KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ DAĞITILMIŞ DENETİM SİSTEMİ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS

Elektrik Mühendisi Serhat Ordu

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Danışman: Prof.Dr. Bekir Çakır

KOCAELİ, 2007

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ DAĞITILMIŞ DENETİM SİSTEMİ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisi Serhat Ordu

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Haziran 2007
Tezin Savunulduğu Tarih: 18 Temmuz 2007

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Prof.Dr. Bekir ÇAKIR	Doç.Dr. Saadettin AKSOY	Yrd.Doç.Dr. Tarık DURU
(.....)	(.....)	(.....)

KOCAELİ, 2007

ÖNSÖZ

Beşinci yılını doldurmak üzere olan meslek hayatımda, yapılan çok faydalı olabilecek teorik çalışmaların, gerek maddi imkanların eksikliği gerekse yeterli cesaretin olmayışı nedeniyle çoğu zaman kağıt üzerinde kaldığına şahit oldum. Bu nedenle çok profesyonel olmasa da yapmış olduğum teorik çalışmayı endüstriyel alanda kullanılabilecek bir proje haline getirmeye çalıştım. Bu amacımı gerçekleştirmemde, benden maddi ve manevi desteğini eksik etmeyerek çalışmamı tamamlamamı sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Bekir ÇAKIR' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca uzakta olmalarına rağmen, ümitsizliğe düşüğüm anlarda, sürekli olarak yaptığımız telefon görüşmeleriyle beni motive eden annem Binnaz Ordu ve babam Hasan Ordu'ya teşekkür ederim.

Çalışma koşullarımdan dolayı, yaptığım pratik çalışmaları laboratuar ortamında test edecek zaman bulamadığımdan, evde kendi imkanlarımla kurduğum test düzenekleriyle evi küçük bir elektronik dükkanına çevirip, alt üst etmeme rağmen, hiçbir zaman desteğini ve hoşgörüsünü eksik etmeyen sevgili eşim Ayşegül ORDU'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
1. GİRİŞ 1
2. KABLOSUZ İLETİŞİMİN TARİHİ 3
2.1 Herşeyin Başlangıcı Marconi 3
2.2 Paket Data 6
2.3 Ses Teknolojileri 7
2.4 Hücresel Teknoloji 7
3. KABLOSUZ İLETİŞİM 9
3.1 Analog Haberleşme 9
3.2 Dijital Haberleşme 10
3.3 Analog ve Sayısal Haberleşmenin Karşılaştırılması 10
3.4 Haberleşmedeki Kısıtlamalar 11
3.4.1 Gürültü ve Girişim 11
3.4.2 Bant Genişliği 12
3.4.3 Sinyal Gücü 13
3.5 Çoğullama 13
3.5.1 Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM) 14
3.5.2 Zaman Bölmeli Çoğullama (FDM) 14
3.6 Modülasyon 15
3.6.1 Sürekli Dalga Modülasyonu 16
3.6.1.1 AM Modülasyonu 17
3.6.1.1.1 Çift Yan Bandı Giderilmiş Taşıyıcı 20
3.6.1.1.2 Tek Yan Bandı Giderilmiş Taşıyıcı (SSB veya SSBSC) 21
3.6.1.2 FM Modülasyonu 24
3.6.1.3 PM Modülasyonu 28
3.6.2 Sayısal İletişim Teknikleri 30
3.6.2.1 Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK) 30
3.6.2.2 Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) 35
3.6.2.3 Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK) 40
3.6.2.3.1 Diferansiyel PSK (DPSK) 44
3.6.2.3.2 Kuadratör PSK (DPSK) 46
4. RF İLE BİR NOKTADAN ÇOK SAYIDA SİSTEMİN DENETİMİ 51
4.1 Devrede Kullanılan Enstrümanlar 52
4.2 Seri İletişim 56
4.2.1 Senkron Seri İletişim 56
4.2.2 Asenkron Seri İletişim 56

4.3 Ana istasyonun Tasarımı 58
4.4 İstasyon 1'in Tasarımı ve Çalışma Prensibi 64
4.5 İstasyon 2'nin Tasarımı ve Çalışma Prensibi 67
4.6 Unipolar Step Motor ve Çalışma Prensibi 69
5. SONUÇLAR 71
6. ÖNERİLER 72
KAYNAKLAR 73
EKLER 75
ÖZGEÇMİŞ 83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Herhangi bir A genlikli, T peryodlu ve F frekansında bir sinüzoidal analog sinyal 10
Şekil 3.2. Herhangi bir sayısal ifadenin A genlikli darbelerle ifadesi. 10
Şekil 3.3. N sayıda frekans analına bölünmüş bant genişliği. 14
Şekil 3.4. N sayıda zaman kanalına bölünmüş bant genişliği. 15
Şekil 3.5. Genlik modülasyonu. 18
Şekil 3.6. Genlik modülasyonu – Yan bantlar. 19
Şekil 3.7. Dengeli modülatör 21
Şekil 3.8. Tek yan bantlı faz kayması üretimi 23
Şekil 3.9. Frekans modülasyonu 25
Şekil 3.10. Değişik modülasyon indekslerinde, FM dalgasının bileşenlerinin genlikleri. 27
Şekil 3.11. Faz modülasyonu. 29
Şekil 3.12. Faz modüleli sinyalin üretilmesi. 30
Şekil 3.13. ASK dalga biçimleri (a) Sınırsız-bandı (ideal) temel bant işaret için, (b) Sınırlı bantlı (şekillendirilmiş) temel bant işaret için. 31
Şekil 3.14. ASK işaretin üretilmesi 32
Şekil 3.15. ASK işaretinin var yok anahtarlama ile üretilmesi. 32
Şekil 3.16. ASK işaretinin demodülasyonu (a) Uyumlu filtreli, (b) Korelasyon sezici. 34
Şekil 3.17. ASK işaretinin eşzamanlı olmayan demodülasyonu. 34
Şekil 3.18. (a) FSK işaretin üretilmesi (b) İdeal FSK dalga biçimi, (c) İki ASK dalga biçimine ayrıştırılması. 36
Şekil 3.19. FSK işaretin bant genişliğinin belirlenmesi. 37
Şekil 3.20. FSK işaretinin sezilmesi (a) Uyumlu filtreli, (b) Korelasyon sezicili 38
Şekil 3.21. Eşzamanlı FSK işaretinin sezicisi 39
Şekil 3.22. Eşzamanlı olmayan FSK sezici sistemi 40
Şekil 3.23. PSK vericinin blok diyagramı. 41
Şekil 3.24. Korelasyon detektörüyle PSK işaretin demodülasyonu 42
Şekil 3.25. Sürekli temel band işaretler için PSK demodülatör. 43
Şekil 3.26. DPSK işaretin üretilmesi. 44
Şekil 3.27. DPSK işaretin demodülasyonu. 45
Şekil 3.28. İkili sayısal modülasyon sistemlerinde hata olasılıkları. 46
Şekil 3.29. QPSK işaretin üretilmesi ve demülasyonu. 48
Şekil 3.30. QPSK için fazör diyagramları ve karar eşikleri. 49
Şekil 4.1. Tek noktadan iki istasyonun denetimi. 51
Şekil 4.2. Alıcı-verici modülün üstten görünüşü. 53
Şekil 4.3. Senkron seri iletişim blok şeması. 56
Şekil 4.4. Asenkron seri iletişim blok şeması. 57
Şekil 4.5. Bir byte'lık verinin asenkron olarak gönderilmesi. 57
Şekil 4.6. Ana istasyon 58
Şekil 4.7. Ana istasyon program akışı 60
Şekil 4.8. Alıcı-verici modülü ile haberleşirken kullanılan protokol 63
Şekil 4.9. İstasyon 1 65
Şekil 4.10. İstasyon 1 program akışı 66

Şekil 4.11. İstasyon 2 67
Şekil 4.12. İstasyon 1 program akışı 68
Şekil 4.13. Unipolar step motor iç yapısı 69

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Kablosuz iletişimin tarihi 3
Tablo 3.1. Modülasyon tekniklerinin sınıflandırılması 16
Tablo 3.2. Ardışık kaybolmalar ve modülasyon. 26
Tablo 3.3. FM ve AM' in karşılaştırılması. 28
Tablo 3.4. DPSK işaretin üretilmesi 44
Tablo 3.5. DPSK' nın çalışmasını açıklayan örnek 45
Tablo 3.6. Modülasyon tekniklerinin avantaj ve dezavantajları 50
Tablo 4.1. Alıcı-verici modülü pin tanımları 53
Tablo 4.2. Alıcı-verici modülü teknik özellikleri. 54
Tablo 4.3. Alıcı-verici modülü teknik özellikleri 55
Tablo 4.4. "Motor" değişkenin bit konfigürasyonu. 62
Tablo 4.5. Dalga sürümü metodu 70

SİMGELER

A	: Genlik
T	: Periyot
F	: Frekans
S/N	: İşaret Gürültü Oranı
m%	: Mod Derinliği-Sapma
Ec	: Tepe Taşıyıcı Voltajı
Em	: Tepe Modülasyon Voltajı
Pt	: Toplam Güç
Ecarr	: Taşıyıcı Gerilim Değeri
Elsb	: Alt Yan Bant Gerilim Değeri
Eusb	: Üst Yan Bant Gerilim Değeri
Pc	: Taşıyıcı Gücü
Ac	: Taşıyıcı Genliği
Fd	: Hertz cinsinden Sapma
Fm	: Hertz cinsinden Modülasyon Frekansı
Wd	: Raydan cinsinden Sapma
Wm	: Raydan cinsinden Modülasyon
δf	: Bant Genişliği
Φd	: Modülasyon İndeksi
λ	: Dalga Boyu
ζ	: Darbe Süresi
T	: Örnekleme Aralığı
H(t)	: İmpuls Cevabı
Φ(t)	: Modüle edilmiş bilgi sinyali
σ	: Gauss Gürültüsü'nün oluşturduğu Sapma
y(t)	: Filtre edilmiş sinyal
Pe	: Toplam Hata Olasılığı
E_Φ	: Eşik Seviyesi
N	: Gürültü
B	: Bant Genişliği
η/2	: Hertz başına gürültü gücü ortalaması

Alt indisler

c,carr	: Taşıyıcı
m	: Modülasyon
lsb	: Alt yan bant
usb	: Üst yan bant
t	: Zaman
ÇYB	: Çift yan bant
TYB	: Tek yan bant
GM	: Genlik Modülasyonu
d	: Sapma
PSK	: Genlik kaydırmalı anahtarlama

Kısaltmalar

RF	: Radyo Frequency
FSK	: Frequency Shift Keying
SOS	: Save Our Souls
INTELSAT	: İnternational Telecommunication Satalite Consortium
US	: United States
ARPANET	: Advanced Resource Project Agency Networks
TCCP/IP	: Transport Control Protocol / İnternet Protocol
PCS	: Personel Communication Spectrum
L2TP	: Layer 2 Tunneling Protocol
VPN	: Virtual Private Network
IPSEC	: İnternet Protocol Security
ALOHANET	: ALOHA Network
VADCG	: Vancouver Amateur Communication Group
TNC	: Terminal Node Control
IEEE	: İnternational Electrical Electronical Engineer
TAPR	: Tuscon Ameteur Packet Radio
MS	: Major Station
BS	: Base Sitation
CDMA	: Code Division Multi Access
FDMA	: Frequency Division Multi Access
TDMA	: Time Division Multi Access
MSC	: Mobil Switching Center
PTSNT	: Wire Switching Phone Center
AM	: Amplitude Modulation
FM	: Frequency Modulation
PM	: Phase Modulation
ASK	: Amplitude Shift Keying
PSK	: Phase Shift Keying
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying
PAM	: Pulse Amplitude Modulation
PPM	: Pulse Position Modulation
PDM	: Pulse Duration Modulation
PCM	: Pulse Code Modulation
DSB	: Double Side Band
DSBSC	: Double Side Band Sweeped Carrier
SSB	: Single Side Band
SSBSC	: Single Side Band Sweeped Carrier
LPF	: Low Pass Filter
VHF	: Very High Frequency
WBFM	: Wide Band Frequency Modulation
NBFM	: Narrow Band Frequency Modulation
OOK	: On-Off Keying
VCO	: Voltage Control Ossilator
PLL	: Phase Lock Loop

KABLOSUZ DAĞITILMIŞ DENETİM SİSTEMİ UYGULAMASI

SERHAT ORDU

Anahtar Kelimeler: Radyo Frekansı, frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK), kablosuz iletişim, modülasyon teknikleri

Özet: Endüstride ve günlük hayatta kablosuz iletişim çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları garaj kapısı kontrolünden evimizdeki elektrikli fırınlara, su pompa istasyonlarının uzaktan kontrolünden endüstriyel makine otomasyonuna kadar değişmektedir. Bu çalışmada kablosuz iletişimin temeli olan radyo frekansı ile iletişim teknikleri incelenmiştir. Bu yapılırken iletişimde kullanılan modülasyon teknikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bahsedilen bu tekniklerden pratik çalışmaya yönelik olarak fsk yöntemi seçilmiş ve seçim nedenleri hakkında gerekli savunmalar yapılmıştır. Bunun ardından yapılan teorik çalışma pratik olarak hayata geçirilmiştir. Pratik çalışmada ise merkezi bir noktadan iki istasyon kontrol edilerek bu istasyonlarla iki yönde veri akışı gerçekleştirilmiştir. Son olarak gerçekleştirilen sistemin hangi güncel uygulamalara hitap ettiği ve yapılabilecek bazı iyileştirmelerle başka nerelerde kullanılabileceğinden bahsedilmiştir.

WIRELESS DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM PRACTISE

SERHAT ORDU

Keywords: Radio frequency, frequency shift keying, wireless communication, modulation techniques.

Abstract: Wireless communication is generally used in industry and daily life. These usage areas change from garage door control to oven with electric, remote in command of water pump stations, machine otomation.In this thesis, communication techniques with radio frequency that base of wireless communication are investigated. General information is informed about modulation techniques that is used in communication. The Method of FSK was selected from these techniques for practical working and was defended about reason of selection. After this, theoretic part was implemented on practical part. In practical part, two stations are controlled from a central point and so data flowing has double side was realized. Lastly, the system would be used in which actual practices and another where was investigated with improvement.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu her zaman teknoloji gelişiminin yönünü gereksinimlerine göre tayin etmektedir. Bu bağlamda kablosuz iletişimi de belirli ihtiyaçlardan doğmuştur. Bu ihtiyaç ilk olarak insanların haber alma ihtiyacıyla birlikte, kablosuz telgraf olarak ortaya çıkmıştır. Fakat zamanla kablosuz iletişimin, insan hayatını kolaylaştıracak diğer özellikleri ortaya çıkmaya başladığında, olay çok farklı boyutlara ulaşmıştır.

Artık endüstride ve günlük hayatta kablosuz iletişim çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları garaj kapısı kontrolünden evimizdeki elektrikli fırınlara, su pompa istasyonlarının uzaktan kontrolünden endüstriyel makine otomasyonuna kadar değişmektedir.

Kablosuz iletişim yöntemleri kullanarak bir kontrol sistemi gerçekleştirilmek istendiğinde bir kontrol mekanizması ve denetlenecek bir veya daha fazla sistem olması gerekmektedir. Genelde denetlenecek üniteler sabit ve denetleme ünitesi ise hareket edebilir şekilde tasarlanır. Örneğin ev otomasyonunda kumanda görevi gören bir kontrol sistemi vardır ve evdeki fırın, perdeler, televizyon, müzik sistemi vb birçok cihaz bununla kontrol edilebilir. Benzer şekilde bu sistem tasarımı endüstriyel alanda da gerçekleştirilebilir.

Yapılan bu tez çalışmasında, yukarıda bahsi geçen kontrol sistemini gerçekleştirecek bir model geliştirilmiştir.

Günümüzde RF ile veri iletişiminde birçok modülasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerde amaçlanan daima yüksek hızlarda ve mesafede en düşük hata oranında veri transferini gerçekleştirmektir. Ancak, en önemli bu üç faktörün bir araya gelmesi donanımın maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda en uygun çözümü gerçekleştirmek amacıyla gürültüye dayanıklılığı ve kolaylığı nedeniyle FSK (Frekans shift keying-Frekans kaydırmalı anahtarlama) yöntemi kullanılmıştır.

RF devresinde bir diğer önemli unsur da kullanılan antendir. Gerçekleştirilen uygulamada piyasada bulunabilen uygulama türüne, mesafesine ve veri iletim oranlarına göre üretilmiş hazır antenler kullanılmamış bunun yerine 1.5mm^2 kesitinde 17.3cm boyunda basit bir kablo kullanılmıştır. Böyle bir anten kullanılması durumunda, sonuç olarak çok daha yüksek iletim mesafeleri ve daha düşük hata oranı yakalanacaktır.

2. KABLOSUZ İLETİŞİMİN TARİHİ

Çoğu zaman insan radyo veya kablosuz iletişim arasında büyük bir fark olmalı diye düşünülüyor. Fakat okunuş şekilleri dışında aralarında işlev bakımından kesinlikle bir fark yoktur.

Kablosuzun anlamı kıvılcım, gürültü veya daha çok anahtarlama değildir. Kablosuz iletişimin anlamı kabloların yerlerini alan antenler arasında kablo kullanılmaksızın veri iletişimi yapmaktır. Radyonun anlamı ise kesinlikle bu tanıyla aynı şeydir. İkisi de aynı şekilde çalışır. Kablosuz dalgalarla iletişim SOS'lerden veya denizdeki bir gemiden gelen mesajlardan oluşur.

Tablo1'de kablosuz teknoloji devriminin basit bir zaman diyagramı gösterimi gösterilmektedir.

2.1 Herşeyin Başlangıcı Marconi

"Şubat 1896'da Gulglielmo Marconi işletime hazır olan kablosuz telgraf aparatlarını İngiliz otoritelerine göstermek için İtalya'dan İngiltere'ye seyahat etti. Onun ilk İngiliz patenti uygulaması aynı yılın 2 Haziranında resmi işleme koyuldu.

Bu zamanlarda İngiliz Posta Ofisi ve Telgraflarının Şef Elektrik Mühendisi olan Mr. W.H. Preece kooperatifi sayesinde 1896 Temmuzunda işaretler Salisbury Ovasının bir, üç ve dördüncü millerine kadar gönderildi." (Ekşioğlu, E.M., 2007, Haberleşmenin Temelleri)

Tablo 2.1: Kablosuz iletişimin tarihi
(Ekşioğlu, E.M., 2007, Haberleşmenin Temelleri)

1896	Gulglielmo Marconi ilk kablosuz telgraf sistemi geliştirildi.
1927	İlk ticari Radyo telefon servisi Britanya ve US arasında çalışmaya başladı.
1946	İlk araba tabanlı mobil telefon St. Louis'de bas konuş teknolojisi kullanılarak kuruldu.
1948	Claude Shannon bilgi teorisinde veri sıkıştırma, hata algılama ve doğrulama için temel oluşturan, iki bildiriyi yayınladı.

Tablo 2.1(Devam): Kablosuz iletişimin tarihi
(Ekşioğlu, E.M., 2007, Haberleşmenin Temelleri)

1950	TD-2, İlk karasal mikrodalga iletişim sistemi 2400 telefon devreleri kuruldu.
1950	Ellilerin sonunda birçok bas konuş mobil sistemler CB-radyo, taksiler, polis vb için büyük şehirlerde kuruldu.
1960	Atmışların başlarında Gelişmiş Mobil Telefon sistemleri çok kanallı ve daha güçlü anlık alıcı ve vericiler geliştirildi.
1962	İletişim uydusu olan Telstart yörüngeye oturdu.
1964	Uluslararası Telekomünikasyon Uydu Konsorsiyumu (INTELSAT) kuruldu ve 1965'te coğrafi istasyon uydusu Early Bird fırlatıldı.
1968	Savunma Gelişmiş Araştırma Ajansı – US(DARPA) modern internetin babası olan Gelişmiş Araştırma Projeleri Ajansı (ARPANET)'i geliştirmek için BBN' yi seçti.
1970	Yetmişlerin sonunda X.25 standardının ortaya çıkmasıyla verimli data iletişimi anlamına gelen Paket Anahtarlama ortaya çıktı.
1977	Bel laboratuarları tarafın gelişmiş mobil telefon sistemleri ilk olarak coğrafik bölgeleri hücrelere bölerek Us'ta kuruldu.
1983	1 Ocak'ta hızlı büyümeye önderlik eden ARPANET için TCP/IP resmi protokol olarak kabul edildi.
1990	Motorola İridyum sistemi olarak bilinen düşük yeryüzü yörüngesi iletişim uydusu fırlatma 77 ye izin için resmi işlemleri uygulamaya koydu.
1992	Bir milyonuncu host, (ki şu an her yıl sayı ikiye katlanıyor) internete bağlandı.
1993	Internet Protokolü versiyon 4 (IPv4) Transport Kontrol Protokolü ile internet üzerine bağlantılarda güvenli iletim için kuruldu.
1994	FCC 7.7 milyar dolara 1.7 den 2.3 GHz 'e kadar olan Kişisel İletişim Servisi (PCS) spektrumunu lisansladı.
1998	Ericson, IBM, Intel, Nokia ve Toshiba dizüstü bilgisayarlar veya cep telefonları ve bilgisayar istasyonları arasında kablosuz data değişimi için Bluetooth'u geliştirmek için birleşeceklerini açıkladılar.
1990	Layer 2 Tunnelling Protocol (L2TP)'e dayanan Sanal Özel Ağlar (Virtual Private Network VPN) ve IPSEC güvenlik teknikleri kullanılabilir oldu.
2000	802.11(b)-tabanlı ağlar popüler oldu.

“Mart 1987’de Salisbury ovasında 4 millik bir mesafede kablosuz sinyallerle kaplandı. Aynı yılın Mayıs 13’unde Lavernock noktası ve Brean Down İngiltere arasında 8 millik mesafede iletişim kuruldu.

1890, 1896 tarihleri arasında Amerika’daki bir çok bilim öğrencisi Avrupa’daki gelişmelerle temas içindelerdi. Fakat 1987’de Avrupa’daki gelişmelerin getireceği ticari olasılıkların farkına vardıklarında bu durum değişti.

Mart 1897’de McClure’nin dergisinde H.J.W. Dam tarafından Dr Chunder Bose ve genç Marchoni’nin Hertz tecrübelerinin anlatıldığı “Kablosuz Telgraf” adıyla uzun bir başlık atıldı.

1897 (Telgraf Çağı, Newyork) 1 Kasım ve 15 Kasım tarihli yayınlarda tekrar “Marchoni Telgrafı” adlı Londra Elektrikten uzun bir başlık atıldı. Bu başlık Marchoni’nin 1896’nın 12039 numaralı İngiliz patent şartnamesine uygun olarak hazırlanmış teknik tanımlamaları temel alarak oluşturulmuştur.

Eylül 1899’da Newyork limanındaki yat yarışları esnasında raporları iletmek amacıyla Ponce vapuruna Marconi tarafından radyo cihazları techiz etti. İki alıcı istasyon kuruldu: birisi Commercial Cable Company’nin telgraf gemisinde, Sandy Hook yakınına yerleştirildi ve diğeri Navasink Highland’da Mart 1901’de Marconi Company Hawaii grubundaki beş adaya 5 adet istasyon yerleştirildi.

Aynı yıl Kanada devleti Strait of Belle Isle’de iki istasyon kurdu. Aynı zamanda Newyork Herald istasyonu yapıldı.

İtalyan bilim adamı Guglielmo Marconi 12 Aralık 1901’de, İngiltere’deki Cornwall’dan Kanada’ya bağlı Newfoundland’e ilk Atlantik ötesi radyo sinyalini göndermeyi başardı. Bu tarihi sinyalle, bugünün teknoloji uzmanlarının dillerinden düşürmedikleri “kablosuz iletişimin” ilk büyük adımını da atmış oldu.

Mors alfabesinde “s” harfini temsil eden üç noktadan oluşan mesaj 2.700 km mesafeyi kat ederek radyo sinyallerinin uzun mesafeleri kat edebileceğini ve dünyanın yuvarlaklığına rağmen uzun mesafelerden yakalanabileceğini kanıtladı. Bu buluş radyo, televizyon ve modern iletişim araçlarına uzanan teknolojik gelişmenin öncüsü oldu. Aradan geçen yüz senenin ardından aralarında Marconi’nin oğlunun da bulunduğu bilim severler mesajın gönderildiği Cornwall’daki Poldhu noktasında bir araya geldiler ve İngiliz Kraliyet Donanması’nda görevli bir grup mühendis yerel saatle 16:00’da, Marconi’nin kullandığı metodun aynısını kullanarak aynı mesajı Newfoundland’e bir kez daha ilettiler.

Marconi’nin girştiği deneme 20. yüzyılın ilk günlerinde diğer bilim adamları tarafından macera olarak değerlendiriliyordu. Dönemin bilim dünyası, elektromanyetik dalgaların düz dalgalar halinde ilerledikleri ve bu nedenle dünyanın eğimi tarafından emilecekleri yada uzayda kaybolacakları gerekçelerini savunarak, uzun mesafeler arasında kablosuz iletişimin imkansız olduğunu savunuyorlardı.

Zamanının bilimsel tabularını yıkan Marconi hayatı boyunca hayali olan radyo istasyonlarının dünyayı birbirine bağladığı günleri yaşayarak gördü. Ancak muhtemelen kendisi de, elde ettiği başarının, bir gün Poldhu noktasına gelecek habercilerin haberlerini fax, telefon, e - posta ve sms yolu ile kablosuz olarak ileteceği günleri getireceğini tahmin etmemişti.” (Ekşioğlu, E.M., 2007, Haberleşmenin Temelleri)

2.2 Paket Data

Paket data teknolojisi 1960'ların ortasında geliştirildi ve 1969'da kurulan ARPANET 'de pratik uygulamaya geçirildi. 1970'de ALOHANET'de başlayan, ilk geniş ölçekli paket radyo projesi Hawai Üniversitesi'nde gerçekleştirildi.

1978'de Kanada Montreal'de amatör olarak paket radyo başladı ve ilk iletim Mayıs 11'de gerçekleşti. Bunu Vancouver Amateur Digital Communication Group (VADCG) 1980'de Terminal Node Controller (TNC) 'ü geliştirdi.

Geçerli TNC standardı Ekim 1981'de IEEE bilgisayar topluluğunun bir görüşmesinde bir tartışmadan dolayı gelişti. Bir hafta sonra ilgililerin altısı bir araya gelerek makul fiyatlarda amatör olarak kullanılan TNC gelişiminin olabilirliğini tartıştılar. Tuscon amatör paket radyo şirketi (TAPR) bu projeden oluştu. 26 Haziran 1982'de Lyle Johnson ve Den Connors ilk TAPR ünitesi ile bir paket bağlantıya başladı. Proje ilk prototip ünitesinden TNC-1'e ilerledi ve son olarak su an dünya çapında pek çok paket uygulamanın temeli olan TNC-2'ye gelişti.

Paket diğer digital modlar (transparent, hata doğrulama ve otomatik kontrol) üzerinde 3 büyük avantaja sahiptir.

Paket istasyonun çalışması son kullanıcı için transparenttir. Terminal Node Controller (TNC) otomatik olarak mesajı paketlere böler, vericiyi anahtarlar ve sonra paketleri gönderir. Paketler alınırken TNC otomatik olarak decode eder hataları kontrol eder ve alınan mesajı gösterir.

Paket radyo hata algılama sistemi kurarak hatadan bağımsız iletişim sağlar. Paket alınırsa hata için kontrol edilir ve sadece doğru ise gösterilir. Ek olarak herhangi TNC paket yedekleme istasyonu gibi çalışır. Bu birkaç paket istasyon bir arada sıralayarak daha geniş bir menzile izin verir.

Kullanıcılar evde olup olmadıklarını görmek için istedikleri herhangi bir anda arkadaşlarına bağlanabilir. Başka mod'lardan diğer bir avantajı anlık olarak aynı frekans kanalını kullanmak için birçok kullanıcıya izin verir.

Paket radyo, yüksek radyo frekansında çok yaygın olarak kullanıldığından bu yana, iletim alanı oldukça sınırlıdır.

İletim alanı verici gücün ve tipinden etkilenir ve antenin yeri anten besleme hattının uzunluğu ve kullanılan gerçek frekans kadar iyi olmalıdır.

İletim alanını etkileyen diğer bir faktör tepeler, bina grupları gibi yapılardır. 144-148 MHz arasındaki bağlantılar yukarıdaki söz edilen özel kombinasyonlara bağlı olarak 10-100 mil arasında olabilir.

2.3 Ses Teknolojileri

"7 Kasım 1920'de çıkan Boston Sunday Post sayısında John T. Brady tarafından yazılan bir başlık trenle seyahat ederken kablosuz olarak konuşma adını taşıyordu ve hareket eden bir araçtan ofisinizle konuşmak artık mümkün olduğu anlatılıyordu. Başlık Amerikan radyo ve araştırma şirketinin başına geçen Harold J. Power ve Mr Brady tarafından test edilen iki yönlü radyo konuşmasının bir öngörüsüydü." (Ekşioğlu, E.M., 2007, Haberleşmenin Temelleri)

Geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından kullanılabilen kablosuz telefonlar, teknolojinin ihtiyaç duyduğu bazı gereksinimler nedeniyle 1980'lere kadar mümkün olmadı. Bireysel kullanım için telefonların kullanımı dağıtılmış eğlence ve haber içi uygulamalara gölge düşürmesine rağmen radyoda ise tam tersi oldu. Kişisel mobil iletişim için önemli bir şekilde radyo iletişimi gelişmiştir.

2.4 Hücresel Teknoloji

Hücresel ağlarda ana istasyona bağlı antenlerle radyo portları vardır. Bu ana istasyon mobil istasyon olarak bilinen kullanıcı ekipmanlarını yönetir. MS'den BS'e kadar yer alan iletişim uydu-yer (uplink) olarak bilinir. BS'den MS'e iletişim yer-uydu (downlink) olarak bilinir. Yer-uydu tartışmasızdır bununla birlikte bazı MS'ler eşzamanlı olarak uydu-yer girer. Bu uydu-yer çoklu giriş tekniği olan çok önemli bir karakteristik kullanır.

Frekans-bölme çoklu giriş (CDMA), zaman-bölümü çoklu giriş (TDMA) ve kod-bölümü çoklu giriş (CDMA) bu günlerde oldukça sık kullanılan fiziksel katman-çoklu giriş teknikleridir.

Hücresel ağların kızılötesi yapıları mobil anahtarlama merkezleri içerir (MSC). Bunlar bir veya daha fazla BS'i kontrol eder ve kablolu anahtarlanmış telefon ağı (PTSNT) için ara yüzey sağlar.

3. KABLOSUZ İLETİŞİM

Kablosuz iletişim kullanıcı açısından bakıldığında sadece hava ortamından ses ve görüntü gibi verileri bir yerden diğerine aktarmaktan ibarettir. Bu bağlamda kullanıcı olarak bu kadarını bilmek yeterlidir. Fakat olaya teknik bir açıdan bakılmak istendiğinde atılması gereken ilk adım iletişimin ne olduğunu anlamaktır. Bu sorunun cevabı ise kısaca; bilginin bir yerden başka yere hatasız olarak taşınmasıdır. İletişim gerçekleştirmek içinse kullanılan yöntem modülasyondur.

Modülasyon bir bilgi sinyalinin, yayılım ortamında iletilebilmesi için ortam içinde rahatlıkla hareket edebilen başka bir taşıyıcı sinyal üzerine aktarılması olayına denir. Genelde orijinal sinyal taşıyıcının genlik, faz veya frekansına modüle edilir. Modülasyon işlemi sınıflandırılırken, iki farklı bakış açışı kullanılabilir. Bunlar modülasyonda kullanılan taşıyıcı dalga ve bunu modüle eden bilgi sinyalidir.

Günümüzde bir çok modülasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar farklı özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılabilir.

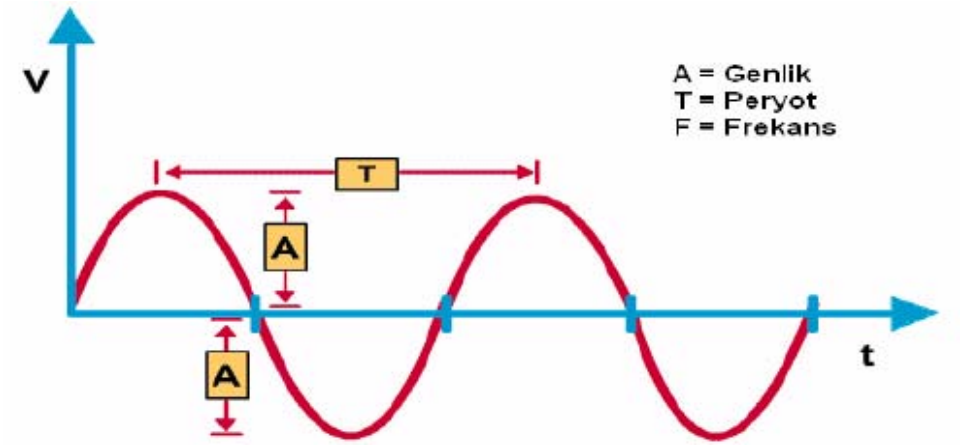
Sinyal türüne göre sınıflandırma yapmak istenirse;

- Analog Modülasyon
- Sayısal Modülasyon

olarak iki gruba ayrılır.

3.1 Analog Haberleşme

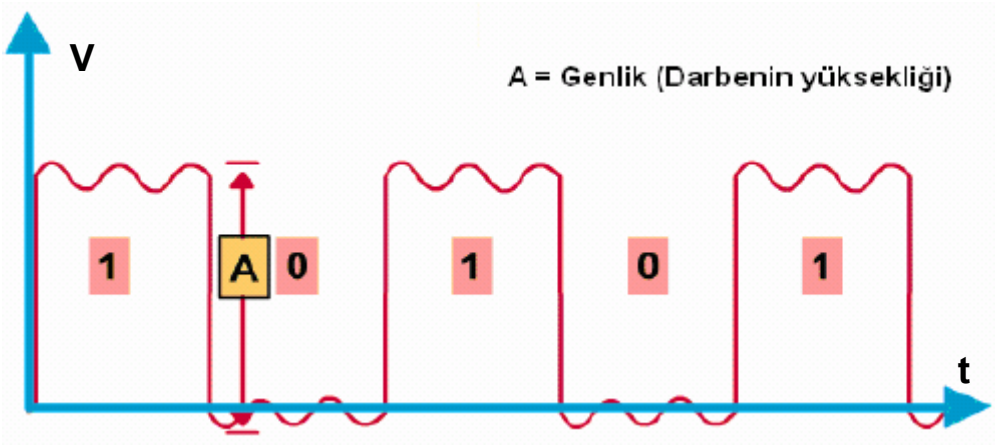
Bazı haberleşme dönüştürücüleri, orijinal bilgi enerjisinin ani değişimlerini doğrudan takip ederek elektronik sinyaller üretirler. Şekil 3.1'deki bu tip sinyallere "Analog Sinyal" adı verilir. Örneğin, bir mikrofon kendisine uygulanan ses enerjisinin değişimini takip eden bir elektronik sinyal üretir. Bu Analog sinyaller kullanılarak yapılan haberleşmeye "Analog Haberleşme" adı verilir.



Şekil 3.1: Herhangi bir A genlikli, T periyotlu ve F frekansında bir sinüzoidal analog sinyal

3.2 Dijital Haberleşme

Bazı sistemlerde dönüştürücü, sistemin her iki ucundaki insanlar veya makineler tarafından anlaşılan ve önceden belirlenmiş kod darbeleri veya değimleri şeklinde elektronik sinyaller üretir. Şekil 3.2'deki bu tip sinyallere "Dijital Sinyal" adı verilir. Örneğin ağ sistemleri arasındaki haberleşmede kullanılan sinyalizasyon verilebilir. Dijital sinyaller kullanılarak yapılan haberleşmeye "Dijital Haberleşme" adı verilir.



Şekil 3.2: Herhangi bir sayısal ifadenin A genlikli darbelerle ifadesi.

3.3 Analog ve Sayısal Haberleşmenin Karşılaştırılması

Günümüzde en önemli üretim kriterlerinden biri maliyettir. Bir diğeri ise piyasada bulunan geniş ürün yelpazesi dolayısıyla entegrasyondur. Bu bakımdan Dijital Teknoloji geniş ölçekli entegrasyon ve yarı iletkenler sayesinde çok küçük maliyetli sistemlerin oluşturulabilmesine olanak sağlar.

Analog iletimde bir sinyal yükseltildiğinde gürültü de onunla birlikte yükselir. Sinyal birçok yükseltme istasyonundan geçtikçe de gürültü birikir. Bu nedenle uzun mesafelerde analog sinyallerin kullanımı sıkıntı yaratmaktadır. Bununla birlikte dijital iletimde her yineleyici istasyonu, darbeleri yeniden üretir. Böylece temiz (gürültüsüz) darbeler oluşturulur ve yeni bir temizleme işleminin yer aldığı bir sonraki yineleyiciye gönderilir, sinyaller gürültülü bir ortamdan geçer, fakat daha fazla bozulacağı yerde sürekli yeniden üretildiğinden gürültüden etkilenmez. Sonuç olarak da uzun mesafeler de sağlıklı iletim gerçekleştirilmesi daha kolay ve sağlıklı olmaktadır.

Dijital teknoloji ile çoğullama işlemi daha rahat olduğundan iletim kapasitelerinin verimli şekilde kullanılması sağlanır.

Kağıt üzerinde yapılan hesaplamalar ve yöntemler dijital ortamda yazılıma dökülerek, şifreleme ve kodlama tekniklerinin dijital sinyallere uygulanması daha kolaydır.

3.4 Haberleşmedeki Kısıtlamalar

Herhangi bir haberleşme sisteminde amaç, gönderilen bilgi işaretini, alıcı uçta olduğu gibi geri elde etmektir. Ancak, bu amaca genellikle erişilemez. Bir başka deyişle, gönderilmiş olan bilgi, bazı kısıtlamalar nedeniyle, olduğu gibi geri elde edilemez. Bu kısıtlamalar bazı kaçınılmaz doğa olayları yada iletişim tasarımını yapan kişilerden kaynaklanır. O halde, alıcı tarafta bilgiyi aslına olabildiğince yakın bir biçimde elde etmek daha gerçekçi ve uygulanabilir bir yaklaşım olur. Bu nedenle birçok uygulamada, asıl bilgi işaretinden bazı sapmalara hoşgörü gösterilir. Bir haberleşme sistemindeki ana kısıtlamalar aşağıdaki başlıklarda toplanabilir;

- Gürültü ve Girişim
- Bant genişliği
- Sinyal Gücü

3.4.1 Gürültü ve girişim

Modüle edilmiş bir işaret, iletim ortamında istenmeyen bozulmalara uğrar. Bu bozulmaların nedenleri; elektrik fırtınaları, şimşek, yıldırım gibi atmosfer olayları olabileceği gibi, elektrik aygıtları yada başka işaretler nedeniyle oluşan girişim gibi

insan yapısı kaynaklar da olabilir. Bozulmaların başka bir kaynağı da haberleşme sisteminin kendi içinde ürettiği gürültüdür. Gürültü düzeyi, kullanılan modülasyon türüne bağlıdır. Gürültü etkisinin az olduğu modülasyon türlerinde genellikle daha çok bant genişliği kullanılır. Her iletişim hattının belirli bir gürültü düzeyi vardır. Gürültü ve nedenleri kendi içinde 4 ana başlıkta ele alınabilir:

• Termal sıcaklığa ait gürültü (Thermal Noise).
• Modülasyonlar arası gürültü (İntermodulation Noise).
• Çapraz konuşma (Crosstalk).
• Uyarım gürültüsü (Impulse Noise).

3.4.2 Bant genişliği

Haberleşme sistemleri için başka önemli bir sınırlama ise bant genişliği kısıtlaması olup bu kısıtlama uluslararası iletişim kuruluşlarınca belirlenir.

Gürültünün azaltılması için bant genişliğinin arttırılması, birbirleriyle çelişen iki kavramdır. Ancak, diğer kullanıcılar nedeniyle bant genişliği istenildiği gibi arttırılamaz.

Bu nedenle iyi bir iletişim sistemi, bu kısıtlamalar arasında kurulan dengenin sonucunda ortaya çıkar.

Bir kanal üzerinden gönderilebilecek maksimum bilgi miktarı “kanal sığası” olarak adlandırılır ve sistemin bant genişliğine bağlıdır. Belirli bir bant genişliği kaplayan bir işaret, bant genişliği daha dar olan bir sistemden geçerse bozulur.

Sistemin bant genişliği azaldıkça bozulma daha da artar. Bozulmanın artması sonucu bilginin güvenli bir şekilde iletilme hızı da azalır.

Sistemin bant genişliği, işaretin bant genişliğinden daha fazla ise bozulma olmaz. Bu nedenle herhangi bir işaretin bir sistemden bozulmaya uğramadan geçebilmesi için, sistemin bant genişliğinin sonsuz olması gerekir. Bunun ise pratikte gerçekleşmesi olanaksızdır.

Bilgi iletim hızının, işaretin frekansı ile ilişkili olduğu söylenebilir. Belli bir frekans değerinin üzerinde, haberleşme sistemi içerisindeki elektriksel devreler, doğaları veya yapım unsurları nedeniyle işaretteki anlık değişimleri takip edemezler.

Bu nedenle gönderilen işaretin alıcıda tekrar doğru bir şekilde elde edilebilmesi için bilgi iletim hızına bir üst sınır konulur.

3.4.3 Sinyal gücü

Yukarıda açıklananlar dışında bilgi iletim hızını etkileyen başka bir etken daha vardır ve bu etken işaret gücüdür (yada S/N işaret-gürültü oranıdır). Bu etken şu biçimde açıklanabilir. Sistem bant genişliği değiştirilmeden, işaret gücü arttırılarak bilgi iletim hızı arttırılabilir. Ancak uygulama açısından ve ekonomik nedenlerle, işaret gücünü istenildiği kadar arttırmak olanaksızdır. O halde, sistem bant genişliği yada işaret gücü arttırılarak bilgi iletim hızı arttırılabilir. Ancak bu nicelikler yukarıda söz edilen nedenlerden dolayı rasgele arttırılamaz. Önemli olan; bu birbiriyle çelişen etmenlere en iyi (yada iyi) ve ekonomik şekilde bir yaklaşım (çözüm) ortaya koymaktır.

3.5 Çoğullama

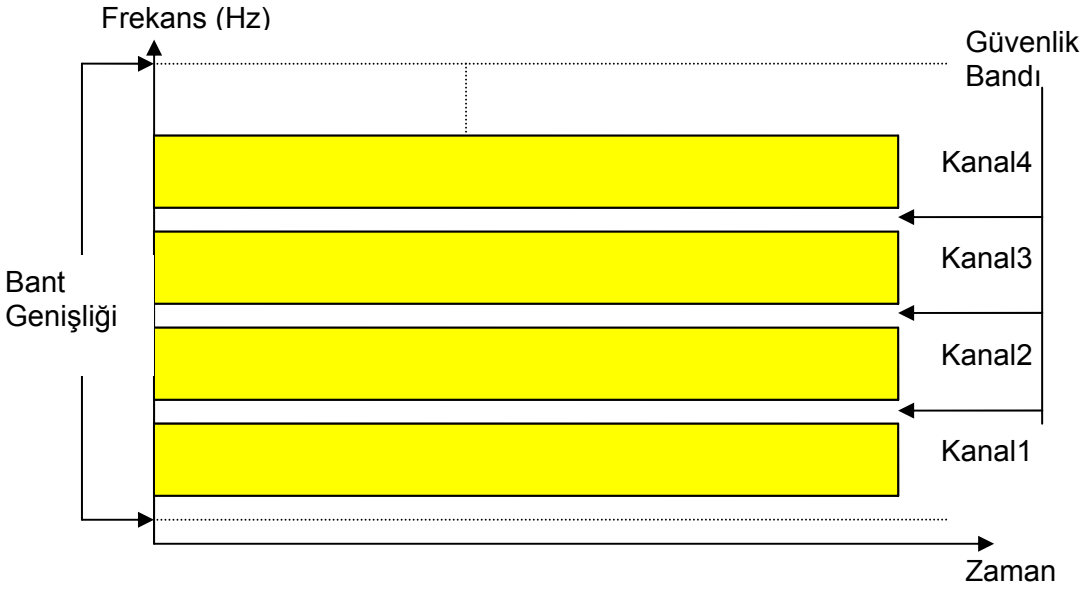
Herhangi bir iletim hattının, verilen bir zaman aralığında maksimum bir bant genişliği vardır. Bir elektriksel iletişim hattı sadece iki uç arasındaki konuşmayı iletmek üzere ayrıldığı zaman önemli bir israf yapılmış olunur ve bu nedenle sistem verimi düşük olacaktır. Bu noktada sistemi daha verimli kullanabilmek amacıyla çoğullama (multiplexing) yapılır.

Çoğullama, bir hat üzerinden birden fazla bilginin eşzamanlı yada sırayla iletilmesi olayıdır. İletim hattı “kanal” adı verilen sanal tünellere bölünür. Çoğullama işlemi genelde iki şekilde yapılır;

- Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM)
- Zaman Bölmeli Çoğullama (TDM)

3.5.1 Frekans bölmeli çoğullama (FDM)

Bu yöntem daha çok analog işaretlerin çoğullanmasında kullanır. Bu yöntemde iletim hattı bant genişliği çok sayıda frekans aralıklarına bölünür. Diğer bir deyişle her iletişim kanalına mevcut hat bant genişliğinin bir bölgesi ayrılır ve bütün zamanlarda ayrılan bu bant genişliği kullanılır. Kanal kapasiteleri uygulamaya göre değişkendir. Karışmayı önlemek için kanallar, önlem amaçlı koruyucu bantlar ile birbirlerinden ayırt edilir. En iyi bilinen örneği kablolu TV sistemleridir.



Şekil 3.3: N sayıda frekans kanalına bölünmüş bant genişliği

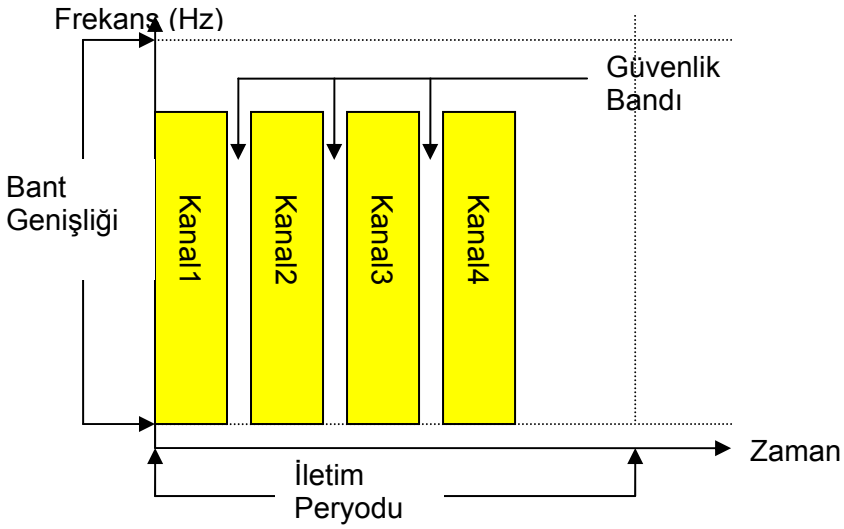
3.5.2 Zaman bölmeli çoğullama (TDM)

Bu yöntemle, bant genişliği birbirine eşit olan zaman aralıklarına bölünerek, bant genişliğinin tamamı kullanılır.

Senkron TDM: Bu yöntemde periyodik olarak her bir kullanıcı bant genişliğinin tamamını kısa bir zaman aralığı içerisinde kullanır (Round Robin yöntemi kullanılarak). Senkron TDM'de bir çerçevenin içerisindeki pek çok zaman aralığı boşa harcanır.

İstatistiksel TDM: İstatistiksel TDM asenkron veya akıllı TDM olarak da bilinir. İstatistiksel TDM zaman aralıklarını isteğe göre dinamik olarak ayırır. İstatistiksel

TDM veriyi göndermeden önce tüm bellekleri tarar, çerçeve dolana dek verileri toplar ve çerçeveyi gönderir.



Şekil 3.4: N sayıda zaman kanalına bölünmüş bant genişliği

TDM'in FDM'e göre üstünlükleri

- Kanal kapasitesi daha yüksektir.
- Gürültü oranı daha düşüktür.
- Güvenilirliği daha yüksektir.
- Fiziki boyutları daha küçüktür.
- Maliyeti daha düşüktür.
- İşletme kolaylığı sağlar.

3.6 Modülasyon

Çeşitli kaynaklar tarafından üretilen temel bant sinyalleri kanalda doğrudan iletim için uygun değildir. Bu nedenle, gönderilecek bilgi işareti, iletim kanalına uygun bir biçime dönüştürülmelidir. Bu işlem modülasyon olarak adlandırılır. Modülasyon işleminde iletim kanalına uygun taşıyıcı bir dalga vardır. Modülasyon işlemi, bu taşıyıcı dalganın bir veya birkaç özeliğini, bilgi işaretine göre değiştirmektedir. Haberleşme sisteminin alıcı ucunda genellikle orijinal temel bantlı işaretin veya işaretinin tekrar elde edilmesi gereklidir. Bu işleme de demodülasyon adı verilir. Demodülasyon, modülasyonun tersi bir işlemdir.

Modülasyonun Yararları:

- Yayılımı kolaylaştırır. Elektromanyetik alanlar, uygun hız ve şartlarda dağ tepe çukur gibi doğal engelleri kolaylıkla aşarlar. Uzayda ise uygun bir antenle çok uzaklara gidebilirler.

- Gürültü ve bozulmanın olumsuz etkilerini azaltır.

- Kanal ayrımı sağlar. Yani modülasyon sayesinde aynı iletim hattında birden çok bilgi yollama olanağı sağlar. (FDM ve TDM ile)

- Çevresel etkilerin ortaya çıkardığı pek çok sınırlayıcı etkiyi ortadan kaldırır. Etkin bir elektromanyetik yayımı sağlamak için dalga boyunun en az 1/10'nuna eşit antene ihtiyaç vardır. Modülasyon çalışma frekansını yükselteceği için çalışılan dalga boyu (λ) ve bağlı olarak anten boyutu da küçülür.

Genelde orijinal sinyal taşıyıcının genlik, faz veya frekansına modüle edilir. Modülasyon işlemi sınıflandırılırken, iki farklı bakış açışı kullanılabilir. Bunlar modülasyonda kullanılan taşıcı dalga ve bunu modüle eden bilgi sinyalidir.

Tablo 3.1: Modülasyon tekniklerinin sınıflandırılması (Panayırcı, E., "Modülasyon Teorisi")

		Taşıyıcı Sinyal	
		Sürekli Dalga Modülasyonu	**Darbe Modülasyonu**
Bilgi Sinyali	**Analog**	**AM** **FM** **PM**	**PAM** **PPM** **PDM**
	Dijital	**ASK** **FSK** **PSK**	**PCM**

3.6.1 Sürekli dalga modülasyonu

Sürekli dalga modülasyon tipinde taşıyıcı olarak, belirli bir frekansta sinüzoidal bir dalga kullanılır.

Sürekli dalga modülasyonu özellikle, konuşma, müzik veya resim gibi zamanın sürekli bir fonksiyonu olarak değişen analog işaretlerin iletimi için uygun olmaktadır ve kullanılmaktadır.

3.6.1.1 AM modülasyonu

AM elektronik iletişimde radyo taşıyıcı dalgaları (çoğu zaman sinüzoidaldir) vasıtasıyla bilgi iletimi için çok yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. AM gönderilecek bilgi ile ilgili çeşitli şiddetteki iletim işaretleriyle çalışır. Örneğin sinyal şiddetindeki değişimler televizyon çözünürlüğünün ışık yoğunluğunu tanımlamak için veya bir hoparlör tarafından tekrar üretilecek olan sesi yansıtmak için kullanılır.

AM, telefon hatlarında başarıyla kaliteli radyo sinyali üreten ilk metottur. Sıklıkla orta-dalga radyo yayını bandında (AM Radyo) kullanılırlar.

Esasında elektrik telefonu için geliştirilmiş olan AM modülasyonu, bir telefon alıcısından vericisine yapılan düşük güçlü akışa ses verisi eklemek için kullanılır. Basit bir deyişle iletim sonunda, bir telefon mikrofonu, frekansa ve alıcı sesinin yüksekliğine göre farklı şiddetlerde gönderilen akım kullanır. Daha sonra alıcı telefon hattı sonunda, iletilen elektrik akımı, akım şiddetinin karşılığında zayıflatılmış veya kuvvetlendirilmiş bir elektromıknatıs etkiler. Dönüşte, elektromıknatıs diyaframda titreşimler üretir böylece vericide duyulan orijinal frekans ve ses yüksekliği tekrar üretilir.

Genlik modülasyonunda kullanılan taşıyıcı işaret;

$$X_c(t) = Ac\cos wt \tag{3.1}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Taşıyıcı genliğinin bilgi sinyali tarafından değiştirilebildiği birkaç çeşit modülasyon yöntemi bulunmaktadır, ama bunlardan en çok kullanılanı çift yan bantlı modülasyondur AM (DSB). Şekil 3.5 bir düşük frekans sinyali tarafından modüle edilen bir radyo frekans taşıyıcısını göstermektedir.

Modülasyon miktarı m%, – yada – maksimum genliğin minimum genliğe yüzde olarak oranı ile ifade edilir.

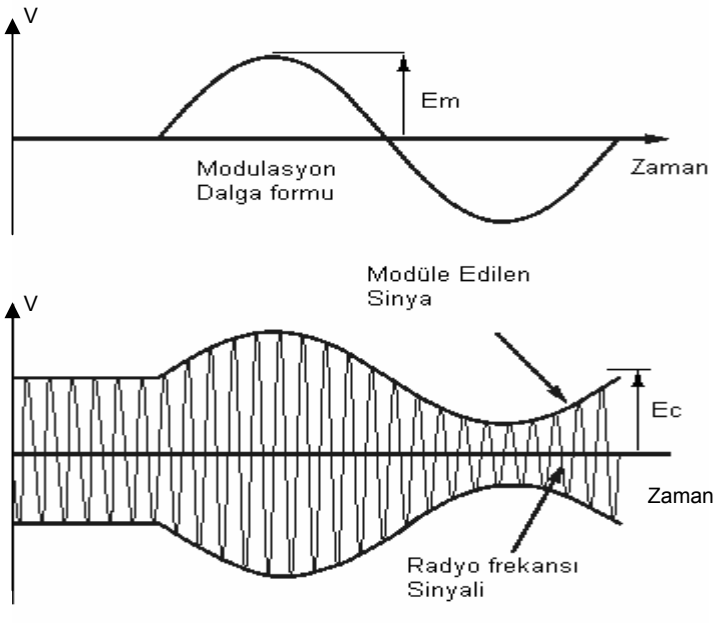
Mod derinliği = m%=((maks.genlik-min.genlik)/(maks.genlik+min.genlik))*100% (3.2)

Modülasyon minimum genlik sıfıra eşit olacak noktaya kadar artırılırsa, %100 modülasyon gerçekleştirilir. Modülasyonda bu noktadan sonra yapılacak her artış, diğer radyo kullanıcıları için parazit kaynağı anlamına gelen sahte, bant dışı frekanslara (AM sıçraması) sebep olur. Bu nedenle genlik modülasyonu derinliği genellikle %70'le sınırlandırılmıştır.

Modülasyon derinliğini ifade etmenin alternatif yolu da 0-1 aralığında tanımlanan bir modülasyon indeksidir. Şekil 3.5'deki tepe taşıyıcı gerilimi E_c ve tepe modülasyon gerilimi E_m'dir. Modülasyon indeksi M, ise:

$$M = E_m - E_c \qquad (3.3)$$

Genlik modülasyonu işlemi, taşıyıcı frekansının altında ve üstünde frekans bantları, yani alt ve üst yan bantları oluşturur. Her bir yan bandın genişliği modüle eden en yüksek frekansa eşittir. Bu şekilde, bir AM dalgasının bant genişliği, en yüksek modüle eden frekansın 2 katıdır. Spektrumu korumak için modüle eden frekanslar



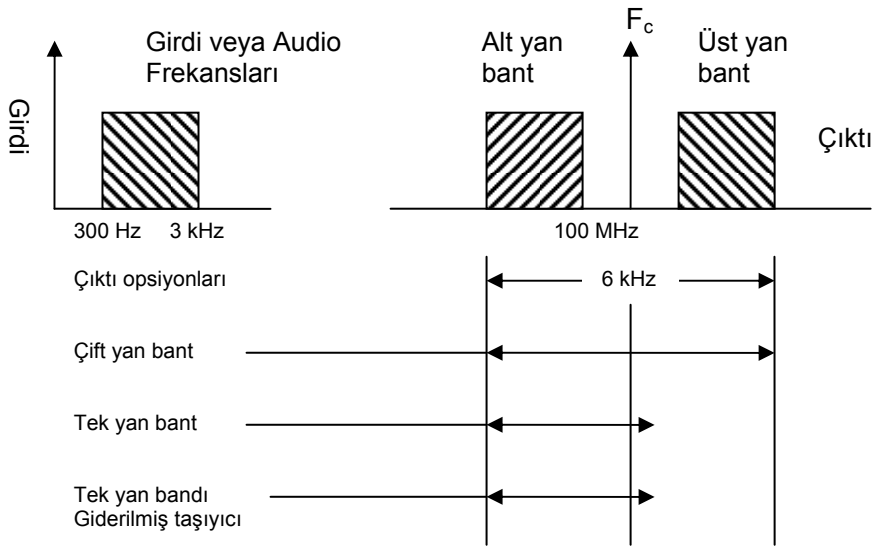
Şekil 3.5: Genlik modülasyonu

sınırlandırılmıştır. Örneğin, radyo iletişiminde kaliteli 300 Hz ve 3000 Hz aralığındadır. Bu servis için çift yan bant tarafından kapsanan, genlik modülasyonlu taşıyıcı bant genişliği, 6KHz'dir. (Şekil 3.6)

Bir AM dalgasındaki toplam güç taşıyıcının, üst yan bandın ve alt yan bandın güçleri toplamına eşittir.

$$P_t = E_{carr}{}^2 / R + E_{lsb}{}^2 / R + E_{usb}{}^2 / R \tag{3.4}$$

Tüm değerler RMS'dir (Etkin değerdir) ve R güç kaybının oluşturduğu direnci ifade eder. Şekil 3.5 'de gösterilen tepe voltajlarından modüle edilemeyen taşıyıcıdaki güç:



Şekil 3.6: Genlik modülasyonu – Yan bantlar

$$P_c = (E_c / 2^{1/2})^2 / R = E_c{}^2 / 2R \tag{3.5}$$

Yan bantlardaki güç :

$$\begin{aligned} P_c = P_{usb} &= ((mE_c / 2)^2 / (2^{1/2})^2) R = m^2 E_c{}^2 / 8R \\ &= m^2 E_c{}^2 / 4 * 2R \end{aligned} \tag{3.6}$$

Dalgadaki toplam gücün taşıyıcı gücüne oranı:

$$P_t / P_c = 1 + m^2 / 2 \tag{3.7}$$

M, 1'i aşmayacağı için dalgadaki maksimum RMS gücü P_t = 1.5P_c; fakat m 1'i geçerse E_c ve E_m 'in tepe toplamları 2E_c, anlık tepe gücü de 2P_c olacaktır. Devre bu güç düzeyinin herhangi bir bozulmaya neden olmadan kaldırılabilecek özellikte olmalıdır.

Çift yan bant genliği modülasyonu, güç ve spektrum israfına sebep olur. Gücün üçte ikisi hiçbir bilgi iletmeyen taşıyıcıdadır ve yan bantlardan birisi alıcıda ihmal edilmektedir. Ayrıca modülasyon, final güç yükselticisinde veya daha öncesinde tüm yükselticilerin doğrusal ama verimsiz bir moda çalıştığı, düşük güçlü bir aşamada gerçekleştirilmelidir.

3.6.1.1.1 Çift yan bandı giderilmiş taşıyıcı

Sinüzoidal taşıyıcı işaret ile bilgi işaretinin zaman alanında çarpılmasıyla çift yan bant işareti elde edilir. (Taşıyıcı genliği *Ac*=1 'dir.)

$$X(t) \rightarrow \otimes \rightarrow X_{ÇYB}(T)\cos(w_c t)$$
$$\uparrow$$
$$\cos(2\pi f_c t)$$

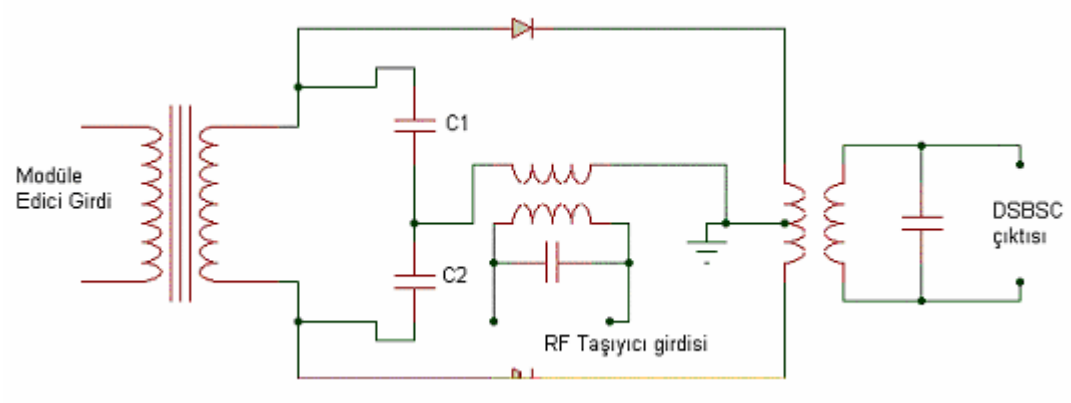
(3.8)

Frekans domeninde, bilgi işareti taşıyıcının frekansına kaymıştır.

$$X_{GM}(f) = \frac{1}{2}\left[X(w - w_c) + X(w + w_c)\right] \tag{3.9}$$

Genlik modülasyonu gerçekleştirilmiş bir dalgada taşıyıcı hiçbir bilgi iletmemesine rağmen iletilen gücün 2/3'ünü taşımaktadır. Taşıyıcıyı, dengelenmiş bir modülatör ile gidermek ve güç verimini artırmak mümkündür.

Dengelenmiş bir modülatörde modülasyon voltajı, bir dizi eşlenmiş diyot yada yükseltgen direncine bir push pull aracılığıyla beslenir. Bu sırada taşıyıcı, bunlara paralel olarak beslenir. Çıktıdaki taşıyıcı bileşenleri, iki yan banttan çıkışı iptal ederler.



Şekil 3.7: Dengeli modülatör

Sonuçta sinüzoidal olmayan ve iki yan bandın toplamından oluşan çift yan bandı giderilmiş taşıyıcı (DSBSC) dalga elde edilir. Taşıyıcı, alıcıya yeniden verilmelidir ve hem frekansının, hem de fazının kesinliği, kritik önem taşımaktadır.

3.6.1.1.2 Tek yan bandı giderilmiş taşıyıcı (SSB veya SSBSC)

Genlik Modülasyonunda hem taşıyıcı hem de mesaj işaretinin alt ve üst yan bantlarının tamamı iletilmektedir. Mesaj işareti olmasa bile taşıyıcı her zaman vardır. Mesaj işaretinin tüm özelliği alt yada üst yan bantta olmasına rağmen iki yan bantta iletilir. Bu durum güç ve bant sınırlı uygulamalarda problem oluşturacağından alt yada üst yan banttan yalnızca biri ile iletişim yapılabilir. Sadece tek bir yan bandın iletildiği durumdaki modülasyon tipine SSB modülasyonu denir. SSB işaretleri iki şekilde elde edilir.

A. Frekans Ayrım Yöntemi

SSB işareti elde etmek için önce bir DSB işareti oluşturulur. Daha sonra bant geçiren bir filtre yardımıyla istenilen yan bant süzülür ve SSB işareti elde edilir. Bu yöntem “frekans ayrım” yöntemi olarak bilinir. Ancak bu yöntem pratikte filtrenin kesim karakteristiği çok sert olması gerektiğinden kolay değildir.

$$X(t) \rightarrow \otimes \rightarrow X_{ÇYB}(t) \rightarrow BPF \rightarrow X_{TYB}(t)$$
$$\uparrow$$
$$\cos(2\pi f_c t)$$

(3.10)

B. Faz Öteleme Yöntemi

Mesaj işareti m(t); SSB'lı işaretin yerel taşıyıcı ile çarpılması sonunda ortaya çıkan işaretin alçak geçiren filtreden (LPF) geçirilmesi ile geri elde edilir.

$$X_{TYB}(t) \rightarrow \otimes \rightarrow d(t) \rightarrow LPF \rightarrow y(t)$$
$$\uparrow$$
$$\cos(2\pi f_c t)$$

$$\begin{aligned} d(t) &= X_{TYB}(t)\cos(w_c t) = [m(t)\cos(w_c t) \mp \hat{m}(t)\sin(w_c t)]\cos(w_c t) \\ &= m(t)\cos^2(w_c t) \mp \hat{m}(t)\sin(w_c t)\cos(w_c t) \\ &= \frac{1}{2}m(t)(1+\cos(2w_c t)) \mp \frac{1}{2}\hat{m}(t)\sin(2w_c t) \\ &= \frac{1}{2}m(t) + \frac{1}{2}\cos(2w_c t) \mp \frac{1}{2}\hat{m}(t)\sin(2w_c t) \end{aligned} \tag{3.11}$$

d(t) işareti alçak geçiren bir filtreden geçirilirse;

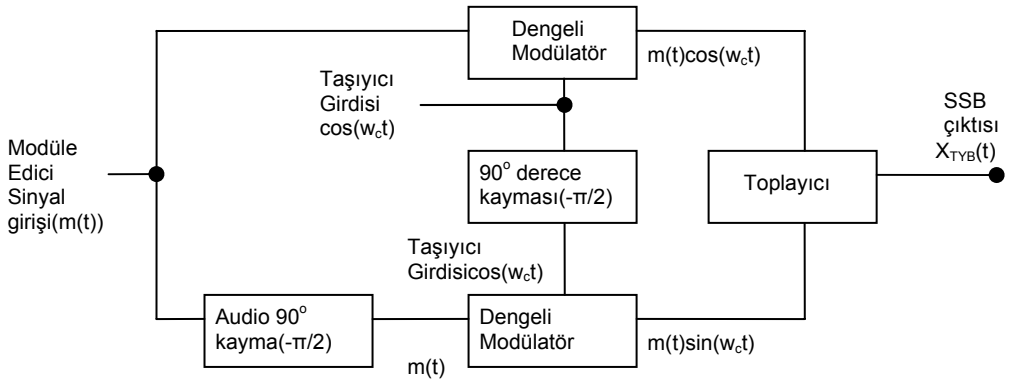
$$y(t) = \frac{1}{2}m(t) \tag{3.12}$$

elde edilir. y(t) işareti de kazancı 2 olan uygun bir kuvvetlendiriciden geçirilirse m(t) mesaj işareti geri elde edilebilir.

Çift yan bantlı AM üzerinde, tek yan bandı giderilmiş taşıyıcının avantajları şunlardır:

- Taşıyıcının giderilmesi, 2/3 oranında toplam güç kaybını önler.
- Bir yan bandın giderilmesi, kalan güçten %50 tasarruf sağlar.
- Bir SSBSC ileticisi, sadece, modülasyon varsa güç üretir.
- Bir spektrumdan tasarruf edilerek kapsanan bant genişliği yarı yarıya düşürülür.
- Alınan sinyal gürültü oranı, %100 modüle edilen bir taşıyıcı için 9 dB oranında iyileşir. Bant genişliğini yarıya düşürmek de, iyileştirilmiş yan bant gücü toplam güç oranı üzerinden 3dB'lik bir düzelme sağlar. S/N oranı, daha düşük modülasyon düzeylerinde daha da düzelir.
- Seçici sönümleme ve bunun sonunda bozulmaya yatkınlık azaltılmış olur.

Tek yan bant elde etmede, genel olarak kullanılan iki farklı yöntem oluşmuştur. Yöntemlerden biri, taşıyıcının dengelenmiş bir modülatör tarafından giderilerek istenmeyen yan bandın filtrelenmesini içerir. Diğeri ise faz kaydırma metodudur (Şekil 3.8). Burada, modüle eden sinyal, 90 derecelik bir faz farkı ile iki dengelenmiş modülatöre girer. Her iki modülatörden alınan çıktı, birer yan bant içerir fakat her iki üst yan bant girdi taşıyıcısının 90 derece önünden gider ve alt yan bantlardan birisi de 90 derece önde gider. Diğer alt yan bant, bunların 90 derece gerisinden gelir.



Şekil 3.8: Tek yan bantlı faz kayması üretimi

Toplayıcıya uygulandığında alt yan bantlar birbirini yok ederken üst yan bantlar birbirine eklenir.

Sinüzoit işaret tarafından modüle edilen tek yan bantlı bir AM dalgası, frekansı modüle eden dalgaya göre değişiklik gösteren sabit bir genlik sinyalini içerir. Bu durumun FM'deki ile aynı değildir. SSB'deki frekans, taşıyıcının her iki yanında çıkmaz. Üst yan bant iletiyorsa, taşıyıcı frekansından daha yüksek, alt yan bant iletiyorsa da daha düşüktür. Tek yan bantlı dalga formu, sinüzoidaldir ve yeniden verilen taşıyıcının yüksek oranda kesin olması gerekse de (± 2Hz) faz, alıcıyı DSBC için gereken alıcılardan daha az karışık yaptığı için önemsizdir.

Bazı sistemlerde, bir pilot taşıyıcı gönderilmekte ve tepe zarf gücü (pep) cinsinden (pilot taşıyıcıya denk bir genlikteki dalganın ve iletilen yan bandın içerdiği güç) tespit edilmektedir. Pilot taşıyıcının iletilmediği durumda, güç, tepe yan bant gücü (psp) olarak ifade edilir.

3.6.1.2 FM modülasyonu

Hem frekans hem de faz modülasyonu (her ikisinden de açı modülasyonu olarak bahsedilir), taşıyıcının genliği yerine, frekansını etkin şekilde değişime uğratır. Frekans modülasyonu taşıyıcı frekansını doğrudan değiştirir. Fakat taşıyıcı frekansının genliği, modülasyon voltajından bağımsız şekilde sabit kalır. Açı modülasyonu, VHF ve üzerinde, iletişim ve yayın hizmetleri için kullanılmaktadır.

$S_{(t)}$ ile gösterilen giriş sinyali zaman domeninde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$S_{(t)} = \cos(w_c + w_{(t)})t \tag{3.13}$$

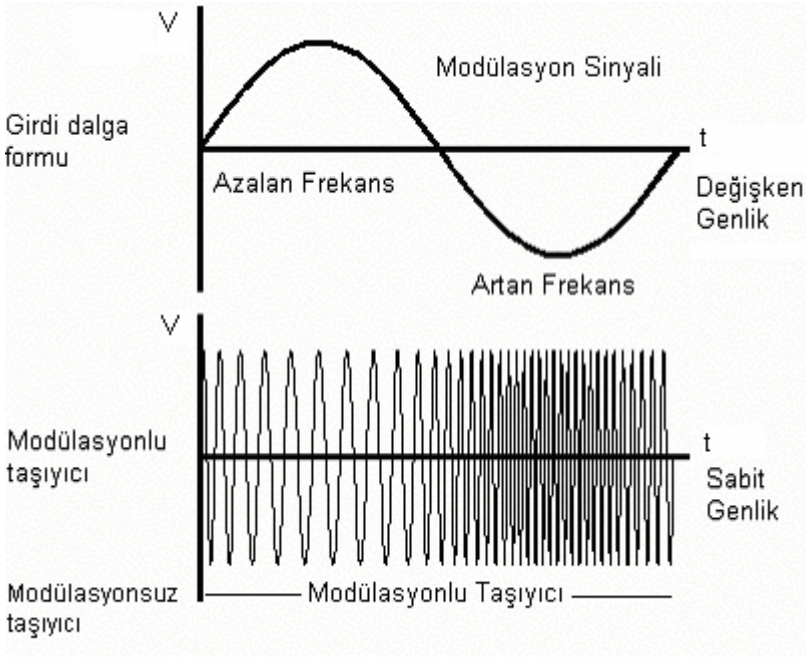
Frekans modülasyonu ile modülasyon gerilimi pozitifken, bir taşıyıcının frekansı, ya artar yada azalır ve modülasyon gerilimi negatifken tam tersi şekilde değişim gösterir (Şekil 3.9). Modülasyon miktarı bir başka deyişle taşıyıcının gerçek frekansından 'sapması', modülasyon gerilimi frekansıyla değil, genliğiyle orantılıdır. Modülasyon endeksi, M, sapma bölü modülasyon frekansı olarak tanımlanır.

$$M = f_d / f_m \; veya \; W_d / W_m \tag{3.14}$$

f_d = Hertz cinsinden sapma miktarı
f_m = Hertz cinsinden modülasyon frekansı
$W_d = 2\pi f_d$ = radyan cinsinden sapma
$W_m = 2\pi f_m$ = radyan cinsinden modülasyon frekansı

Sapma oranı D ise şu şekilde bilinir;

$$D = f_d \max / f_m \min \tag{3.15}$$



Şekil 3.9: Frekans modülasyonu

Tepe sapma gerçekleşen en yüksek miktardaki modülasyondur. (%100 genlik modülasyonuna eşdeğer) FM ile, bu, sadece, spektrumu koruma ihtiyacı ile sınırlandırılmıştır. %100 AM' dekinin tersine bozulmanın oluşabileceği teknik bir sınır yoktur. Bir servis için verilen maksimum sapma, düzenleme ile belirlenir.

Bir frekans modülasyonlu sinyalin bant genişliği, taşıyıcı ve modüle edici frekansta birbirinden ayrı dizilmiş durumda, bazen yan akım diye de adlandırılan, bir dizi yan banttan oluşur. Yan bantların sayısı modülasyon indeksi ile orantılıdır ve bunların genlikleri, taşıyıcıdan uzaklaşmalarıyla azalır. Çoğu zaman M+1 sayıdaki yan bandın iletilmesi yeterlidir. İletilen yan bantların genlikleri, bu modülasyon indeksindeki taşıyıcının genliğinden %10 fazladır. Yan bantlar, taşıyıcının her iki yanında yer alır ve;

$$Birinci\ derece\ yan bantlar = f_c \pm f_m \tag{3.16}$$

$$İkinci\ derece\ yan\ bantlar = f_c \pm 2 f_m vb \tag{3.17}$$

Modülasyon indeksi 6'ya ulaştığında, FM iletimi için gereken iyi bir bant genişliği (ðf) yakınsaması, 2 (f_c + f_n) Hz'tir. Örnek olarak, ses, 300-3000 Hz, maksimum sapma 15KHz (bir VHF' ye göre , 50 kHz kanal aralıklı sistem):

$\delta f = 2 (f_d + f_m)=2(15+3)$ kHz =36kHz

M=15/3 = 5

Bant genişliği, aynı zamanda, $\delta f = f_m$ x istenen en yüksek yan bant x 2 olarak da verilebilir. Besel fonksiyonlarından (Şekil 3.10), 5'lik bir modülasyon indeksi, 6. derece bir yan bandın iletilmesini gerektirir (M+1). Bu yüzden,

$\delta f = f_m$x6x2=3x6x2=36 kHz

spesifik M değerleri için, bir FM dalgasının taşıyıcısı, kaybolur. Ardışık kaybolmalar ve modülasyon indeksleri, Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Ardışık kaybolmalar ve modülasyon

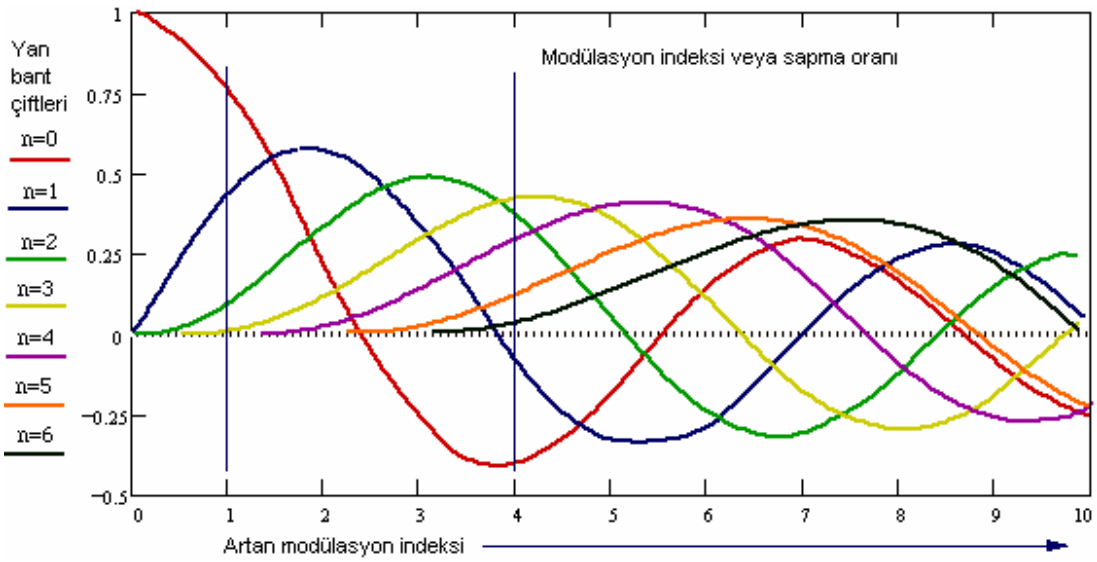
Kaybolma Derecesi	Modülasyon İndeksi M
1	2.40
2	5.52
3	8.65
4	11.79
5	14.93
6	18.07
n(n>6)	18.07+π(n-6)

Modülasyon indeksinin π/2'yi geçtiği sistemler, geniş bant FM (WBFM) olarak alınır. π/2'den küçük modülasyon indeksine sahip sistemler dar bant FM (NBFM) olarak adlandırılır. Bir NBFM sinyalinin bant genişliği 2* f_m max 'tır.

Spektrum üzerindeki kısıtlamalar, iletişim için dar kanal boşluklarını gerektirir ve VHF' de, 12.5kHz ± 2.5kHz maksimum izin verilen sapma değeri ile, normal kabul edilir. Sınırlı bir modülasyon indeksli, düşük performans standartları ve 3kHz frekansı, kabul edilebilir olmalıdır.

12.5 kHz kanal boşluklu sistemlerde kullanılan vericiler için, en yüksek modülasyon frekansı, pratik değerdedir. 2700 Hz, çünkü, spesifikasyon, frekans tepkisinin 2.55 kHz'in üstüne çıkmasını gerektirir.

Bu tür sistemlerdeki modülasyon indeksi, 3 kHz gibi yüksek bir modülasyon frekansı ile, 2.5/s=0.833'tür (<π/2 ve bu nedenle sistem NBFM'dir) ve 2. derece yan bandın genliği, <taşıyıcı genliğinin %10'u (Şekil 3.10), bu nedenle, bant genişliği, 2* f_m max=6 kHz'tir.



Şekil 3.10: Değişik modülasyon indekslerinde, FM dalgasının bileşenlerinin genlikleri

"FM'in AM radyo yayıncılığı üzerindeki önemli bir avantajı, stereo sesin mevcudiyetidir. Bu, stereo bir görüntü oluşturmak amacıyla, sağ ve sol audio sinyallerinin iletilmesini ve alınmasını gerektirir. Buna rağmen, stereo ile beraber, halen mono alım yapmak isteyen büyük sayıdaki dinleyici için, AM yayıncılığı da yapılmaya devam edilmelidir. Stereo FM bulunsa da eski mono radyoları bulunan kullanıcılar halen bundan habersiz, yayınlarını almaya devam etmektedirler. Bu koşul olamadan daha basit bir metot seçilebilir. (Kayran, A., "Analog Haberleşme")

Tablo 3.3: FM ve AM'in karşılaştırılması

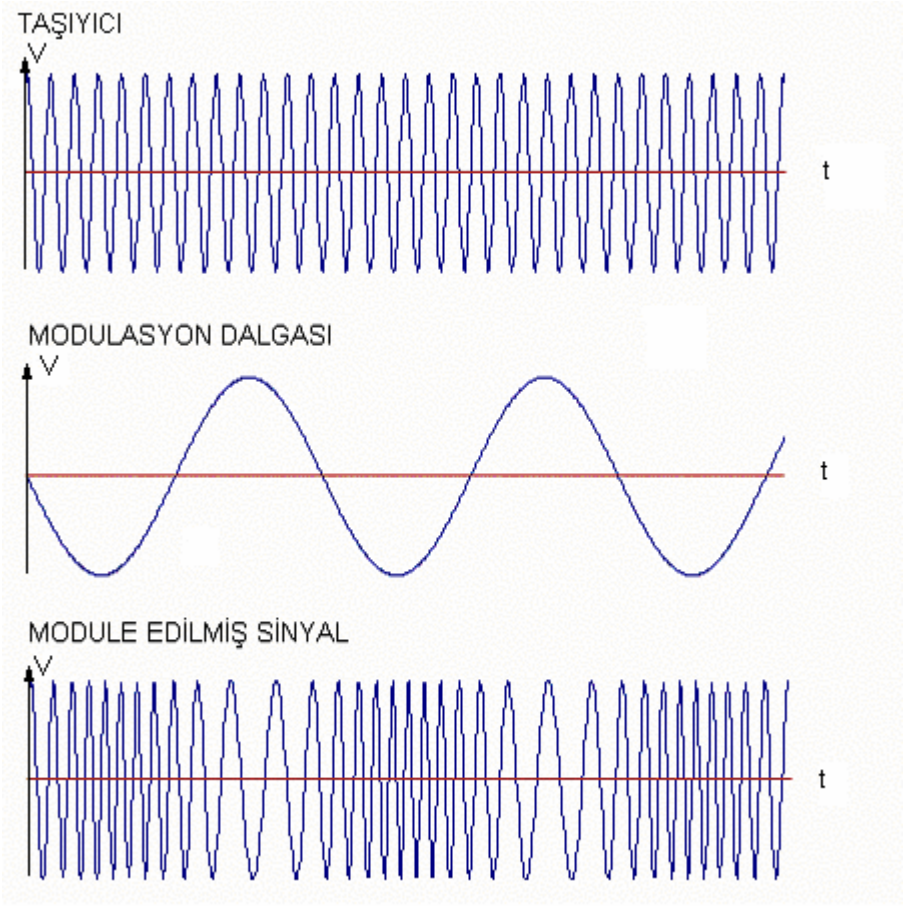
Avantajları	**Dezavantajları**
AM	
Basit modülatörler ve demodülatörler	İnsan yapımı gürültüye açık
Geniş banttan daha dar bant genişlikleri	Audio gücü, azalan RF sinyal şiddetiyle birlikte azalır.
	Verimsiz güç tüketimi
	Sınırlı dinamik aralık
	Verici çıkış gücü kolayca ayarlanamaz
FM	Daha geniş bant genişliği
Gürültüye daha az açık	Yakalama etkisi, istenmeyen derecede olabilir.Mesela; havacılık komünikasyon
Sabit audio seviyesi Hemen hemen radyo aralığının sonuna kadar	
Alıcıda yakalama etkisi	
Güç yönünden daha verimli	
Verici çıkış gücü kolayca ayarlanabilir	

3.6.1.3 PM modülasyonu

Faz modülasyonun sonucu frekans modülasyonudur fakat bunu elde etmek ve modülasyon indeksini belirlemek için kullanılan, metot farklıdır. Faz modülasyonu, taşıyıcı frekansının, doğrudan bir kristal osilatörü ile üretildiği, VHF ve UHF vericilerinde kullanılır. Bir kristal osilatörünün frekansı, sadece birkaç raydan değişebilir fakat eğer osilatörün frekansı, son taşıyıcı frekansını üretecek şekilde, çarpılırsa, faz değişimi de bir sapma frekansı verecek şekilde çarpılır.

$S_{(t)}$ ile gösterilen giriş sinyali frekans domeninde aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$S_{(t)} = \cos w_c (t + \Phi_{(t)} \qquad (3.18)$$



Şekil 3.11: Faz modülasyonu

Taşıyıcı sinyal fazının, bilgi sinyalinin genlik ve frekansına bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonuna çok benzer. Bir taşıyıcının frekansı değiştirildiğinde fazı, fazı değiştirildiğinde de frekansı değişir. Bundan dolayı FM ile PM birbirine benzer. Modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen, taşıyıcının frekansı olursa FM, modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen taşıyıcının fazıysa PM meydana gelir. Direkt FM, endirekt PM; direkt PM ise endirekt FM 'dir.

Faz modülasyonu, φ_d raydan, modülasyon indeksine eşittir, bu nedenle, faz modülasyonu için, modülasyon indeksi,

$\Phi_d = W_d * W_m$'dir. (3.19)

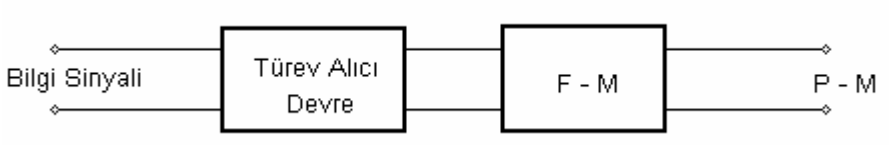
Şekil 3.11 'de PM sinyal şekilleri gösterilmiştir. Şekildeki modüle edici (bilgi) sinyalin ilk türevi cosinüs dalgasıdır. Yani, sinüsün türevi cosinüs sinyalidir. Bu sinyal, sinüs

sinyalinden 90° ileridedir. Türevi alınmış bilgi sinyalinin (-) alternanslarında taşıyıcının frekansı artar, (+) alternanslarında ise taşıyıcının frekansı azalır.

Sonuç olarak bilgi sinyalinin (-) alternansında, taşıyıcının fazı artar. Fazın artması demek, taradığı açı miktarının fazlalaşması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha kısa sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın artmasıdır.

Bilgi sinyalinin (+) alternansında, taşıyıcının fazı azalır. Fazın azalması demek, taradığı açı miktarının azalması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha uzun sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın azalması demektir.

Faz modüleli sinyalin elde edilmesi için Şekil 3.12 'deki blok diyagramda görüldüğü gibi bilgi sinyalinin türev alıcı devrede türevi alınan ve FM modülatöre uygulanır. FM modülatörün çıkışından PM elde edilir. FM de frekans sapması söz konusu iken PM'de faz sapması söz konusudur.



Şekil 3.12: Faz modüleli sinyalin üretilmesi

Ön Arka Vurgu:

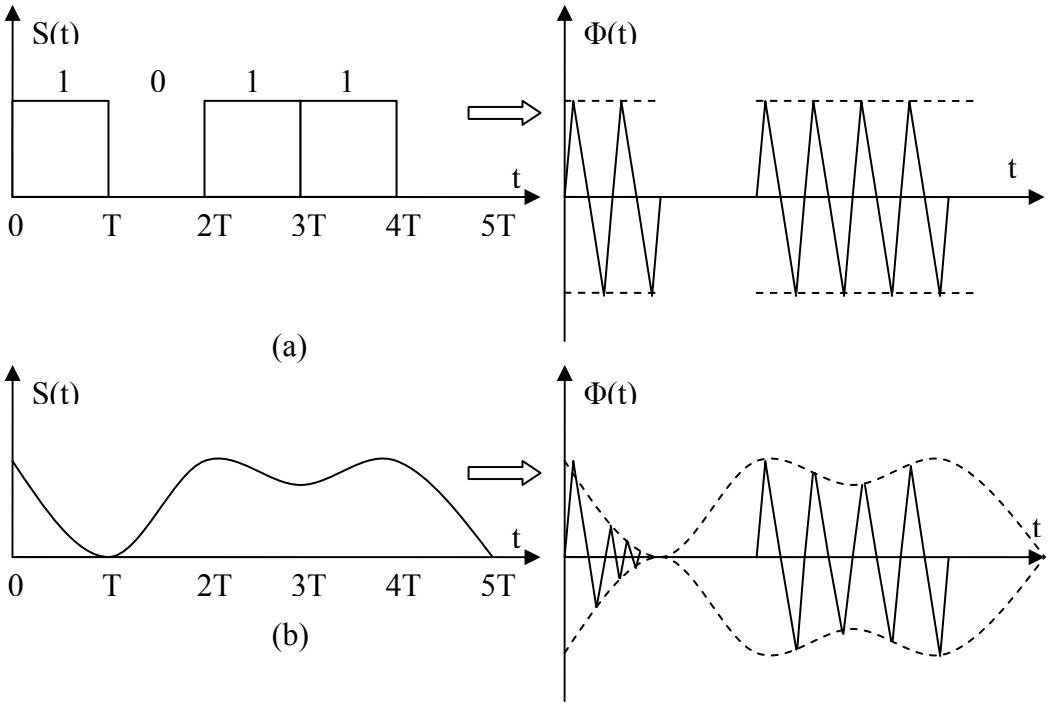
Faz modülasyonu ve artan bir frekans tepkisi vermek için değiştirilmiş FM (ön vurgu), alıcıda, geliştirilmiş bir sinyal gürültü oranı sağlar. Vericide üretilen, oktav başına +6dB'lik tepki, alıcıda, ses devresinde, oktav başına -6dB'lik bir filtre ile, düz bir tepkiye çevrilir ve bu yüksek ses frekanslarının gelişmiş seviyesini ve yüksek frekans gürültüsünü düşürür (arka vurgu).

3.6.2 Sayısal iletişim teknikleri

3.6.2.1 Genlik kaydırmalı anahtarlama (ASK)

İkili genlik kaydırmalı anahtarlama (Amlitude Shift Keying-ASK) kullanılan PCM koduna bağlı olarak, taşıyıcı işaretin genliği iki değer arasında değiştirilir. Eğer modülasyon öncesi temel bant işaret ünipolar ise, basit bir gerçekleştirme yapılabilir.

Var-yok(on-off Keying-OOK) adı verilen bu yöntemde modüle edilmiş dalga biçimleri Şekil 3.13'de görülmektedir. Tipik olarak var kodu "1" konumuna, yok durumu ise "0" koduna karşı düşmektedir. Burada gönderilen darbelerin dikdörtgen biçiminde oldukları ve, alıcıdaki gürültünün beyaz ve Gauss gürültüsü oluştuğu varsayılarak OOK incelenecektir.

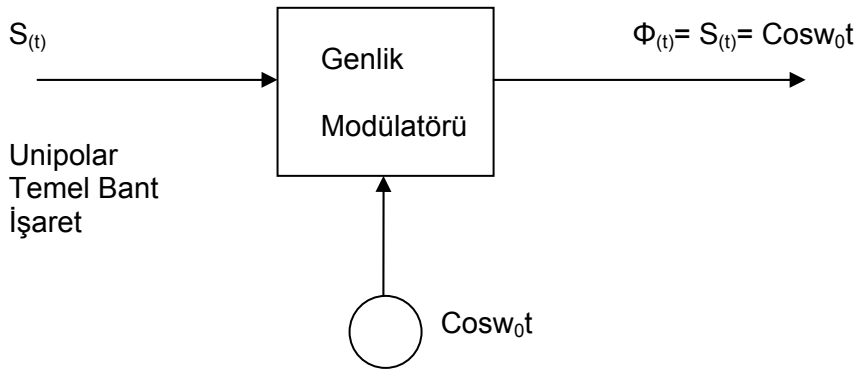


Şekil 3.13: ASK dalga biçimleri (a) Sınırsız-bandı (ideal) temel bant işaret için, (b) sınırlı bantlı (Şekillendirilmiş) temel bant işaret için

ASK işaretin üretilmesi: Analog sistemlerdeki çift yan bantlı genlik modülasyonlu işaret üretimine benzemektedir. Şekil 3.14'de gösterilen dengeli modülatör veya çarpıcı ile ASK işaret elde edilir.

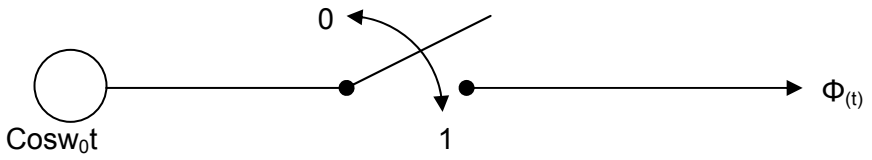
İkili "1" işareti için ASK dalga biçimi

$$\Phi_{(t)}=\begin{cases} A\sin w_0 t & ,0<t\leq T \\ 0 & ,\text{diğer} \end{cases} \qquad (3.20)$$



Şekil 3.14: ASK işaretin üretilmesi

ifadesiyle gösterilebilir. Bu dalgayı bir osilatör yardımıyla kolaylıkla elde etmek mümkündür. T süresi kadar anahtarı kapalı osilatörden $\Phi_{(t)}$ işareti bulunur (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: ASK işaretinin var yok anahtarlama ile üretilmesi

ASK işaretin demodülasyonu: İki işaretin sezilmesinde başlıca iki yol vardır.

(1) Eş zamanlı (senkron) sezme
(2) Eşzamanlı olmayan (asenkron) sezme

Eşzamanlı sezmede, alıcıda frekansı ve fazı gönderilen işaretin taşıyıcısıyla aynı olan taşıyıcının bulunduğu varsayılmaktadır. Eşzamanlı olmayan sezme işlemi ise bir zarf sezici kullanılarak gerçekleştirilir.

(3.20)'deki ASK dalga biçiminin alıcıda beyaz gürültü bulunması durumunda da optimum olarak sezilebilmesi için gerekli uyumlu filtrenin impuls cevabı,

$$h_{(t)} = \Phi(T - t) \tag{3.21}$$

olarak yazılabilir. Gürültüsüz $\Phi_{(t)}$ girişi için uyumlu filtre çıkışı,

$$\begin{aligned} y_{(t)} &= \Phi_{(t)} * h_{(t)} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{(T)} \Phi(T-t+\tau) d\tau \\ &= r\Phi(T-t) \end{aligned} \tag{3.22}$$

olur. Burada $r\Phi_{(t)}$ sonlu-enerjili $\Phi_{(t)}$ işaretinin özilişki fonksiyonunu göstermektedir. O halde, optimum karar anı t=T olacaktır. (3.22) ifadesinden,

$$\begin{aligned} y(T) &= r\Phi(0) \\ &= \int_0^T A^2 \sin^2 wctdt = A^2 T/2 \end{aligned} \tag{3.23}$$

bulunur. Diğer taraftan, t=T anında hesaplanan özilişki fonksiyonu (3.20)'deki Φ(t) işaretinin enerjisine eşittir. Yani;

$$y(T) = r\Phi(0) = E\Phi = A^2 T/2 \tag{3.24}$$

yazılabilir.

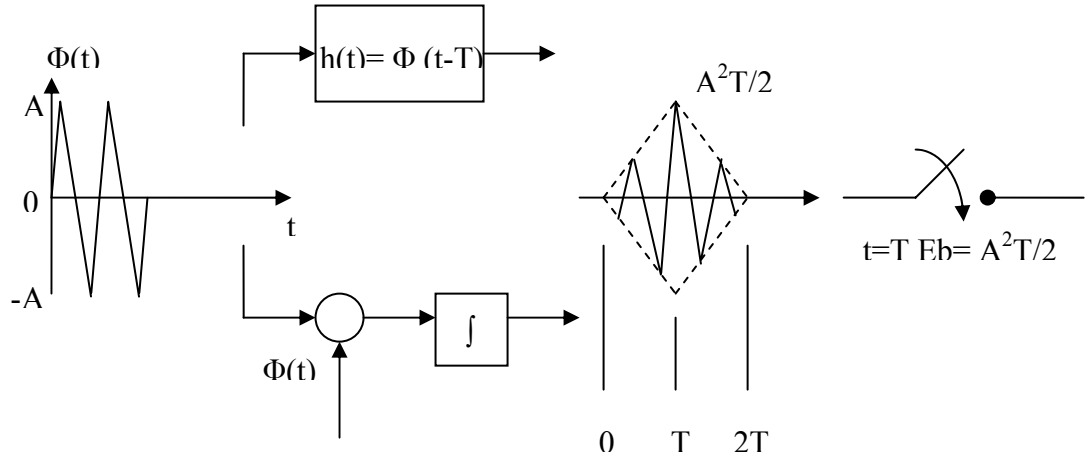
Alıcıda uyumlu filtre çıkışında t=T anında gelen işaretin "0" veya "1" olduğuna karar verilecektir. Uyumlu filtre çıkışındaki t=T anındaki gürültü n(T) ise, çıkış iki olasılıktan oluşmaktadır. Giriş işareti "1" ise y(T) = E Φ+n(T) veya giriş işareti "0" ise y(T) = n(T) olur. İkili işaretin gönderilme olasılıkları eşit olduğu durumda, $P_o = P_1 = ½$, optimal karar eşik seviyesi EΦ/2, olacaktır. Toplam hata olasılığı $P_e = Q(A/\sigma)$ ifadesinden

$$\begin{aligned} P_e &= Q(A/\sigma) \\ &= Q((E\Phi/2)/(E\eta/2)^{1/2} \\ &= Q(E\Phi/2\eta)^{1/2} \end{aligned} \tag{3.25}$$

olarak bulunur. Bu hesaplamada, bant genişliği, B= ½ T varsayılmıştır. Gürültünün ortalama gücü N=ηB ve ortalama işaret gücü S = (½)(A^2/2) alınarak, toplam hata olasılığı işaret-gürültü oranı cinsinden

$$P_e = Q((1/2)(S/N))^{1/2} \quad (3.26)$$

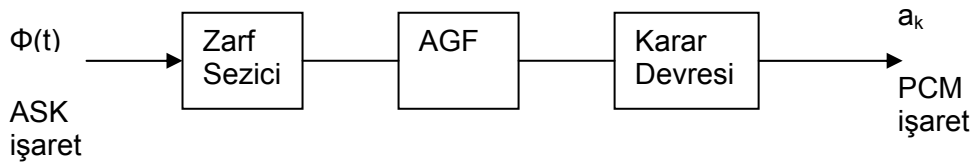
ifade edilebilir. (3.26)'daki sonuçtan, verilen bir hata olasılığı için bipolar temel bant işaretle ASK sistemin aynı işaret-gürültü oranını gerektirdiği anlaşılmaktadır. Ancak gerekli işaret-gürültü oranın tepe değeri iki katı artmıştır.



Şekil 3.16: ASK işaretinin demodülasyonu (a) Uyumlu filtreli, (b) Korelasyon sezici

Şekil 3.16'da gösterilen uyumlu filtreli sezici aslında bir eşzamanlı sezicidir. Gerçekleştirilmesi daha basit olan bir zarf sezicisi kullanılabilir (Şekil 3.17). Eşzamanlı olmayan bu sezicide bit hata oranının hesaplanması için gerekli matematik daha fazladır. 1'ler ve 0'ların eşit olasılıkta olması durumunda,

$$P_e = 1/2 * \exp(-E\Phi/4\eta) + 1/2Q(E\Phi/2\eta)^{1/2} \quad (3.27)$$



Şekil 3.17: ASK işaretinin eşzamanlı olmayan demodülasyonu

olduğu gösterilebilir. (3.25) – (3.27) ifadelerinin zarf sezici kullanılması durumunda belirli bir bit-hata oranı performansı için gerekli işaret-gürültü oranının arttığı görülmektedir.

ASK işaretin spektrumu bipolar temel bant işaretin spektrumuyla aynı biçimde ve w_c frekansına kaymış bulunmaktadır. Modülasyon işlemi sonucu bant genişliği iki katına çıkmaktadır. Bunun sonucu, teorik maksimum bant genişliği verimi 1bps/Hz olur.

3.6.2.2 Frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK)

Frekans kaydırmalı anahtarlamada (Frequency Shift Keying-FSK), taşıyıcı işaretin ani frekansı PCM kodunun değerlerine bağlı olarak değiştirilir. Temel bant işaretin sadece iki değerden birini aldığı varsayıldığından, modülasyon işlemi bir anahtarlama işlemi olarak düşünülebilir. İki osilatör ve bir anahtardan oluşan basit bir modülatör Şekil 3.18'de görülmektedir. O halde, ikili bilgiyi taşımak için iki farklı dalga şekli seçilebilir.

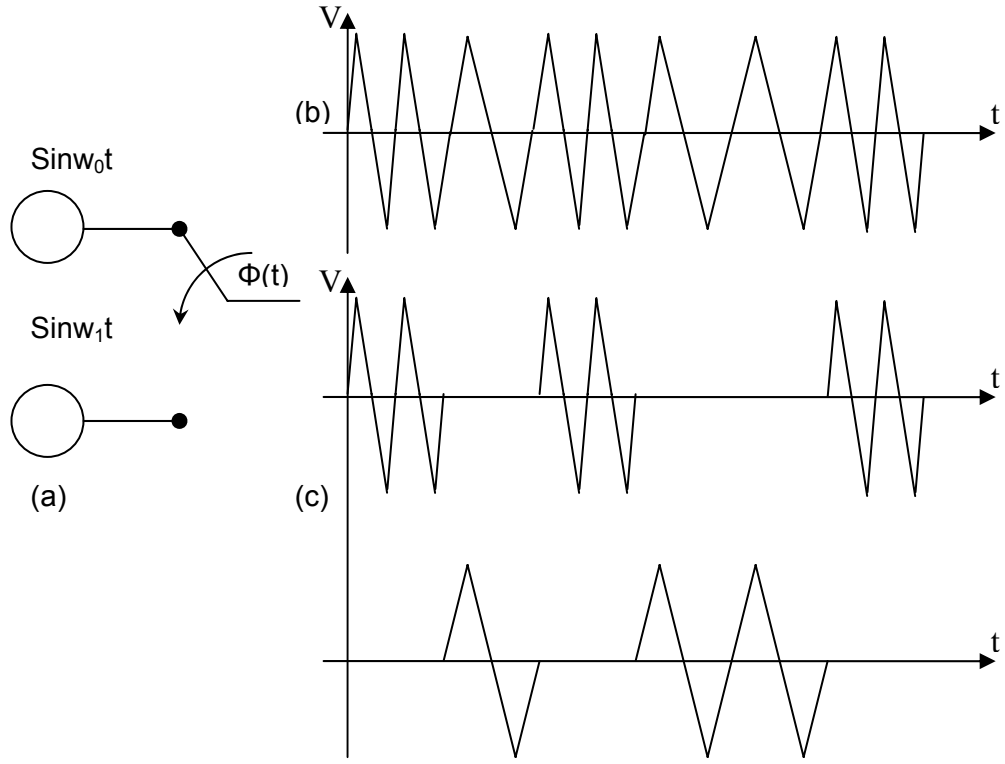
$$\Phi_1(t)=\begin{cases} A\sin w_1 t & ,0<t\le T \\ 0 & ,\text{diğer} \end{cases} \qquad (3.28a)$$

$$\Phi_0(t)=\begin{cases} A\sin w_0 t & ,0<t\le T \\ 0 & ,\text{diğer} \end{cases} \qquad (3.28b)$$

Şekil 3.18b'de ikili bir PCM işaretine karşı düşen FSK dalga biçimi görülmektedir. Bu işareti Şekil 3.18c'deki gibi iki dalga formuna ayrıştırmak mümkündür.

FSK işaretin bant genişliği osilatörlerin frekansları arasındaki uzaklığa bağlıdır. FSK işaretin Fourier dönüşümünü gösteren Şekil 3.18'den bant genişliği için (3.29) yazılabilir. Burada, 1/T saniyede gönderilen ikili işaret (bit) sayısını göstermektedir.

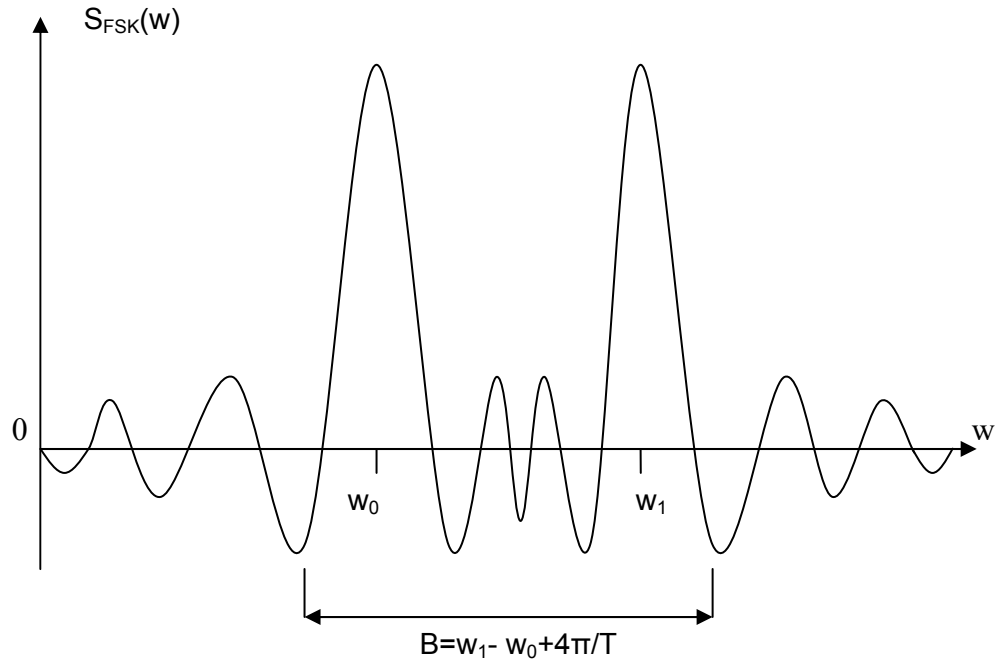
$$B = w_1 - w_0 + 4\pi / T \qquad (3.29)$$



Şekil 3.18: (a) FSK işaretin üretilmesi (b) ideal FSK dalga biçimi, (c) iki ASK dalga biçimine ayrıştırılması

Örneğin İkili işaretlerden 0 ve 1'leri iletmek için sırasıyla f_0 = 999 kHz ve f_1=1MHz frekansları kullanılmaktadır. Saniyede 1000 bit gönderildiğine göre, bu FSK işaretin bant genişliğini buluruz.

1'lere karşı düşen spektrum 1MHz'de bir temel bant işaretin spektrumudur. (Sinw)/w biçiminde olan bu spektrumda ilk sıfırdan geçişler 1MHz ± 1kHz frekanslarındadır. 0'lar için ise ilgili spektrum 999 kHz'de bulunmaktadır. İlk 0'dan geçişler 999 kHz ± 1kHz frekanslarında bulunmaktadır. O halde, ilk sıfırdan geçişlere göre bant genişliği 1001 kHz-998 kHz = 3kHz olarak bulunur.



Şekil 3.19: FSK işaretin bant genişliğinin belirlenmesi

Denklem 3.28'deki FSK işaretleri $\Phi_1(t)$ ve $\Phi_0(t)$ 'nin (0,T) aralığında, $2\Delta wT=n\pi$ koşulunun sağlanması durumunda dikliği gösterilebilir. Burada $2\Delta w = w_1- w_0$ olup frekanslar arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

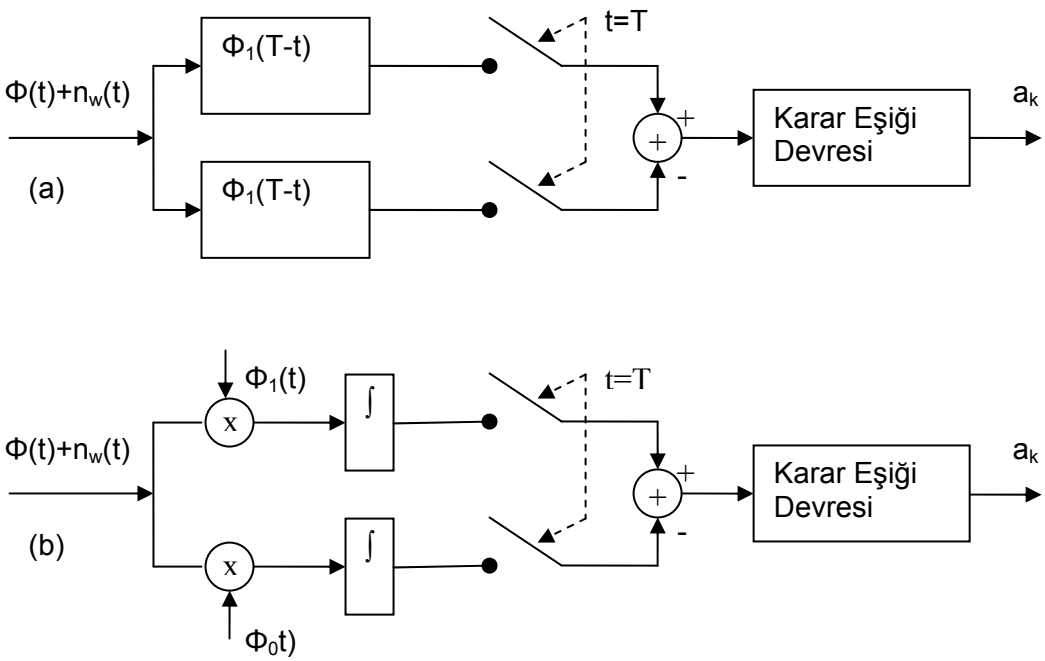
FSK işaretinin demodülasyonu: Alıcıya halen her iki dalga biçimi için iki ayrı uyumlu filtre kullanılmaktadır. Şekil 3.20'de ikili uyumlu bir FSK alıcısı görülmektedir.

İkili sayıların ortalama enerjileri;

$$E = \int_0^T A^2 \sin^2 w_1 t dt$$

$$E = \int_0^T A^2 \sin^2 w_1 t dt = A^2 T / 2 \qquad (3.30)$$

olarak bulunur. Gürültü bulunmadığı durumda $\Phi_1(t)$ işareti gönderilirse, uyumlu filtre çıkışlarından biri E olurken diğeri 0 olacaktır. Yani, "1" işareti gönderildiğinde karar devresi girişinde uyumlu filtre çıkışlarının farkı olarak E-0=E bulunacaktır. Eğer $\Phi_2(t)$ gönderilirse, uyumlu filtre çıkışları 0 ve E olacaktır. Benzer şekilde filtre çıkışları alındığında 0-E = -E elde edilecektir.



Şekil 3.20: FSK işaretinin sezilmesi (a) uyumlu filtreli, (b) Korelasyon sezicili

Bu durum bipolar temel banda benzer görünse de, gürültü açısından aynı değildir. Gerçekten, uyumlu filtre çıkışlarındaki t=T anındaki gürültüler sırasıyla $n_1(T)$ ve $n_2(T)$ ise, çıkış ikili olasılıktan oluşmaktadır. Giriş işareti "1" ise $Y(t)=E\ n_1(T)- n_2(T)$ veya giriş işareti 0 ise $Y(t)=-E\ n_1(T)- n_2(T)$ olur. Eğer uyumlu filtre frekanslarının çakışmadığını, çıkış gürültülerini istatistiksel olarak bağımsız olduğunu ve filtrelerinin bant genişliklerinin aynı olduğu varsayılırsa $\delta n^2=\eta E/2$ olan gürültü varyansının, k, katını alarak $\delta n^2= \eta E$ olarak $Pe=Q(A/\delta)$ sonucu kullanılabilir. O halde, Şekil 3.20'deki FSK sezicideki toplam hata olasılığı,

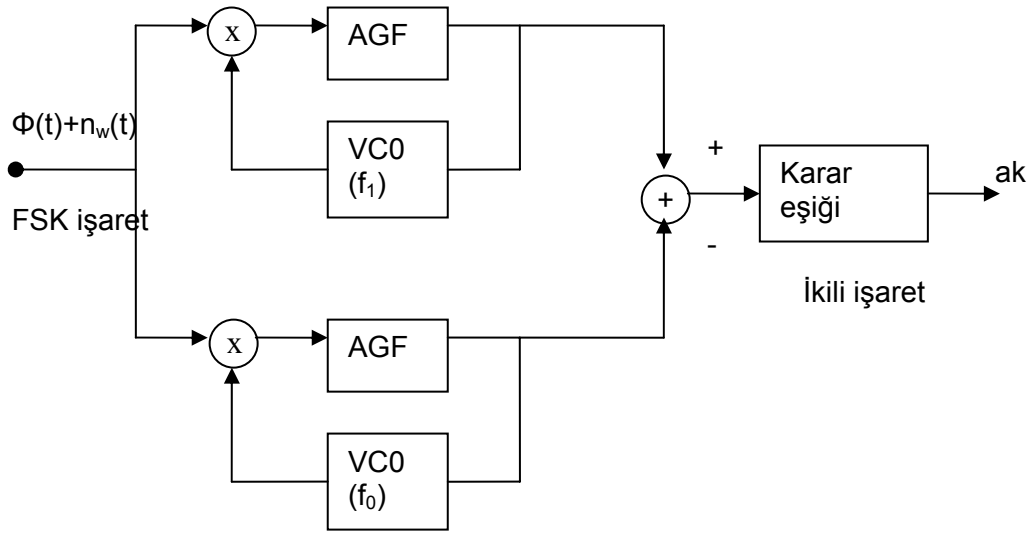
$$Pe=Q(A/\sigma)$$
$$=Q(E/\sqrt{E\eta})$$
$$=Q(\sqrt{E/\eta}) \qquad (3.31)$$

olarak bulunur. (3.25) ve (3.31) ifadelerinden ortalama bit enerji gürültü oranı açısından, toplam bit hata olasılığının ASK ve FSK için aynı olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, ASK işaretin yaklaşık olarak yarı süresi sıfır genlikli olduğundan, tepe-güç ihtiyacı açısından FSK 3-dB avantaja sahiptir. Yani, denklem (3.28)'deki işaret genlikleri (3.20)'dekinin yarısı olabilir.

(3.31) ifadesindeki E'nin ortalama bit enerjisini göstermektedir. Bu formülasyonda, ortalama işaret gücünün $S=A^2/2$, ortalama gürültü gücünün $N=\eta B$ ve $B=1/2T$ olduğu dikkate alınarak

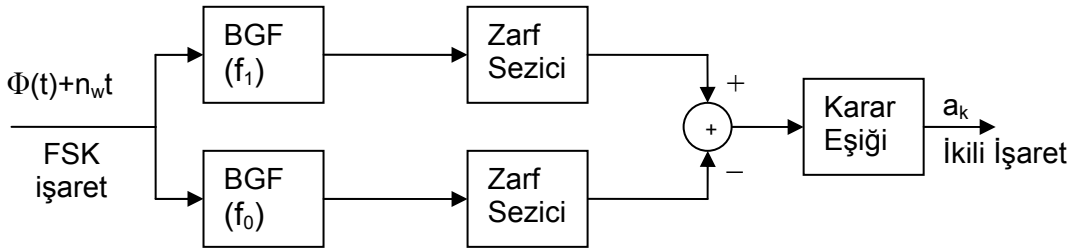
$$Pe = Q(\sqrt{(1/2)(S/N)}) \tag{3.32}$$

bulunur. O halde, (3.26) ve (3.32)'den ASK ve FSK işaret-gürültü oranlarına göre aynı bit hata oranına sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 3.21: Eşzamanlı FSK işaretinin sezicisi

Daha önce ASK işaretin demodülasyonunda belirtildiği gibi uyumlu filtre ile yapılan sezme işlemi eş zamanlı bir sezmedir. Bu nedenle, şekil 3.20b'de kullanılan $\Phi_1(t)$ ve $\Phi_0(t)$ işaretlerini alıcıda üreten osilatörlerin fazları ve frekansları vericiden gönderilen dalganın fazları ve frekansları ile eşzamanlı olmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için, Şekil 3.21'de gösterilen faz-kilitlemeli çevrimleri (PLL) kullanılabilir. Bu çevrimlerin frekans aralığı sınırlıdır. Ayrıca, PLL'de kullanılan alçak geçiren filtrelerin (LPF) bant genişliği, bir boşluk durumunda voltaj kontrollü osilatörün (VCO) frekansını önemli ölçüde değiştirmeyecek kadardır.



Şekil 3.22: Eşzamanlı olmayan FSK sezici sistemi

Eşzamanlı olmayan bir FSK alıcı Şekil 3.22'de görülmektedir. Eşzamanlı FSK seziciler bit hata oranı açısından eşzamanlı olmayan sezicilere göre 1dB kadar avantaja sahiptir.

3.6.2.3 Faz kaydırmalı anahtarlama (PSK)

İkili işaretler için faz kaydırmalı anahtarlamada (Phase Shift Keying-PSK), bir taşıyıcının fazı sayısal işaretin iki seviyesine bağlı olarak iki değer arasında değiştirilir. Örneğin, "0" ve "1" işaretlerini iletmek için PSK işaretler

$$\begin{aligned}\Phi_0(t) &= ASin(w_0 t + \theta_0) \\ \Phi_1(t) &= ASin(w_0 t + \theta_1) \quad 0 < t \le T_s\end{aligned} \tag{3.33}$$

olarak seçilebilir. θ_0 ve θ_1 sabit faz kaymalarıdır. İkili PCM işaret için, $\theta_1 - \theta_0 = 180^o$ olması modülatör tasarımını basitleştirmektedir. Ayrıca, (3.33)' daki PSK işaretlerin fazları arasında π raydan olacak biçimde seçimler hata olasılık performansı açısından da en uygun seçimler olmaktadır. Örneğin, (θ_0,θ_1) faz değerleri (0, π) veya (π /2, 3 π /2) seçilebilir. O halde, $\Phi_0(t)$ ve $\Phi_1(t)$ dalgaları (3.34)'deki biçimde yazılabilir:

$$\Phi_0(t) = \begin{cases} A\text{Cos}\omega_0 t & , 0 < t \le T_s \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases} \tag{3.34a}$$

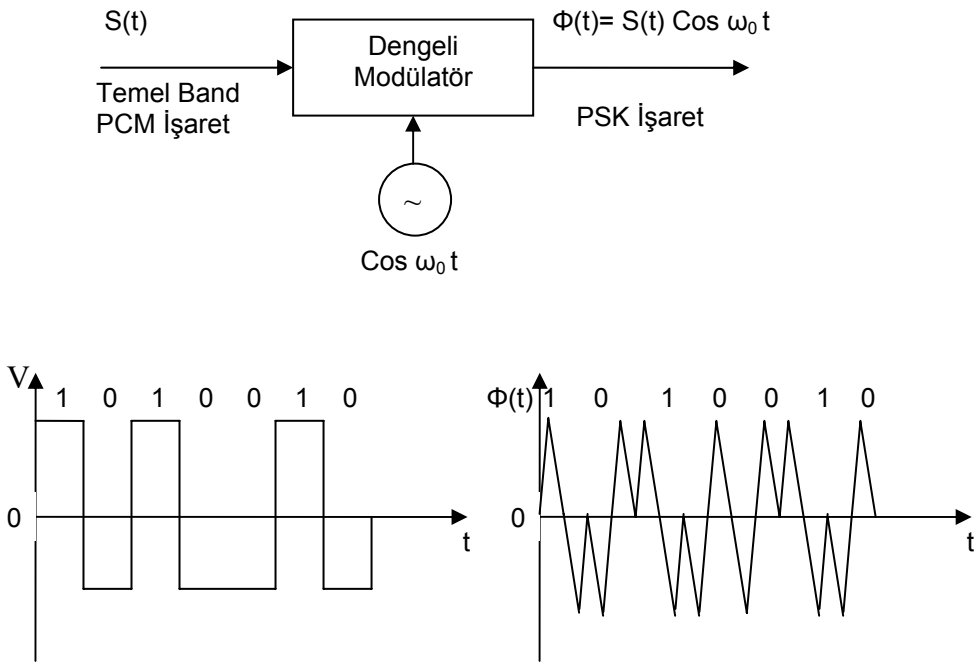
ve

$$\Phi_1(t) = -\Phi_0(t) = \begin{cases} A\text{Cos}(\omega_0 t - \pi) & , 0 < t \le T_s \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases} \tag{3.34b}$$

Şekil 3.23'de dengeli bir modülatör yardımıyla gerçekleştirilen bir PSK vericinin blok diyagramı görülmektedir. Bu modülatörün girişine gelen rasgele işaretin + A ve – A seviyelerinde ortaya çıkma olasılığı eşit kabul edilerek, PSK işaretin güç spektrumunun

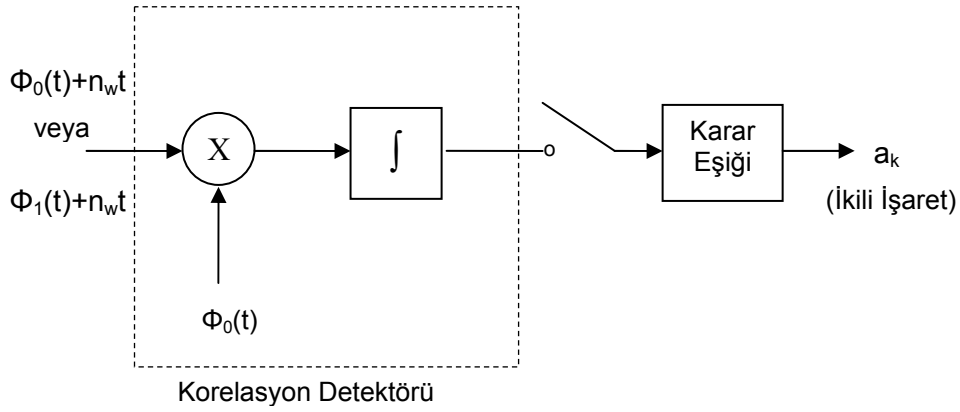
$$S_{PSK}(w) = \frac{A^2 T_s}{2}\left\{Sa^2[(w-w_0)\frac{T_s}{2}] + Sa^2[(w+w_0)\frac{T_s}{2}]\right\} \qquad (3.35)$$

olduğu gösterilebilir. Bu fonksiyonun ilk sıfırdan geçişleri arasındaki bant genişliği $2\omega_s = 2(2\pi/T_S)$'dir. Bu değer minimum kanal bant genişliği alınmaktadır.



Şekil 3.23: PSK vericinin blok diyagramı

PSK işaretin demodülasyonu: (3.34) ifadesinden $f_0(t)= A\text{Cos}\omega_0 t$ ve $f_1(t)= A\text{Cos}\omega_1 t$ olduğundan, demodülasyon işlemi bir uyumlu filtre yerine kullanılan bir korelasyon detektörü görülmektedir. Eğer girişe $[\Phi_0(t)+n_w t]$ işareti gelirse, t=T anında çıkış Y(T)=E+n(t) olur. Diğer taraftan, girişe $[\Phi_1(t)+n_w t]$ gelirse, t=T anında çıkış Y(T)= -E+n(t) olarak bulunur. Burada, $E= (A^2/2)T$ $\Phi_0(t)$ ve $\Phi_1(t)$ işaretlerinin enerjisine eşittir.



Şekil 3.24: Korelasyon detektörüyle PSK işaretin demodülasyonu

$\frac{2E}{\eta}$ ifadesinden gürültünün varyansı $\sigma_n^2=\eta E/2$ bulunur. İkili işaretin gönderilme olasılıkları eşit olduğu durumda optimum karar eşiği sıfırdır. Böylece, hata olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$\begin{aligned} P_e &= Q(\sqrt{A^2/\sigma^2}) \\ &= Q(\sqrt{E^2/(E\eta/2)}) \\ &= Q(\sqrt{E\eta/2} \end{aligned} \qquad (3.36)$$

olarak bulunur. O halde, ikili PSK sistemin bipolar temel bant sistem ile hata olasılık performansları aynıdır. (3.31) ve (3.36) ifadelerinin karşılaştırılmasından, verilen bir hata olasılık performansı için gerekli ortalama işaret gücü FSK sistemde PSK'nın iki katı olduğu görülmektedir.

Örneğin genel bir PSK sisteminde, demodülasyon için alıcı $A\cos\omega_0 t$ taşıyıcısı üretilmektedir. $\Delta\theta$ tepe faz kayması olduğuna göre, eşit olasılıkla ortaya çıkan "0" ve "1" 'ler için

$$\Phi_0(t) = A\cos(w_0 t + \Delta\theta) \qquad (3.37)$$

$$\Phi_1(t) = A\cos(w_0 t - \Delta\theta) \qquad (3.38)$$

dalga biçimleri kullanılmaktadır.

Şekil 3.24'deki korelasyon detektörü kullanılarak, t=T anında elde edilen iki olası çıkışlar

$$y(T) = \int_0^T A^2 Cos(\omega_0 t - \Delta\theta) Sin\omega_0 t dt$$

$$= \frac{1}{2} A^2 T Sin\Delta\theta = ESin\Delta\theta \qquad (3.39a)$$

ve

$$y(T) = \int_0^T A^2 Cos(\omega_0 t + \Delta\theta) Sin\omega_0 t dt$$

$$= \frac{-1}{2} A^2 T Sin\Delta\theta = -ESin\Delta\theta \qquad (3.39b)$$

o halde, (3.36)'dan net hata olasılığı

$$P_e = Q\left(ESin\Delta\theta / \sqrt{\eta E/2}\right)$$

$$= Q\left(Sin\Delta\theta\sqrt{2E/\eta}\right) \qquad (3.40)$$

olarak bulunur.

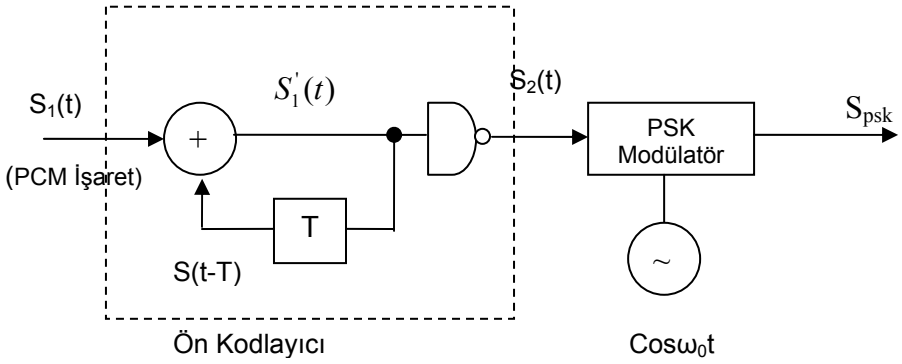
Şekil 3.22'de gösterilen eşzamanlı olmayan seziciler PSK için kullanılamazlar. Sıfır veya bir gönderilmesine bağlı olmaksızın çıkış aynıdır. Diğer taraftan, darbe biçimli temel bant işaret yerine yükseltilmiş kosinüs tipinde temel bant işaret kullanılırsa, demodülatör FM için kullanılanın benzeridir. Şekil 3.25'de sürekli temel bant işaretler için kullanılan PSK demodülatör görülmektedir. Burada zarf seziciden sonra gelen integral alıcı bloğu orijinal temel bant işaretin oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.25: Sürekli temel bant işaretler için PSK demodülatör

3.6.2.3.1 Diferansiyel PSK (DPSK)

Eşzamanlı haberleşmede en önemli problem, şekil 3.26'daki işaretlerin mutlak faz (zamanlama) bilgisinin alıcı tarafta gerekmesidir. Genellikle, bu mutlak faz bilgisi alıcıda bilinemez. Bununla birlikte, mutlak faz bilinmese de faz değişimlerini belirlemek mümkün olabilmektedir. Diferansiyel faz kaydırmalı anahtarlama (DPSK), bu problemim çözümü için kullanılan yöntemlerden biridir.



Şekil 3.26: DPSK işaretin üretilmesi

Tablo 3.4: DPSK işaretin üretilmesi

$S_1(t)$	$S_1'(t-T)$	$S_1'(t)$	$S_2(t)$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

DPSK sistemde ikili işareti belirtmek için faz değişimleri kullanılmaktadır. Eğer sıfır gönderilecekse, vericide işaretin fazı bulunduğu değerden diğer bir değere değiştirilir. O halde, vericiden "0" gönderileceği zaman faz θ_0 ise, faz θ_1 'e değişmektedir. Diğer taraftan orijinal faz θ_1 ise, "0" işaretinin gönderilmesi vericinin fazını θ_0 'a değiştirir. "1" gönderilirken taşıyıcının fazı değiştirilmez. Bu teknik için, şekil 3.26'de gösterildiği gibi bir ön kodlama yapılmaktadır. DPSK'nın çalışmasını anlamak için Tablo 3.4'de verilen örneği inceleyebiliriz. Tabloda daire içine alınmış işaret başlangıcı göstermektedir. Bu başlangıç işareti "0" veya "1" olabilir.

Alıcıda DPSK işaretin herhangi bir aralıkta fazının gözlenmesi, iki mümkün işaretten hangisinin gönderildiğini belirlemeye yeterli değildir. Bir aralıktaki fazın bir önceki aralıktaki fazla karşılaştırılması gerekmektedir. Bu yöntem, şekil 3.27'de gösterilen basit bir seziciyle DPSK işaretin demodülasyonunu gerçekleştirmektedir. Bu sistemde önceki işaret fazı referans oluşturmaktadır. DPSK bir bitin belirlenmesi birbirini takip eden bit aralığına bağlı olduğundan, hatalar bit çifteleri biçiminde oluşmaktadır. DPSK için hata olasılığı fonksiyonu

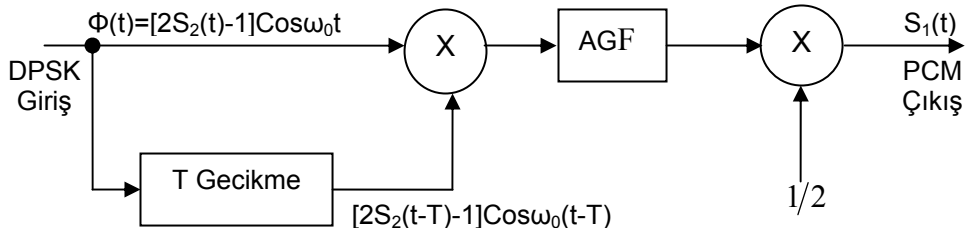
$$P_e = \frac{1}{2}\exp(-E/\eta) \tag{3.41}$$

olarak bulunur. PSK sistemle karşılaştırılırsa, $P_e < 10^{-4}$ için DPSK işaretin ortalama gücü PSK' ya göre 1 dB kadar artmaktadır.

Tablo 3.5: DPSK' nın çalışmasını açıklayan örnek

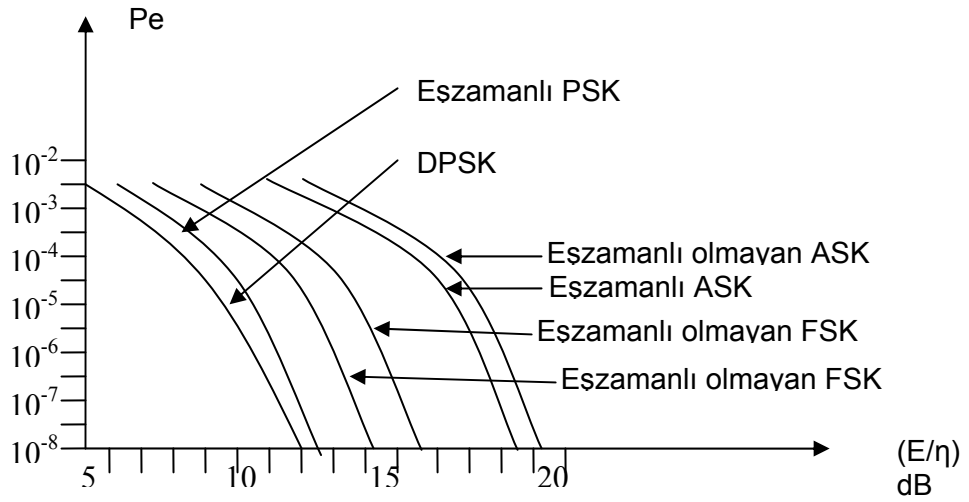
$S_1(t)$ (PCM işaret)		1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
$S_2(t)$ (Ön kodlanmış)	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
$2S_2(t)-1$	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
$2S_2(t-T)-1$		1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
$\frac{[2S_2(t)-1][2S_2(t-T)-1]+1}{2}$		1	0	1	1	0	0	1	0	1	1

Buraya kadar incelediğimiz ASK, FSK ve PSK, sistemlerin net hata olasılık performansları şekil 3.28'da gösterilmiştir. Bu karşılaştırmada tüm sistemlerin tepe güçlerinin aynı olduğu varsayılmıştır. E bit enerjisini η ise tek taraflı gürültü güç yoğunluk spektrumunu ifade etmektedir.



Şekil 3.27: DPSK işaretin demodülasyonu

Bu grafikten eş zamanlı PSK'nın en az işaret gücü gerektiren sayısal modülasyon metodu olduğu anlaşılmaktadır. Eşzamanlı PSK'yı takiben sırasıyla en az üç gerektirenler, DPSK, eş zamanlı FSK, eşzamanlı olmayan FSK, eş zamanlı ASK ve eş zamanlı olmayan ASK sistemleridir.



Şekil 3.28: İkili sayısal modülasyon sistemlerinde hata olasılıkları

3.6.2.3.2 Kuadratör PSK (QPSK)

Yukarıda incelediğimiz ikili sayısal modülasyon sistemlerinde, her bir işaret aralığında iki olası işaretten biri iletilmektedir. Bu türden sayısal modülasyon sistemlerinde teorik bant genişlik verimi 1 bps/Hz olmaktadır. Yani, Hz başına saniyede gönderilebilen bit sayısı birdir. Oysa, birçok uygulamada, verilen bir bant genişliğindeki haberleşme sisteminde, bir saniyede daha fazla sayıda bit iletimi mümkün olabilmektedir. Örneğin, dört farklı işaretten birinin her bir işaret aralığında iletildiği kuadratör faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK) sisteminde bant genişlik verimi, 2 bps/Hz olarak bulunacaktır.

İkili PSK işaret için kullanılan $\pm ACos\omega_0 t$ dalga biçimleri arasındaki 180^0 faz farkının yüksek seviyede bir haberleşme performansı sağladığını şekil 3.28'deki grafiklerden görmek mümkündür. Ayrıca, $Cos\omega_0 t$ ve $Sin\omega_0 t$ işaretlerinin çarpımlarının integrali sıfır olduğundan, dik işaretler olduklarını biliyoruz. O halde, ikili enformasyon $Sin\omega_0 t$ ve $Cos\omega_0 t$ işaretleri kullanılarak iletilirse, yaklaşık olarak FSK sistemlerdeki performans elde edilecektir. Başka bir anlatımla, dik PSK ile FSK arasında hata

performansı açısından fark yoktur. İkili farklı frekans yerine tek bir frekans kullanıldığından, iletilen işaretin bant genişliği PSK'da FSK'dan daha küçüktür.

Taşıyıcı olarak kullanılan sinüs ve cosinüs işaretleri dik olduğundan, alıcıda eş zamanlı sezici kullanılarak tamamen birbirinden ayırmak mümkündür. Şekil 3.29'de gösterildiği gibi, iki farklı PSK işareti aynı anda bant genişliğini artırmadan gönderebiliriz. Temel bant işaretlerinin bipolar darbeler olduğu varsayılırsa, gönderilen işaret şu dört olası biçiminde birisidir.

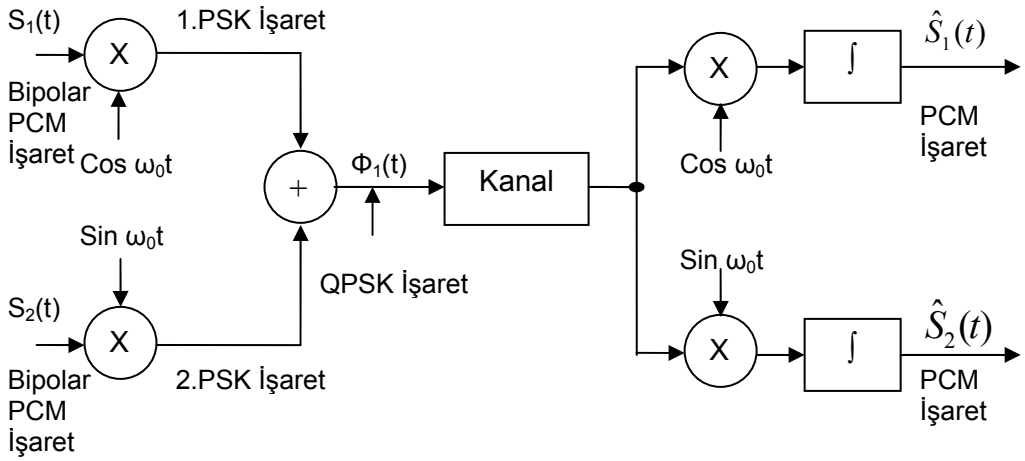
$$\Phi_1(t) = +Cos\omega_o t + Sin\omega_o t$$
$$\Phi_2(t) = +Cos\omega_o t - Sin\omega_o t$$
$$\Phi_3(t) = -Cos\omega_o t + Sin\omega_o t$$
$$\Phi_4(t) = -Cos\omega_o t - Sin\omega_o t \qquad (3.42)$$

(3.42)'deki dalga biçimlerini,

$$Cos\omega_0 t \pm Sin\omega_0 t = \sqrt{2}Cos(\omega_0 t + \pi/4) \qquad (3.43)$$

trigonometrik özdeşliğini kullanarak yeniden yazabiliriz.

$$\Phi_1(t) = \sqrt{2}Cos(\omega_0 t + \pi/4)$$
$$\Phi_2(t) = \sqrt{2}Cos(\omega_0 t + 3\pi/4)$$
$$\Phi_3(t) = \sqrt{2}Cos(\omega_0 t + 5\pi/4)$$
$$\Phi_4(t) = \sqrt{2}Cos(\omega_0 t + 7\pi/4) \qquad (3.44)$$



Şekil 3.29: QPSK işaretin üretilmesi ve demülasyonu

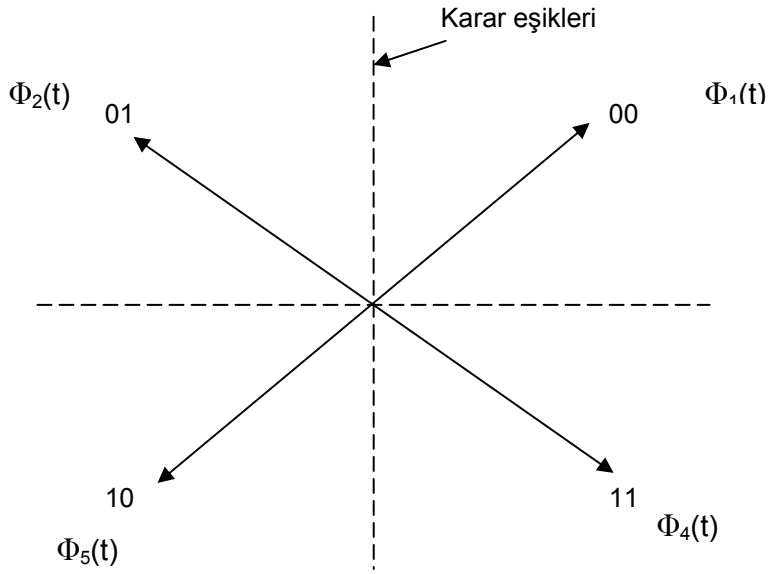
Bu işaretlerin fazlarının birim daire üzerinde eşit aralıklarla yerleştiğini Şekil 3.30'da görebiliriz. (3.42) ve (3.43)'den, dik işaretlerinin birlikte iletiminin dört açılı PSK'ya eşit olmaktadır. Bu yöntemle kuadratör faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK) adı verilmektedir.

QPSK işareti iki farklı temel bant işaretten hareketle yukarıda tanımlamış bulunuyoruz. Diğer taraftan, bir ikili işaretteki bitleri, bit çiftleri biçiminde gruplandırarak QPSK kullanılabilir. Örneğin,

0 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0

bit trenini bit çiftleri biçiminde oluşturarak 4 tabanına göre yeniden yazabiliriz.

1 2 2 3 0 2



Şekil 3.30: QPSK için fazör diyagramları ve karar eşikleri

Burada, 00, 01, 10, 11 bit çiftleri sırasıyla 0, 1, 2, 3 sayıları için kullanılmıştır. Bu işaretler için fazları şöyle belirleyebiliriz:

00	$\rightarrow$	0	$\rightarrow$	$\pi/4$
01	$\rightarrow$	1	$\rightarrow$	$3\pi/4$
10	$\rightarrow$	2	$\rightarrow$	$5\pi/4 = -3\pi/4$
11	$\rightarrow$	3	$\rightarrow$	$7\pi/4 = -\pi/4$

o halde, gönderilen işaretlerin fazları bu örnek için aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\frac{3\pi}{4} \qquad \frac{-3\pi}{4} \qquad \frac{-3\pi}{4} \qquad \frac{-\pi}{4} \qquad \frac{\pi}{4} \qquad \frac{-3\pi}{4}$$

QPSK sisteminde saniyede gönderilen simge sayısı (baud rate) aynı enformasyonu göndermek için PSK'da gerekli bit oranının (bps) yarısıdır. Bunun sonucu, iletim bant genişliği yarıya inecektir. Ancak, karar eşikleri birbirine yaklaşacağından hata olasılığı artacaktır. İşaret gücü artırılarak aynı performansı elde etmek mümkündür.

Genel olarak modülasyon tekniklerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 3.6'da verilmiştir.

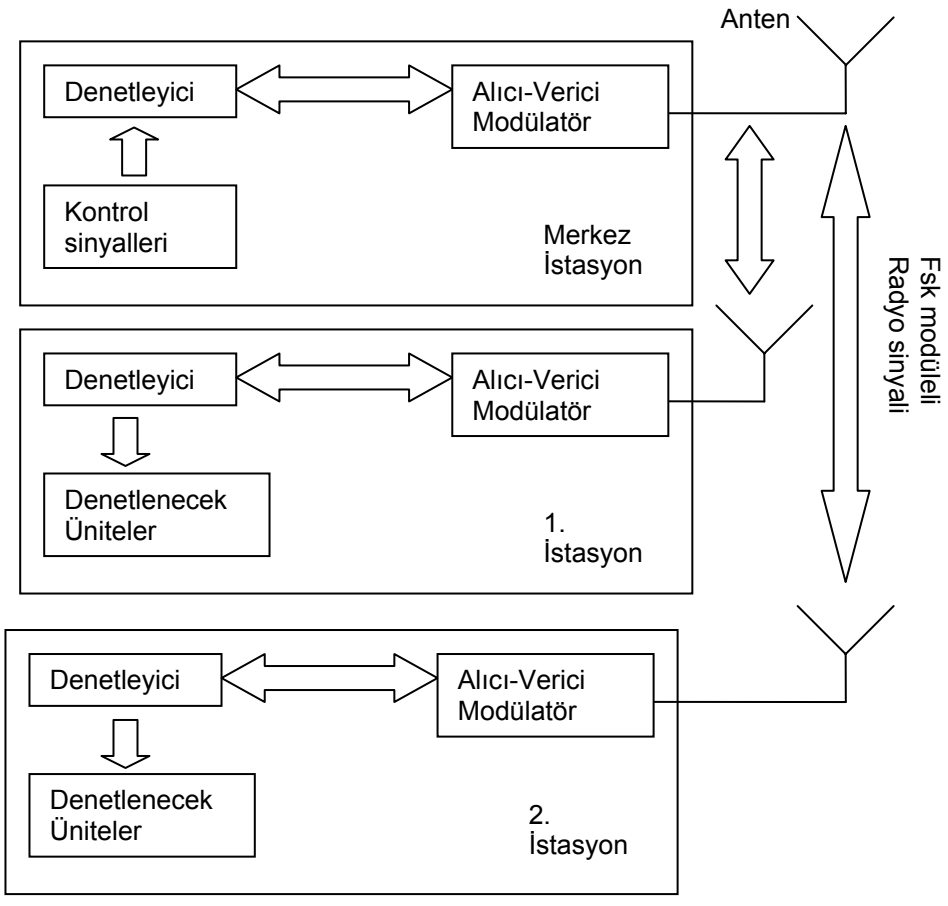
Tablo 3.6: Modülasyon tekniklerinin avantaj ve dezavantajları

	ASK	**FSK**	**PSK**	
Avantajı:	Uygulaması basittir.	FSK ASK'dan daha az gürültüden etkilenirler. Çünkü belirli bir aralıktaki frekans değişimlerini arar. Dolayısıyla, voltaj piklerinden etkilenmez	ASK ile aynı bant genişliğinde çalışırken, gürültüden, ASK'dan daha az etkilenir. Bant genişliği kullanımında daha etkilidir.	PSK ile bant kullanımı aynıyken, daha yüksek oranlarda veri iletilir
Dezavantajı:	ASK gürültüden çok kolay etkilenir. Bunun nedeni gürültünün yüksek oranda genliği etkilemesidir.	FSK spektrumu ASK'nın iki katıdır	Sinyal algılama ve tekrar dönüştürme konusunda ASK ve FSK'dan daha kompleks bir yapıya sahiptir	Sinyal algılama ve tekrar dönüştürme konusunda ASK ve FSK'dan daha kompleks bir yapıya sahiptir

4. RF ile BİR NOKTADAN ÇOK SAYIDA SİSTEMİN DENETİMİ

Bölüm 3'de bahsedildiği gibi, RF ile haberleşme tekniklerinin kullanılmasının amacı kablo bağlantısının ortadan kaldırılarak daha uzak noktalara veri transferinin yapılmasıdır. Bu pratik çalışmada ise yapılması amaçlanan, FSK modülasyon tekniği kullanılarak bir noktadan, uzaktaki birden fazla sayıda farklı birimlerin denetiminin yapılmasıdır.

Böyle bir sistemin gerçekleştirilmesi için kullanılan sistem modeli Şekil 4.1'de yer almaktadır.



Şekil 4.1: Tek noktadan iki istasyonun denetimi

Merkez istasyonda bulunan buton, switchler vasıtasıyla denetleyiciye giren kontrol sinyalleri, önceden belirlenmiş koşullara bağlı olarak değerlendirilerek, uzakta bulunan sisteme aktarılmak üzere, hedef istasyonun adresiyle birlikte, alıcı-verici (modülatör-demodülatör) olarak çalışabilen üniteye aktarılır. Bu ünite de ise veriler, FSK yöntemi kullanılarak radyo dalgalarına dönüştürülür.

Havaya gönderilen radyo dalgaları, her iki istasyonun alıcı-verici ünitesine bağlı antenler vasıtasıyla alınarak, merkez istasyondan gönderilen veri tekrar elde edilir. Fakat sadece ilgili istasyon, merkezden gönderilen sinyalleri değerlendirir. Denetleyiciye alınan sinyaller, önceden belirlenmiş koşullar dahilinde değerlendirerek, gerekli kontrol sinyalleri, denetlenmesi istenen ünitelere yollanır.

Denetlenen ünitelerden alınan geri beslemeler, kontrol edilen ünitelerdeki enstrümanların konum bilgileri tekrar istasyondaki denetleyiciye aktarılır. Denetleyici ise, merkezden gelen sinyallerde olduğu gibi aynı silsileyi, akış yönü tersi (merkeze) olacak şekilde yeniden başlatır.

İstasyonlar arasında yapılan haberleşme yarı-eşzamanlıdır. Merkezden gönderilen sinyaller, istasyonlara iletildikten sonra cevap beklenir. Bu sırada ise herhangi bir kontrol sinyali gönderilmez.

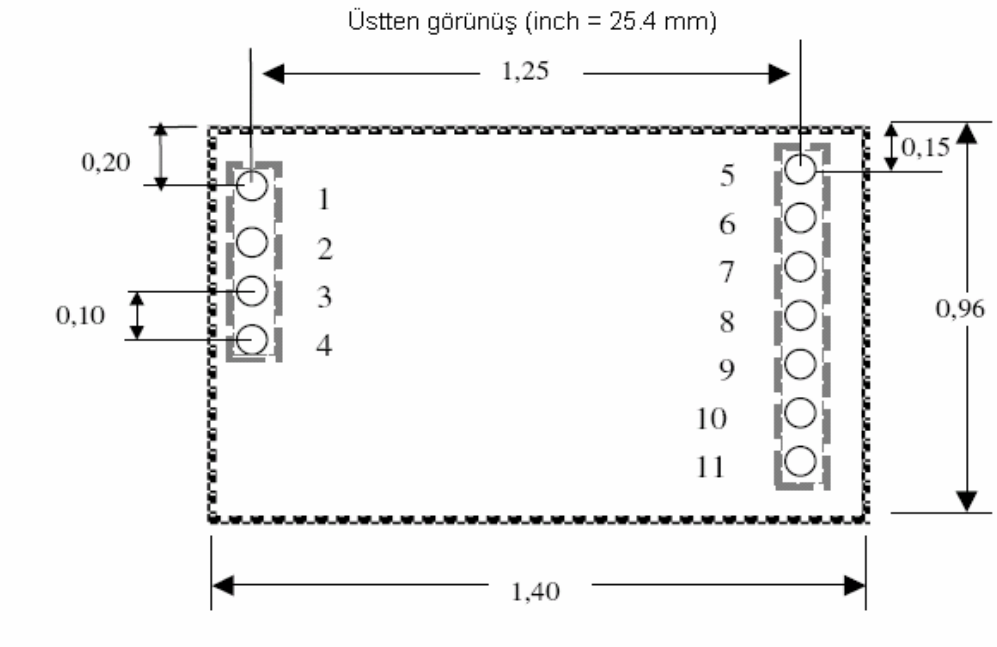
4.1 Devrede Kullanılan Cihazlar

istasyonların yapımı sırasında birçok eleman kullanılmış fakat bunlardan sadece bazılarından bahsedilmiştir.

Alıcı-verici modülü: Alıcı ve verici olarak çalışabilen, bu modüller istasyonların yapımında hayati bir önem taşımaktadır. Genel anlamda, modülün görev tanımı; denetleyiciden gelen sinyallerin güçlendirilip, RF sinyallerine modüle edilmesi ve alınan RF sinyallerini, sayısal bilgiye çevrilerek, denetleyiciye aktarılmasıdır.

Tablo 4.1: Alıcı-verici modülü pin tanımları (UDEA, “Utr-C10 U Uhf Data Transceiver)

Pin No	Pin-_smi	I/O	Açıklama	
1,3,11	GND	-	Kontrol kartının toprak hattına bağlanır	
2	ANT	I/O	Anten bağlantı noktası	
4,6	+3V	-	+3VDC besleme terminali	Regüle edilmiş voltaj kaynağı kullanılmalıdır
5	RSSI	O	RF şiddeti seviye çıkışı	
7	DO	O	Data Output	
8	DI	I	Data Input	
9	T/R	I	Verici / Alıcı seçim pini	
10	CH ½	I	Kanal Seçim pini	



Şekil 4.2: Alıcı-verici modülün üstten görünüşü (UDEA, “Utr-C10 U Uhf Data Transceiver)

Tablo 4.2: Alıcı-verici modülü teknik özellikleri (UDEA, “Utr-C10 U Uhf Data Transceiver)

	Min.	**Typ.**	**Max**	**Unit**	**Not**
Besleme Voltajı	2,85	3	3,15	Vdc	Regüle edilmiş voltaj kaynağı Kullanılmalıdır
Akım Sarfiyatı TX mod		25			
Akım Sarfiyatı RX mod		10			
Logic “0” DI volt	0		0.3*Vd	Vdc	
Logic “1” DI volt	0.7*Vcc		Vcc	Vdc	
Logic “0” DO	volt 0		0.4	Vdc	Çıkış akımı -2.5mA
Logic “1” DO	volt 2.5		Vcc	Vdc	Çıkış akımı -2.5mA
Logic “0” Input akım			-1	uA	
Logic “1” Input akım			1	uA	
Çalışma Sıcaklığı	-20		+55	°C	ETSI 300 220
Ebat	35 X 24 X 8 mm				

Tablo 4.3: Alıcı-verici modülü teknik özellikleri(UDEA, “Utr-C10 U Uhf Data Transceiver)

	Min.	**Typ.**	**Max**	**Unit**	**Not**
RX Modu					
Alıcı duyarlılığı		-100	-105	dBm	2.4 kBaud
Gürültü bant genişliği		30		kHz	2.4 kBaud
LO kaçak			-57	dBm	
RSSI aralığı	-105		-50	dBm	
RSSI doğruluğu		±6		dB	
RSSI lineritesi		±2		dB	
RX on time		25		Ms	
RX Modu					
Data oranı	0.6		4.8	Kbit/s	
Çıkış gücü	8	9	10	mW	
FM sapma		±2		kHz	
TX on Time		25		Ms	

“Alıcı-verici modülü kullanıcının sistemine entegre olabilecek şekilde tasarlanmıştır. Özel uygulamalar için kullanılabilecek nihai bir ürün değildir. Elektronik sistemin içinde kullanılabilecek özel bir eleman olarak ele alınmalıdır.

Besleme Gerilimi:

Alıcı-verici içerisinde bir voltaj regülatorü bulunmamaktadır. Tasarım pil kullanımı düşünülerek yapılmıştır. Bu nedenle besleme voltajında belirtilen değerlere dikkat edilmelidir.

Modül belirtilen değerlerin altında bir besleme yapıldığında kararsız çalışacaktır. Besleme voltajı +3 VDC ve topraklama GND bağlantısı belirtilen değerlerin üzerinde veya ters olursa, modülde kalıcı tahribatlara yol açabilir. Düşük akım sarfiyatlarının sağlanabilmesi için modül içerisine ters polarizasyondan koruyacak bir devre konulmamıştır. En yüksek değerdeki besleme voltajı verilebilecek durumdaysa, besleme hattı üzerine ters polarizasyondan korunmak için basit bir diyot eklenebilir.

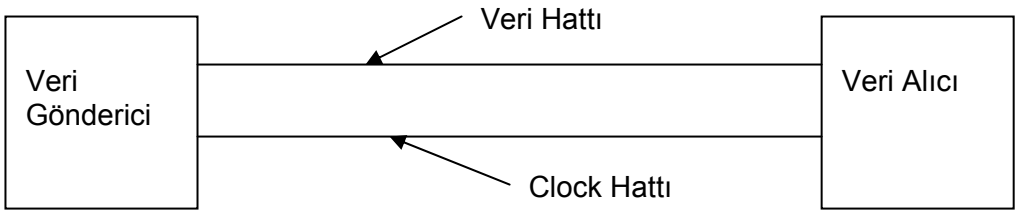
Besleme voltajında çalışma sürecinde ±100 mV değişimlerin üzerindeki değişimler modülün kararsız çalışmasına neden olur. Besleme devresinde regülator IC kullanılması önerilir.” (UDEA, RF Tasarım)

4.2 Seri İletişim

Çoğu kontrol uygulamalarında veri veya komut göndermede seri iletişim kullanılır. Alıcı ve verici sistem arasındaki hat sayısının az oluşu bu iletişim sisteminin en büyük avantajıdır. Aynı zamanda bu devrenin donanımsal olarak sadeleşmesini de sağlamaktadır. Fakat veri bit'lerinin sırayla gönderilmesi, veri iletişiminin hızını düşürmektedir.

4.2.1 Senkron seri iletişim

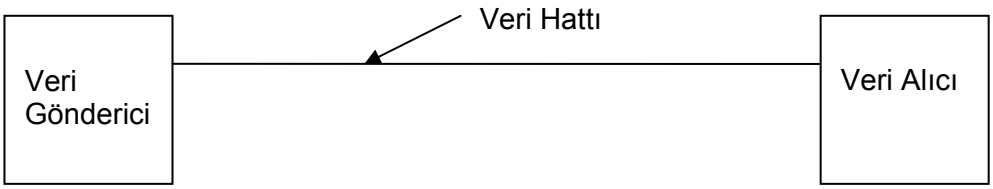
Senkron ve asenkron olarak adlandırılan iki çeşit seri iletişim yöntemi vardır. Senkron iletişimde bir clock hattı kullanılarak gönderilen verinin seri veri hattında bulunduğu bildirilir. Senkron seri iletişime verilen bu isim, gerçekte yapılan işlemle tam olarak örtüşmektedir. Vericiden bir byte'lık bir verinin bir bit'i gönderilip, hemen ardından bu bit'in veri hattında olduğunu belirten clock sinyali gönderildiği anda alıcı veri bit'ini aynı anda alır. Arkasından yeni bir bit daha gönderildiğinde aynı işle tekrarlanır. Böylece verici bir byte'lık veriyi gönderdiği anda alıcı da aynı anda alma işlemini tamamlamış olur. Yani burada eş zamanlılık söz konusudur.



Şekil 4.3: Senkron seri iletişim blok şeması

4.2.2 Asenkron seri iletişim

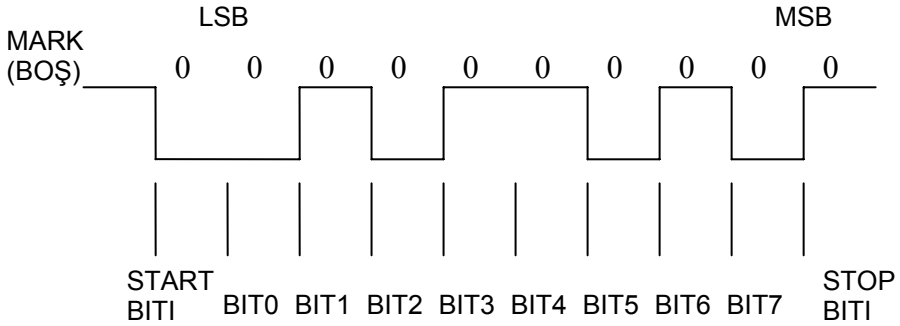
Asenkron iletişimde ise clock hattı kullanılmaz. Clock hattı yerine asenkron iletişimde başlangıç (start) ve bitiş (stop) bit'leri kullanılır. Bu bit'ler birbirinin ardı sıra gönderilen bitlerin başladığı ve bittiği yerleri tespit etmek için kullanılan bir zamanlama protokolüdür.



Şekil 4.4: Asenkron seri iletişim blok şeması

Asenkron seri iletişimde bir byte'lık veri 10 bit'lik veri dizisiyle gönderilir. Bu bit'ler; 1 start bit'i, 8 veri bit'i ve bir stop bit'inden ibarettir. Start ve stop bit'leri vericiden gelen veri bit'leri ile alıcının aldığı bit'ler arasında senkronizasyonu sağlamaya yardımcı olur. Veri sinyali taşıyan hatlarda meydana gelen bazı olumsuz koşullar nedeniyle bazen stop bit'inin uzunluğu(süresi) normal data bit'inden 1.5 veya 2 kat daha uzun tutulabilir. Sinyal hatlarındaki verinin doğru olarak gönderilmesini engelleyen koşullara gürültü denir.

Asenkron veri iletişiminde senkron veri iletişimindeki gibi eşzamanlılık yoktur. Verici bir byte'lık verinin gönderilmeye başladığını start bit'i ile alıcıya bildirir Bundan sonra veriyi oluşturan 8 bit'lik veri arka arkaya gönderilir. Son olarak stop bit'i gönderilir.



Şekil 4.5: Bir byte'lık verinin asenkron olarak gönderilmesi

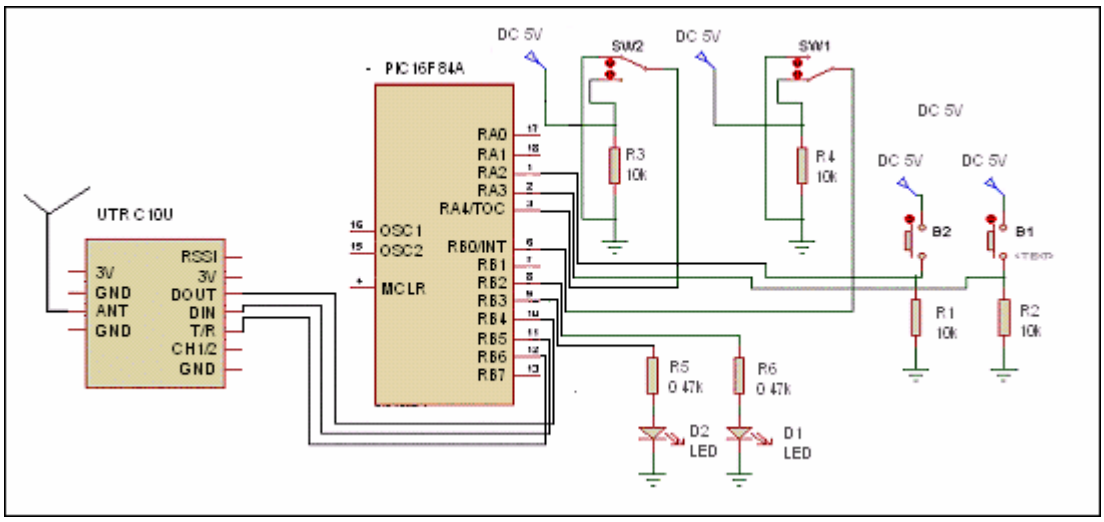
Veri hattının boş olduğu duruma MARK durumu denilir. Hat boş olduğunda MARK ikili "1" durumundadır. İletişimi başlatmak için verici bir start bit'inden sonra 8 bit gönderir. Dikkat edilirse ilk gönderilen LSB bit'i son gönderilen ise MSB bit'idir.

Standart 8 bit data gönderimi 1 stop 1 start bit'i ile beraber toplam 10 bit'tir. Asenkron seri iletişimde clock hattı olmadığı için, ardı ardına gelen bitleri belirleyebilmek için verici ve alıcı arasında iyi bir zamanlama protokolü olması gerekir, buna baud rate denilir.

4.3 Merkez İstasyonun Tasarımı

Ana istasyonun görevi Şekil 4.5'de görülen ikili anahtarlardan gelen kontrol sinyallerine göre yardımcı istasyonlara, veri göndermek ve bu kontrol sinyallerinin yardımcı istasyonlarda oluşturduğu durumları, ledler vasıtasıyla kullanıcıya bildirmektir. Ana istasyonun ön ve arka görünüşleri EK-3a'da verilmiştir.

Merkez istasyonda SW1 olarak adlandırılan anahtar, verinin gönderileceği istasyonu tayin etmek amacıyla kullanılır. SW2 anahtarı ise istasyon1 seçili olduğu durumda, bu istasyona bağlı olan dc motorun çalışma yönünü belirlemek için kullanılır. B1 butonu istasyonlardaki motorlara start vermek, B2 ise stop vermek için kullanılır.



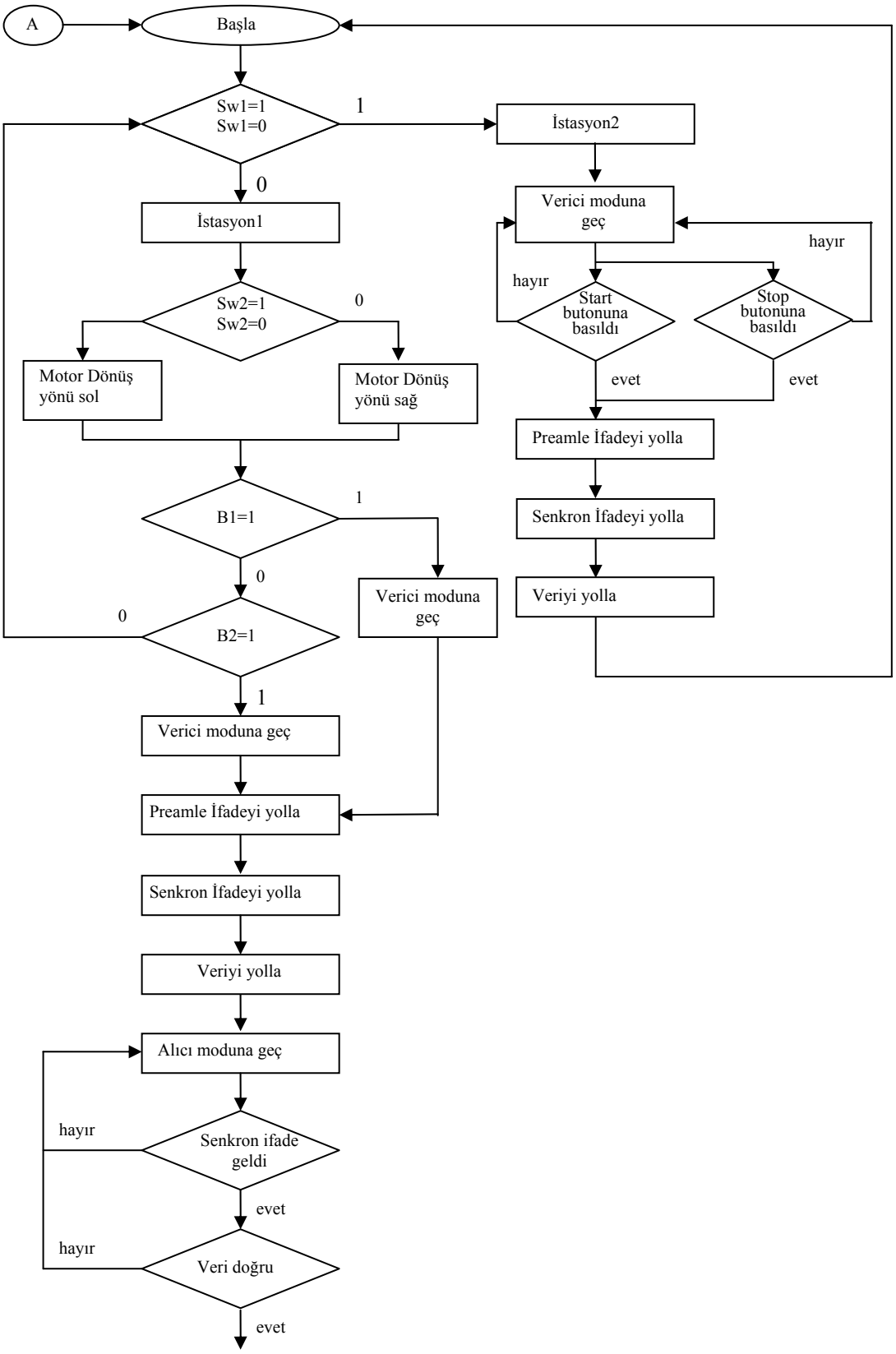
Şekil 4.6: Ana istasyon

Kullanılacak olan RF Alıcı-verici modülü seri iletişime uygun olarak seçilmiştir. Bunun başlıca nedeni, seri iletişim kullanıldığında sistem yapısının karmaşıklığı azalmaktadır. Seri iletişim yerine paralel iletişim kullanıldığında, 8 bit'lik veri yolu için mikro denetleyicide ve RF modülünde 8 adet giriş bulunmalıdır. İletişimin, iki yönlü akışı da düşünüldüğünde giriş/çıkış sayısı ikiye katlanır. Mikro denetleyici de kontrol sinyalleri, ledler ve yapılacak program değişiklikleri için kullanılacak yedekler de düşünüldüğünde 8-9 adet daha giriş/çıkış bulunması gerekir. Bu da mikro denetleyicinin bacak sayısının 40 civarında olmasını gerektirir. Daha büyük denetleyici ise daha pahalıdır ve montajında daha çok yer kaplar. Sonuç olarak devrenin hacmi ve maliyeti yükselir. Bu da optimum çözümü gerçekleştirmek için gereken verimlilik/maliyet oranını doğrudan etkilemektedir.

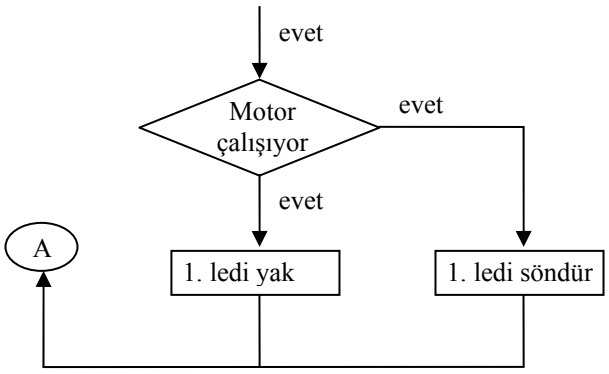
RF modülünün ve mikro denetleyicinin clock sinyalleri aynı olmadığından, bu ikili asenkron olarak haberleştirilmektedir. Denetleyiciden RF modülüne veri yollanırken, veri 8N1 yani 1 start biti 8 veri biti ve bir stop biti kullanılarak toplam 10 bitlik paketler halinde iletilir.

Ana İstasyonun Çalışması:

Ana istasyon, kontrol edilecek olan ünitelerle, kontrolör(kontrol işini yürütecek olan herhangi biri) arasında bir ara-yüzey olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, ana istasyonu (bir televizyon kumandası gibi düşünülebilir) kullanacak kişinin, denetlenecek üniteleri, göz teması mesafesi dışındayken, verdiği bütün komutların etkilerini, bulunduğu yerden, takip edebileceği şekilde çalışması gereklidir. Neticede bu tip çalışmalar, her zaman insanların işlerini kolaylaştırmak için yapılmaktadır.



Şekil 4.7: Ana istasyon program akışı



Şekil 4.7(Devam): Ana istasyon program akışı

Merkez istasyon çalışmaya başladığında, ilk olarak SW1 anahtarının durumuna bakılır. Anahtar 1 konumundaysa program istasyon 2'ye, 0 konumundaysa istasyon 1'e veri gönderen programa dallanır.

Program istasyon 2'ye dallanması durumunda RF modülünün T/R pinine lojik"1" (433MHz) yollanarak verici moduna geçirilir. Modül verici modundayken B1 ve B2 butonlarının durumları sorgulanır. Butonlardan stop veya start bilgisi geldiği anda 20 byte uzunluğunda ardaşıl "1" ve "0" 'lardan oluşan preamble ifadesi RF modülüne yollanır. Böylece donanımsal senkronizasyon gerçekleştirilmiş olur. Bunun ardından, verinin gideceği istasyonla yazılımsal olarak senkronizasyonun gerçekleştirilmesini sağlayacak olan bir karakter uzunluğunda senkron ifade RF modülüne gönderilir. Son olarak kontrol sinyallerinin toplandığı 1 byte'lık veri (Tablo 4.4) RF modülüne gönderilerek veri iletimi sona erdirilir ve program tekrar başa dallanır.

Program istasyon 1'e dallanması durumunda ise RF modülü tekrar verici moduna geçirilir. Bu durumda SW2 anahtarının konumu sorgulanır. Anahtar "1" konumunda ise motor dönüş yönü sağ, "0" ise sol olarak tayin edilir. Ardından istasyon 2'de olduğu gibi B1 ve B2 butonları sorgulanarak, bu istasyondaki motorun çalışıp çalışmayacağı belirlenir. Son olarak ise veriyi göndermeden önce istasyon 2'de olduğu gibi önce preamble sonrada senkron ifadesi yollanır.

Veri iletimi gerçekleştirildikten sonra RF modülü alıcı moduna geçerek istasyon 2'den gelecek ve motorun durumunu ifade edecek olan geri besleme verisini bekler. Bu aşamada ilk önce senkron ifadesi gelen veri paketinin içinde aranır. Eğer senkron ifade bulunursa doğrulama işlemine geçilir. Doğrulama işlemi senkron

ifadeyi destekleyen ikinci bir senkron ifadedir. Aynı zamanda da adresleme işlemi için kullanılır. Adresleme kullanılmasının nedeni her iki istasyonla aynı frekans ile haberleşmesidir. Geri besleme verisi gelmeden program herhangi bir yere dallanmaz. Veri geldiğinde ilk önce senkron ifadeye bakılır. Senkron ifadenin ardından gelen veri byte'larının ilki daha önceden belirlenmiş olan bir byte'lık ifadeyle karşılaştırılır. Sonuç doğru ise gelen esas veri byte'ı değerlendirilmeye alınır ve motorun çalışıp çalışmadığına karar verilir. Son olarak motor çalışıyor bilgisi varsa D1 ledi yakılır, çalışmıyorsa led söndürülür.

Tablo 4.4: "Motor" değişkenin bit konfigürasyonu

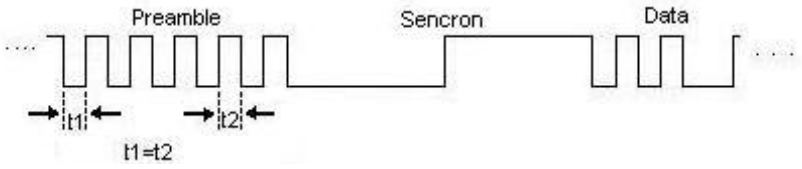
Bit No:	Açıklama
0	Motoru Çalıştır (İstasyon1 ve İstasyon2 için)
1	Motoru durdur (İstasyon1 ve İstasyon2 için)
2	Motor dönüş yönü seçimi (Sadece İstasyon1 için)
3	Yedek
4	Yedek
5	Yedek
6	Yedek
7	Yedek

Modül'e veri göndermek için DIN pini kullanılır. DIN pinine, sadece Modül verici modundayken RF olarak gönderilmek istenen data verilir. Modül UART (Transparent Asynchronous) data iletişimine uygun olarak üretilmiştir. Standart data gönderme protokolü şu şekildedir:

TX: preamble + senkron + data1+.....+dataX (4.1)

En basit haberleşme sistemlerinde bile mesajın başlangıcı için bir preamble ifade kullanılması neredeyse zorunludur. Preamble veri ardışık olarak 1 ve 0'lardan oluşan (01010101...) bir bit dizinidir. 5 byte 0x55 veya 0xAA olabilir. Bu ifade donanımın iletime veya alıma hazır hale gelmesi için kullanılır. Gönderilen 1 ve 0'ların süreleri eşit olmalıdır. Kısaca preamble donanım senkronizasyonunu sağlamaktadır. Senkron ise yazılımın senkronizasyonuna yardımcı olur. Bit senkronizasyonunun sağlanması ve mesaj başlangıcının doğru tayini için kullanılması gereklidir. Bu bit dizininin boyu uygulama gereksinimleri veya

kısıtlamalarına göre değişebilmekle birlikte 5 byte 0x00 + 5 byte 0xFF olabilir veya bunun ne olacağına kişi kendisi karar verebilir. Bu uygulama, amatörce olduğu ve kısa mesafelerde kullanılıp, gürültüden çok etkilenmeyeceği için istasyonlarla haberleşmek için senkron ifade olarak herhangi bir karakter kullanılmıştır. Bu karakter 8 bit'lik (1 Byte) bir veriye karşılık gelmektedir.



Şekil 4.8: Alıcı-verici modülü ile haberleşirken kullanılan protokol

Bu protokolü kullanırken en çok dikkat edilmesi gereken, bit süreleridir. Süreler hesaplanırken yazılımdan kaynaklanan gecikmeler, donanımdan kaynaklanan sapmalar dikkate alınmalıdır. Aksi taktirde sağlıklı veri iletimi yapmak mümkün olmayabilir.

Modül ile denetleyici arasında kullanılan veri iletim hızı 2400 baud'tur. Bu da her bir bitin süresinin 1/2400 = 416µs olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla $t_1 = t_2 = 416$ µs olmalıdır. Eğer yazılımda, veri paketinde olan herhangi bir biti, lojik "1" olarak set ettikten sonra 416 µs gecikme yapılırsa,

Gecikme süresi = 416 µs + komutun işleme süresi (4.2)

olur. Örneğin komut isleme süresinden kaynaklanan gecikme süresi 4µs olduğu düşünülürse, bekleme süresi 416 µs olmak yerine 420 µs (Bu süre komutun işleme süresine göre değişebilir) olur. Her bitte 4 µs'lik gecikme olursa, 9 byte'lık veride 9*8*4=288 µs'lik bir hataya yol açar. Bu da bazı bitlerin okunamamasına neden olabilir. Sonuç olarak bir bit'lik bir hata bile, sistemin kararsız veya yanlış çalışmasına neden olabilir. Eğer sistem, riskli bir sistem ise çok kötü sonuçlar doğurabilir. Aynı şekilde, donanımda kullandığımız osilatörün 4MHz olduğunu varsayılmaktadır. Fakat üretim koşullarından kaynaklanan hatalar nedeniyle 3.98MHz veya 4.02MHz olabilir. Dolayısıyla ±2MHz veya farklı bir değerde frekans kayması gerçekleşebilir. Gerçekleşen frekans kaymaları da yine bit sürelerinin

değişimine neden olur. Dolayısıyla donanımda kullanılan elemanlar da devrenin çalışma karakteristiğini doğrudan etkilemektedir.

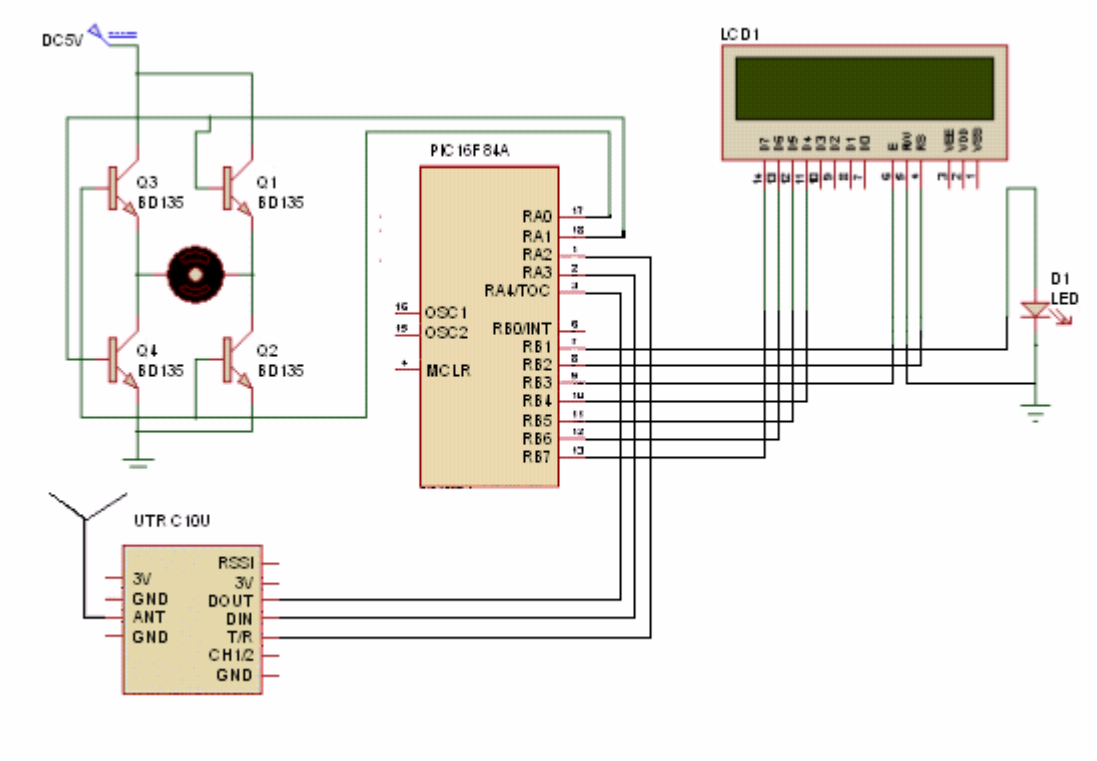
Bu bakımdan RF devrelerin tasarımı ve üretimi gerçekleştirildikten sonra bilgisayar ortamında çalışma ile ilgili simülasyonlar yapılsa bile pratikte sağlıklı olarak çalışmayabilir. Sağlıklı çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için gerekli test cihazları mevcut değilse muhakkak veri aktarım sürelerini devre üzerinde deneyerek doğru zamanlamalar bulunmalı ve haberleşme ile ilgili yazılım daha sonra yapılmalıdır. Aksi taktirde RF devre için gerçekleştirilecek yazılımsal süreç olması gerekenden çok daha uzun olacaktır.

Veri paketi gönderildikten hemen sonra, RF modülü alıcı moduna geçerek istasyonlardan gelecek olan sistem cevabını beklemeye başlar. Bu da ana istasyonla diğer istasyonlar arasında yarı-eşzamanlı bir iletişim olduğu anlamına gelir. Denetleyici, RF modülünden gelen verileri sürekli okur ama senkron ifadesini yakalamadan herhangi bir işlem yürütmez. Bunun nedeni gürültüden kaynaklanabilecek yanlış veri alımlarının önüne geçilerek, yazılımın gereksiz çalışmasını engellemektir. Bu bakımdan senkron ifadesinin uzun tutulması, sağlıklı veri iletişimi açısından önemlidir.

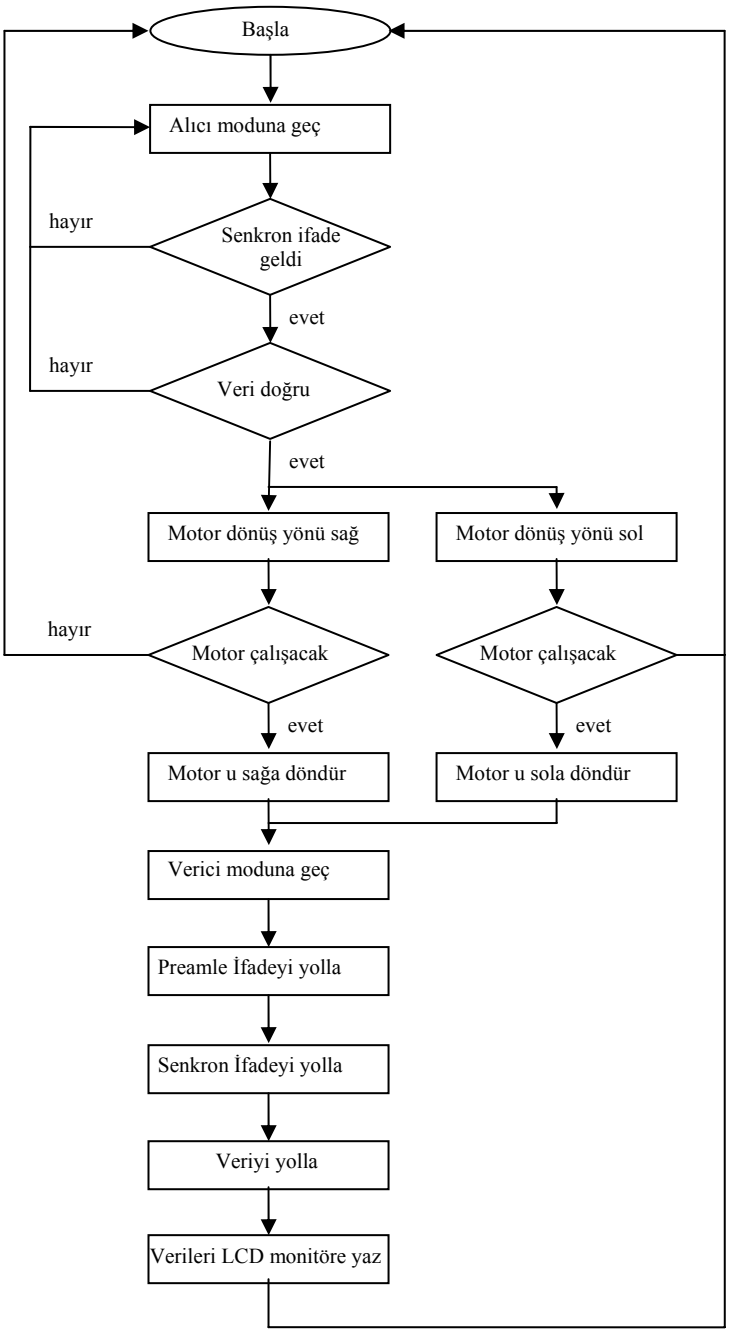
4.4 İstasyon 1'in Tasarımı ve Çalışma Prensibi

İstasyon 1, 4V'luk dc bir motorun, uzaktan yön ve hareket kontrolünü gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Bu bağlamda devre RF haberleşme sistemi dışında, motor kontrolü için kullanılacak 4 adet transistor ve veri akışının takip edilmesi açısından kolaylık sağlayacak, bir adet LCD ekrandan oluşmaktadır.

Sistemin yapısı Şekil 4.9'de görülmektedir.



Şekil 4.9: İstasyon 1



Şekil 4.10: İstasyon 1 program akışı

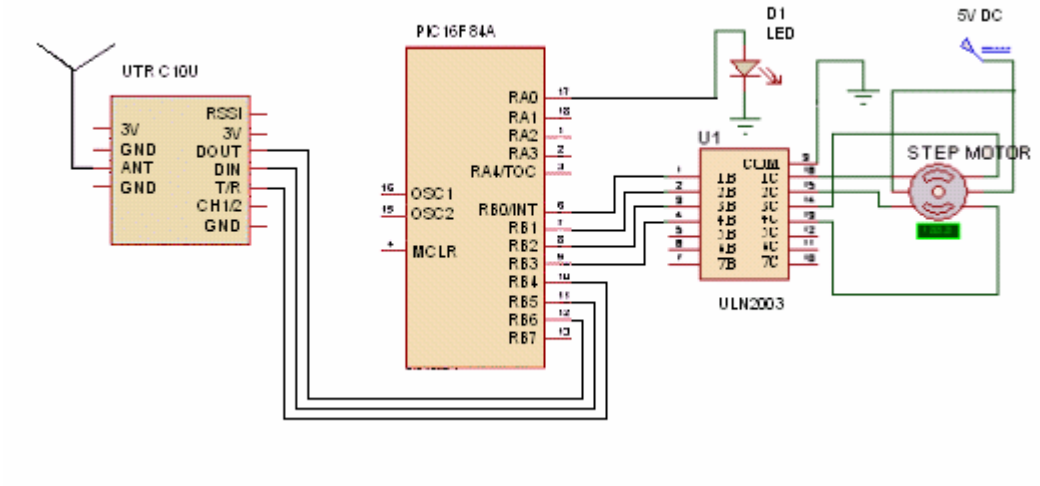
Sistem ilk enerjilendirildiği anda, RF modülü denetleyici tarafından alıcı moduna geçirilir. Bunun ardından senkron ifadesi beklenir. Senkron ifadesi geldiği zaman doğrulama işlemine geçilir. Doğrulama işlemi gerçekleşirse kontrol bitlerine bakılarak motor dönüş yönü tayin edilir. Motor dönüş yönünün ardından motorun çalış ve dur bilgilerine bakılır. Böylece motorun sağ veya sol yöne doğru hareket ettirilir. Motora herhangi bir hareket verildikten sonra denetleyici RF modülünü verici

moduna geçirir. Akabinde motorun çalışma durumunu ifade eden geri besleme verileri merkez istasyona yollanır. Geri besleme yapılırken, merkez istasyonun veri gönderirken kullandığı preamble+senkron+doğrulama-ifadesi protokolu kullanılır. Oluşturulan veri katarı tekrar merkez istasyona yollanır. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra motorun çalışma yönü ve haberleşme parametreleri LCD monitöre gönderilir.

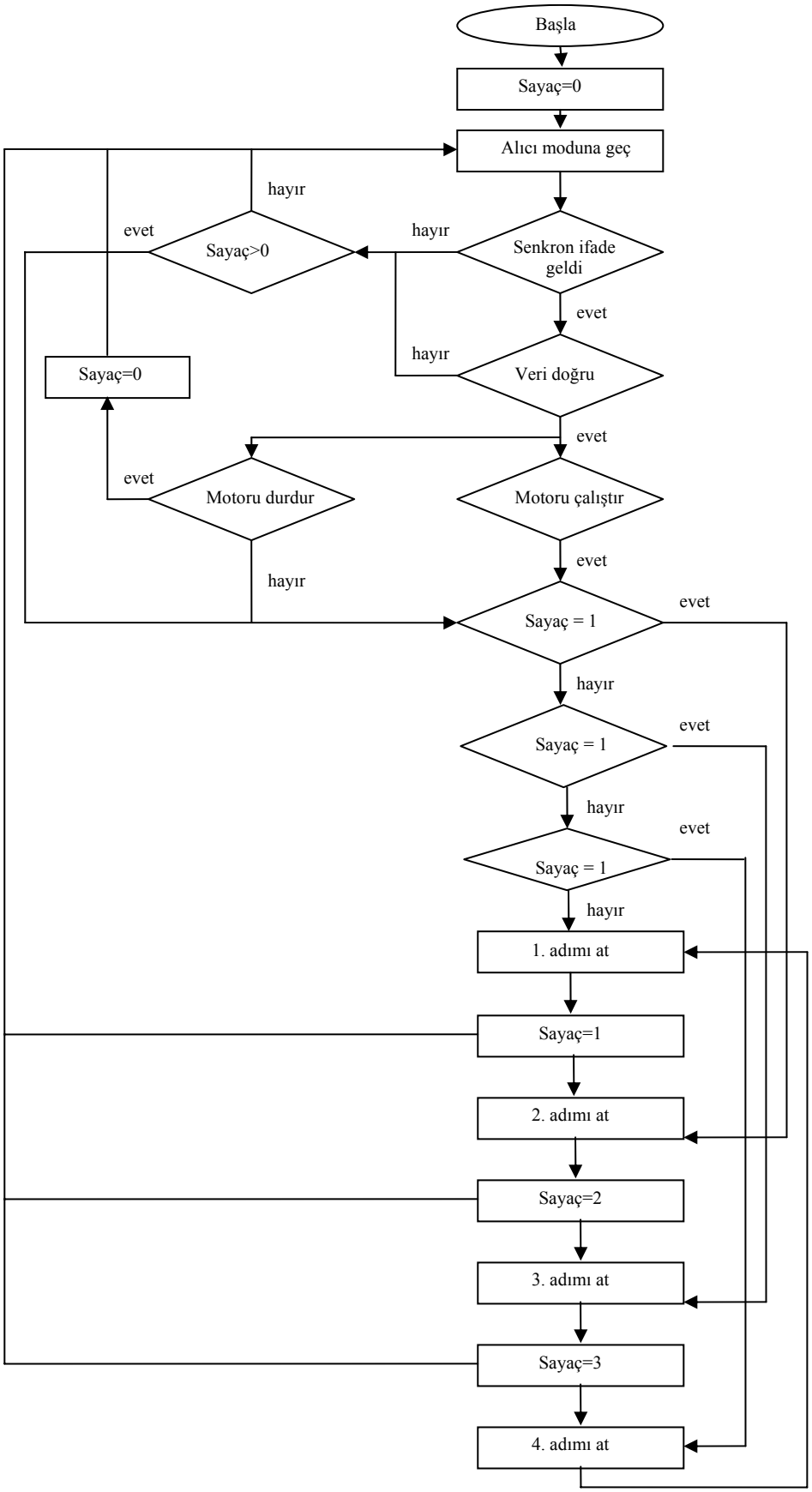
Doğrulama işlemi istasyon 1'de ve 2'de çok önemlidir. Eğer doğrulama yapılmazsa DC motor veya step motor parazitik etkilerden dolayı ansızın çalışabilir veya çalışıyorken durabilir. Kontrol edilecek olan sistemin sadece deney amaçlı değil gerçek bir sistemde kullanıldığında ise oluşacak olan böyle bir durumun sonucunda, maddi hasarlardan, insan hayatını tehlikeye sokacak durumların oluşmasına sebebiyet vermeye kadar gidebilir.

4.5 İstasyon 2'nin Tasarımı ve Çalışma Prensibi

İstasyon 2 4v'luk ünipolar step motoru sürecek şekilde tasarlanmıştır. Devreyi sadeleştirmek ve küçültmek açısından, step motoru sürmek için 4 adet transistor kullanmak yerine içerisinde 7 adet transistor içeren bir ULN2000 entegresi kullanılmıştır.



Şekil 4.11: İstasyon 2

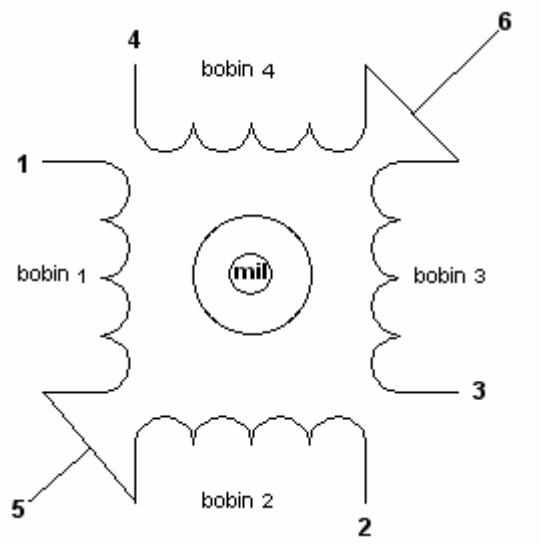


Şekil 4.12: İstasyon 2 program akışı

İstasyon 2 sistem ilk enerjilendiğinde sayaç adında bir değişkeni sıfırlar ve otomatik olarak alıcı moduna geçer. Bunun ardından diğer istasyonlar da olduğu gibi senkron ve doğrulama ifadesi aranır. Eğer bu ifadelerin her ikisi birden ard arda gelmemişse program tekrar başa dallanır ve veri beklemeye devam eder. Doğrulama ifadesi alındıktan sonra esas veri byte'ındaki motoru çalıştır bitine bakılır. Bu bit sıfırsa motora herhangi bir hareket verilmez ve program başa dallanır. Motoru çalıştır biti "1" ise motor 1 adım dönerek hareket eder. Bu hareketin ardından sayaç değişkeni "1" e eşitlenir. Bu işlemden sonra program tekrar başa dallanır ve herhangi bir verisinin olup olmadığına bakılır. Eğer istasyon veri alırsa gelen veri kontrol edilir ve motorun çalışmaya devam edip etmeyeceği tayin edilir. Eğer "dur" bilgisi gelmişse motor durdurulur. Eğer "çalış" bilgisi varsa sayaç değişkeninin değerinin eşit olduğu adımdan çalışmaya devam edilir. Aynı silsile diğer adımlar içinde de devam ettirilir. Bu şekilde motora "dur" bilgisi gelene kadar motor çalışmaya devam eder.

4.6 Unipolar Step Motor ve Çalışma Prensibi

İstasyon2'de 5VDC, 400 adımlı standart unipolar bir step motor kullanılmıştır. Unipolar step motorlar, 5 yada altı kablolu üretilirler. Bu kablolardan 4'ü bobin uçları ve diğerleri ortak uçlardır. Bu çalışmada kullanılan motor ise Şekil 4.13'de görülen 6 kablolu bir motordur.



Şekil 4.13: Unipolar step motor iç yapısı.

Step motorlar çeşitli şekillerde sürülebilirler. Bunlara örnek olarak yarım adım metodu, tam adım metodu ve dalga sürümü metodunu verebiliriz. İstasyon2'de

kullanılan metot, dalga sürümü metodudur. Dalga sürümü metodunda, ortak uçlara sabit 5V uygulanırken, sargı uçlarına da sırasıyla 0Volt uygulanır ve 0Volt uygulanan sargıların dışındaki diğer sargılara da 5V uygulanır. Bu çalışma şeklini gerçeklemek için 4 adet transistor kullanılmalıdır. Transistorlerin tetiklenme şekli Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Dalga sürümü metodu

Bobin 3	Bobin 2	Bobin 1	Bobin 0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0

Çalışmaların esas amacı birden fazla ikincil istasyonun tek noktadan denetiminin, sayısal bir kablosuz haberleşme tekniği olan FSK ile gerçekleştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, eldeki olanaklar kullanılarak, kablosuz iletişimi, basit bir uygulamayla gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki aşama, haberleşmenin uygulanacağı sisteme göre denetim yapısının değiştirilerek uyarlanmasıdır.

5. SONUÇLAR

Kablo üzerinden yapılan veri aktarımı yöntemleri, kısa mesafelerde ve sabit kullanıcı gerektiren uygulamalarda, maliyet ve basitlik açısından avantajlı bir yöntemdir. Fakat bu avantajlarını uzak mesafelerde ve kullanıcının hareket etmesini gerektiren sistemlerde kaybetmektedir.

Yapılan çalışmada kablosuz iletişim teknikleri incelenmiş, gürültüye dayanıklılığı, maliyeti düşük olması ve uzak mesafelerde veri iletişimi yapılabilmesi nedeniyle FSK modülasyon tekniğini kullanarak, uzaktan erişime olanak sağlamıştır. Bunu yaparken tek noktadan, birden fazla sayıda istasyon denetlenmiştir.

Kablosuz iletişimin en büyük problemlerinden biri olan parazitik etkilerden, donanımın etkilenmesini önlemek amacıyla yazılımda senkron ifadenin yanı sıra bir de doğrulama ifadesi kullanılmıştır. Doğrulama ifadesi verinin parazit olup olmadığının tespitinde kullanılarak, istasyonlar alıcı moduna geçtiğinde, parazit nedeniyle oluşan rasgele verileri değerlendirmeyerek, esas veriyi beklemeye devam eder.

Sistem iki adet istasyon üzerinde denenmiş ve istasyonlar arasında iki duvar olmasına rağmen veri iletişiminin sağlıklı şekilde yapıldığı gözlenmiştir.

RF ile haberleşme gerçekleştirilirken 8 bitlik adresleme kullanılmıştır. Dolayısıyla 2^8-1=255 adet istasyonun kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Sonuç olarak uygulaması gerçekleştirilen sistem, garaj kapısı, kapı kilidi kontrolü gibi basit uygulamalardan akıllı bina otomasyonu ve endüstriyel otomasyon gibi çok noktalı denetim gerektiren uygulamalara kadar çeşitli alanlarda kullanılabilecek esneklikte bir yapıya sahiptir.

6. ÖNERİLER

Gerçekleştirilen sistemde anten olarak 17.3 cm boyunda 1mm^2 kesitinde bir kablo kullanılmıştır. Dolayısıyla RF modülünün sinyal gücü verimli olarak havaya yayılamamaktadır. Bu da sistemin haberleşme mesafesini azaltarak bir dezavantaj haline dönüşmektedir. Bunun yerinde RF modülde sistemin haberleşme hızı olan 2400 baud'a uygun yapıya sahip bir anten kullanılırsa, modülün sinyal gücü çok daha verimli olarak kullanılabilecek ve daha uzak mesafelere veri aktarımı yapılabilecektir.

Sistem en fazla 255 istasyonla haberleşmektedir. Fakat adres çözünürlüğü artırılarak daha fazla istasyonla haberleşmek mümkün olabilir. Bunu yaparken donanımda kullanılacak olan RF modülünün haberleşme hızı 9600 baud veya daha yüksek bir değere çıkarılabilir. Böylece istasyon sayısına bağlı olarak haberleşme hızı da artırılarak sistemin veriminin azalması engellenmiş olur.

İstasyonlar arasında yarı eşzamanlı haberleşme kullanılmıştır. Dolayısıyla bir istasyondan diğerine veri yollandığında cevap gelene kadar, istasyonlarda başka hiçbir işlem yapılmayarak kayıp bir zaman oluşmaktadır. Bunu engellemek amacıyla istasyonlar arasında eş zamanlı haberleşme kullanılması gereklidir.

RF donanımların üretilmesinde en önemli noktalardan biri zamanlamadır. Bu nedenle yazılımın gerçekleştirilme aşamasında, iletim hızına bağlı olarak gerçekleştirilecek olan bit sürelerinin hata oranlarının çok düşük olması için sistemin simülasyonunun yapılması gereklidir. Fakat sadece bu yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda yazılım, donanıma yüklendiğinde de tekrar süreler kontrol edilmelidir. Bunun nendi donanımdaki kristal osilatör gibi elemanların ideal yapıya sahip olduklarını varsayarak yazılımı gerçekleştirmemizden kaynaklanmaktadır. Halbuki 4MHz olarak düşündüğümüz bir osilatör 3.98 veya 4.02 MHz olabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Kayran, A.H., Panayırcı, E., Aygölü, Ü., "Sayısal Haberleşme", ***Birsen Yayınevi***, 131-151, (2004).

[2] Winder, S., Carr, J., "Radyo ve RF Mühendisi Cep Kitabı", Çev. Sunay, O., ***Bilişim Yayınevi***, 120-143, (2003).

[3] Altınbaşak, O., "PicBasic Pro ile PIC Programlama", ***Altaş Yayıncılık***, 21-170, (2002).

[4] Kayran, A., "Analog Haberleşme", ***Sistem Yayınları***, (1990).

[5] Çıbuk, M., "Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Temel Kodlama ve Sıkıştırma Teknikleri", Doktora Semineri, ***Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Elazığ, 5-34, (2003).

[6] Ekşioğlu, E.M., 2007, Haberleşmenin Temelleri [online], İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, http://www.atlas.cc.itu.edu.tr/~eksioglue/TEL342 **(Ziyaret tarihi: 18 Ocak 2007).**

[7] Haykın, S., Moher, M., John, W&S., "An Introduction to Digital and Analog Communication", 2nd edition, ***Mc Master Univercity Press***, (2006).

[8] Panayırcı, E., "Modülasyon Teorisi", ***İTÜ Yayınları***, İstanbul, (1985).

[9] Türkoğlu, İ., "Haberleşme Sistemleri", ***Fırat Üniversitesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Ders Notları***, Elazığ, 39-49, (2006).

[10] Selek, Y.K., "Yazılım Tanımlı Telsiz Cihazları ve Spektrum Kullanımı", Uzmanlık Tezi, ***Telekomünikasyon Kurumu***, Ankara, 21-168, (2005).

[11] Saygı, N., Telekomünikasyon ve Bilgi Teknolojileri Pazarı Mevcut Durum ve 10 Yıllık Bir Perspektif Çalışması, Uzmanlık Tezi, ***Telekomünikasyon Kurumu,*** Ankara, 33-74, (2002).

[12] Lauritsen, B., 2004, Inc. Earns First FCC Certification for Software Radio Device Base Station System is the First Software Radio, ***Vanu Press***, http://www.vanu.com/press_release.htm **(Ziyaret tarihi: 03 Kasım 2006).**

[13] UDEA, "Rf Alıcı ve Verici Birimleri İçin Düşük Boyutlu Pcb Anten Uygulamaları", ***Udea Wireless Technologies Uygulama Notu, UN-2305v02,*** Wireless Communications Products, 1-7, (2003).

[14] UDEA, "RF Tasarım", ***Udea Wireless Technologies Tasarım Notu, UN-1205v01_Tasarım,*** Wireless Communications Products, 1-6, (2005).

[15] UDEA, “Utr-C10 U Uhf Data Transceiver”, ***Udea Wireless Technologies Ürün Klavuzu, Version 1.5,*** Wireless Communications Products, 1-10, (2006).

[16] Doğan, İ., 2005, “PIC C ile PIC Programla”, http://www.elektrotekno.com/about765.html, **(Ziyaret tarihi:13 Aralık 2006).**

[17] MICROCHIP, “PIC16F84A Data Sheet”, ***Microchip Technology Inc. Report***, ***DS35007B***, 1-88, (2001).

[18] MICROCHIP, “PIC16F87X Data Sheet”, ***Microchip Technology Inc. Report***, ***DS30292C***, 1-218, (2001).

[19] MICROCHIP, “PicBasic Pro Compiler”, ***Microchip Technology MicroEngineering Labs, Inc. Report***, ***60039***, 1-212, (2000).

[20] Teuscher, C.M., “Low Power Receiver Design for Portable RF Applications”, ***Graduate Division of The University of California, Berkeley***, 21-178, (1998).

Microdenetleyici (16F84A):

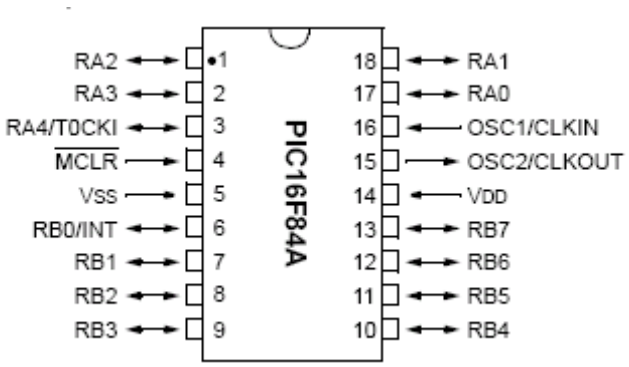
Bir yazılım olmadan hiçbir işe yaramayan, ancak içerisine yazılan program vasıtasıyla istenilen bir işlemi gerçekleştiren kontrol elemanıdır. Mikrodenetleyici yazılım olması halinde neredeyse sınırsız bir kullanım alanına sahiplerdir.

Mikrodenetleyici bir bakıma bir bilgisayardır. Klavye, monitör, fare ve bunun gibi çevresel birimleri olmasa da bir bilgisayarın yaptığı her şeyi yapabilecek kapasiteye sahiptir. Örneğin her bilgisayarın bir merkezi işlem ünitesi (CPU: Central Processing Unit) vardır ve bu ünite makine kodlarını bizim anlayabileceğimiz karakterlere dönüştürür, programları yorumlar, işler, düzenler, bilgisayarın çeşitli birimleriyle irtibat kurar. Bu işlemleri yaparken bazı değişkenleri ve geçici olarak elde ettiği bilgileri sakladığı bir rasgele erişimli hafızaya (RAM:Random Access Memory) ihtiyaç duyar. Ayrıca bilgisayarların dış dünyayla bilgi alış ve verişlerinde kullandıkları bazı giriş ve çıkış üniteleri bulunmaktadır. Fare ve klavye giriş yaptığımız elemanlara, monitör ve yazıcı çıkış aldığımız elemanlara birer örnektir. Bilgilerimizi kaydettiğimiz sabit diskler ise hem giriş hem de çıkış elemanı olarak çalışmaktadırlar. Aynen bilgisayarda olduğu gibi mikrodenetleyiciye de fare ve klavye gibi çevre elemanlarının işlemlerini nispeten de olsa yerine getirecek elemanlar ekleyerek, küçük bir bilgisayar gibi kullanmamız mümkündür.

Bir mikrodenetleyici genel olarak aşağıdaki birimlerden oluşur:

- CPU (Merkezi işlem ünitesi - central processing unit)
- RAM (Rastgele erişimli bellek - Random Access Memory)
- EPROM/PROM/ROM (Silinir, yazılır sadece okunur bellek - Erasable Programmable Read Only Memory)
- I/O (Girdi/çıktı - input/output) - seri ve paralel
- Timers (Zamanlayıcılar)
- Interrupt controller (Kesmeler)

PIC serisi mikrodenetleyiciler MICROCHIP firması tarafından geliştirilmiştir. Üretim amacı; çok fonksiyonlu mantık uygulamalarının hızlı ve ucuz bir mikrodenetleyici ile yazılım yoluyla karşılanmasıdır. PIC'in kelime anlamı Peripheral Interface Controller'dir (Çevresel arabirim denetleyicisi). İlk olarak 1994 yılında 16 bitlik ve 32 bitlik büyük işlemcilerin giriş ve çıkışlarındaki yükü azaltmak ve denetlemek amacıyla çok hızlı ve ucuz bir çözüme ihtiyaç duyulduğu için geliştirilmiştir.



Şekil 1: PIC 16F84A ön görünüşü

16F84A Teknik Özellikleri

- Tüm işlemler, iki cycle'lık program dallanmaları haricinde tek cycle'dır.
- Çalışma hızı 4-20 MHz arasında değişebilir.
- 1024 word program hafızası
- 68 byte data RAM
- 64 byte data EEPROM
- 14 bit geniş komut Wordleri
- 8 bit geniş data byte
- 15 özel fonksiyon donanım yazmacı
- Sekiz seviye derin donanım yığını
- Direk, dolaylı ve nispi adresleme modu
- 4 kesme kaynağı
    - Harici RB0\INT pini
    - TMR0 sayıcı taşması
    - PORTB<7:4> değişiminde kesme
    - Data EEPROM

16F84A İkincil Özellikleri

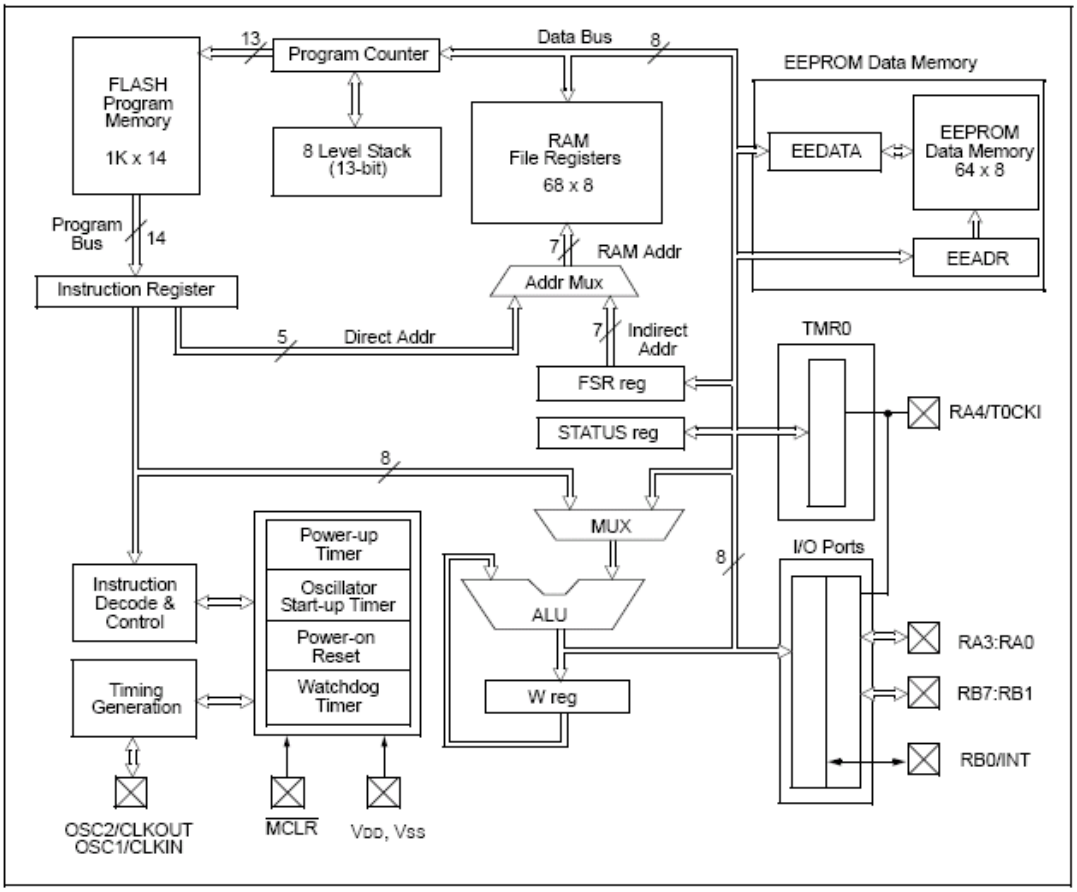
- Her biri ayrı kontrol edilebilir 13 I\O pini
- Led sürmek için yüksek kaynak ve hat akımı
  - Her pin için maksimum 25mA hat akımı
  - Her pin için maksimum 25mA kaynak akımı
- TMR0: 8-Bit programsal olarak önceden programlanabilir, 8-bit sayıcı / zamanlayıcı

16F84A Kendine Has Denetleyici Özellikleri

- 10.000 silme yazma kapasitesine sahip geliştirilmiş FLASH program hafıza tipi.
- 10.000.000 tipik silme yazma kapasitesine EEPROM data hafızası.
- 40 yılın üzerinde EEPROM'da veri tutma.
- İki pin vasıtasıyla, devrede seri programlama.
- Power-on Reset, Power-up Timer, Oscillator Start-up Timer.
- Güvenli çalışma için dahili watchdog zamanlayıcı.
- Kod koruma.
- Güç tasarrufu için uyku modu.
- Seçilebilir osilatör tipi.

CMOS geliştirilmiş FLASH/EEPROM teknolojisi

- Düşük güç, yüksek hız teknolojisi
- Tamamıyla statik dizayn
- Geniş çalışma gerilimi (2-5.5 volt)
- Düşük güç sarfiyatı
  - <2mA 5V, 4MHz
  - 15μA 2V, 32kHz
  - <0.5 μA standby akımı



Şekil 2: PIC 16F84A iç yapısı

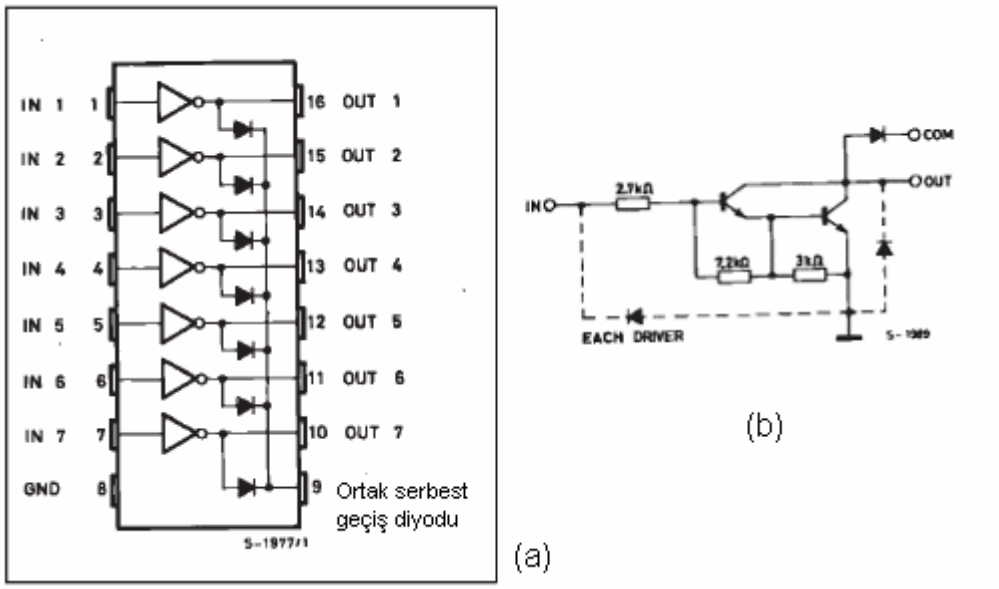
PIC Mikrodenetleyicilerinin Tercih Sebepleri

a) Fiyatının ucuz olması;
b) Mantıksal işlemlerde performansının yüksek olması;
c) Verilere ve belleğe hızlı bir şekilde erişimin sağlanması;
d) 8 bitlik bir mikrodenetleyici olması;
e) Veri ve bellek için arı yolların (bus'ların) ayrılmış olması;
f) Yüksek frekanslarda çalışabilme özelliği;
g) Uyku modunda (Sleep mode) 1µA gibi küçük bir akım çekmesi;
h) 14 bitlik komut işleme hafızası;
i) Yalnızca 2 kondansatör ve bir direnç ile çalışabilme özelliği;
j) RISC mimarisine sahip olması;

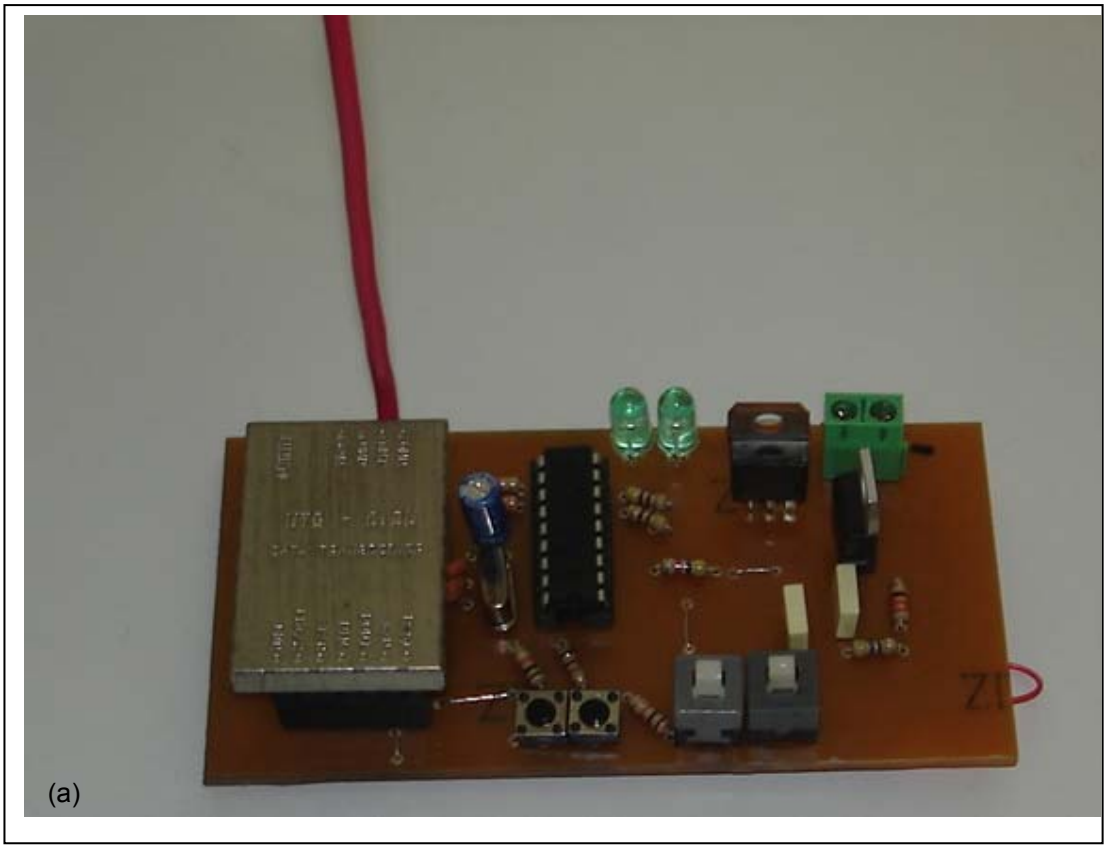
ULN2003:

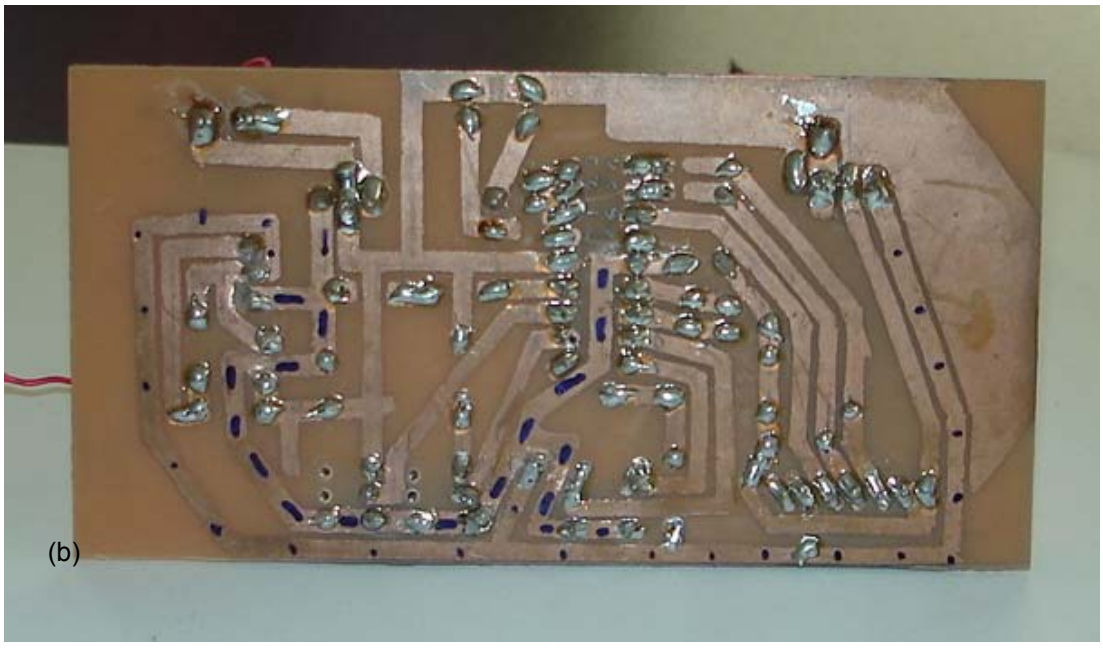
ULN2003 (5V TTL CMOS) içerisinde yedi adet darlington transistor bulunan bir entegredir.

- Her kanalın çıkış akımı 500mA, pik akımı ise 600mA'dir.
- Çıkış gerilimi 50V'tur.
- İndüktif yükler için entegre diyot.
- Yüksek akımlar için paralellenmiş çıkışlar.
- TTL/CMOS/PMOS/DTL uyumlu girişler.

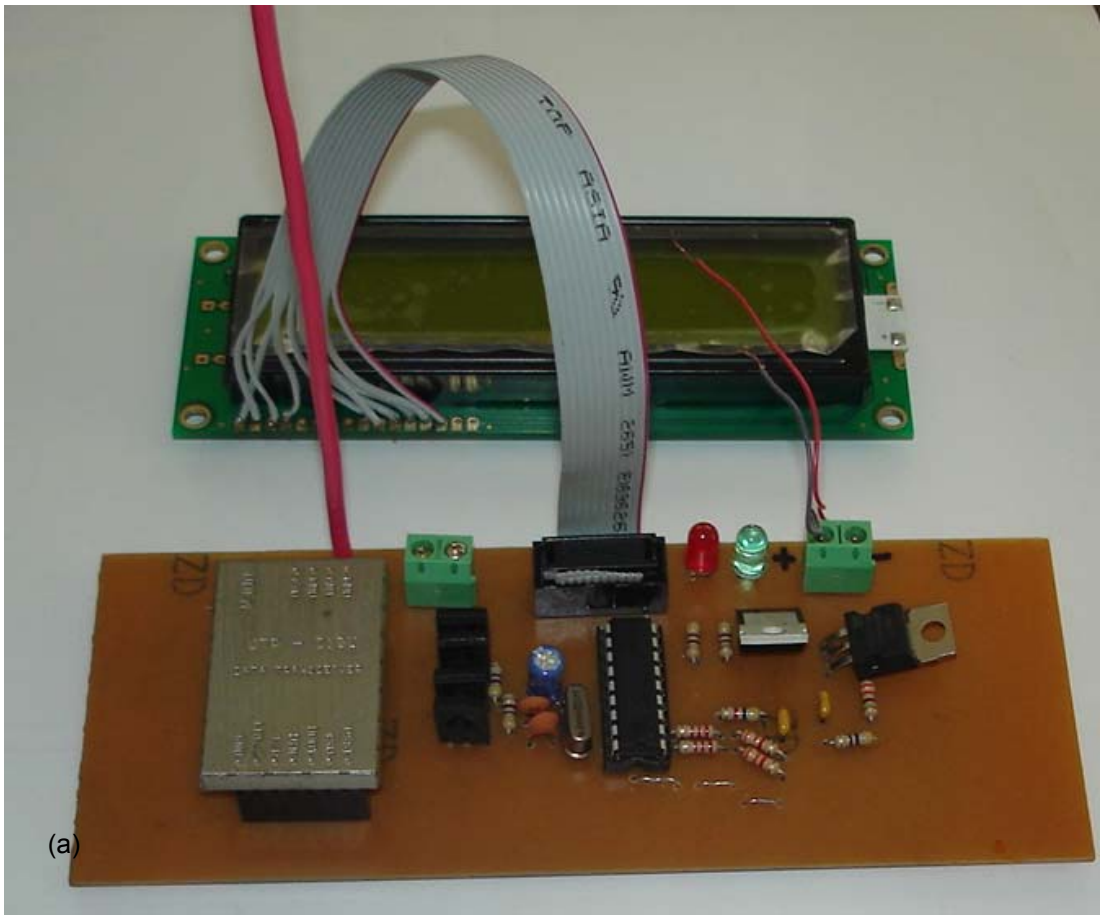


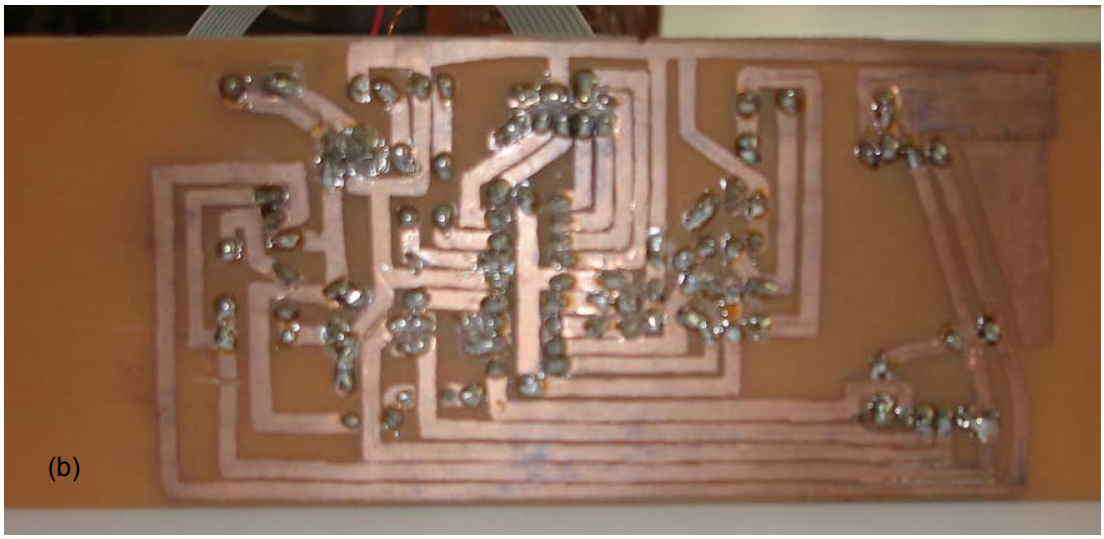
Şekil 1: (a) ULN2003 iç yapısı (b) Bir kanalın yapısı



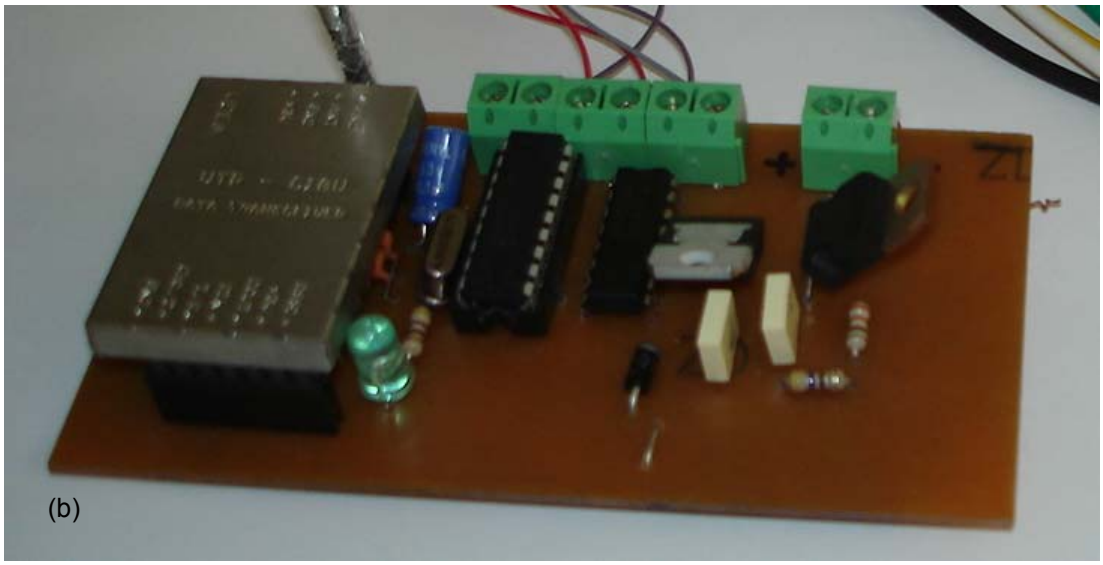


Şekil 1: Merkez İstasyon a) Önden Görünüş, b) Arkadan Görünüş

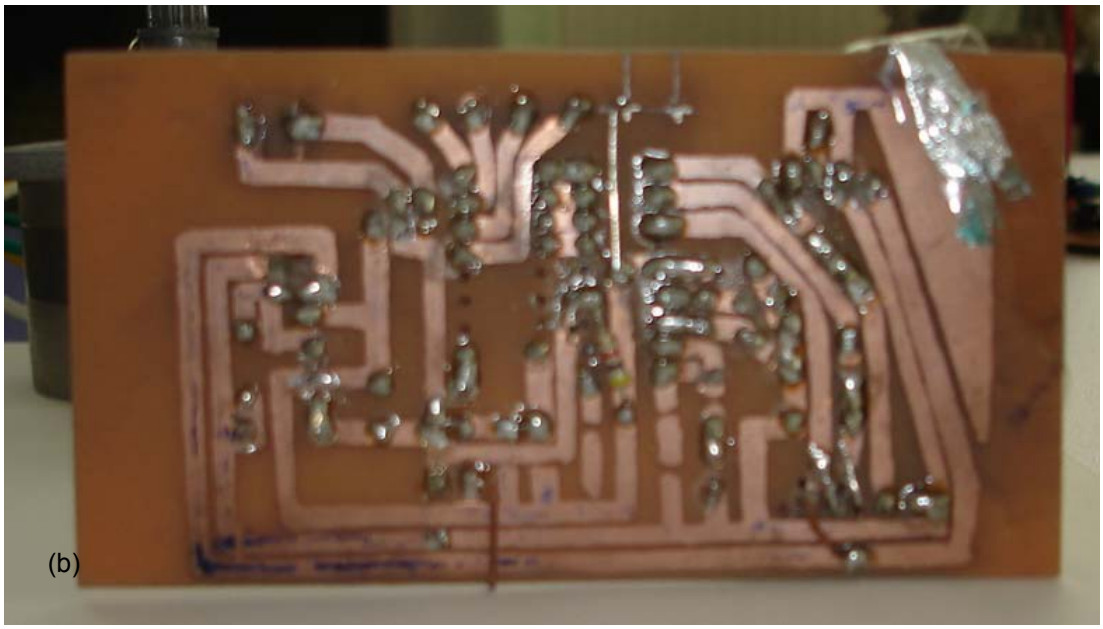




Şekil 2: İstasyon 1 a) Önden Görünüş, b) Arkadan Görünüş



(b)



(b)

Şekil 3: İstasyon 2 a) Önden Görünüş, b) Arkadan Görünüş

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ordu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ordu'da tamamladı. 1998 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2003 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmekte olup, evlidir. 2003 yılından itibaren Emesis Elektrik Mekanik Elektronik Sistemler San. ve Tic. Ltd. Şti. şirketinde Otomasyon Mühendisi olarak çalışmaktadır.