sayaç sıfırlanır ve ikinci örnek için de aynı işlemler tekrarlanır. Örnek olarak n bitlik bir dönüştürücü için bir örnek dönüştürme süresi denklem 2.69 ile gösterilmiştir (Panayırıcı ve ark 2004).

$$t(\text{kodlama}) = \frac{2^n}{f_{\text{saat}}} \quad (2.52)$$

Ardışıl yaklaşımlı dönüştürücü tipi ise basamaklı dönüştürücüye benzer çalışır. Fakat buradaki kodlama süresi çok daha kısadır. Programlayıcının işlevi, karşılaştırıcı devresi çıkışına bakmak ve buna göre çıkış kodunu arttırmak veya azaltmaktır. Düzgün olmayan kuantalamaya bu yöntem uygulanabilmektedir.. Ardışıl yaklaşımlı dönüştürücü için kodlama süresi denklem 2.70 ile gösterilmiştir (Panayırıcı ve ark 2004).

$$t(\text{kodlama}) = \frac{n}{f_{\text{saat}}} \quad (2.53)$$

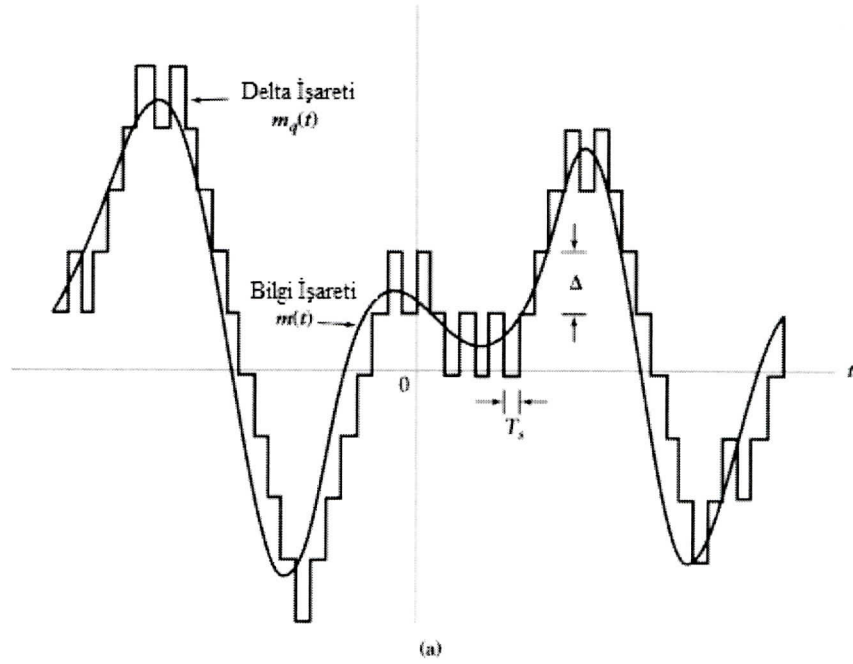
Paralel dönüştürücüler ise karmaşık ve pahalı bir yapıya sahiptirler fakat hızlı çalışırlar. Çalışma sistemleri çok kolaydır. Giriş geriliminin hangi dilimde olduğunu bulmak için her kuantaya diliminde farklı karşılaştırmacı kullanılmaktadır. Geriye kalan işlem, bu  $2^n$  adet çıkışı bir mantık devresiyle  $n$  basamaklı bir koda çevirmektedir. Bu işlem, hızlı kapı devreleriyle kolaylıkla yapılabilir (Panayırıcı ve ark 2004).

### 2.4.3 Delta modülasyonu

Birbirini izleyen örnekler arasındaki genlik farklarının kodlanmasına delta modülasyonu denir. Diferansiyel delta modülasyonu iki örnek değeri arasındaki farkın pozitif veya negatif olduğuna bakılarak yapılan kodlama işlemidir. Bu modülasyona doğrusal delta modülasyonu da denir (Çıbuk,2004).

Bu modülasyon türünde sinyali oluşturmak için birbirini izleyen örneklemeler arasındaki farklar kodlanabilir, iletebilir, kodları çözülüp toparlanabilir. Bu tekniğin bir avantajı bant genişliğinin azalmasıdır. Burada birbirini izleyen örneklemelerde aynı olan bilginin tekrar iletilmesi gerekmez. Bu yöntemin dezavantajı ise, bir örneklemede meydana gelen hatanın, bu örnekleme takip eden örneklemelerde çok fazla etkisi olmaktadır. Delta modülasyonu genellikle yavaş değişikliklerin tam olarak kodlanması gerektiği fakat hızlı değişikliklerin yaklaşık olarak verilmesinin yeterli olduğu sinyallere daha çok uygulanmaktadır. Örnek olarak siyah-beyaz televizyon verilebilir (Killen 1997).

Delta Modülasyonu için örnek kodlama örneği Şekil 2.32'de verilmiştir. Burada modülatör çıkışında binary kodları elde edilmiştir. Delta modülasyonunda eğim izleme yeteneği sınırlı olduğundan dolayı fazla hızlı değişen sinyaller için bu yöntem uygun olmamaktadır. Delta modülasyonunun eğim izleme yeteneği, sıkıştırma-genleştirme metodlarıyla artırılabilir (Çıbuk 2004).



Modölatör çıkışı  
icili sıralama 101111010000000011111101001010111101000000110111

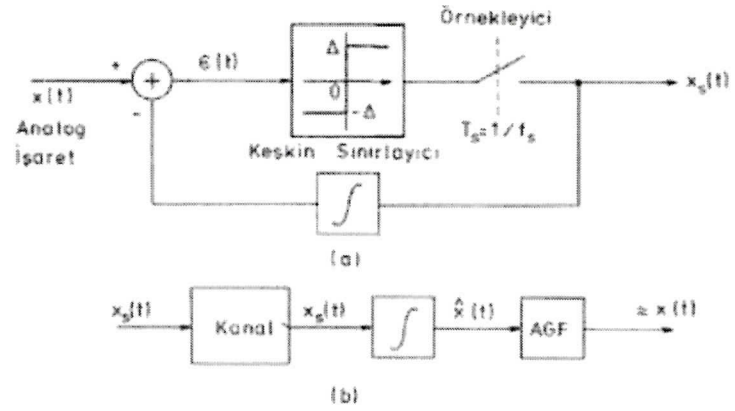
(b)

**Şekil 2.32.** Örnek delta modülasyonu a)analog  $m(t)$  işareti ve yaklaşık merdiven işareti  $m_q(t)$ , b) modölatör çıkışı binary sıralaması (Haykin ve ark. 2007).

### 2.4.3.1 Doğrusal delta modülasyonu

Doğrusal delta modülasyonu üç bölümden oluşur bunlar; bir keskin sınırlayıcı, örnekleyici ve geri besleme bölümünde kısmında bir integral alıcıdır. Alıcı kısmında ise, integral alıcı ve alçak geçiren filtre vardır. Doğrusal delta modülasyonuna ait blok diyagram Şekil 2.33'te verilmiştir (Çıbuk 2004).





Şekil 2.33. Doğrusal Delta Modülasyonu; a) verici, b) alıcı (Çıbuk 2004)

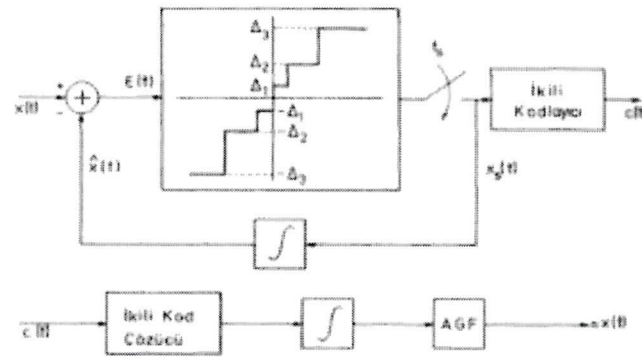
Şekil 2.33.a'da doğrusal delta modülasyonunun verici kısmı gösterilmiştir. Giriş işaretiyle yaklaşık işaret arasındaki farkın, eksi veya artı oluşuna göre iki seviyeden birine kuantalanır. Keskin sınırlayıcı çıkışı Nyquist frekansının çok üstünde bir  $f_s$  frekansı ile örneklenecek belirli çıkış darbelerine ulaşılır. Delta modülasyonlu işaretin demodülasyonu Şekil 2.33.b'de gösterilmiştir (Çıbuk 2004).

Delta modülasyonun maliyeti doğrusal delta modülasyonundan düşüktür. Bunun sebebi analog-sayısal veya sayısal-analog dönüştürücülere ihtiyaç olmamasıdır. Maliyetinin düşük olmasının bir sebebidir RC alçak geçiren filtrelerin kullanılmasıdır. (Couch 2013)

### 2.4.3.2 Adaptif delta modülasyonu

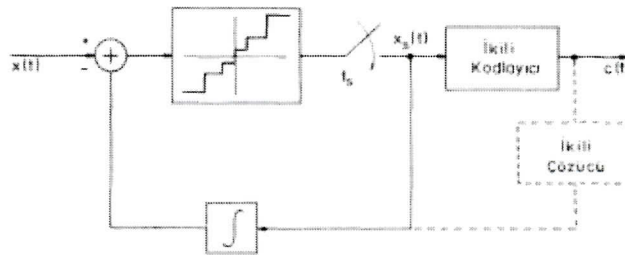
Delta modülasyonu incelendiğinde avantajları kadar dezavantajları da vardır. Dezavantajlarından bazıları, bu modülasyona ait basamak boyu hep aynı değerde sabittir, eğim sınırlaması, başlama süresi ve boşta çalışma gürültüsü örnek verilebilir. Bu sorunlara çözüm basamak boyu değişken olan adaptif delta modülasyonu geliştirilmiştir. Burada  $\Delta$ 'nın genliği,  $x(t) - \hat{x}(t)$ 'nin (Şekil 2.33) farkına bağlı olarak

değiştirilmektedir. Bu sayede, örnekleme frekansını artırmadan  $\hat{x}(t)$ 'nin mesaj işareti  $x(t)$ 'yi daha yakından izleyebilmektedir.  $x(t) - \hat{x}(t)$  küçüldüğünde  $\Delta$  da küçülür ve boşa çalışma gürültüsü azalmaktadır.  $x(t) - \hat{x}(t)$  büyüdüğünde de  $\Delta$  büyüyeceğinden eğim sınırlaması önlenmiş olacaktır (Çıbuk 2004). Şekilde 2.34'te adaptif delta modülasyonunun blok diyagramı verilmiştir. Aşırı eğim gürültüsü adaptif delta modülasyonu ile minimum değerde tutulmaktadır (Couch 2013).



Şekil 2.34. 6 seviyeli adaptif delta modülasyonlu sistem (Kayran 2002)

Adaptif delta modülasyonun bir örneği altı seviyeli bir keskin sınırlayıcı ile yapılan adaptif delta modülasyonudur. Bu devrenin çıkışında ikili darbe dizisi elde edilmez, altı değişik değer alan darbelerden oluşan bir darbe dizisi elde edilmektedir. Bu şekildeki haberleşme işaret gürültü oranını arttırmaktadır (Kayran 2002).



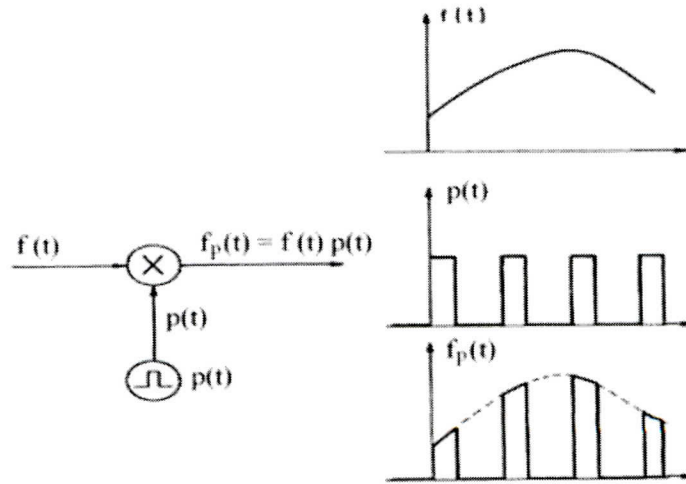
Şekil 2.35. Q seviyeli adaptif delta modülasyonlu sistem (Kayran 2002).

Altı seviyeli adaptif delta modülasyonunun istenmeyen özelliklerini azaltmak için Q seviyeli adaptif delta modülasyonu tasarlanmıştır (Şekil 2.35). Burada Q seviyeli darbe dizisi ikili bir dizi oluşturacak şekilde kodlanmaktadır ve bu işaret kanala gönderilmektedir. Alıcıda Q seviyeli darbe dizisine dönüştürecek kod çözücü gerekmektedir. Verici kısmındaki integral alıcıyı Q seviyeli darbeler yerine ikili dizinin kodunu çözerek beslemek gerekebilmektedir (Kayran 2002).

Adaptif delta modülasyonu doğrusal delta modülasyonundan daha üstün olmasına rağmen bazı olumsuzlukları vardır. Sistemdeki kodlayıcı ve kod çözücü elemanlar sistem karmaşıklığını artırmaktadırlar. Q seviyeli diziyi ikili dizi olarak kodlamak bant genişliğini arttırmaktadır (Kayran 2002).

#### 2.4.4 Darbe genlik modülasyonu

Darbe genlik modülasyonlu (PAM-Pulse Amplitude Modulation) çıkış üretmek için bir çarpım dedektörü kullanılır. Çıkış, bilgi sinyali  $f(t)$  ile anahtarlama fonksiyonu  $p(t)=f_s(t)$ 'nin çarpımıdır. Şekil 2.36'da darbe genlik modülasyonlu sistem gösterilmiştir (Killen 1997).



Şekil 2.36. Darbe genlik modülasyonlu sistem (Atsan 2006)

$$e_{\text{PAM}}(t) = f(t)p(t) \quad (2.54)$$

$$e_{\text{PAM}}(t) = E \cos \omega_m t p(t) \quad (2.55)$$

Anahtarlama fonksiyonu  $p(t)$ 'nin Fourier serisini 2.63 denkleminde yerine yazılırsa denklemler 2.73-2.74 sonuçları elde edilir (Killen 1997).

$$e_{\text{PAM}}(t) = E \cos \omega_m t \left[ \frac{V\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2V\tau}{T} \frac{\sin\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right)}{\frac{n\pi\tau}{T}} \cos n\omega_s t \right] \quad (2.56)$$

$$e_{\text{PAM}}(t) = \frac{VE\tau}{T} \cos \omega_m t + \frac{VE\tau}{T} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi f_s \tau}{n\pi f_s \tau} \cos(n\omega_s + \omega_m)t + \frac{VE\tau}{T} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi f_s \tau}{n\pi f_s \tau} \cos(n\omega_s - \omega_m)t \quad (2.57)$$

Bu denklemde  $\omega_s = 2\pi f_s = 2\pi/T$ 'dir. Sıfır genliğe sahip ilk harmonik,  $1/\tau$ 'ya eşittir. Bu noktayı geçer geçmez, harmoniklerin genlikleri hızla azalır. Ayrıca tayfta bilgi sinyali frekansı  $f_m$ 'nin içerildiği görülmektedir. Bu PAM işaretini tekrar elde etmek için bir yöntem sunmaktadır (Killen 1997).

Bileşik PAM sinyal, bant sınırlanmış devrelerle işlenir. İntegral alma etkisiyle darbe yayılması meydana gelir. Bir darbenin “kuyrukları”, komşu zaman bölmesindeki bir darbeye “girişim” yapar. Buna semboller arası girişim denir. Simgeler arası girişim, iletim bant genişliğini artırmak ya da belli bir zaman bölmesindeki bilgi miktarını düşürmek suretiyle azaltılabilir. Bunun sonucu olarak, çoğullanmış PAM dalga dizisindeki örneklemeler arasında bir ölü süre oluşur. Bu sebeple PAM dalga dizisinin bant genişliği denklem 2.75'te gösterilmiştir (Killen 1997).

$$BW_{PAM} \approx 2f_m n \text{ Hz} \quad (2.58)$$

Bu denklemde  $n$ , örneklenen sinyallerin sayısıdır. Eğer darbeler arasındaki ölü darbe genişliği  $\tau$ 'ya eşitse, örnekleme süresi denklem 2.76'deki gibi bulunur (Killen 1997).

$$\tau = \frac{1}{2} \frac{1}{n} \frac{1}{2f_m} = \frac{1}{4n} \frac{1}{f_m} \text{ s} \quad (2.59)$$

$T_s$  süresi içinde örneklenmesi gereken bilgi kanalı sayısı arttıkça, darbe genişliği  $\tau$ 'nın küçülmesi ve bant genişliği artmaktadır (Killen 1997).

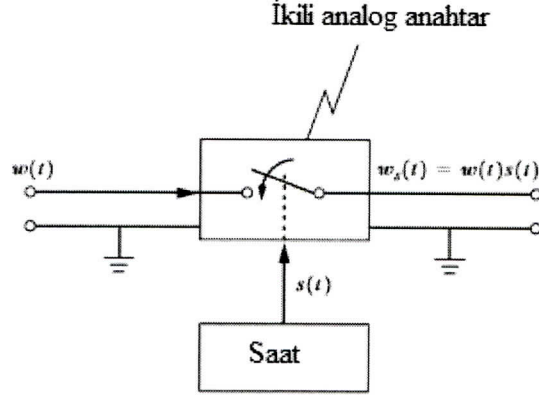
Şekil 2.37'de darbe genlik modülasyonu sisteminin basit blok şeması gösterilmiştir (MEB 2013).



Şekil 2.37. Darbe genlik modülasyonu blok şema (MEB 2013)

Şekil 2.38'te PAM dalgası doğal örnekleme ile basit bir şekilde üretilmektedir. Çünkü bunun için CMOS donanımlarında kolaylıkla bulunan analog anahtarlar kullanılmaktadır. PAM sinyalinin bant genişliğinin orijinal sinyalin bant genişliğinden çok fazla olduğu görülmektedir (Couch 2013).

PAM sisteminin gürültü performansı, mesaj işaretinin doğrudan iletiminden daha iyi olamayacaktır. Uzun mesafelerde bilgi iletimi için, PAM sadece mesajı işlemek için zaman bölmeli çoklama yapısında kullanılmaktadır (Haykin ve ark. 2007).



**Şekil 2.38.** Doğal örnekleme ile PAM işareti üretme (Couch 2013)

Darbe genlik modülasyonlu (PAM) bir  $x_p(t)$  işaretinin  $1\Omega$ 'luk direnç üzerinde harcadığı ortalama güç;

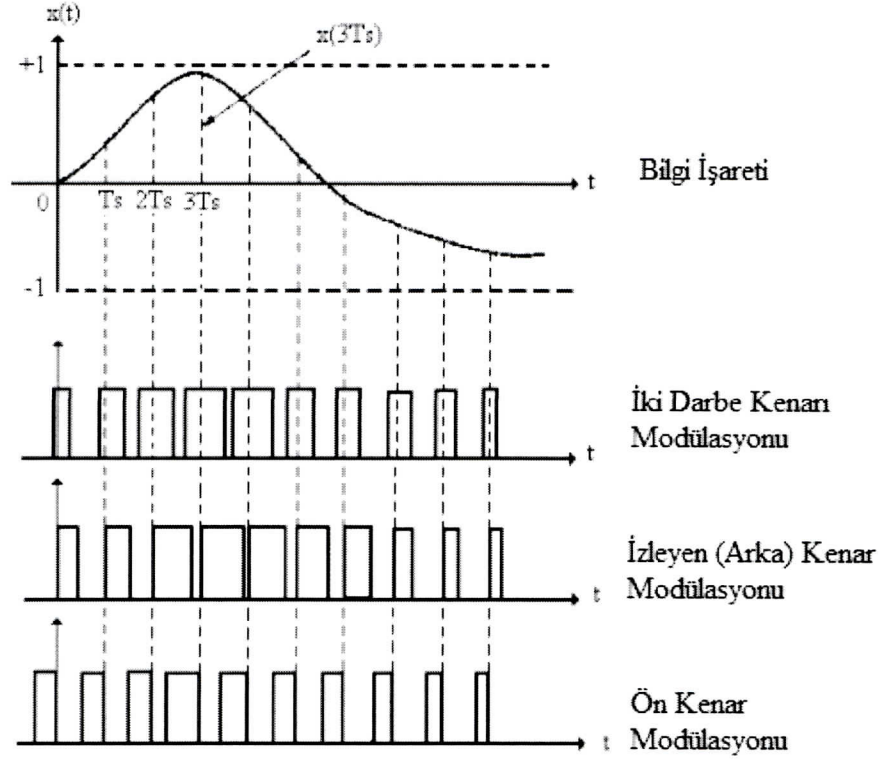
$$P_T = \langle x_p^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_p^2(t) dt \quad (2.60)$$

ile tanımlanır (Atsan 2006).

#### 2.4.5 Darbe genişlik modülasyonu

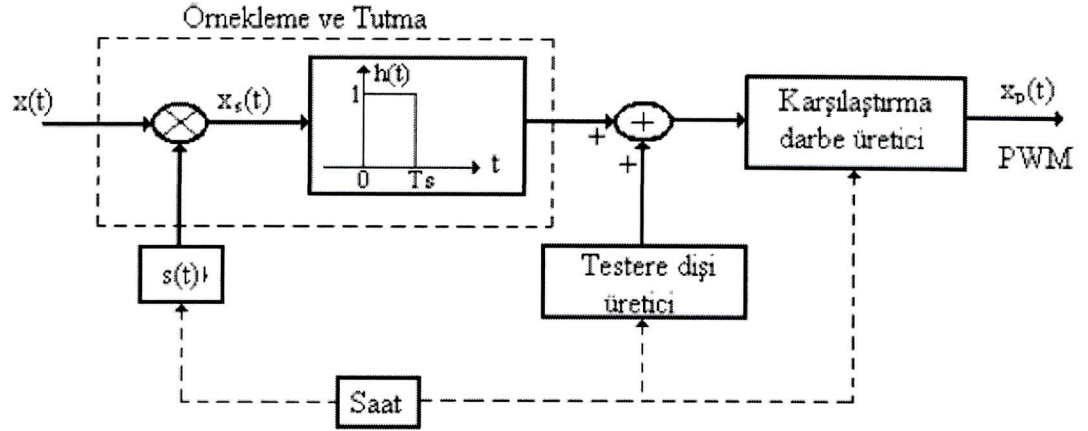
Darbe Genişlik Modülasyonunda (PWM-Pulse Width Modulation) dikdörtgen veya kare dalga taşıyıcı sinyalin darbe genişliği (W) bilgi sinyalin genliğine bağlı olarak değiştirilmesi işlemidir. Bu işleme Darbe Süresi Modülasyonunda (PDM-Pulse Density Modulation) denir (MEB 2013). Darbelerin genişliği  $x(t)$ 'nin anlık örnekleme değerine uygun olarak değiştirilmektedir. Örnekleme değeri ne kadar büyükse darbe de o kadar geniştir (Killen 1997).

Darbe genişlik modülasyonunda örnekleme sinyal süresinin genişliği üç farklı türde değiştirilebilir bunlar; ön, arka veya her iki kenarı değiştirerek yapılabilir (Şekil 2.39) (MEB 2013).



Şekil 2.39. Darbe genişlik modülasyonu dalgaları (MEB 2013)

Eğer örnekleme işareti testere dişi işareti ise diğerlerine göre modülasyon işlemi kolaylaşmaktadır. Şekil 2.40'ta darbe genişlik modülasyonunun blok diyagramı gösterilmiştir (MEB 2013).

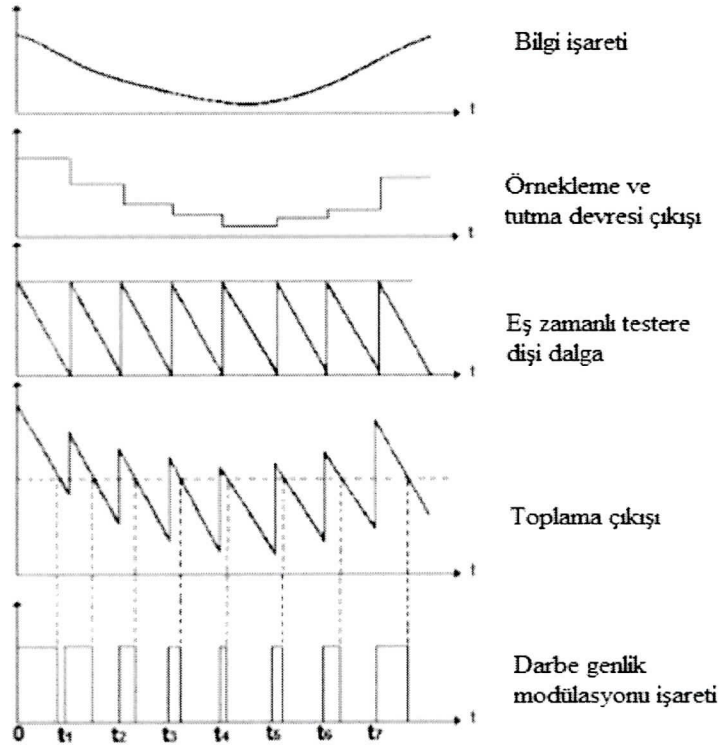


**Şekil 2.40.** Darbe genişlik modülasyonu blok diyagramı (MEB 2013)

Darbe genişlik modülasyonunun çalışma prensibi incelendiğinde, buradaki testere dişi üreticinin tepeden tepeye genliği  $x(t)$  bilgi işaretinin maksimum genliğinden büyük seçilmektedir. Testere gerilimi genlikten zamana olan dönüşümü göstermektedir. Karşılaştırıcı, yüksek kazançlı ve iki durumlu bir kuvvetlendiricidir. PWM işareti çıkış olarak elde edilmektedir (Panayırıcı ve ark 2004).

Bilgi işareti referans seviyeden büyük ise verilen bir gerilimde eğer küçükse diğer bir gerilimde olmaktadır (Panayırıcı ve ark 2004). Şekil 2.41'de darbe genişlik modülasyonlu işaretlerin üretilmesi gösterilmiştir. Sırasıyla bilgi işareti, örnekleme ve tutma devresi çıkışı, eş zamanlı testere dişi dalga, toplama çıkışı ve darbe genlik modülasyonlu işaretin grafiği gösterilmiştir (MEB 2013).





Şekil 2.41. Darbe genişlik modülasyonu işaretinin üretilmesi (MEB 2013)

Darbe genişlik modülasyonunun matematiksel ifadesi denklem 2.61 ile ifade edilir:

$$\tau = \frac{T}{2m} + \frac{KT}{2m} f(t) \quad (2.61)$$

Bu denklemde  $T=1/f_s$ , örnekleme süresi ve  $m$ , örneklenen sinyallerin sayısıdır.  $K$  bir sistem sabitidir. Tek bir kanal için denklem 2.62 ile gösterilir (Killen 1997).

$$\tau(t) = \frac{T}{2} + \frac{KT}{2} f(t) \quad (2.62)$$

Modülasyonlu sistemin frekans tayfını hesaplamak için,  $f_s(t)$  fonksiyonunun Fourier serisi 2.63 denklemi ile ifade edilmiştir (Killen 1997).

$$f_s(t) = \frac{V\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2V\tau}{T} \frac{\sin(n\pi/T)}{n\pi(\tau/T)} \cos n2\pi \frac{1}{T} \quad (2.63)$$

2.62 denklemini 2.63'te yerine koyarsak, darbe genişliği modülasyonlu dalga denklem 2.64 ile ifade edilir (Killen 1997).

$$ePWN(t) = \frac{V}{T} \left[ \frac{T}{2} + \frac{KT}{2} f(t) \right] \quad (2.64)$$

$$+ 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V \left[ \frac{T}{2} + \frac{KT}{2} f(t) \right]}{T} \times \sin \frac{n\pi f_s \left[ \frac{T}{2} + \frac{KT}{2} f(t) \right]}{n\pi f_s \left[ \frac{T}{2} + \frac{KT}{2} f(t) \right]} \cos n2f_s t$$

İfadeyi sadeleşmiş hali denklem 2.65 ile ifade edilmiştir ( Killen 1997).

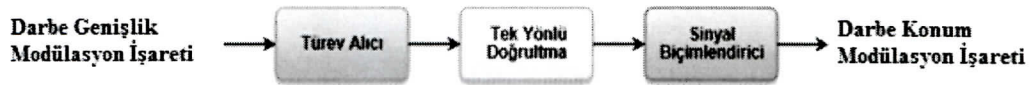
$$ePWM(t) = V \left[ \frac{1}{2} + \frac{Kf(t)}{2} \right] + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V}{n\pi} n\pi f_s \left[ \frac{T}{2} + \frac{KT}{2} f(t) \right] \cos 2\pi f_s t \quad (2.65)$$

Bu ifade de ilk terim darbenin ortalama değeridir. İkinci terimde ise  $K/2$  oranında zayıflamış olarak başlangıçtaki bilgi sinyalinin frekans tayfıdır. Üçüncü terim ise dengeli modülatör çıkışına benzemektedir. PWM üretmenin bir yöntemide bilgi sinyaline periyodu oluşturacak en büyük darbe genişliğine eşit olan bir testere dişi dalga biçimi eklenir. Çıkış işareti üretmek için ise bir düzey dedektörü ve bir darbe biçimleyici kullanılmaktadır ( Killen 1997).

#### 2.4.6 Darbe konum modülasyonu

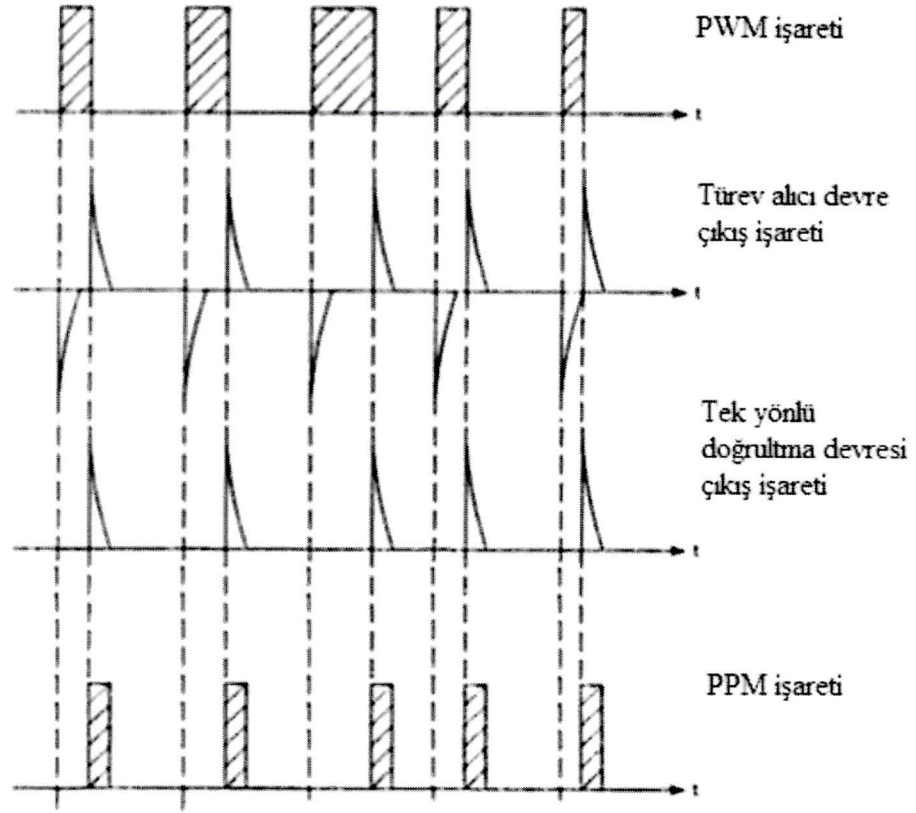
Darbe konum modülasyonunda (PPM-Pulse Position Modulation) darbenin konumu örneklenen dalga biçiminin genliğine göre değişmektedir. Darbe genişliği  $\tau$  sabittir. Darbe konum modülasyonunu üretmek için yöntemlerden biri PWM işaretinin türevini almaktır. Türevi alınmış dalga önce doğrultucu bir devreye iletilir sonrada tektikleme devresine iletilerek darbe genişliği  $\tau$  üretilmektedir (Killen 1997).

PWM sinyalinden elde edilen darbe konum modülasyonuna ait blok şema Şekil 2.42'de gösterilmiştir.



Şekil 2.42. Darbe konum modülasyonu blok diyagramı (MEB 2013)

Darbe konum modülasyonunun blok diyagramı incelendiğinde, bilgi sinyali ilk olarak darbe genişlik modülasyonlu sinyaline dönüştürülmektedir. Daha sonraki işlemde darbe konum modülasyonlu sinyal türev alıcı devreye iletilir. Bu türev alıcıda başlangıç noktaları için eksi işaret, arka kenarlar için artı işaretli darbeler üretilmektedir. Bu darbeler arası süre ürettikleri PWM sinyalinin genişliğini verir. Türev alıcı kısmında elde edilen sinyal tek yönlü doğrultma devresi le eksi darbeleri yok etmektedir. Sinyal tek yönlü doğrultma devresi çıkışında biçimlendirici ile darbe katarına dönüştürülerek darbe konum modülasyonlu sinyal elde edilmektedir ve Şekil 2.43'te gösterilmiştir (MEB 2013).

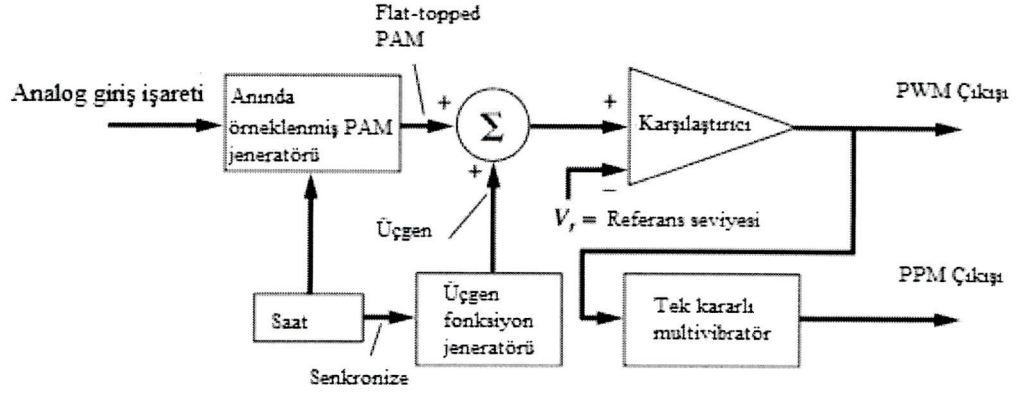


Şekil 2.43. PWM sinyalinden PPM sinyalinin elde edilmesi (MEB 2013)

Bu modülasyon türünde sadece konum bilgisi iletiildiğinden dolayı harcanan güç düşüktür (MEB 2013). Darbe konum modülasyonunun bant genişliği,

$$B = \frac{1}{2} \frac{1}{t_r} \quad (2.66)$$

olur. Burada  $t_r$  yükselme süresidir (Killen 1997).



**Şekil 2.44.** PWM ve PPM sinyallerinin üretimi

Şekil 2.44'te PWM ve PPM sinyallerinin üretimi gösterilmiştir. PWM sinyalini üretmek için anlık örnekleme veya doğal örnekleme yöntemleri kullanılmaktadır. PPM sinyali ise tek kararlı multivibratör ile kolaylıkla üretilmektedir. Bu iki sistemin genel ismi darbe zaman modülasyonudur. Bu iki modülasyon için geniş bir bant kanalı gerekli olduğundan özellikle PPM kanallar arası iletişim için yaygın olarak kullanılmaz. Bu sinyaller iletişim terminal cihazlarında dahili olarak bulunabilir. Doğrusal olmayan bir modülasyon oldukları için bu sinyallerin spektrumlarını değerlendirmek çok zordur. Darbe zaman modülasyonlu sistemlerin gürültü bağımsızlıkları darbe genlik modülasyonuna göre çok iyidir ve bu sinyalleri üretmek ve saptamak darbe kod modülasyonuna göre çok kolaydır (Couch 2013).

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 MATLAB Programı

MATLAB, programlama, nümerik hesaplamalar ve görüntüleme için etkileşimli bir ortama sahip yüksek seviyeli teknik hesaplama dilidir. MATLAB kullanılarak veriler analiz edilebilir, algoritmalar geliştirilebilir ve yeni model ve uygulamalar hazırlanabilir. İçerisinde bulunduğu araçlar, hazır matematiksel fonksiyonlar ve matris temeline dayanan dil mantığı, C/C++ ya da Java dillerine göre daha pratik çözümler sunmaktadır. Program çalışma hızı, kıyaslanan dillere göre yavaş olsa da hazır paketler barındırması, bir konunun farklı açılardan, daha hızlı ve rahat bir şekilde analiz edilmesine imkan sağlamaktadır (Mathworks 2014).

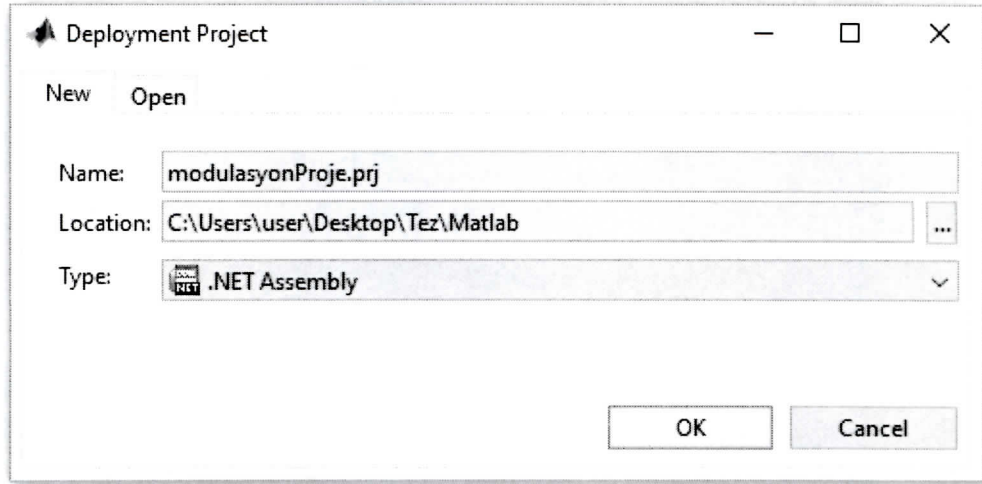
Performansı yüksek olan MATLAB programı teknik ve bilimsel hesaplamalar için kullanılan bir yazılım türüdür. Cleve Moler tarafından 1970'lerin sonunda yazılmıştır. Bu programın en çok kullanıldığı alanlar;

- Matematiksel hesaplama işlemleri
- Programlama işlemleri
- 2D ve 3D grafiklerinin çizimi
- Simülasyon işlemleri
- Grafikselleştirme arayüz oluşturma
- Veriyi analiz ve kontrol etme
- Gerçek değerler kullanarak uygulama geliştirme

şeklinde özetlenebilir (İnan 2005).

MATLAB programı, birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Endüstri, devlet ve akademik kurumlarda bu programdan yararlanılmaktadır (İnan 2005).

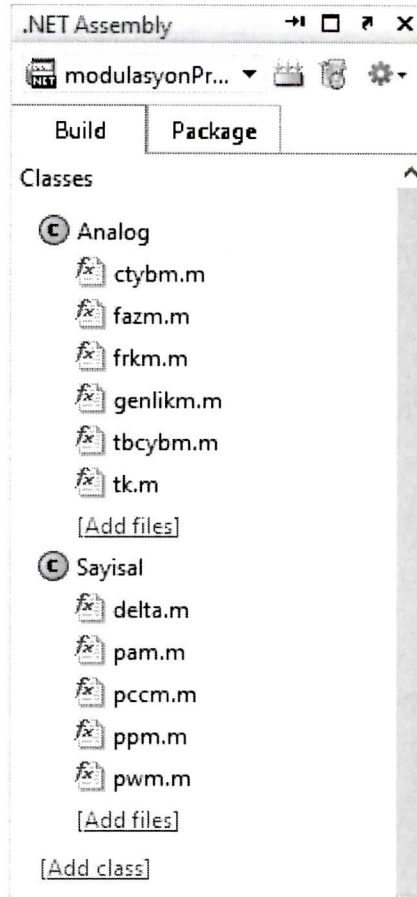
Bu tezde MATLAB'ın kullanım amacı, analog ve sayısal modülasyon türlerinin simülasyonlarının yapılmasıdır. İncelenen modülasyon türlerinin matematiksel ifadeleri MATLAB'da çözülmüş ve .NET çatısı altında dll uzantılı dosyalar elde edilmiştir. Şekil 3.1, deploytool komutu ile .NET bileşeni elde etmeyi göstermektedir.



**Şekil 3.1.** NET ortamı için dll uzantılı dosyanın hazırlanması

.NET ortamı için hazırlanacak dll uzantılı dosyaları için sınıf ve fonksiyon tanımlamaları yapılarak düzenlenir. Çıktı olarak alınan dll uzantılı dosyaları fonksiyon olarak tanımlanmalı ve bu fonksiyonlar görevine göre sınıflanmalıdır. Şekil 3.2, bahsedilen sınıf ve fonksiyon yapısını göstermektedir.

Şekil 3.2'de, modulasyonProje.prj isimli proje içinde analog isimli bir sınıf oluşturulmuş ve bu sınıf için analog modülasyon türleri eklenmiştir. Eklenen fonksiyonların, diğer sınıflardaki fonksiyonlarla aynı isimde olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde, MATLAB .NET bileşenini oluşturmaya çalışırken hata vermektedir (Mathworks 2011).



**Şekil 3.2.** NET ortamına aktarılabacak sınıf fonksiyon yapısı

Simülasyonların çalıştırılması bir takım rutin işlemler gerektirir. Bunlardan birincisi olan simülasyonların, .NET ortamına aktarılma işlemi için gereken dll uzantılı dosyaların oluşturulmasıdır. Benzetimin çalışması sırasında gereken ikinci önemli ve tekrar eden işlem, çizim fonksiyonlarının çağırılması ve internet ortamında gösterilecek hale getirilmesidir. MATLAB ortamında *plot()* fonksiyonu ile çizdirilen devreler ilgili *figure*, *webfigure()* fonksiyonu uygulanması ile .NET ortamına çağrılabilir. Örnek fonksiyon yapısı ve kullanımı Şekil 3.3'te gösterilmiştir (Mathworks 2011).



```
fp3=figure('Visible','off');  
plot(t,y);  
xlabel('Zaman(s)');  
ylabel('Genlik');  
title('Frekans Modülasyonu');  
c3 = webfigure(fp3);  
close(fp3)
```

**Şekil 3.3.** NET ortamı için *webfigure()* örnek fonksiyonun yapısı

### 3.2 ASP.NET Programı

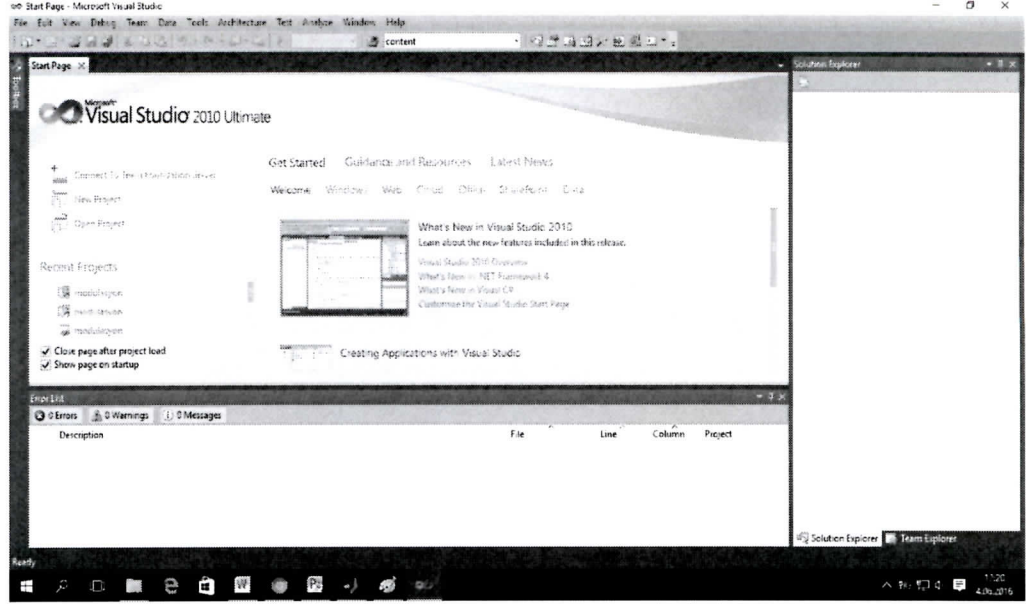
ASP.NET (Active Server Pages) Microsoft tarafından üretilmiş bir ağ uygulama gelişimi teknolojisidir. Ağ üzerinde dinamik sayfalar, uygulamalar ve çeşitli hizmetler yaratılmasına olanak sağlar. .NET çatısı altında bulunmasından dolayı, bu çatı altındaki bütün dilleri destekler. Çalışma zamanında, bu diller ortak bir dile çevrilir. Bu sayede birçok program geliştirici, ASP.NET uygulamalarını kolaylıkla geliştirebilir (Ladka 2003).

Simülasyon programının oluşturulmasında, ASP.NET aşağıdaki nedenlerden dolayı tercih edilmiştir.

- HTML5, CSS3 ve Java gibi en son teknolojilerde sorunsuz bir şekilde çalışması.
- .NET programlama dillerini desteklemesi dolayısıyla, başka bir programlama dilinden referansla alınan dll uzantılı dosyaların ağ üzerinde sorunsuzca çalıştırılması.
- Bileşen temelli yazılım geliştirme için olay modellemelerini sağlaması ve bu olayları istemciye HTML formunda sorunsuz bir şekilde aktarması.
- Veri tabanı üzerinde güçlü işlevler barındırması.
- Master pages ile temel sayfa tasarımı ve bu sayfadan alt sayfalar türetilmesine olanak sağlaması (Sharp 2007).

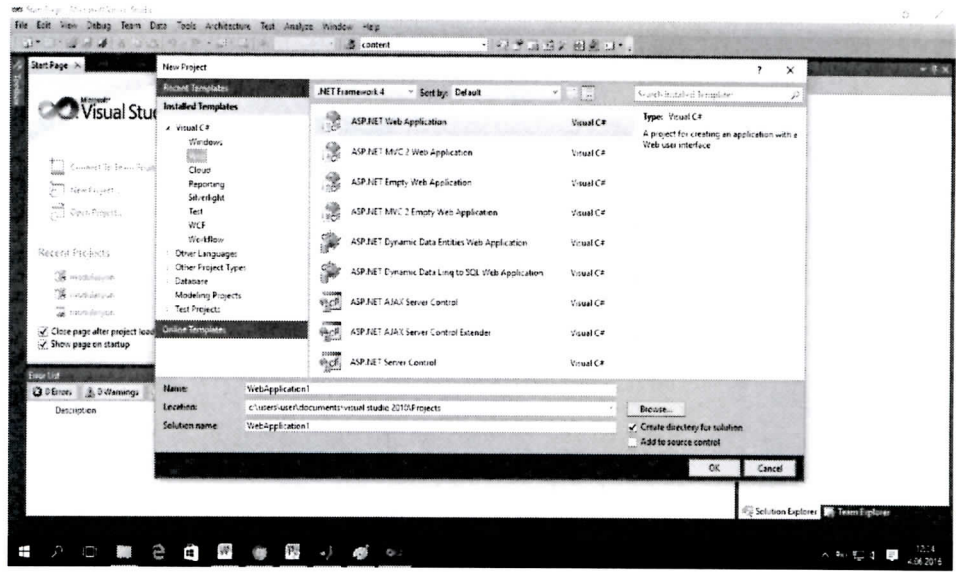
### 3.2.1 ASP.NET proje oluşturma

ASP.NET programında bir uygulama başlatmak için, Microsoft Visual Studio 2010 çalıştırılır. Program açıldığında aşağıdaki Şekil 3.4'teki karşılama ekranı görünür.



Şekil 3.4. Microsoft Visual Studio karşılama ekranı

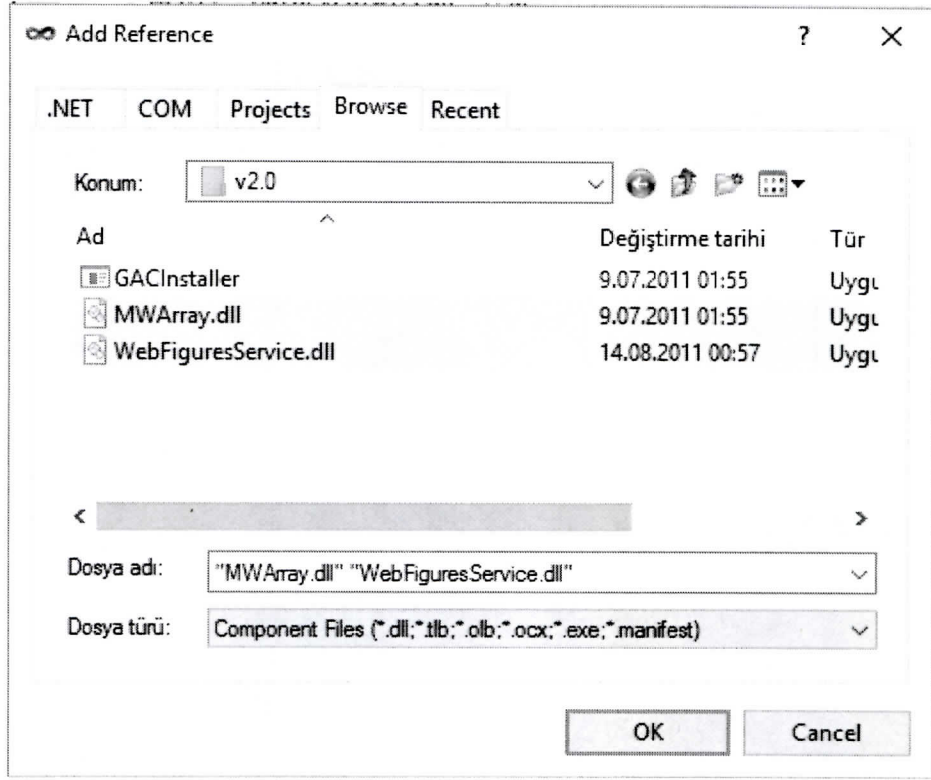
Yeni sümülasyon uygulaması oluşturmak için, New project bağlantısına tıklanarak, yeni bir proje oluşturulur. Gelen ekranda ASP.NET Web Application seğilir. Aşağıdaki Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. ASP.NET yeni proje oluşturma

### 3.2.2 ASP.NET MATLAB ile bağlantı kurumu

ASP.NET'in MATLAB'ı internet üzerinde çalıştırabilmesi için ilk yapılması gereken, MATLAB programının yüklü olduğu dizinde bulunan \toolbox\dotnetbuilder\bin\win32\2.0 klasörü altındaki MWArray.dll ve WebFigureService.dll dosyalarının, oluşturulan projenin referanslar kısmına eklenilmesidir (Colak ve ark. 2011). Bu dosyaların referans olarak eklenmesi, Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** MWArray.dll ve WebFigureService.dll dosyalarının programa eklenmesi

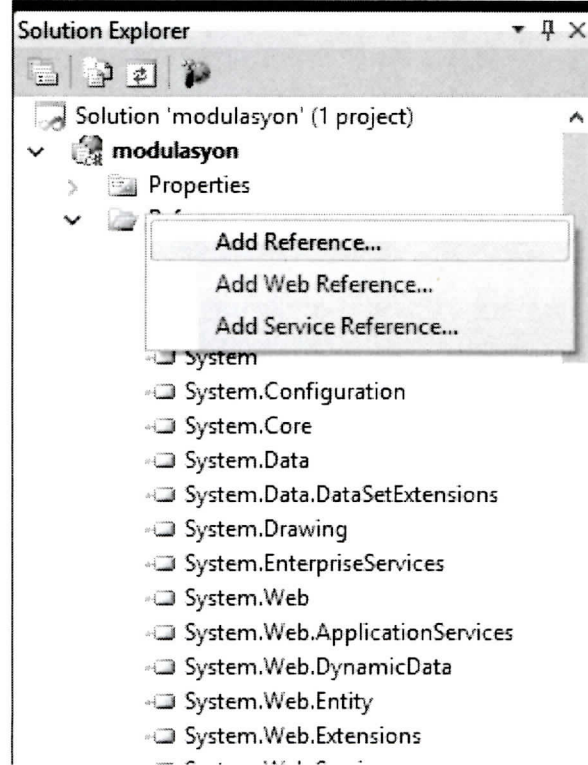
Referanslara eklenen MWArray.dll dosyası, MATLAB üzerinde temel matris işlemlerinin ve bazı fonksiyonlarının çalıştırılmasını sağlarken, WebFigureService.dll dosyası, MATLAB üzerinde üretilen çizimlerin, web ortamına aktarılmasını, bu resimlerin kaydedilmesini ve çeşitli ağ teknolojisi hizmetlerini sunmaktadır (Güney ve ark. 2011). Bu dosyalar eklendikten sonra .aspx uzantılı dosya kodlanırken, .cs uzantılı dosyaya isim uzayı olarak aşağıdaki Şekil 3.7' deki kodlar eklenir.

MATLAB üzerinde üretilen dll uzantılı dosyalar bu kısımda projeye referans olarak eklenmelidir. Bu sayede MATLAB programındaki sınıflara ve fonksiyonlara ulaşım imkanı olur. Aşağıdaki Şekil 3.8'de üretilen dll uzantılı dosyaların referans olarak projeye eklenmesi gösterilmiştir.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Web;
using System.Web.UI;
using System.Web.UI.WebControls;

using modulasyonProje;
using MathWorks.MATLAB.NET.Arrays;
using MathWorks.MATLAB.NET.WebFigures;
```

Şekil 3.7. MWArray ve WebFigureService dosyalarının isim uzaylarının eklenmesi



Şekil 3.8. MATLAB'da üretilen dll uzantılı dosyaların projeye referans olarak eklenmesi

Ayrıca ek olarak MATLAB'da üretilen dll uzantılı dosyaların isim uzayı da .cs uzantılı dosyaya eklenir. Aşağıdaki Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Web;
using System.Web.UI;
using System.Web.UI.WebControls;

using modulasyonProje;

using MathWorks.MATLAB.NET.Arrays;
using MathWorks.MATLAB.NET.WebFigures;
```

**Şekil 3.9.** MATLAB'da üretilen dll uzantılı dosyanın isim uzayının projeye eklenmesi

MWArray.dll dosyasının, simülasyona kazandırdığı nitelikler genel olarak ASP.NET üzerinden MATLAB'a argüman geçirmek veya MATLAB'tan ASP.NET'e argüman aktarmaktır (Dikshit 2005). WebFigureService.dll ise web ortamında, MATLAB'da yapılan çizimleri göstermek için kullanılmıştır. ASP.NET'in MATLAB'daki çizimleri alabilmesi için program içinde gerekli konfigürasyonlarında yapılması gerekir. Bu ayarlar web.config dosyası içinde yapılır bunun için gerekli kodlar Şekil 3.10'da gösterildiği gibi eklenir.

```
?xml version="1.0"?>
configuration>
<system.web>
<httpHandlers>
<add path="__WebFigures.ashx" verb="GET" type="MathWorks.MATLAB.NET.WebFigures.Service.Handlers.Factories.Http.WebFigureHttpHanc
validate="false" />
</httpHandlers>
<compilation debug="true" targetFramework="4.0" />
</system.web>
/configuration>
```

**Şekil 3.10.** MATLAB fükürlerinin çalıştırılması için gerekli web.config'in yapılandırılması

Diğer kısım ise ASP.NET üzerinde yazılan bir kodun MATLAB ile birlikte çalıştırılmasıdır. Şekil 3.11'de MATLAB referanslar eklendikten sonra, ASP.NET üzerinde yazılan program gösterilmiştir. Analog içinde öncelikle nesne isimli bir sınıf oluşturulmuştur. Daha sonra bunu altındaki frkm() fonksiyonu çağrılmaktadır. Fonksiyonda ilk belirtilen ifade beklenen sonuç sayısıdır. Sonuç değerleri MWArray[] tipinde olduğu görülür. Sonuç değerleri sonuc isimli değişkenle belirtilmiştir. Bu sonuc değerleri MATLAB'daki plot komutuyla elde edilen figürleri göstermektedir. WebFigureControl'lerin aspx uzantılı sayfaya eklenmesinden sonra, WebFigureControl1, WebFigureControl2 ve WebFigureControl3 isiminde üç nesne bulunur. Bu nesnelerin, sonuc[0], sonuc[1] ve sonuc[3] ile doldurularak, MATLAB'daki çizimler, ASP.NET ortamına aktarılmış olur.

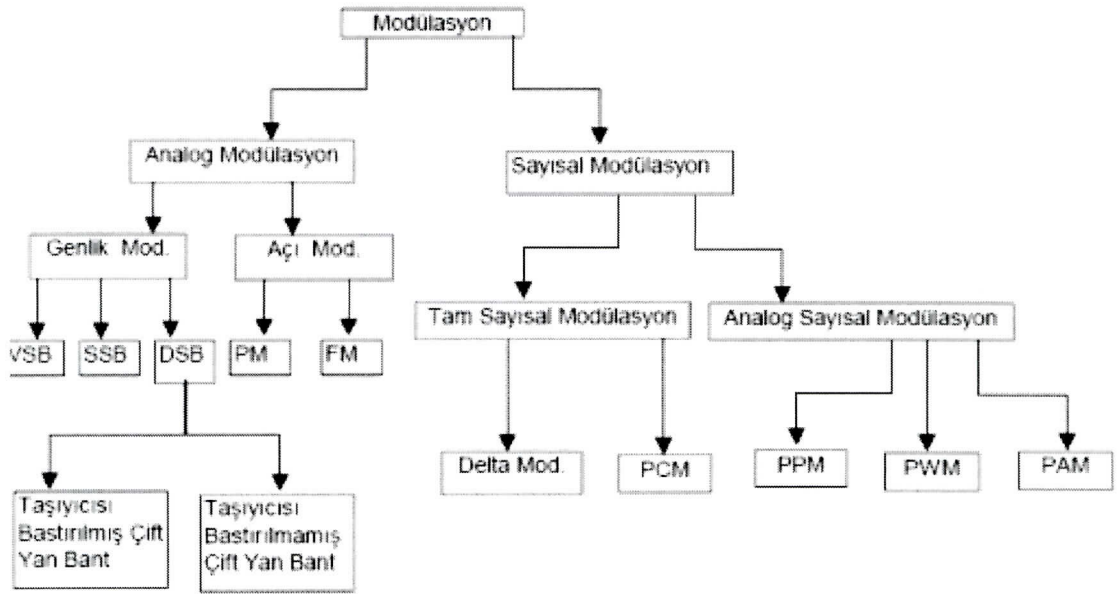
```
protected void Button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double fm, fc, a, b;
    fm = Convert.ToDouble(Text_mf.Text);
    a = Convert.ToDouble(Text_mg.Text);
    b = Convert.ToDouble(Text_tg.Text);
    fc = Convert.ToDouble(Text_tf.Text);

    Analog nesne = new Analog();
    MWArray[] sonuc = nesne.frkm(3, fm, fc, a, b);
    WebFigureControl1.WebFigure = new WebFigure(sonuc[0]);
    WebFigureControl2.WebFigure = new WebFigure(sonuc[1]);
    WebFigureControl3.WebFigure = new WebFigure(sonuc[2]);
}
```

**Şekil 3.11.** MATLAB referanslar eklendikten sonra, ASP.NET üzerinde yazılan program

## 4.UYGULAMALAR

Bu çalışmada analog ve sayısal modülasyon uygulamalarını gerçekleştiren çevrimiçi bir simülâtör geliştirilmiştir. Simülâtör ile öğrenciler istedikleri zaman analog ve sayısal modülasyon türlerinin uygulamalarını yapabilmektedirler. Ayrıca teorik bilgiler de alınabilmektedirler. Bu sayede laboratuvar çalışmaları bireysel olarak yazılım tabanlı simülâtör sayesinde kolaylıkla yapılabilir. Bu simülâtörün içerdiği modüller Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Simülâtörün ekran çıktıları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



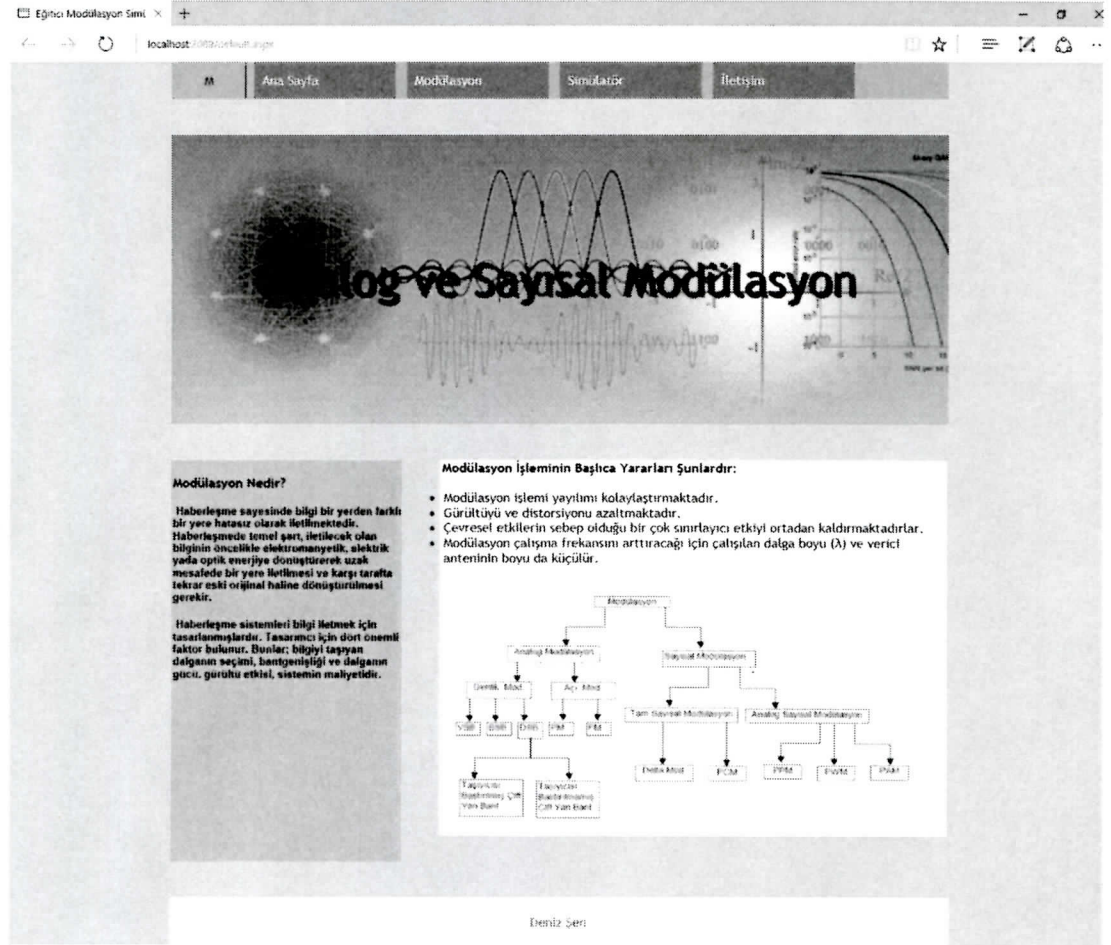
Şekil 4.1. Simülâtör programları

### 4.1 Ana Sayfa

Geliştirilen simülâtörün ana sayfası Şekil 4.2'de verilmektedir. Simülâtörün üst kısmında dört ana menü yer almaktadır. Bunlar anasayfa, modülasyon, simülâtör, iletişim bölümleridir. Anasayfa bölümünde öncelikle modülasyonunun tanımı yapılmıştır. Modülasyon bölümü analog ve sayısal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır ve



bölümlerine göre modülasyon türleri bu iki ana başlığa yerleştirilmiştir. Bu kısımda teorik bilgiler yer almaktadır. Simülasyon kısmında ise modülasyon türlerinin uygulamaları bulunmaktadır. İletişim kısmında herhangi bir soruda ulaşılma imkanı sunulmaktadır.

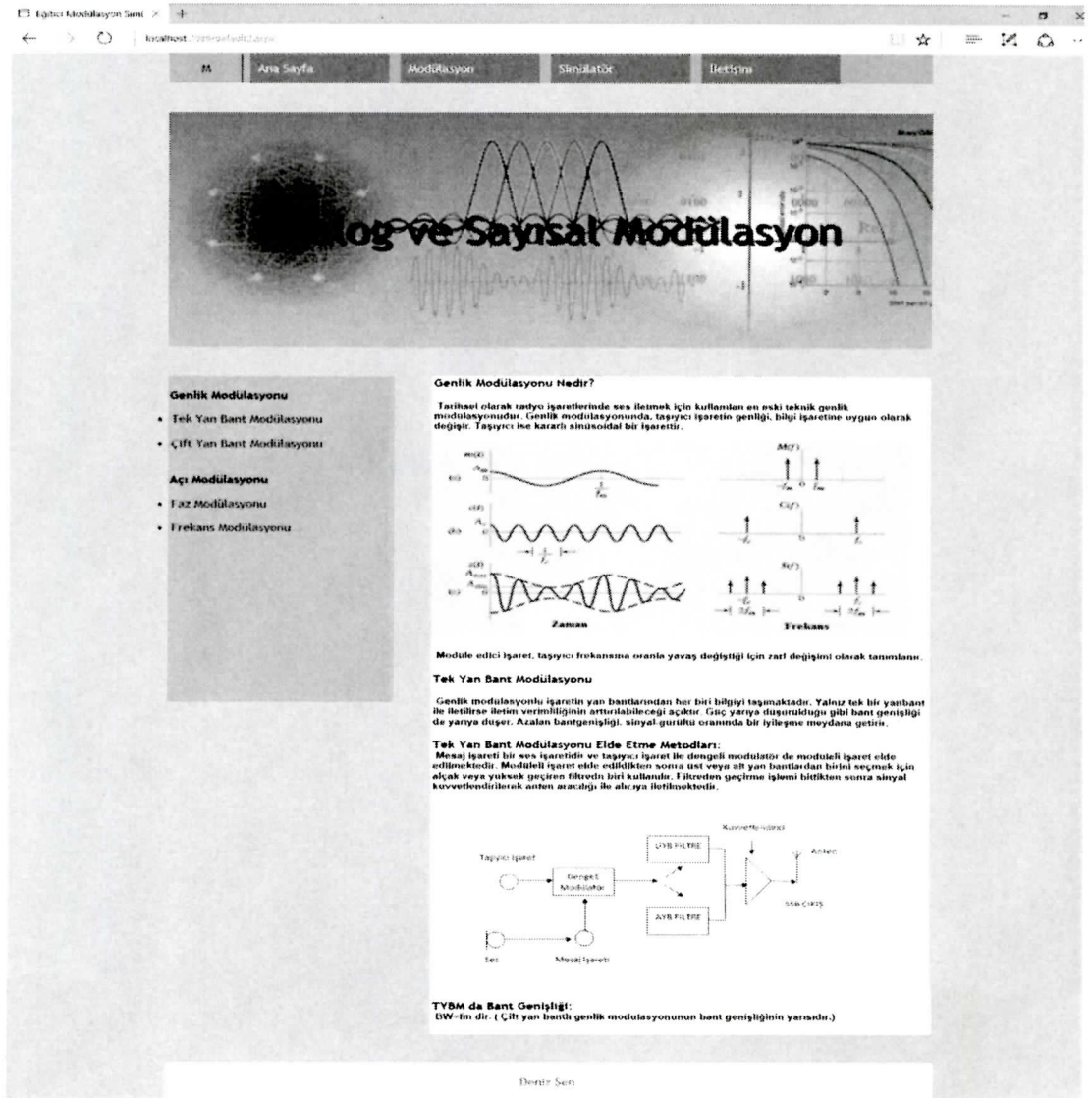


Şekil 4.2. Program ana sayfa

## 4.2 Modülasyon

### 4.2.1 Tek yan bant modülasyonu

Bu bölümde genlik modülasyonunun tanımı yapılmış ve tek yan bant modülasyonu açıklanmıştır. Şekil 4.3 'te programa ait ekran çıktısı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tek yan bant modülasyonu

## 4.2.2 Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu

Bu bölümde taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonunun açıklamaları yapılmış ve özelliklerinden bahsedilmiştir. Şekil 4.4'te ekran gösterilmiştir.

**DSBSC Özellikleri**

- DSBSC için bant sınırları her AM'de görülmeye rağmen tam AM için sadece her AM'de görülür.
- DSBSC için zarf değerleri gerçekten çaprazdır fakat tam AM'de asimtota değer.
- DSBSC sinyal formundaki spektrumda bant genişliği tamamen aynı şekilde tam AM'deki gibidir.  $B_{DSB} = 2f_{max}$

**Taşıyıcısı Bastırılmış Çift Yan Bant Modülasyonu (DSBSC)**

Tam genlik modülasyonu hakkında kurallara uygun biçimde düşünürsek, dönüşümün basit olduğu gibi çok basit module edilir. Fakat sahip olduğu iki dezavantajdan bahsedilir: güç ve bant genişliğinin her iki de israf edilir. Bilgi içermeyen taşıyıcıyı göndermek için güç harcanır. Her yan bant doğruluğu kabul edilir birbirinden bağımsız aynı bilgiyi taşır. Problemin ilk kısmı sadece kenar bantlar gönderilerek giderilir. Bunu yapmanın bir yolu tam genlik modülasyonu sinyal formunda taşıyıcıyı kaldırmaktır. Bu durum yol gösterir ki, alışıla gelen şekilde bu tür modülasyon taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant veya kısaca DSBSC olarak isimlendirilir. Pratikte genellikle daha çok direkt olarak taşıyıcı ve baseband sinyalin çarpımı yoluyla elde edilir. Aşağıdaki şekilde ifade edilir. ED sadece EM ve EC genlik faktörleriyle orantılıdır ve boyutu voltaj değil voltaj karedir.

$$V_{DSBSC} = E_D \cos(\omega_c - \omega_M) + E_D \cos(\omega_c + \omega_M)$$

**Spektrum: Temel Bant**

**Spektrum: Taah. Bant**

Bu dalga formu sadece taşıyıcı sinyal ile anlık sabit genlikli baseband voltaj içindir. Sıfır geçişinde geciktirme zamanı sabittir fakat piklerin yüksekliği ve pozisyonu değişir. Çünkü anlık sinyal genliği baseband voltajdır. Böylece module edilmiş sinyal zarf içinde uygun pozitif ve negatif baseband dalga formundadır. Bunun bir eksiye değişen baseband işaretinin, sinyalin sıfır geçişinde ani 180 derece faz değişimidir. Bu dalga formunun düğümlerinde meydana gelir

Deniz Şen

Şekil 4.4. Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu

## 4.2.3 Çift yan bant modülasyonu

Bu bölümde çift yan bant modülasyonu hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Şekil 4.5'te örnek ekran çıktısı gösterilmiştir.

**Çift yan bant genlik modülasyonunda bant genişliği:**

Çift yan bant genlik modülasyonunda bant genişliği bilgi işaretinin frekansının 2 katıdır. Bunun nedeni konunun başında bahsettiğimiz alt yan bant ve üst yan bantlar. BW=2Bm şeklinde ifade edilir.

**Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu**

Taşıyıcı işaretin genliğinin bilgi işaretine göre değiştirildiği modülasyon türüne genlik modülasyonu denir. Modülasyon işlemi sırasında bilgi işaretinde yer alan bütün frekanslar üst ve alt yan bantlar olarak elde edilir. Verinin iletilmesi sırasında alt ve üst yan bantların her ikisinin de kullanıldığı genlik modülasyonuna çift yan bant genlik modülasyonu denir.

**Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu Elde Edilmesi:**

Genlik modülasyonu üretmekte kullanılan devreye modülatör denir. Modülatör taşıyıcı işaret ile bilgi işaretini uygun şekilde birleştirerek modüleli işaret oluşturur. Bilgi işaretini aslı gönderilmek istenen düşük frekanslı işaretlerdir. Taşıyıcı işaret yüksek frekanslı sinus ya da kosinus işaretidir. Modüleli işaret, bilgi işaretine taşıyıcı işaretin birleştirilmiş halidir. Çift yan bant genlik modülasyonu verici blok şeması:

**Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu Matematiksel İfadesi:**

$$E_c \cos(2\pi f_c t) + V_m \sin(2\pi f_m t) = \frac{E_c V_m}{2} [\cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \cos(2\pi(f_c + f_m)t)]$$

Mesajlı taşıyıcı taşıyıcı işaret alt yan bant taşıyıcı üst yan bant

**Modülasyon İndisi ve Yüzdesi:**

Bilgi işaretinin genliğinin taşıyıcı işaret genliğine oranına modülasyon indisi denir. Modülasyon indisinin 100 ile çarpılmasıyla modülasyon yüzdesi elde edilir. Yapılan modülasyonun iyilik derecesini gösterir.

$m = E_m/E_c$

$m$  - Modülasyon katsayısı

$E_m$  - Çıkış dalganın genliğindeki tepe değeri

$E_c$  - Modüle edilmemiş taşıyıcının tepe genliği

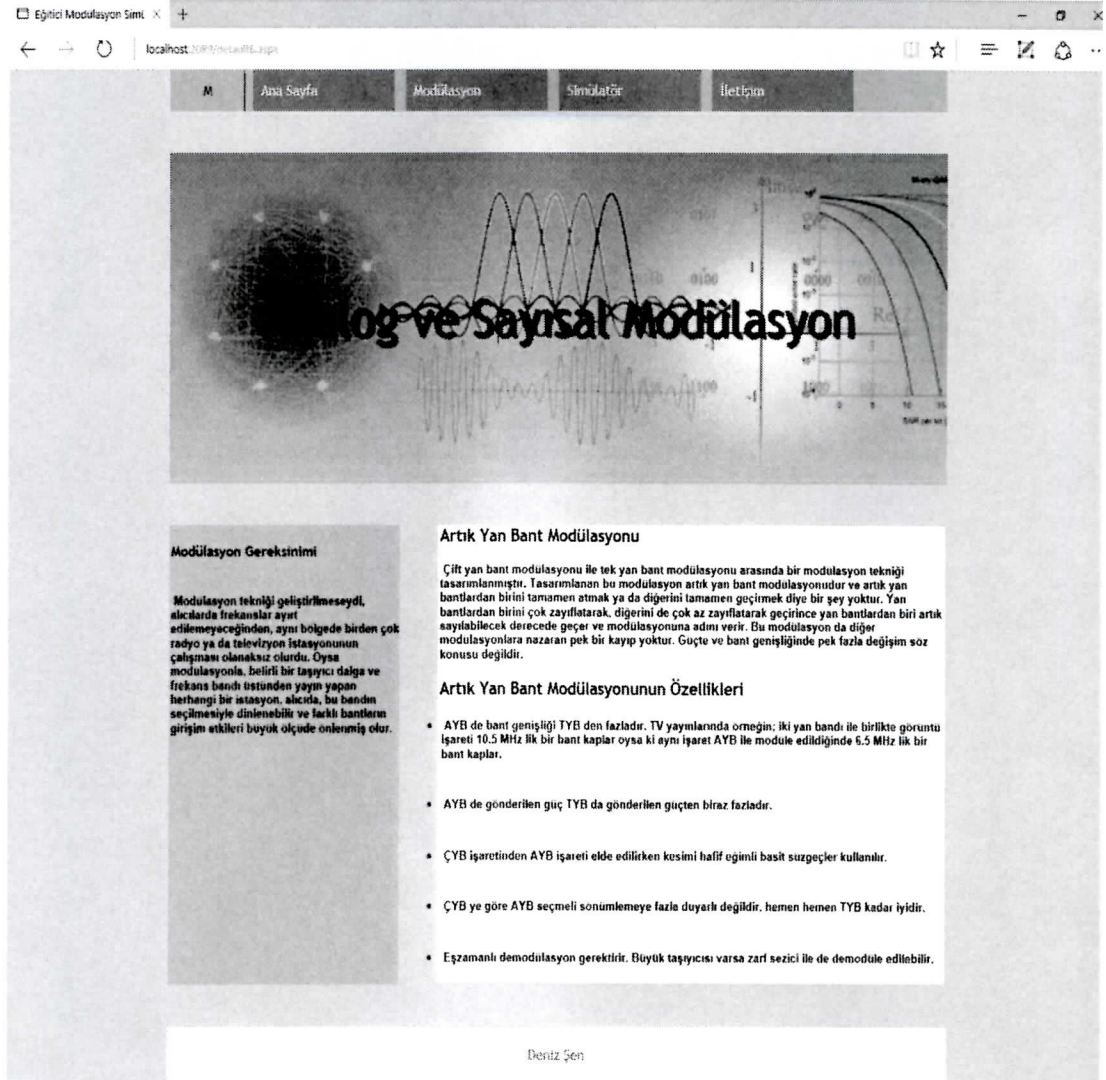
Eğer " $m > 1$ " ise bozuk bir genlik modülasyonu.  
" $m = 1$ " % 100 genlik mod. (ideal modülasyon).  
" $0,5 < m < 1$ " iyi bir modülasyon vardır.

Demir Şen

Şekil 4.5. Çift yan bant modülasyonu

## 4.2.4 Artık yan bant modülasyonu

Bu bölümde artık yan bant modülasyonu hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Şekil 4.6 da simülâtörün artık yan bant modülasyon ekran çıktısı gösterilmiştir.

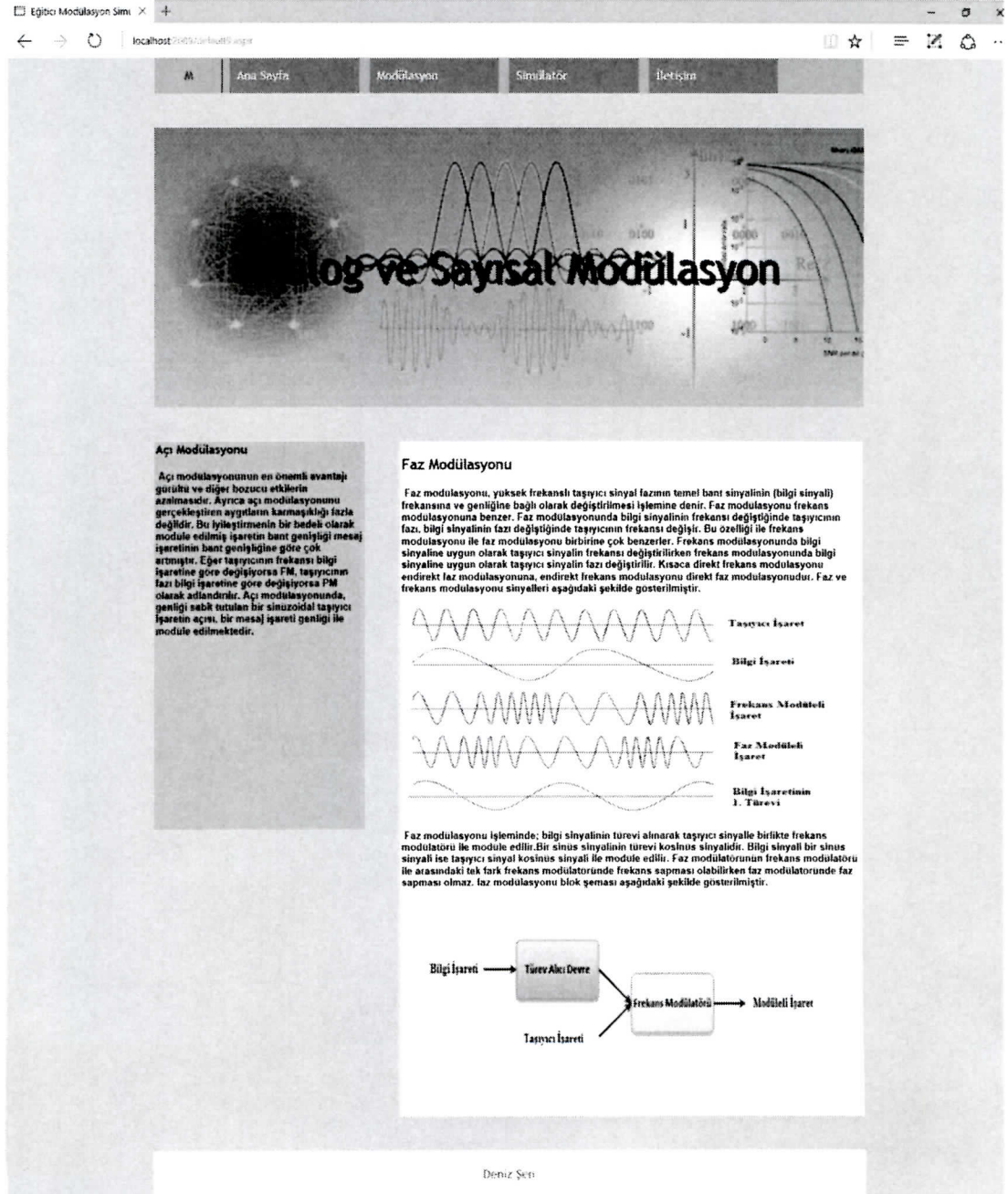


Şekil 4.6. Artık yan bant modülasyonu



## 4.2.6 Faz modülasyonu

Bu bölümde faz modülasyonu hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Şekil 4.8'de bu modülasyona ait örnek ekran çıktısı gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Faz modülasyonu

## 4.2.7 Darbe kod modülasyonu

Bu bölümde darbe kod modülasyonu hakkında teorik bilgi verilmiştir. Şekil 4.9’ da darbe kod modülasyonu için simülör ekranı gösterilmiştir.

**Darbe Kod Modülasyonu**

Özellikle iletişim kodlaması bir özel dijital (örneğin genlik) içinde zamanından temsil edilebilirliği gerektirenler için modülasyona Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation, PCM) denir. Darbe kod modülasyonu, belli sayı sistemlerinde gerçekleştirilen bir modülasyon tekniğidir. Bu sistemde öncelikle kodlamaya bir zaman bölgeninde darbe ile temsil edilmiş bir sinyal üzerinden başlanarak D ya da T dijital genlikleri, PAM, PWM ve PPM yöntemleri ile elde edilen modüle edilmiş sinyal belli sayı sistemlerinde bir değer alır.

PAM, PWM ve PPM yöntemlerinde modüle edilmiş işaret parametresi bir dijital değere bağlı olarak değişir ve bir dijital değere göre herhangi bir değeri alır. Ancak modüle edilmiş işaret parametresinin frekansına bir analog parametre ile birlikte ayarlanabilir. Ancak ayarlanabilirlik bakımından işaret işlenmiş D ya da T dijital parametreler ile elde edilen bir sinyaldir. Darbe kod modülasyonu, örnekleme ve tutma devresi, kuantalama ve kodlama olmak üzere üç temel bölüme ayrılır. Aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Biyg. Sinyal (Analog Sinyal) → Örneklenme ve Tutma Devresi → Kuantalama → Kodlama → Dijital Kod Modülasyonu (PCM Sinyali)

**1-Örneklenme ve Tutma Devresi**

Örnekleme ve tutma devresinin amacı, değişken analog giriş işaretini periyodik olarak örnekleme ve tutmaktır, bu olay sabit genlikli PAM düzlemine dönüştürür. Örnekleme hızında analog giriş işaretini, analog dijital dönüştürücü (ADC) ile dijital işaretlere dönüştürür. Daha yüksek analog giriş işaretini dönüştürmeye uygun ADC, belirli bir genlikte çalışır ve devre çıkışında elde edilen PCM kodu da belirli olur. Her bir genlikte değişen analog giriş işaretini belirli bir değere örnekleme için kullanılan devreler Örneklenme ve Tutma Devresi denir.

Nyquist örnekleme teoremi, bir PCM sistemin için kullanılabilen minimum örnekleme hızını (fs) belirtir. Her canlandırma anında dijital olarak saklanıp okunabilmesi için, analog giriş işaretinin (fs) her çevresinde en az iki kez örneklenebilir. En uygunla minimum canlandırma hızı, en yüksek analog giriş frekansının iki katına eşittir. Bu frekans iki katından daha büyükse frekansın yansımaları, bu frekansa karşılık frekanslar derin minimum Nyquist örnekleme hızı, minimumda kalır. 'fs > 2B' ifade edilir.

**2-Kuantalama İşlemi**

Bir analog girişin sayısal işarete dönüştürme işleminde Kuantalama devresi Kuantalama işlemine analog girişin örnekleme hızından en büyük kısmını alır. En büyük kısmını alır, en büyük kısmını alır. Örnekleme hızı girişin değeri çarpılır bir değere yansıtılır. Kuantalama işlemi frekansın frekansına karşılık frekanslar derin minimum Nyquist örnekleme hızı, minimumda kalır. 'fs > 2B' ifade edilir.

**Kuantalama aralığı:**

$$Q = \frac{2^N \cdot A_{max}}{2^N}$$

**Kuantalama seviyeleri:**

**Kuantalama aralığı (Q) olarak, kuantalama genliğinin de azdır. Ancak aynı sayısal sistemde kuantalama genliğinin de bir sayıdır. Bu, belirli bir genlikte çalışır ve devre çıkışında elde edilen PCM kodu da belirli olur. Her bir genlikte değişen analog giriş işaretini belirli bir değere örnekleme için kullanılan devreler Örneklenme ve Tutma Devresi denir.**

**Düzenli Kuantalama:**

Bir sayısal girişin eği zamanda belirli bir sayıya kuantalama genliğinin düzenli kuantalama devresi. Düzenli kuantalama her bir sayıya belirli bir sayıya karşılık gelir. Aşağıdaki şekilde 'N' ve 'M' ile gösterilen düzenli kuantalama işlemi elde edilen kuantalama değeri gösterilmiştir.

**3-Kodlama İşlemi**

Örnekleme ve tutma devresinin çıkışında belirli bir sayıya karşılık gelen bir sayıya karşılık gelir. Bu sayıya karşılık gelen bir sayıya karşılık gelir. Aşağıdaki şekilde 'N' ve 'M' ile gösterilen düzenli kuantalama işlemi elde edilen kuantalama değeri gösterilmiştir.

Şekil 4.9. Darbe kod modülasyonu



## 4.2.8 Darbe konum modülasyonu

Bu bölümde darbe konum modülasyonu hakkında terik bilgi verilmiştir. Şekil 4.10 ‘da bu modülasyona ait simülâtör ekranı gösterilmiştir.

**Tam Sayısal Modülasyon**

- Darbe Kod Modülasyonu
- Delta Modülasyonu

**Analog ve Sayısal Modülasyon**

- Darbe Pozisyon Modülasyonu
- Darbe Genişlik Modülasyonu
- Darbe Genlik Modülasyonu

### Darbe Konum Modülasyonu

Dikdörtgen veya kare dalga (dikdörtgen katmanı) taşıyıcı işaretin başlangıç konumunu bilgi işaretinin genliğine bağlı olarak değiştirilmesine Darbe Konum Modülasyonu denir.

Darbe konum modülasyonu ile darbe genişlik modülasyonu birbirine çok benzerler. Darbe genişlik modülasyonu işaretinde, alıcıda yüksek parazitler karşısında elde edilen işaretle bozulmalar olmaktadır. Bu bozulmalardan kurtulmak için darbe konum modülasyonu geliştirilmiştir. Darbe konum modülasyonu, izleyen kenar darbe genişlik modülasyonu sinyali kullanılarak elde edilir. Darbe konum modülasyonu işlemine ait blok şema şekilde gösterilmiştir.

**Blok şemaya göre, bilgi işareti önce PWM (darbe genişlik modülasyonu) sinyaline dönüştürülür. Elde edilen PWM işareti türev alıcı bir devreye uygulanır. Türev alıcı devre, PWM işaretini palslerinin başlangıç noktaları için ekli impuls (darbe), arka kenarları için artı impuls (darbe) üretir. Her bir çift impuls arasındaki süre, temsil ettiği PWM işaretinin genliğine eşittir. Türev alıcıda elde edilen işaret tek yönlü (yarm dalga) doğrultma devresine uygulanarak oluşan ekli palsler yok edilir. Tek yönlü doğrultma devresi çıkışı işaret biçimlendirici ile darbe katmanına dönüştürülerek PPM işareti elde edilir. Aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.**

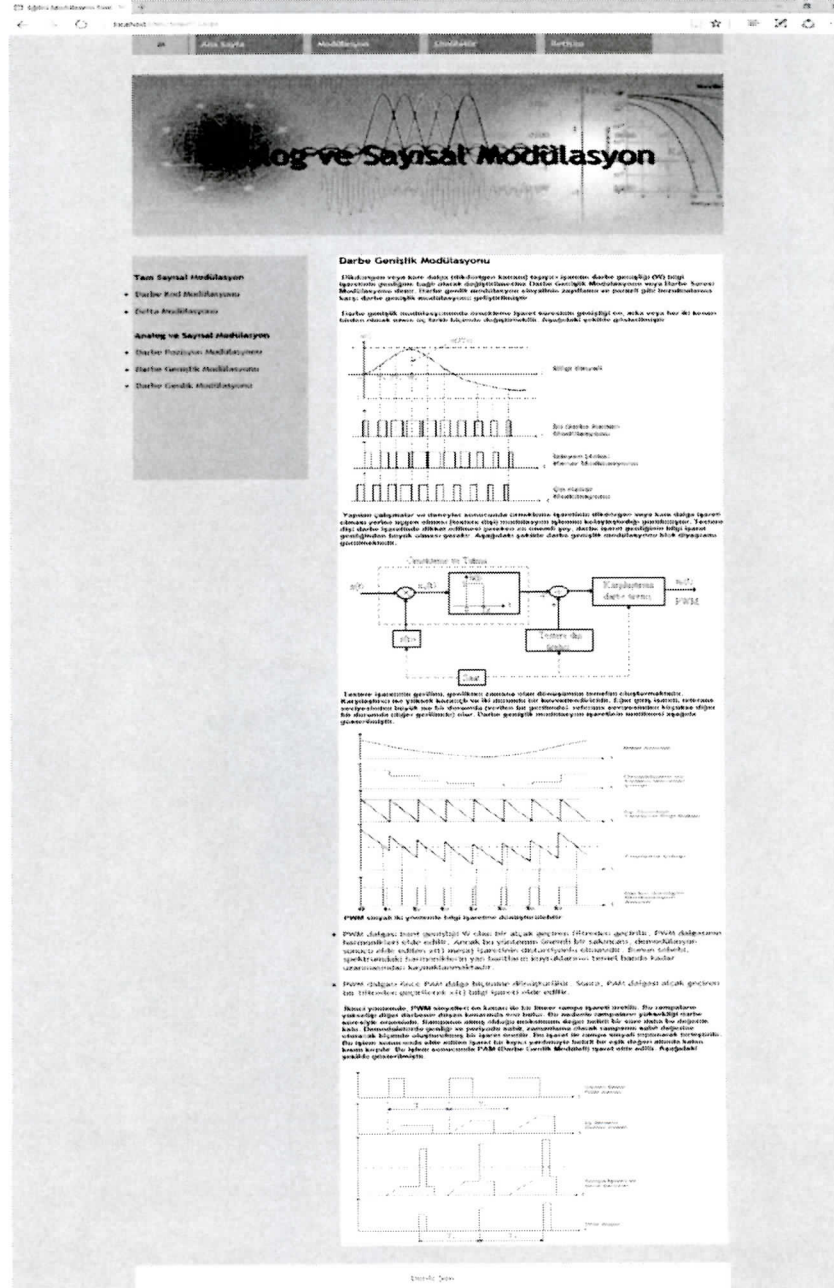
**Sistemin te periyodu olduğu düşünülürse, darbe konum modülasyonunda dikdörtgen katmanları konumu bilgi işaretinin değerini göstermektedir. Darbe genişlik modülasyonunda iletilen genlik değerinden ve darbe genişlik modülasyonunda iletilen işaret sürerlerinden dolayı harcanan güç, sadece konum bilgisinin iletilmesi nedeniyle harcamaz. PPM u, PAM ve PWM'a göre daha düşük güçlerde çalışır.**

Deniz Şen

Şekil 4.10. Darbe konum modülasyonu

## 4.2.9 Darbe genişlik modülasyonu

Bu bölümde darbe genişlik modülasyonu hakkında teorik bilgi verilmiş konu açıklanmıştır. Şekil 4.11’de bu modülasyona ait simülasyon ekranı gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Darbe genişlik modülasyonu

## 4.2.10 Darbe genlik modülasyonu

Bu bölümde darbe genlik modülasyonu açıklanmıştır. Şekil 4.12’de bu modülasyona ait simülasyon ekran görüntüsü gösterilmiştir.

**Tam Sayısal Modülasyon**

- Darbe Kod Modülasyonu
- Delta Modülasyonu

**Analog ve Sayısal Modülasyon**

- Darbe Pozisyon Modülasyonu
- Darbe Genişlik Modülasyonu
- Darbe Genlik Modülasyonu

### Darbe Genlik Modülasyonu

Dikdörtgen veya karrı dalga (dikdörtgen katram) taşıyıcı işaret genişliğinin bilgi işaretinin genişliğine bağlı olarak değiştirilmesine "Darbe Genlik Modülasyonu" denir. Blok şeması aşağıda gösterilmiştir.

Bilgi İşareti  
Örnekleme İşareti

Darbe Genlik Modülatörü

Modüledi İşareti

Darbe genlik modülasyonu, taşıyıcı işaret ile bilgi işaretinin çarpımıdır. Bu darbe genlik modülasyonu yöntemine tabi örnekleme yöntemi denir.

$f(t)$   $\times$   $p(t)$   $f_p(t) = f(t)p(t)$

$p(t)$

$f_p(t)$

PAM dalgası doğal örneklem ile basit bir şekilde üretilmektedir. Çünkü bunun için CMOS donanımlarında kolaylıkla bulunan analog anahtarlar kullanılmaktadır. PAM sinyalinin bant genişliğinin orijinal sinyalin bant genişliğinden çok fazla olduğu görülmektedir.

Bileşik PAM sinyal, bant sınırlanmış devrelerle işlenir. İntegral alma etkisiyle darbe yayılması meydana gelir. Bir darbenin "kuyrakları", komşu zaman bölmesindeki bir darbeyle "girişim" yapar. Buna semboller arası girişim denir. Semboller arası girişim, iletim bant genişliğini artırmak ya da belli bir zaman bölmesindeki bilgi miktarını düşürmek suretiyle azaltılabilir. Bunun sonucu olarak, çoğullmuş PAM dalga dizisindeki örneklemeler arasında bir süre oluşur. Bu sebeple PAM dalga dizisinin bant genişliği  $2W + 2\pi n$  ile ifade edilir. Bu denklemde n, örneklenen sinyallerin sayısı ve fm bilgi işaretinin frekansdır.

Deniz Şen

Şekil 4.12. Darbe Genlik Modülasyonu

## 4.2.11 Delta modülasyonu

Bu bölümde delta modülasyonu hakkında teorik bilgi verilmiştir. Şekil 4.13'te bu modülasyona ait simülasyon ekranı gösterilmiştir.

**Tam Sayısal Modülasyon**

- Darbe Kod Modülasyonu
- Delta Modülasyonu

**Analog ve Sayısal Modülasyon**

- Darbe Pozisyon Modülasyonu
- Darbe Genişlik Modülasyonu
- Darbe Genlik Modülasyonu

**Delta Modülasyonu**

Bir önceki bölümde incelenen Darbe Kod Modülasyonunda (PCM),  $x(t)$  analog mesaj işaretinden alınan örnekler belirli kuanta seviyelerine yuvarlandıktan sonra kodlanmaktadır.

Ancak görüntü işaretlerinde olduğu gibi uygulamada karşılaşılan bazı işaret türlerinde birbirine komşu örnekler arasında önemli ilişkiler vardır. Bu ilişkilerin büyük olması nedeniyle, bir örnek değerinin bilinmesi onu takip eden örnek değerlerinin de büyük olasılıkla belirlenebilmesini sağlar. O halde, her örneğin değerini ayrı ayrı göndermek gereksizdir. Gerçek değerler yerine işaretteki değişimler (farklar) gönderilebilir. Böylece, her bir örnek için gönderilen bit sayısında büyük bir azalma sağlanabilir.

Bu yöntemde birleştirilip gönderilen örnekler arasındaki genlik farklarının kodlanması önerüldüğünden, elde edilen kodlama tekniğine diferansiyel PCM veya DPCM adı verilir. DPCM'nin en basit şekli, iki örnek arasındaki farkın sadece pozitif veya negatif olduğu dikkate alınarak yapılan kodlamadır. Buna delta modülasyonu (DM) denir.

**a) Doğrusal Delta Modülasyonu**

Doğrusal DM, bir keskin sınırlayıcı, bir örnekleme ve geri besleme yolunda yer alan bir integral alıcıdan oluşmaktadır. Alıcı tarafta ise, bir integral alıcı ve birde atçak geçiren filtre vardır. Doğrusal delta modülasyonuna ait blok diyagramı aşağıdaki şekildedir.

**b) Adaptif Delta Modülasyonu**

Delta modülasyonun uygulamadaki kolaylıkları yanında bazı eksiklikleri de vardır. Örneğin, doğrusal delta modülasyonundaki sabit basamak boyu, uşun sınırlaması, bağlama süreci ve boşa çalışma durumu bu olumsuzluklardan bazılarıdır. Yukarıda açıklanan sorunlara bir çözüm olarak basamak boyunun genliği,  $x(t)$   $x'(t)$ 'nin farkına bağlı olarak değiştirilir. Böylece, örnekleme frekansını arttırmadan  $x'(t)$ 'nin mesaj işaretini  $x(t)$ 'yi daha yakından izlemesi sağlanabilir. Basamak boyunun değişken olduğu bu modülasyon yöntemine "Adaptif Delta Modülasyonu" adı verilir.

Şekil 4.13. Delta modülasyonu

## **4.3 Simülâtör**

### **4.3.1 Çift yan bant modülasyon simülâtörü**

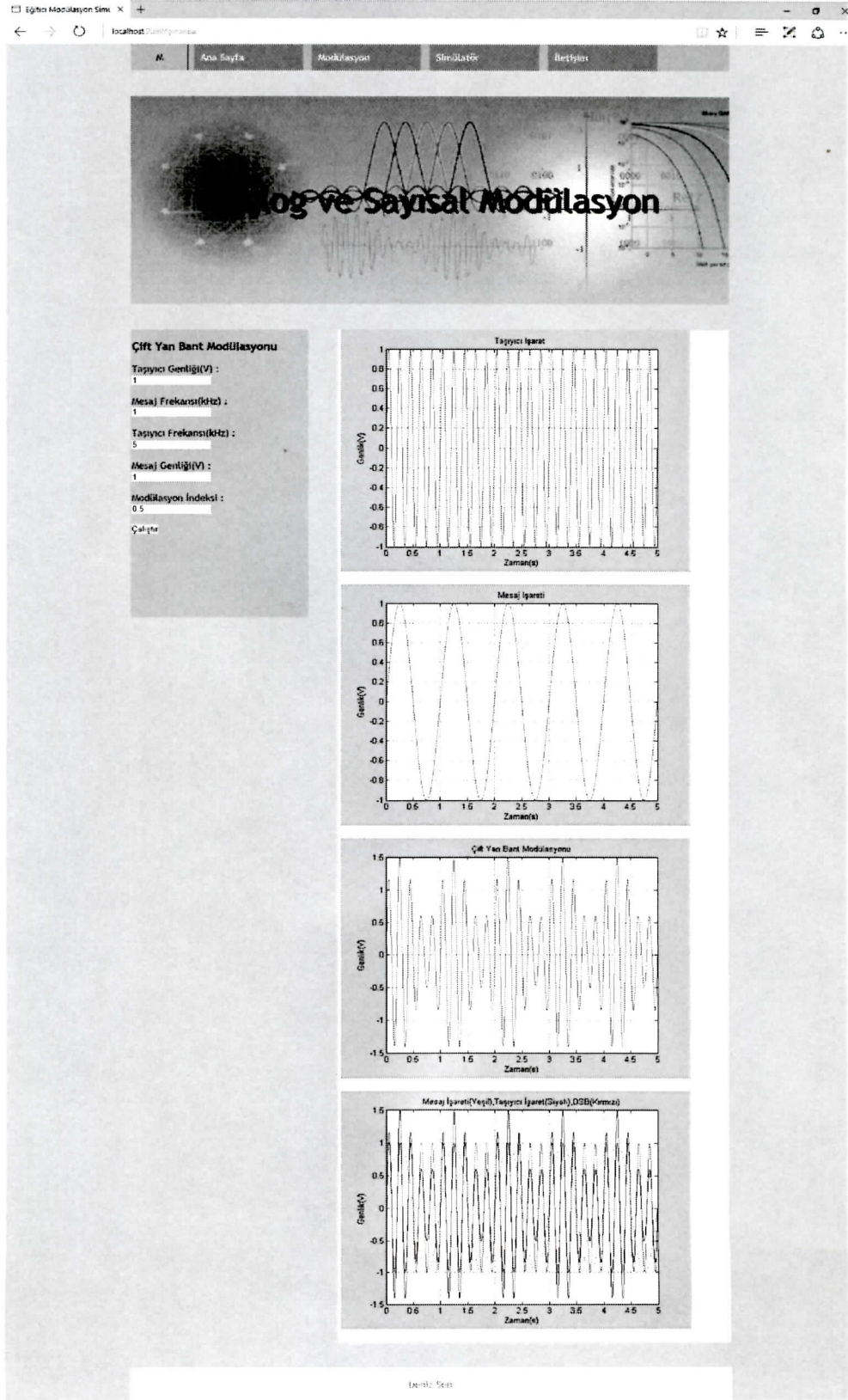
Çift yan bant modülasyonunun gerçekleştirilebildiği bu modülde örnek olarak mesaj genliği 1 V, mesaj frekansı 1 kHz, taşıyıcı genliği 1 V, taşıyıcı frekansı 5 kHz ve modülasyon indeksi 0.5 (Kayran, 2002) olarak alınmış ve buna ait ekran görüntüsü Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.14'teki ekran görüntüsünde ilk grafik taşıyıcı işaretini, ikinci grafik bilgi işaretini ve üçüncü grafik modüleli işaretini temsil etmektedir. Dördüncü grafikte ise yukarıda belirtilen üç işaret aynı anda karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Böylece öğrenci çift yan bant modülasyonunu, veri ve parametre değerlerinin etkilerini grafiksel olarak kolaylıkla görebilmekte ve ilgili yöntemi kavrayabilmektedir.

### **4.3.2 Tek yan bant modülasyonu simülâtörü**

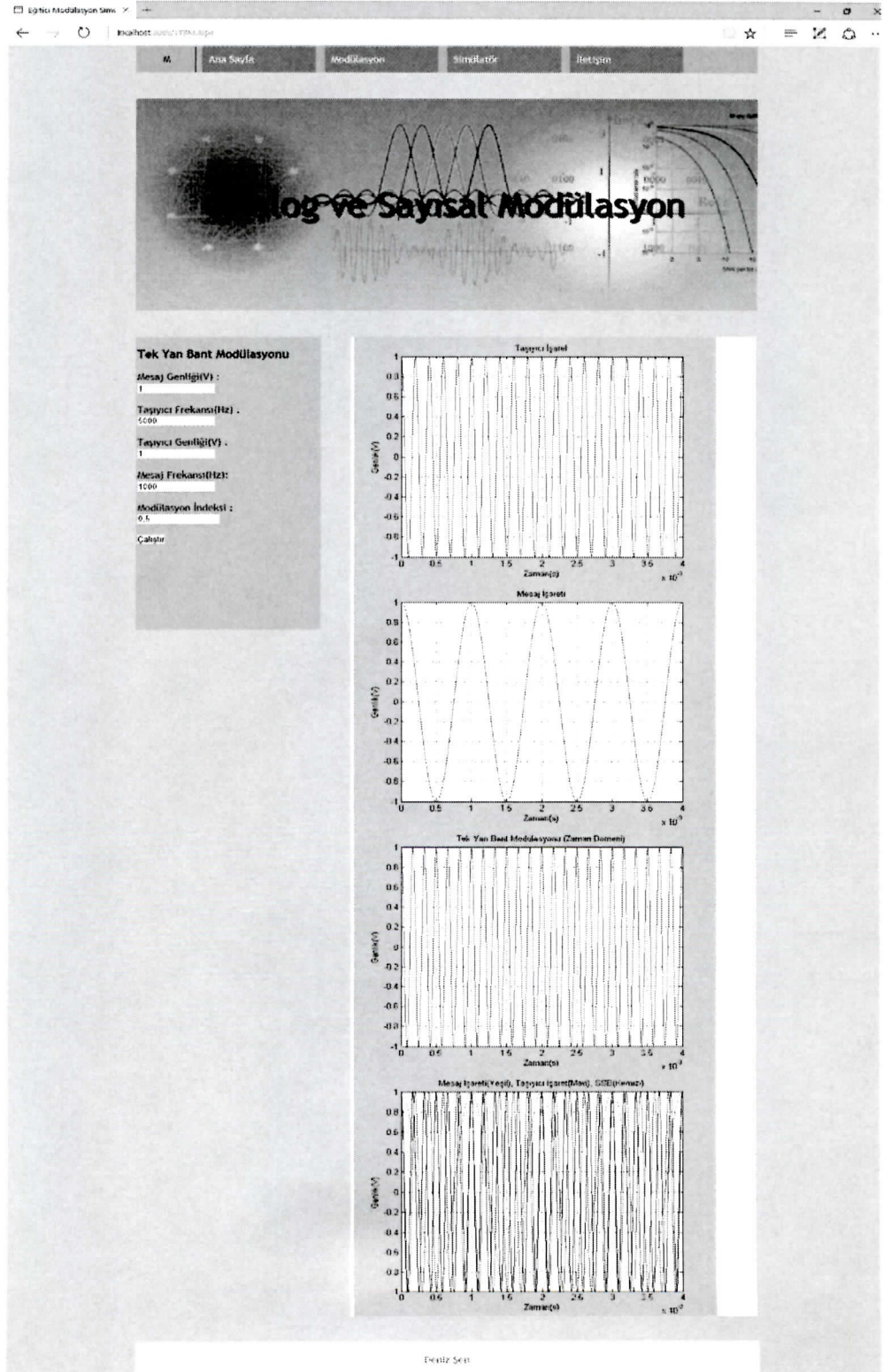
Tek yan bant modülasyonunun gerçekleştirilebildiği bu modülde örnek olarak mesaj genliği 1 V, mesaj frekansı 1 kHz, taşıyıcı genliği 1 V, taşıyıcı frekansı 5 kHz ve modülasyon indeksi 0.5 (Kayran, 2002) olarak alınmış ve buna ait ekran görüntüsü Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15'teki ekran görüntüsünde ilk grafik taşıyıcı işaretini, ikinci grafik bilgi işaretini ve üçüncü grafik modüleli işaretini temsil etmektedir. Dördüncü grafikte ise yukarıda belirtilen üç işaret aynı anda karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Bu sayede öğrenci tek yan bant modülasyonunu, veri ve parametre değerlerinin etkilerini grafiksel olarak kolaylıkla görebilmekte ve ilgili yöntemi kavrayabilmektedir.

### 4.3.3 Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu simülatörü

Taşıyıcısı bastırılmış çift bant modülasyonunun gerçekleştirilebildiği bu modülde örnek olarak mesaj genliği 1 V, mesaj frekansı 1 kHz, taşıyıcı genliği 1 V, taşıyıcı frekansı 5 kHz ve modülasyon indeksi 0.5 (Kayran, 2002) olarak alınmış ve buna ait ekran görüntüsü Şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.16'daki ekran görüntüsünde ilk grafik taşıyıcı işaretini, ikinci grafik bilgi işaretini ve üçüncü grafik modüleli işaretini temsil etmektedir. Dördüncü grafikte ise yukarıda belirtilen üç işaret aynı anda karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Böylece öğrenci taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonunu, veri ve parametre değerlerinin etkilerini grafiksel olarak kolaylıkla görebilmekte ve ilgili yöntemi kavrayabilmektedir.

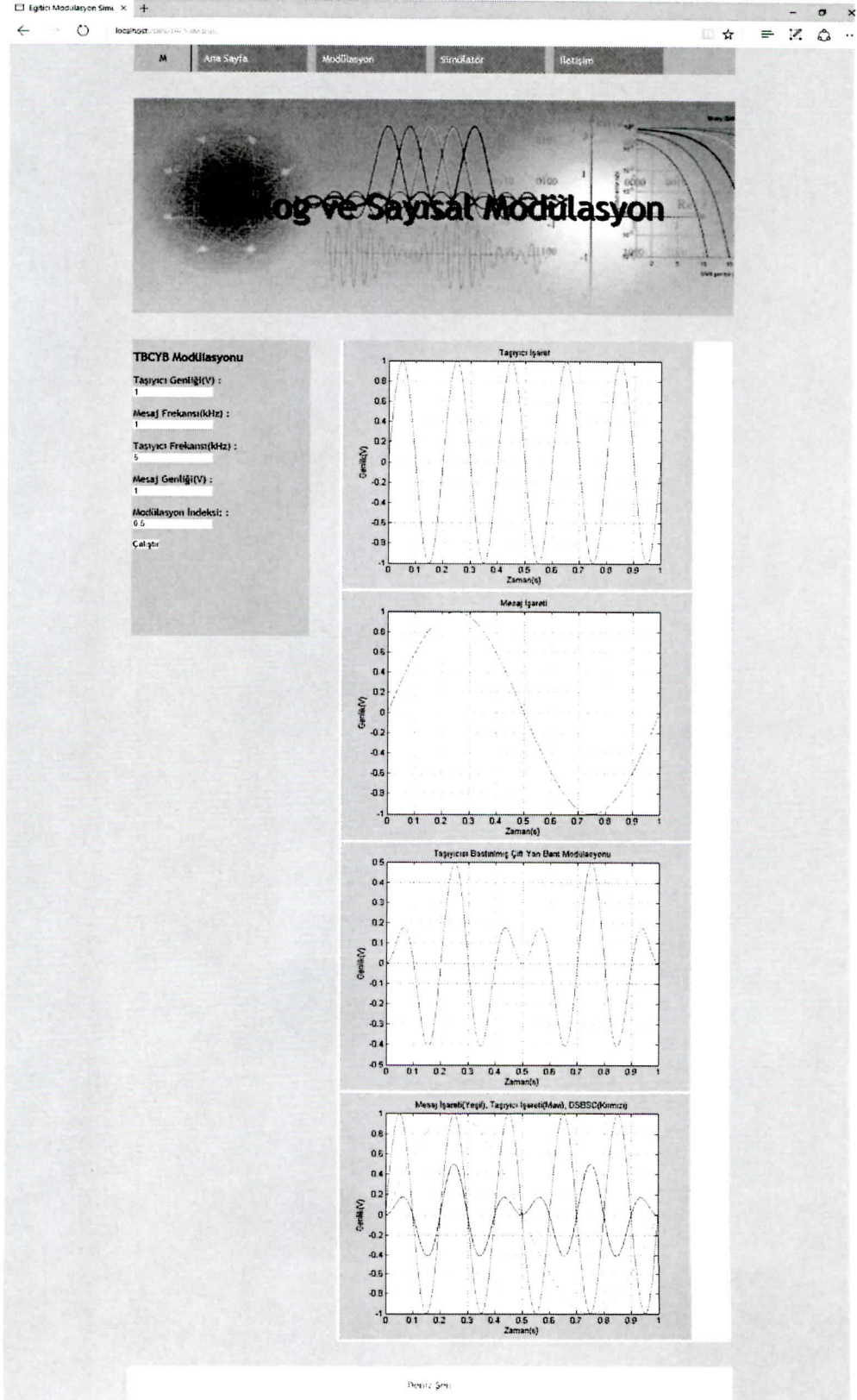


Şekil 4.14. Çift yan bant modülasyonu simülâtörü



Şekil 4.15. Tek yan bant modülasyonu simülatorü





Şekil 4.16. Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant modülasyonu simülatörü

#### **4.3.4 Frekans modülasyonu simülatörü**

Frekans modülasyonunun gerçekleştirildiği bu modülde örnek olarak mesaj genliği 1 V, mesaj frekansı 100 Hz, taşıyıcı genliği 1 V, taşıyıcı frekansı 1 kHz ve modülasyon indeksi 5 (Tretter) olarak alınmış ve buna ait ekran görüntüsü Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekil 4.17'deki ekran görüntüsünde ilk grafik taşıyıcı işaretini, ikinci grafik bilgi işaretini ve üçüncü grafik modüleli işaretini temsil etmektedir. Dördüncü grafikte ise yukarıda belirtilen üç işaret aynı anda karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Böylece veri ve parametre değerlerinin etkilerini grafiksel olarak kolaylıkla görebilmekte ve frekans modülasyonu yöntemi kavranabilmektedir.

#### **4.3.5 Faz modülasyonu simülatörü**

Bu bölümde mesaj genliği 1V, mesaj frekansı 10KHz, taşıyıcı genliği 1V, taşıyıcı frekansı 100KHz alınarak faz modülasyonu uygulaması yapılmış ve örnek simülatör ekran görüntüsü Şekil 4.18 elde edilmiştir.

#### **4.3.6 Delta modülasyonu simülatörü**

Delta modülasyonunun gerçekleştirildiği bu modülde mesaj genliği 1 V ve delta değeri 0,0625 ( Brown ve ark. 1999) olarak alınmış ve buna ait ekran görüntüsü Şekil 4.19'da verilmiştir. Bu veriler ile grafiksel olarak delta modülasyonu yöntemi kolaylıkla görülebilmektedir.

#### **4.3.7 Darbe genlik modülasyonu simülatörü**

Darbe genlik modülasyonu modülünde örnek olarak mesaj frekansı 4 kHz, örnekleme frekansı 8 kHz ve genlik 4 V ( Toması 1997) olarak alınmış ve bu değerlere ait ekran görüntüsü Şekil 4.20'de verilmektedir. Bu sayede veri ve parametre değerlerinin etkileri grafiksel olarak kolaylıkla görülmektedir.

#### **4.3.8 Darbe kod modülasyonu simülatörü**

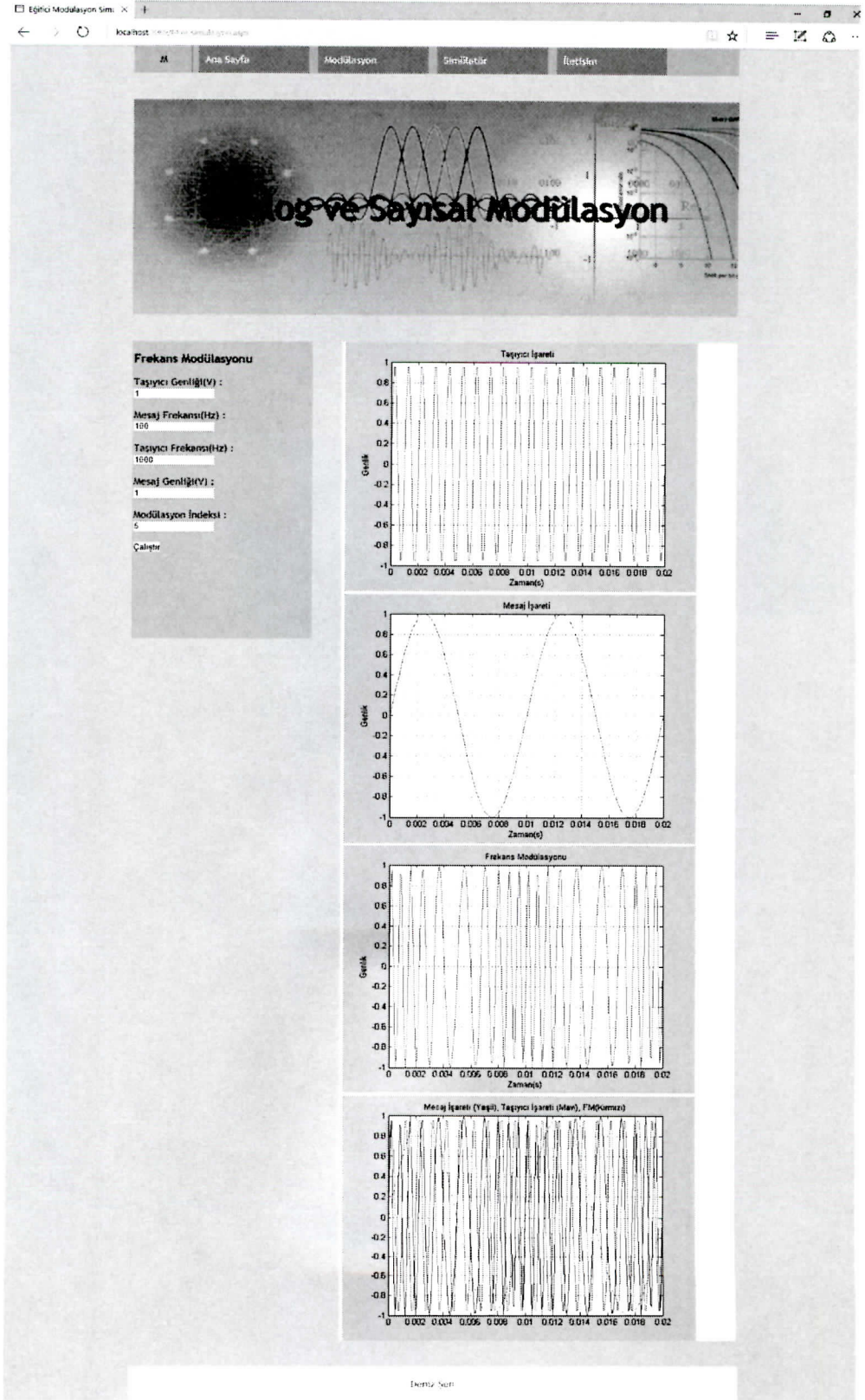
Darbe kod modülasyonunun gerçekleştirildiği bu modülde örnek olarak mesaj frekansı 3,3 kHz, örnekleme frekansı 8 kHz, genlik 1 V ve örnek bit sayısı 10 (Panayırıcı ve ark. 2004) olarak alınmıştır. Bu değerlerden oluşan örnek darbe kod modülasyonu simülatörü ekran görüntüsü Şekil 4.21'de yer almaktadır. Böylece veri ve parametre değerlerinin etkilerini grafiksel olarak kolaylıkla görebilmekte ve darbe kod modülasyonu yöntemi kavranabilmektedir.

#### **4.3.9 Darbe pozisyon modülasyonu simülatörü**

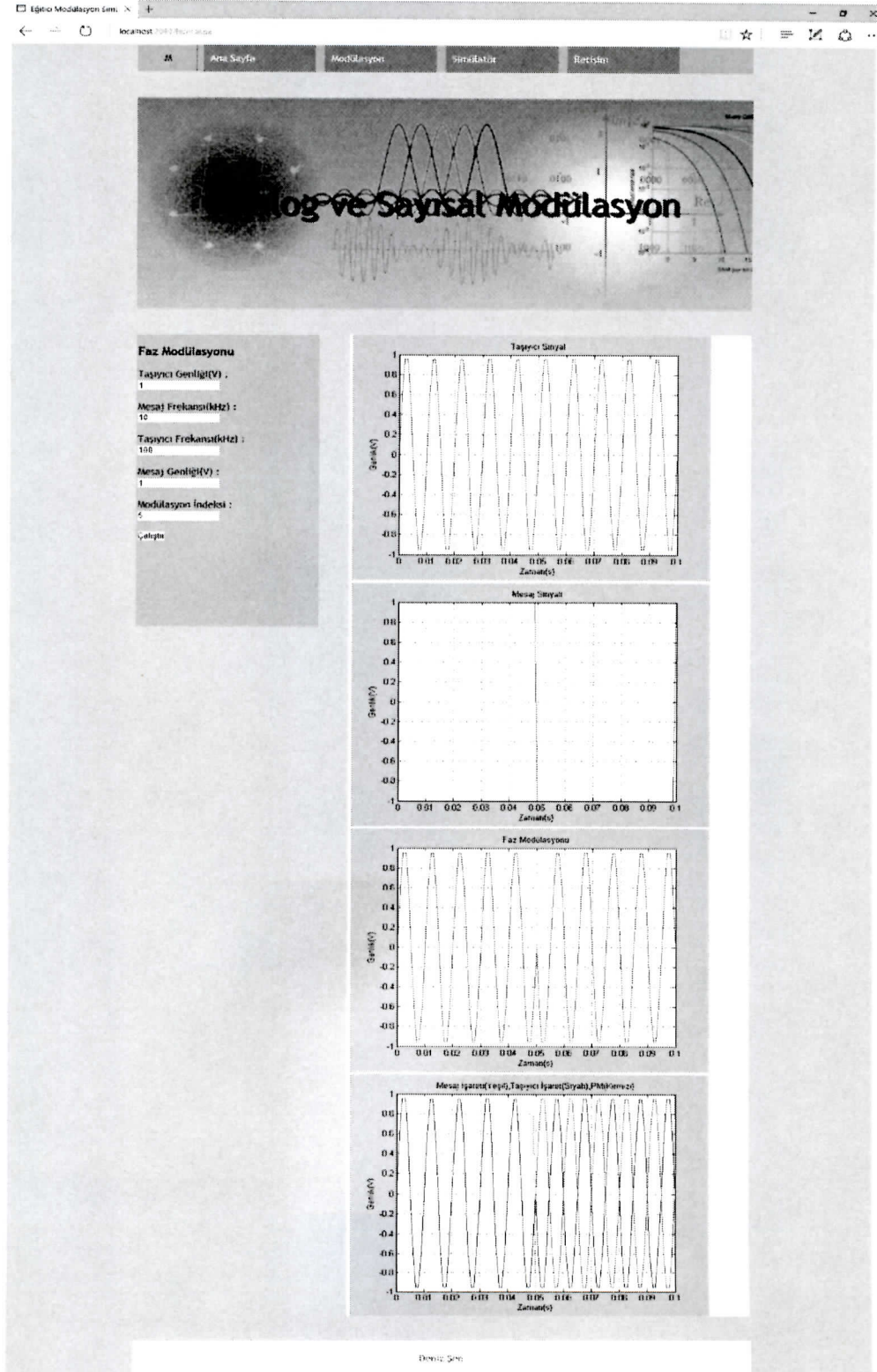
Darbe pozisyon modülasyonunun gerçekleştirildiği bu modülde örnek olarak mesaj frekansı 500 Hz, örnekleme frekansı 2500 Hz olarak alınmış ve Şekil 4.22'de grafiksel olarak verilmektedir (Panayırıcı ve ark. 2004). Böylece veri ve parametre değerlerinin etkilerini grafiksel olarak kolaylıkla görebilmekte ve darbe pozisyon modülasyonu yöntemi kavranabilmektedir.

#### **4.3.10 Darbe genişlik modülasyonu simülatörü**

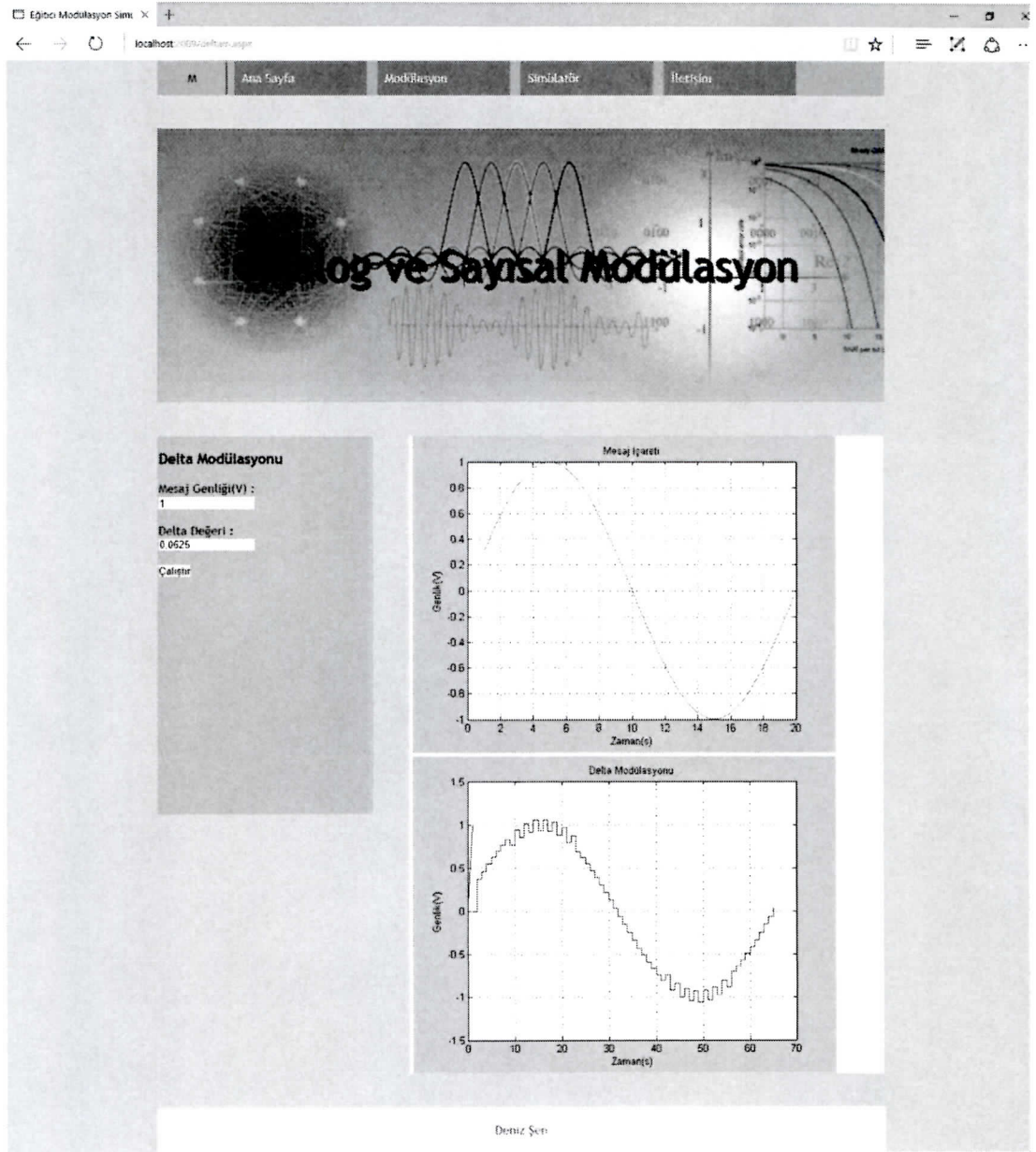
Darbe genişlik modülasyonunun gerçekleştirildiği bu modülde örnek olarak mesaj frekansı 500 Hz, örnekleme frekansı 2500 Hz olarak alınmış ve Şekil 4.23'te grafiksel olarak verilmektedir (Panayırıcı ve ark. 2004). Bu sayede grafiksel olarak darbe genişlik modülasyonu yöntemi kolaylıkla kavranabilmektedir.



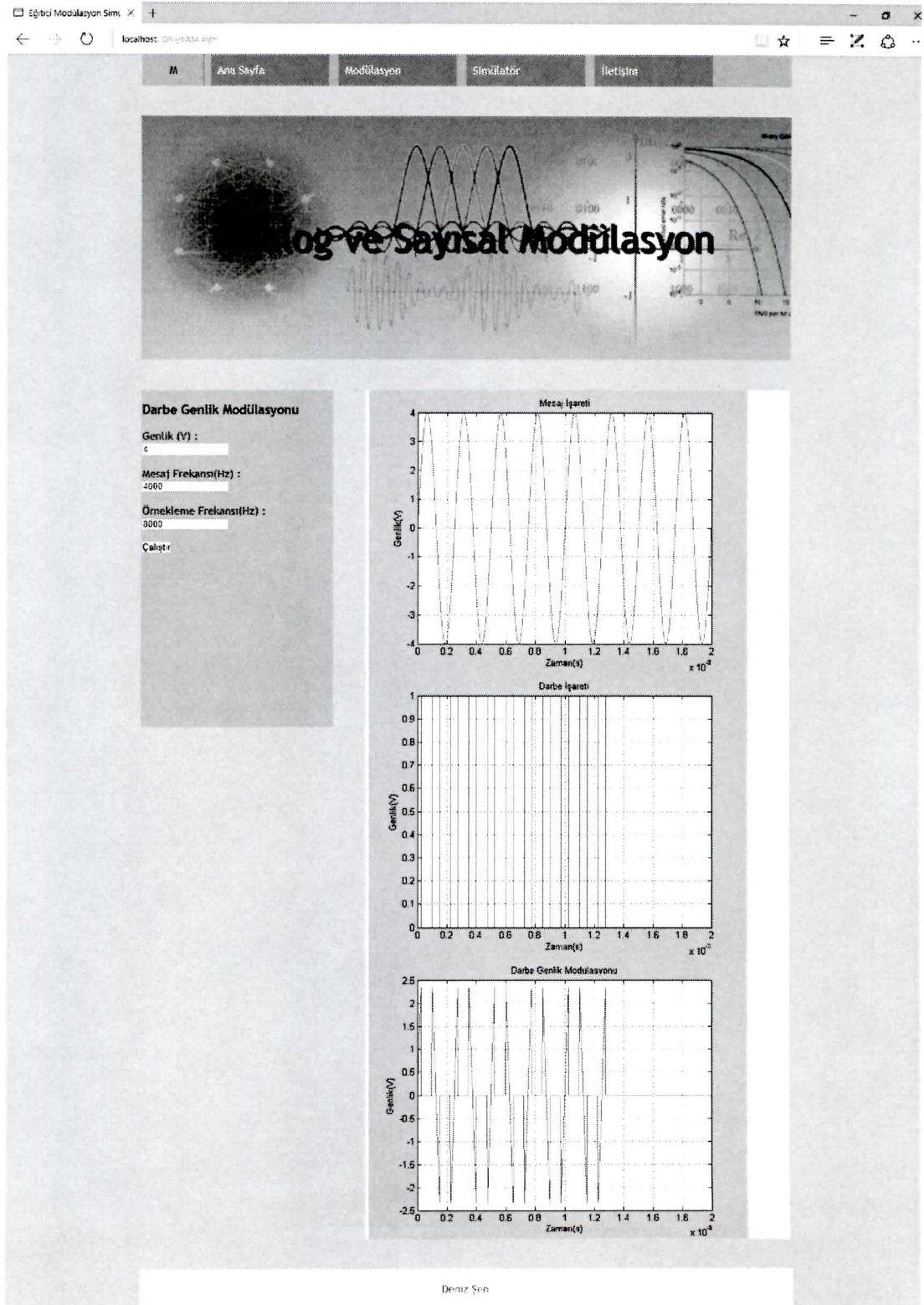
Şekil 4.17. Frekans modülasyonu simülâtörü



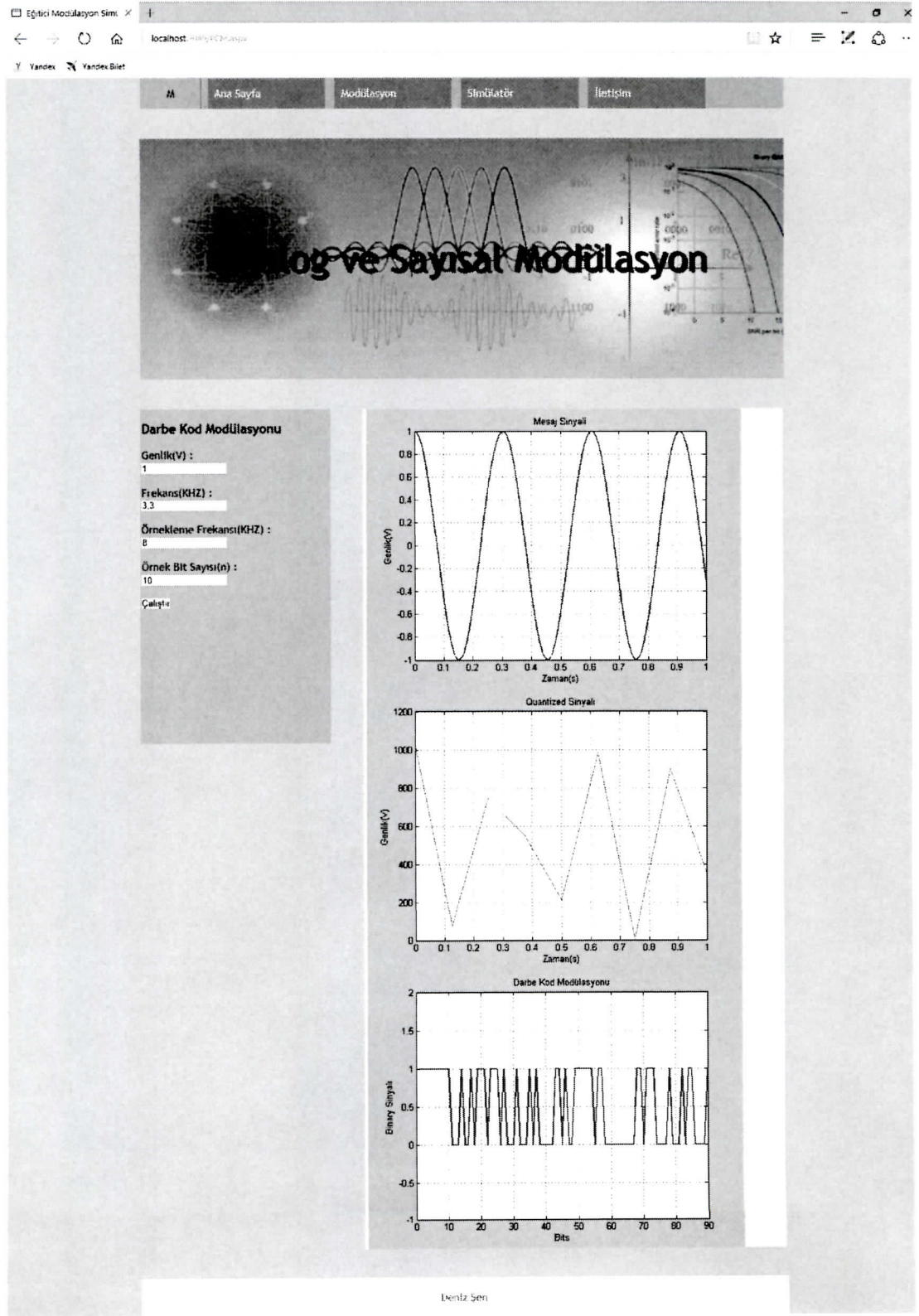
Şekil 4.18. Faz modülasyonu simülasyonu



Şekil 4.19. Delta modülasyonu simülâtörü

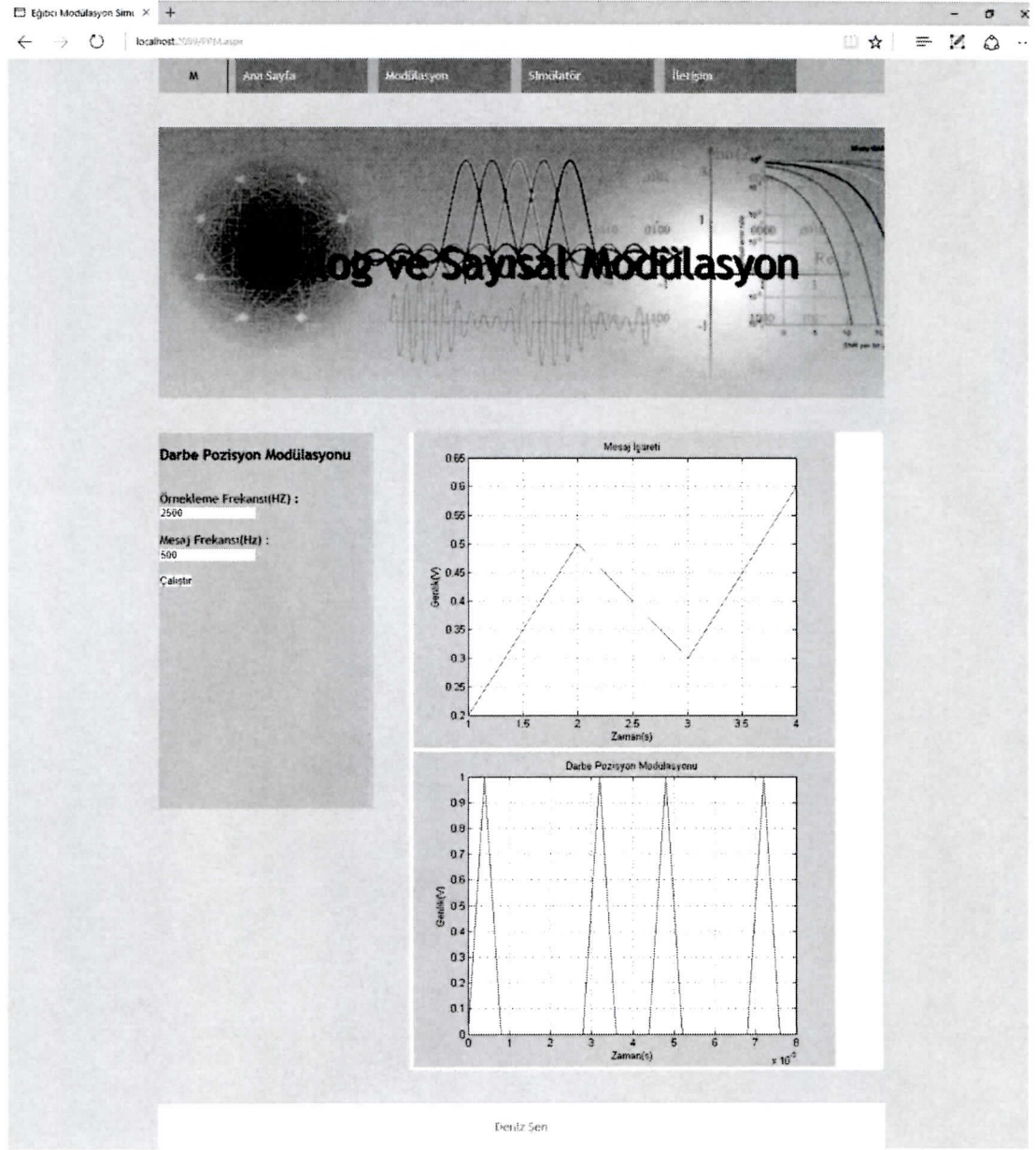


Şekil 4.20. Darbe genlik modülasyonu simülatorü

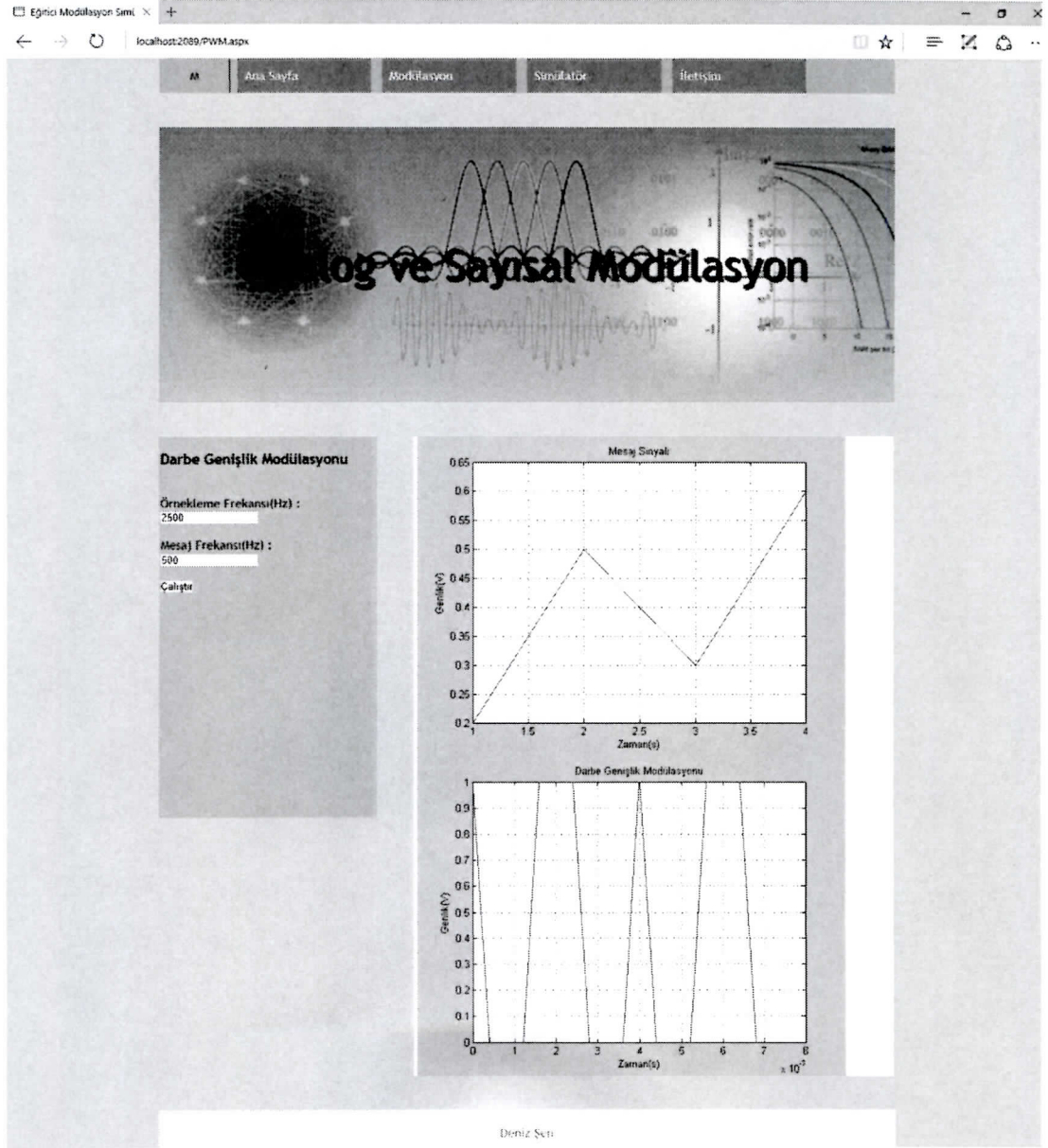


Şekil 4.21. Darbe kod modülasyonu simülasyonu





Şekil 4.22. Darbe pozisyon modülasyonu simülâtörü



Şekil 4.23. Darbe genişlik modülasyonu simülâtörü

## 5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında haberleşme derslerinde verilen teorik bilgilerin uygulamaya dökülebilmesi ve öğrenilen bilgilerin kalıcı olabilmesi için tasarlanmış web tabanlı modülasyon simülatörü tasarlanmıştır. Öğrencilerin derste öğrendikleri bilgileri pekiştirmenin tek yolu bu konuyla ilgili deney yapmalarıyla sağlanabilmektedir. Uzaktan erişilebilen sanal laboratuvarla bu ihtiyaçların giderilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ihtiyacını ortaya çıkaran sebeplerin bazıları; yeterli mekanların olmaması, ekipmanların pahalı olması, öğrencilerin laboratuvarları etkin kullanamaması, öğretim görevlilerin öğrencilere yeterli süre ayıramaması, kalabalık sınıf mevcutları gibi sebepler yer almaktadır.

Bu tezde modülasyon türleri MATLAB'ta tasarlanmıştır. Sistemin uzaktan erişilebilir olması ise ASP.NET ile gerçekleştirilmiştir. MATLAB'ta tasarlanan modülasyon uygulamaları .dll dosyalarına dönüştürülüp bu dosyalar ASP.NET ortamına aktarılması ile uzaktan erişimli modülasyon simülatör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma öğrencilerin eğitim kurumlarına gelmesine gerek kalmadan laboratuvar çalışmasını yapabilmelerine imkan sağlamaktadır ayrıca simülatör teorik bilgileride içerdiği için konu çalışmasında buradan kolaylıkla yapılabilecektir. Bu sayede öğrenciler istedikleri zaman istedikleri kadar simülatör çalışması yapabilmektedir. Bu daha verimli ve daha kalıcı öğrenme imkanı sunmaktadır. Öğrenciler anlamadıkları yerleri veya sormak istedikleri soruyu iletişim bölümünden e-posta göndererek kolayca ulaşabilirler. Öğretim görevlisi de aynı simülatörü kullanacağı için problemler kolayca cevaplandırılarak çözüme ulaşılır.

Gerçekleştirilen sanal laboratuvar yazılımı, haberleşme derslerinde üniversitelerin etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar. Gerçek laboratuvarlarda ortaya çıkan yer sıkıntısı sorununun da çözülmesine yardımcı olur. Ayrıca laboratuvar maliyetleri sanal laboratuvarlar sayesinde düşer.

Bu sanal laboratuvar yazılım tabanlı olduğu için daha önce deney çalışması yapmamış öğrenciler için daha güvenlidir. Gerçek laboratuvarlarda karşılaşılabilen elektrik çarpması, yangın gibi can güvenliğini tehdit edicek hiçbir riski yoktur bu sebeple sanal laboratuvarlar oldukça güvenlidir. Bu simülâtörün diğerk bir avantajıda hem analog hem de sayısal modülasyonu içermesidir.

**Çizelge 5.1** Çalışmanın literatürdeki bazı modülasyonu simülâtörleri ile karşılaştırılması

İçerik/Özellik	Özer ve ark 2014	Bayılmış ve ark. 2013	Tzvetkov 2011	Şen 2016
<b>Konu Anlatımı</b>	-	-	-	✓
<b>Çevrimdışı Çalışma</b>	✓	✓	✓	✓
<b>Çevrimiçi Çalışma</b>	-	✓	-	✓
<b>DSB</b>	✓	✓	✓	✓
<b>SSB</b>	✓	✓	-	✓
<b>DSB-SC</b>	-	✓	-	✓
<b>FM</b>	✓	✓	-	✓
<b>PM</b>	✓	✓	-	✓
<b>DELTA</b>	✓	-	-	✓
<b>PCM</b>	✓	-	-	✓
<b>PAM</b>	✓	-	✓	✓
<b>PPM</b>	✓	-	-	✓
<b>PWM</b>	✓	-	-	✓

Bu tez çalışmasında tasarlanan simülâtörü literatürdeki bazı simülâtörle özet karşılaştırılması Çizelge 5.1’de verilmektedir. Bu çizelgedende görüldüğü gibi

geliştirilen simülatörün hem analog hem de sayısal modüşlasyon türlerini içermesi, konu anlatımı sunması, çevrimiçi çalışabilmesi; literatürdeki karşılaştırılan diğer çalışmalara göre avantajlarını göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda ise demodüşlasyon işleminin yapılması planlanmaktadır. Modüşlasyonun tersi olan demodüşlasyon konusu içinde teorik bilgileri, matematiksel formülleri, modüşlatörleri ve uygulamayı da kapsayan bir simülatör tasarlanabilir. Sonuç olarak bir çok açıdan simülatörler öğrenciler ve öğretim görevlileri için kolaylık sağlar. Bu simülatör sayesinde modüşlasyon konusu hem teorik hem de uygulamalı olarak kolaylıkla öğrenilebilir ve uygulamaları yapılabilir.

## KAYNAKLAR

**Akbulut, A., 2006.** Laserle Yer-Uydu Arası İki Yönlü Optiksel İletişim İçin Proje Tasarımı. *Doktora Tezi*, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

**Alper, A.T. 1992.** Analog Haberleşme. Mersin Üniversitesi, Mersin.

**Anonim, 2007.** Analog ve Sayısal Haberleşme, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

**Anonim, 2013.** Haberleşme Teknikleri, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

**Anonim, 2011.** Conversion of m (MATLAB source code) file to .NET component in the form of dll (Dynamic Link Library) file using MATLAB. [http://www.mathworks.com/matlabcentral/answer/uploaded\\_files/5510/MATLAB%20-%20C%23%20interfacing.pdf](http://www.mathworks.com/matlabcentral/answer/uploaded_files/5510/MATLAB%20-%20C%23%20interfacing.pdf)-(Erişim tarihi: 15.03.2016).

**Atsan, D., 2006.** Darbe Modülasyonu ve Çeşitleri. Lisans Tezi, GÜ, Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Ankara.

**Balamuralithara, B., Woods, P.C., 2009.** Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17(1):108–118.

**Bayılmış, C., Kaçar, S., 2013.** A Web-Based Educational Interface for an Analog Communication Course Based on MATLAB Builder NE With WebFigures. *IEEE Transactions on Education*, 56(3): 346-354.

**Bilhan, A.K., Akbal, E., 2013.** Modelling And Simulation Of Two-Level Space Vector Pwm Inverter Using Photovoltaic Cells As Dc Source. *International Journal Of Electronics Mechanical And Mechatronics Engineering*, 2(4): 311-317.

**Brown, C., Sanner, K., Sateriou, V., Sanchez, R.R., 1999.** Delta Modulation. Rice University, <https://www.clear.rice.edu/elec301/Projects99/adda/dmod.html>. (Erişim Tarihi:28.07.2016)

**Candan, Z., 2008.** Gerçek Zamanlı Sistemlerin Web Üzerinden Kontrolünün Gerçekleştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgi Teknolojileri Programı, İstanbul.

**Chang, Y.H., 2012.** Single Sideband Modulation. *Graduate Program*, Faculty of Architecture, Design and Planning, The University of Sydney, Sydney.

**Colak, I., Irmak, E., Kabalci, E., Issi, F. 2011.** Design and implementation of aremote laboratory platform using MATLAB builder for NE. *Comput. Appl .Eng. Educ.*, DOI:10.1002/cae.21553.

**Couch, L.W., 2013.** Digital and Analog Communication Systems. Pearson Education, Inc, New Jersey, USA, 789pp.

**Çıbuk, M., 2004.**Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Temel Kodlama ve Sıkıştırma Teknikleri. Doktora Semineri, FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.

**Dikshit, A., Wu, D. Wu, C., Zhao,W.2005.** An online interactive simulation system for medical imaging education. *Comput. Med. Imag.*, 29:395-404.

**Gunter, J., Eames, B., Nelson, D., 2011.** Description of educom: A graphical modeling and programming language for teaching and learning digital communication systems. *Computer Applications in Engineering Education*, 19 (4):697–707.

**Güney, E., Ekşi, Z., Çakıroğlu, M.2011.** WebECG: A novel ECG simülatör based on MATLAB Web Figure. *Adv. Eng. Softw.*, DOI:10.1016/j.advensoft.2011.09.005.

**Haykin, S., Moher, M., 2007.** Introduction to Analog & Digital Communications. Quark by Prepare Inc., USA, 513 pp.

**İnan, A., 2005.** MATLAB Temel Seviye Semineri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, <http://www.yildiz.edu.tr/~inan->(Erişim tarihi:18.03.2016).

**İşgüzar, S., 2010.** Sanal Robotik Laboratuvarı için Scorbot-Er Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.

**Jeschke, S., Nsour, J., Al-Zoubi, A.Y., Natho, N.M., Pfeiffer, O.F., 2008.** Integration of an Online Digital Logic Design Lab for IT Education. *SIGITE'08*, October 16–18, 2008, Cincinnati, Ohio, USA.

**Kaçar, S., Çankaya, İ., 2012.** Matlab Ve Asp.Net Tabanlı Web Arayüzü Kullanılarak Doğrusal Olmayan Sistemlerin Analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*,27(4):795-806.

**Kaplan, E., Türkyılmaz, A.H., Burakçın, A. B.,Eroğlu, U.,2012.** Sayısal Modülasyon Tekniklerinin Simülasyonu. Lisans Tezi, KTÜ, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tranzon.

**Kayran, A.H., 2002.** Analog Haberleşme. İstanbul, Türkiye, 172 pp.

**Kızılbey, O., 2008.** X-Band Uygulamaları İçin Dielektrik Rezonatörlü Osilatör. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Killen, H.B., (M. Atakay) 1997.** Modern Elektronik İletişim Teknikleri. Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 559pp.

**Mathworks, 2014.** The language of technical computing. <http://www.mathworks.com/products/matlab->(Erişim tarihi: 11.03.2016).

**Microsoft, 2010.** Visual Studio. <http://msdn.microsoft.com/tr-tr->(Erişim tarihi: 02.02.2016).

**Ocakoğlu, Ö.F., 2014.** Web Tabanlı Öğretim Yönetim Sistemi Modeli. *Lisans Tezi*, GÜ, Bilişim Enstitüsü, Ankara.

**Önal, S., 2008.** Analog Radyo Ve Televizyon Frekansları Ve Kullanılan Modülasyon Türleri. Ödev, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.



**Özçalışkan,C., 2003.** Temel Haberleşme Teorisi. Lisans Tezi, FÜ, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ,

**Özer, T., Çimen, H., Akbal, A., 2014.** A New Educational Modulation Simulator Using For Digital And Analog Modulations. 2nd Intl' Conference on Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics (ICAESAM'2014), May 4-5, 2014, İstanbul, Turkey.

**Panayırıcı, E., Kayran, A.H., Aygölu, Ü., 2004.** Sayısal Haberleşme. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 158 s.

**Sharp, J., Tezcan, Ü. (Çevirmen), 2009.** Visual C#2008 Adım Adım. Arkadaş Yayınevi, Ankara, 696 s.

**Şahin,B., 2006.** Dalgacık Tabanlı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (KBÇE) Sistemlerinin Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.

**Taher, O.H., Bay, Ö.F., 2013.** Bulut Bilişim Platform ve Yazılım Hizmetini Dağıtmak için Web-Tabanlı Sanal Laboratuvar Tasarımı. *Politeknik Dergisi*, 16(2): 81-87.

**Taşdelen, K., 2004.** Mühendislik Eğitimi İçin İnternete Dayalı, İnteraktif, Sanal Mikrodenetleyici Laboratuvar Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

**Tiftikçi, A., Kocar, C., Tombakoğlu, M., 2009.** Radyasyon Deneyleri İçin Sanal Laboratuvar. *X.Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 6-9Ekim 2009, Ankara.

**Tomasi, W., 1997.** Elektronik İletişim Teknikleri. Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Türkiye, 959 s.

**Tretter, A.S.** Chapter 8 Frecuency Modulation (FM). University of Maryland, <http://www.ece.umd.edu/~tretter/commlab/c6713slides/ch8.pdf>. (ErişimTarihi:28.07.2016).

**Tzvetkov, P., 2011.** Modeling and Simulation of Analog Amplitude and Pulse Amplitude Modulation and Demodulation Measurement Transducers. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*, 3(29): 2073-7378.

**Violante, M.G., Vezzetti, E., 2014.** Implementing a new approach for the design of an e-learning platform in engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(4): 708-727.

**Yalçın, N.A., Vatansever, F., 2015.** A Web-Based Virtual Power Electronics Laboratory. *Computer Applications in Engineering Education*, 24(1):71–78.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Deniz Şen  
Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa, 15.08.1990  
Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise: Milli Piyango Anadolu Lisesi(2004-2008)  
Lisans: Uludağ Üniversitesi (2008-2012)

Çalıştığı Kurum ve Yıl: Yazaki Systems Technologies(2015-2016)  
İletişim: denizensen15@gmail.com

Yayınlar:

**F.Vatansever, D. Şen, 2012.** Solutions of Mesh-Current and Node-Voltage Equations Based on Genetic Algorithm. 9th International Conference on Electronic, Computer and Computation (ICECCO'12), pp. 128-130, Ankara, 1-3 November 2012.

**F. Vatansever, D. Şen, 2013.** Genetik Algoritma Tabanlı PID Kontrolör Simülasyonu Tasarımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(2):7-18.