

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERBEST ORTAMDA RS-232 PROTOKOLÜ
İLE OPTİK HABERLEŞME SİSTEMİ
UYGULAMASI

Süleyman BİLGİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2004

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERBEST ORTAMDA RS-232 PROTOKOLÜ
İLE OPTİK HABERLEŞME SİSTEMİ
UYGULAMASI

Süleyman BİLGİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç.Dr. F. Necati ECEVİT

GEBZE

2004

Süleyman BİLGİN'nin tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun /..... /..... tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Doç. Dr. F. Necati ECEVİT
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Prof. Dr. Ali ALKUMRU

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İmza/Mühür

ÖZET

Bu çalışmada, kısa mesafeli veri haberleşmesi için alternatif bir metot olarak, kızıl ötesi ışıkla tasarımı yapılan bir devre kullanılmıştır. İlk önce ışık teorisi açıklanmış daha sonra bu teoriye uygun çalışan verici ve alıcı devrelerden bahsedilmiştir. Bu devrelerin açıklanmasından sonra optik haberleşmede kullanılan modülasyon teknikleri ve optik haberleşmenin optimizasyonu anlatılmıştır. Son olarak devrenin tasarımı gerçekleştirilmiş ve PROTEL DXP yardımıyla baskı devresi oluşturulmuştur. Devrenin ana gövdesini oluşturan kızıl ötesi LED ve foto transistörün uygun dalga boyunda seçilmesiyle, verici ve alıcı arasında veri haberleşmesi, sekiz bitlik veriler kullanılarak sağlanmıştır. Haberleşme sırasında ortaya çıkan birkaç küçük problem ortadan kaldırılmış ve devre uzun süre aktif bırakılıp test edilerek veri aktarımının doğruluğu sınanmıştır.

SUMMARY

In this study, a circuit that is an alternative method for short range data communication with infrared is designed. At first, The theory of light is explained and then the transceiver circuits which is appropriate to this theory is mentioned. After this explanations, optic modulation techniques and optical communication optimisation are described. At last, the circuit design is completed and the PCB is constituted by PROTEL DXP. With the LED, which is the basis of this circuit, and the photo transistor with the convenient wavelength selection, the data transfer as 8 bit is obtained between receiver and transmitter circuits. During the communication, the small problems are solved and the circuit is tested with working.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasını ve yüksek lisans tezi olarak hazırlanması sağlayan ve çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen tez danışmanlarım Sayın Doç Dr. Necati ECEVİT'e ve Sayın Doç Dr. Dmitri DVORNIKOV'a, Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Ali ALKUMRU'ya, kaynak temin etme ve çalışmanın ilerleyişi sırasında bana destek olan Sayın Yrd. Doç Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ 'ye, bu çalışmanın her safhasında benim yanımda olan değerli arkadaşım Elektronik ve Haberleşme Yüksek Mühendisi Ömer Halil ÇOLAK 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca sadece bu çalışmamda değil, tüm yaşamım boyunca bana desteklerini esirgemeyen aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
 1.GİRİŞ	 1
1.1. Optik İletişimin Tarihsel Gelişimi	1
1.2. Serbest Ortam Optik Haberleşme Sisteminin Çalışma Prensibi	3
1.3. Serbest Ortam Optik Haberleşmenin Tercih Nedenleri	3
1.3.1. Optik Haberleşme	3
1.3.2. Serbest Ortam Optik Haberleşme	4
1.4. Boşluk Haberleşmesinin Kullanım Alanları	5
1.4.1. Kısa Mesafe Uygulamaları	5
1.4.2. Uzun Mesafe Uygulamaları	5
1.4.3. Geniş Alan Uygulamaları	6
1.5. Optik haberleşme Sistemini Etkileyen Atmosfer Etkileri ve Doğal Etkiler	6
1.5.1. Emilme ve Saçılım	6
1.5.2.Hava	7
1.5.3. Işık Şiddetinin Değişimi	7
1.5.4. Bina Hareketi	8
 2. IŞIK TEORİSİ VE IŞIK İŞLEME	 9
2.1. Işık Spektrumu	9
2.2. Işık Gücü ve Yoğunluğu	10
2.3. Mercek Sistemleri	10
2.4. Ayrılma Açısı	13

2.5. Alış Açısı	14
2.6. Işık Demetinin Paralel Hale Getirilmesi ve Toplanması	15
2.6.1. Paralleleştirme	15
2.6.2. Işığın Biriktirilmesi	16
2.7. Optik Filtreler	17
2.8. Ters Kare Yasası	19
2.9. Sınır Eşitliği	19
3. VERİCİLER	22
3.1. Yarıiletken Diyot Lazerleri	22
3.1.1. Lazerlerin Çalışma Prensipleri	22
3.1.2. Uyarılmış ve Kendiliğinden Salınım	22
3.1.3. Nüfus Ters Çevrimi	23
3.1.4. Lazerlerin Enerji Düzeyleri	24
3.1.5. Yarıiletken Diyot Lazerleri	25
3.1.6. Eklemlerde Işık Emisyonu	25
3.1.7. Yarıiletkenlerin Özellikleri	26
3.1.8. Lazer Diyot Parametreleri	27
3.2. Işık Yayan Diyotlar (LED)	28
3.2.1. GaAlAs LED	28
3.2.2. GaAs Kızıl ötesi LED	29
3.3. Kablosuz Optik Haberleşme Sistemleri İçin Dalga Boyu Seçimi	30
4. ALICILAR	31
4.1. Foto Dedektörler	31
4.1.1. Fototransistor	31
4.1.2. Foto Diyot	33
4.1.2.1. Silikon PIN Foto Diyot	33
4.1.2.2. InGaAs PIN Diyot	35
4.1.2.3. Çığ Foto Diyot	35

4.1.3. Tipik PIN Diyot Özellikleri	36
4.1.3.1. Kılıf	36
4.1.3.2. Aktif Alan	36
4.1.3.3. Tepki Süresi	37
4.1.3.4. Kapasitans	37
4.1.3.5. Karanlıktaki akım	37
4.1.3.6. Gürültü şekli	37
4.2. Foto Alıcı Devreler	38
4.2.1. PIN Fotodiyotun Foto Alıcı Devrede Kullanımı	38
4.2.1.1. PIN Diyotun Frekans Tepkisi	41
5. OPTİK MODÜLASYON TEKNİKLERİ	44
5.1. Genlik Modülasyonu	44
5.2. Açık Modülasyonu	53
5.3. Darbe Modülasyonu	55
5.3.1 Darbe Kod Modülasyonu	55
5.3.2. Binary Modülasyon (İki Durumlu Modülasyon)	56
5.3.2.1. Genlik Kaydırmalı Anahtarlama	57
5.3.2.2. Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) Ve Faz Kaydırmalı anahtarlama (PSK)	57
5.4. Bitlerin Oluşturulması	58
5.4.1. NRZ (NonReturn Zero -"sıfıra dönme") kodu	58
5.4.2. RZ (Return To Zero -"sıfıra dön") Kodu	59
5.4.3. Manchester kodu	60
6. LAZER ALICI VERİCİ DEVRE UYGULAMASI	62
6.1. RS-232 Bağlantısı	63
6.2. Devre Dizaynı	64
6.2.1. Devrenin Gerçekleştirilmesi	65

6.2.1.1. 74LS14	66
6.2.1.2. 74LS05	67
6.2.1.3. ST232CN	68
6.2.1.4. SFH 213	71
6.2.1.5. UA741	72
6.2.1.6. LT1885-81-940	73
6.2.2. Devrenin Testi	73
7. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Elektromanyetik Spektrum	2
1.2. Lazer ışığının bir nem parçacığından geçişi	7
2.1. Güneş ışığı spektrumu	9
2.2. İnsan gözünün ışık duyarlılığı	9
2.3. PIN foto diyotun ışık duyarlılığı	10
2.4.(a) şiddeti I olan bir nokta kaynağın bir dedektör üzerindeki yoğunluğu	11
2.4.(b) kaynak ve dedektör arasına bir mercek yerleştirilmesi halindeki durum	11
2.5. kendi merceği olan bir fototransistorun önüne diğer bir mercek konulması	13
2.6. Verimli bir mercek sistemi	13
2.7. Divergence açısı	14
2.8. Alış açısı	15
2.9. Işık demeti paralelleştiriciler	15
2.10. Divergence açısı matematiksel ifadesi	16
2.11. Bir alçak geçiren filtrenin spektrumu	18
2.12. Dar bant geçiren filtre	19
2.13. Sınır eşitliği	20
3.1. Atomun enerji seviyeleri	23
3.2. Dört seviyeli lazer enerji düzeyleri	24
3.3. diyot lazerlerin optoelektronik çalışma prensipleri	26
3.4. Işık gücünün akıma ve dalga boyuna göre değişimi	27
3.5. GaAlAs LED spektrumu	29
4.1. NPN fototransistor	31
4.2. Fototransistor	32
4.3. foto diyot sembolü	33
4.4. Silikon Foto diyot Spektrumu	34
4.5. PIN diyotun karakteristiği	35

4.6. Foto diyot karakteristiği	39
4.7. PIN diyot algılama devresi	40
5.1. bir ışık diyotun genlik modülasyonu (a) seri devre modülasyonu	50
5.1. (b) şönt devre modülasyonu	50
5.2. Seri ve şönt bağlı genlik modülasyon devresi	51
5.3. Uygulamada kullanılabilecek diğer modülasyon devresi	52
5.4.(a) R_b direnci ile Q transistörünün şönt bağlanması ile ön eğilimleme	53
5.4.(b) Yüksek modüle frekanslarda modülasyonda LED in çıkış gücünün kompanze edilmesi	53
5.5. Darbe kod modülasyonu	56
6.1. RS232 Bağlantısı	63
6.2. 74LS14 Entegre bacak tanımlamaları	66
6.3. Evirici Schmitt tetikleme devresine giren ve çıkan sinyaller	67
6.4. 74LS05 Evirici bacak tanımlamaları	67
6.5. RS 232 standardı sinyal seviyeleri	68
6.6. Bir veri sinyali	69
6.7. ST232CN bacak tanımlamaları	70
6.8. ST232CN iç diyagramı	71
6.9. SFH 213 spektral yoğunluğu	72
6.10. UA 741 Bacak bağlantıları	72
6.11. Deney düzeneği ve kullanılan cihazlar	74
6.12. Devrenin bread board üstündeki görüntüsü	75
6.13. bir datanın osiloskop görüntüsündeki genlik ve frekansı	75
6.14. 01101100 verisinin veri kaynağı ve osiloskoptaki çıkış görüntüsü	76
6.15. 01101111 verisinin alıcı çıkışının osiloskoptaki görüntüsü	76
6.16. 01100001 datasının görüntüsü	77
6.17. Deney sıralarında bir görüntü	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
5.1. Çeşitli Modülasyon Tipleri	46
5.2. Kodlama karakteristikleri	59
6.1. Devrede kullanılan Malzeme Listesi	65

1.GİRİŞ

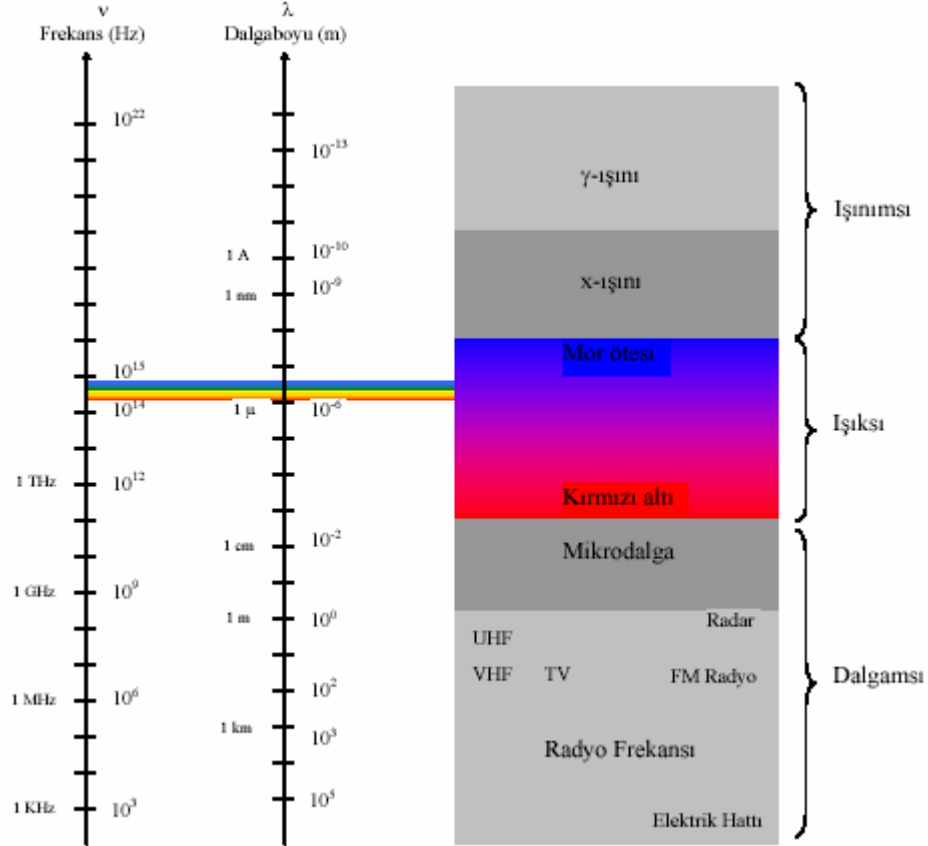
1.1. Optik İletişimin Tarihsel Gelişimi

1880’lerde Alexander Graham Bell sesin ışıkla iletimi konusundaki çalışmaları sonucu telefonu icadından dört yıl sonra diyaframla güneş ışığını modüle ederek 200m mesafede kullanılabilecek "photophone"u önermişti. XX.yüzyılın başlarında optik iletişim üzerine araştırmalar devam ettiyse de uygulamada sınırlı kaldı. Temel sorunlar uygun ışık kaynağı bulunamaması ve atmosferdeki iletişimin görüş ufkı ile sınırlı olması bunun sonucunda da yağmur, kar, sis, toz gibi atmosferik etkilerden çok fazla etkilenmesi idi.

Radyo ve mikrodalga frekansları atmosferik etkilerden çok daha az etkilendiklerinden dalga boylarına bağlı olarak bu frekanslarda oldukça uzun mesafeler arası iletişim sağlanabilmekte fakat bilgi taşıma kapasitesi sınırlı kalmaktadır. Teorik olarak taşıyıcı frekansı arttıkça iletişim bant genişliği ve dolayısıyla da bilgi taşıma kapasitesi artmaktadır. Bu nedenle telsiz iletişimi VHF, UHF, mikrodalga ve milimetre dalga gibi gittikçe artan frekans veya gittikçe azalan dalga boyuna doğru bir eğilim göstermiştir (dalga boyu = ışık hızı / frekans). Şekil-1.1’de elektromanyetik spektrum görülmektedir.

1960 yılı başlarında Lazerin bulunması ile optik iletişimde ışık kaynağı sorunu çözülmüşse de iletişim ortamı olarak serbest uzayın kullanımı yine uygulamaların sınırlı kalmasına neden olmuştur. Atmosferik etkilerin sınırlamalarından kurtulmak amacıyla 1966 yılında camdan üretilen dielektrik dalga kılavuzunun ışığın yayılacağı ortam olarak kullanılmasının önerilmesi ile bu tür sistemlere ileride koaksiyel kablolu sistemlerin yerine geçecek sistemler olarak bakılmaya başlanmıştır. Başlangıçta 1000dB/km olan kayıp miktarı (koaksiyel kabloların 5 ile 10dB/km değerleri ile karşılaştırılabilir seviyede bile değil) kullanılan kablo ve konnektör teknolojilerinde yapılan iyileştirmelerle 10 yıl içinde 5dB/km’nin altına inmiş, günümüzde de 0.2dB/km’ye ulaşmıştır. Bakır kablo, fiber optik kablo tercihi, fiyat-performans kriterlerine göre her

geçen gün fiber optik lehine olmaktadır. Bununla birlikte mevcut altyapının daha çok bakır kablo (örneğin telefon şebekesi) temeline dayanması bakır kablodan iletişim imkanlarının zorlanması üzerine de yine yoğun çalışmaların yapılmasına neden olmaktadır. Bunun dışında bakır kablonun kaçınılmaz olarak kullanımını gerekli kılan



Şekil 1.1. Elektromanyetik Spektrum

uygulamalar da vardır. Örneğin iletişimin gerçekleştirildiği kablodan aynı zamanda güç gönderilmesi de söz konusu ise (Ör. telli telefon) bakır tel kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. [Tohum, 1998]

1.2. Serbest Ortam Optik Haberleşme Sisteminin Çalışma Prensipleri

Basit olarak serbest boşluk haberleşme sistemi, dar bir ışık demetinin verici tarafından atmosfere doğru gönderilerek ve sonuçta bir alıcı istasyonunda algılanmasıyla oluşur. Bu haberleşme sistemi de kızılötesi haberleşme sistemi ile aynı bant genişliği kapasitesine sahiptir. Çoğu FSO (serbest boşluk optik haberleşme) sistemleri genellikle OOK (ON-OFF anahtarlama) modülasyonunu kullanırlar. Aynı modülasyon tekniği fiber optik haberleşme sisteminde de kullanılır. Burada ışığın “ON” olması konumu “1”, “OFF” olması konumu ise “0” ı belirtir.

FSO nun performansını anlamak için, önemli olan başlıca iki kategori vardır. Dahili parametreler ve harici parametrelerdir. Dahili parametreler, optik güç, dalga boyu, haberleşme bant genişliği, divergence açısı, verici üzerindeki optik kayıplar, alıcı hassasiyeti, bit-hata verimi (BER), alıcı mercek çapı, alıcı taraftaki alıcının görüş alanı (FOV) olarak bilinmesi önemlidir. Harici parametreler ise, çevresel koşullara bağlıdır. Bunlar görülebilirlik, atmosferik zayıflama, titreşerek parlama, yayılma mesafesi, cam kayıpları ve noktalama kaybıdır.

1.3. Serbest Ortam Optik Haberleşmenin Tercih Nedenleri

1.3.1. Optik Haberleşme

Radyonun keşfedilmesinden sonra, askeri alan, iş, eğlence yayını ve telefon haberleşmesi için daha fazla elektro manyetik frekans spektrumu gereksinimi oluştu. Şehirler, anayollar ve hava dalgaları aşırı olarak ve önemli ölçüde kalabalıklaştı. Hal böyleyken işyerleri kendileri için bütün kısıtlamaları ve düzenlemeleri yönetebilecek yeni bir bilgi iletim aracı olarak ışığa yöneldiler bunun içinde en uygun ışık kaynağı lazerdi.

Bir örnek olarak 10 GHz veriminde modüle edilmiş bir lazer kaynağı kullanılarak saniyede 900 yüksek yoğunluklu floppy disk, 650,000 sayfalık yazı, 1000 roman, iki tane 30 ciltlik ansiklopedi, 200 dakika yüksek kalitede müzik, veya 10,000 TV resmi değerinde bilgiyi verebilir. Böyle bir modülasyon verimi ile bir radyo dalgasına oranla çok daha fazla kapasitedeki bilgiyi çok daha uzağa çok daha hızlı ve çok daha verimli bir biçimde gönderebiliriz.

1.3.2. Serbest Ortam Optik Haberleşme

Fiber optik haberleşmenin en büyük müşterileri telefon şirketleridir. Onlar uzun mesafeler için bakır kablolardan çok fazla verim alamayınca bunun yerine fiber optik kablo kullanmışlardır. Bir tekli optik fiberin taşıdığı bilgi on binlerce bakır kablonun taşıdığı bilgiye eşdeğerdir. Aynı zamanda fiberler bilgiyi çok daha uzun mesafelere taşıyabilmektedirler. Ağ kurulumlarında bile fiber optik kablo kullanılmaya başlandı ancak telefon şirketleri fiberin maliyetini azaltmak için bazı eklemler arasına boşluk koymaya başladılar.

Fiber optik kablonun optik haberleşmede daha verimli olması ve aynen bir bakır kablo gibi yol çizdiğini düşünsek de bazı yerlerde optik haberleşme için boşluk kullanılmaktadır. Boşluk optik için temiz ve açık bir ortam olduğu sürece iyi bir ortamdır. Boşluk haberleşmesi de fiber optik haberleşmesi gibi hızlı ve çok geniş bir haberleşme kapasitesine sahiptir. Ayrıca boşluk haberleşmesinde 10 ile 20 mile kadar haberleşme sağlanabilir. Yüksek data verimleri sağlar, kablo gerektirmez ve bu büyük bir maliyet kazancıdır. Ayrıca karmaşık ağ anahtarlarına da gerek duyulmaz.

Hava haberleşmesinden bilginin gönderilmesini engelleyen en büyük faktörlerden birisi havanın durumudur. Sisli, sağanak yağışlı, karlı ve puslu havalar optik haberleşmede ışığa bir blok koyarak kolayca kesinti yapabilir. Ancak kötü hava şartlarında kızılötesi ışık görünür bölgedeki ışığa göre daha verimlidir. Aynı zamanda 5 milin altındaki uzaklıklarda kızılötesi ışık haberleşme için yeterlidir.

Hava haberleşmesindeki diğer önemli bir problem, giden ışığın ağaçlara, tepelere, binalara veya havada uçan herhangi bir nesneye çarpmasıdır. Bundan kaçınmak içinde kurulacak donanımın bunlara dikkat edilerek bunlara maruz kalmayacak bir yere kurulmasıdır.

Üçüncü bir problem ise optik haberleşmenin yapılacağı ortamdaki çevreden gelen diğer ışıklardır, bunlar, güneş ışığı, sokak lambası, ay ışığı gibi istenmeyen ışıklardır. Bununla baş etmenin yolu ise bunları filtrelemektir. Ayrıca alıcı ve vericinin yönlerinin güney ve kuzey doğrultuda olmaları çok önemlidir.

1.4. Boşluk Haberleşmesinin Kullanım Alanları

1.4.1. Kısa Mesafe Uygulamaları

- Endüstriyel kontrol ve gözlemler
- Müze seslendirmesi, gezi turları ve konuşma odalarında
- Garaj kapı açılışında
- Işıklı kontrollerde
- İç alarmlar
- Hava gözlemlerinde
- Trafik düzenleme ve izleme
- Hayvan kontrol ve gözlemlerinde
- Medikal gözlemler, uzaktan EKG ve kan basıncı

1.4.2. Uzun Mesafe Uygulamaları

- Boşluk haberleşmesi, ışık yılı olarak mesafe ölçümlerinde

- Binadan binaya data haberleşmesi yüksek data verimi
- Gemiden gemiye veya uçaklar arasında güvenli haberleşme
- Hava ve jeofizik ölçümlerinde
- Elektronik mesafe ölçümlerinde
- Optik radar, şekil, hız, yön belirlemede
- Uzaktan telefon bağlantısı, mikrodalgaya oranla daha ucuz

1.4.3. Geniş Alan Uygulamaları

- Kampüs içi bilgisayar haberleşmesi
- Şehir içi radyo TV yayını
- Ofisler arası iletişim
- Bilgisayar yazıcı bağlantısı
- Ofis veya hafıza kayıtları

1.5. Optik haberleşme Sistemini Etkileyen Atmosfer Etkileri ve Doğal Etkiler

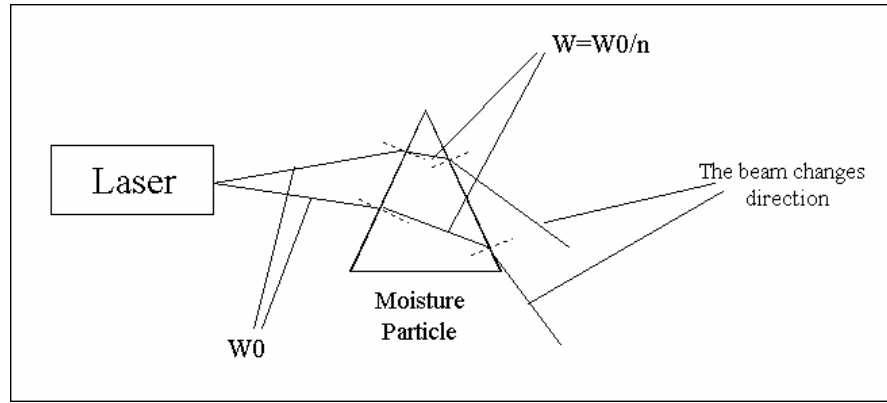
1.5.1. Emilme ve Saçılım

Emilme, iletişim yolu boyunca havada bulunan su buharı (H_2O) ve Karbondioksit (CO_2) gazı sebebiyle olur. Atmosferdeki gazlar “Transmission Windows” olarak adlandırılan resonant bantlarına sahiptirler ve bunlar ışığı özel frekanslara ayırır. Bu pencereler çeşitli dalga boylarındadır. Atmosferik Emilme, kızıl ötesi lazer haberleşme sistemleri için büyük bir sorun teşkil etmez.

Saçılım, emilmeden daha büyük bir etkiye sahiptir. Atmosferik saçılım, ışığın dalga boyu ve havadaki saçılım elementlerinin büyüklüğü ve sayısının bir fonksiyonudur. En yaygın saçılım elementleri, sis, yağmur, kar ve kirli havadır.

1.5.2.Hava

Serbest boşluk haberleşme sistemlerinde en büyük problem sistir. Lazer ışığı sisli bir ortamda ilerlerken, nem parçacıkları çok küçük, yoğun ve tıpkı küçük bir prizma gibi sinyali bozar ve dağıtır. Bu problem sinyali bozmasıyla beraber bir hata biti üretir. Sağanak yağışın sıvı içeriği yoğun bir sisin içeriğinin 10 katı olmasına rağmen, yağmur damlasının yarıçapı bir sis damlacığının yarıçapının 1000 katıdır. Buda yağmur zayıflatmasının sisin zayıflatmasından 100 kat daha az olmasının temel nedenidir. Lazer iletişiminde karın etkisi ise sis ve yağmurun arasında bir yerdedir o da karın içindeki su parçacıklarının derecesine bağlıdır.



W_0 : Lazer ışığının ilk dalga boyu
 W : Lazer ışığının nem parçacığından geçişinden sonraki dalga boyu
 N : nem parçacığının geçirme oranı

Şekil 1.2. Lazer ışığının bir nem parçacığından geçişi

1.5.3. Titreşerek Işıldama

Atmosferik titreşerek ısıldama, uzakta bulunan bir vericiden alıcıya doğru gönderilen ışığın boşlukta zamana göre ışık şiddetinin değişimi olarak adlandırılır. Dedektörde alınan sinyal iletim yolunda havanın geçirme indeksindeki değişimler, tıpkı ardı ardına

sıralanmış mercekler gibi davranır ve ışık demetinin bir kısmının iletişim doğrultusunun dışına çıkmasına neden olur ki bu da rüzgarın hızına bağlıdır.

Genel olarak, titreşerek ısıldama, alıcı gücünde hızlı değişmelere neden olur ve bununla beraber 1 Km den daha az mesafeler için çoğu FSO sistemleri bu problemi kompanze etmek için yeterli miktarda dinamik sınıra sahiptirler. Daha uzun mesafeler için ise çoğul lazer vericiler hissedilir bir şekilde bu etkinin azaltılmasını sağlar [Szebesta, 2002].

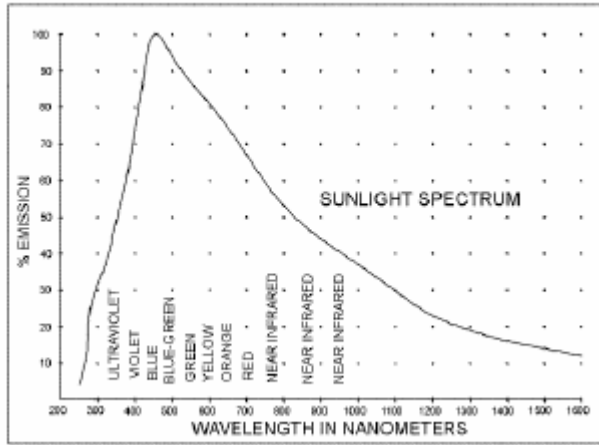
1.5.4. Bina Hareketi

Buna bir yapının veya binanın doğal hareketleri neden olur. Biz bu hareketin farkında olmasak da bina çok yavaş hareketlerle toprağa yerleşir. Bu hareket ise lazer ışınının alıcı üzerindeki gücünü azaltır.

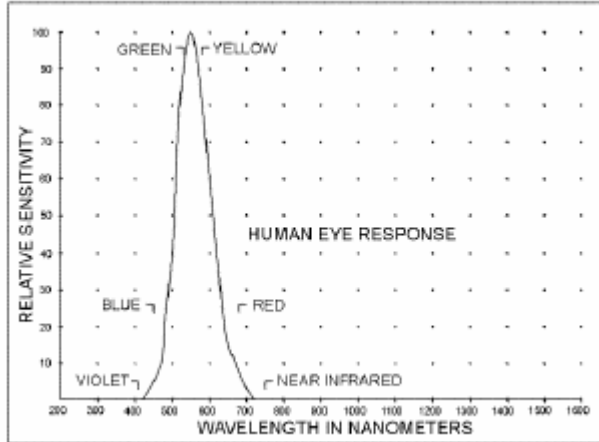
2. IŞIK TEORİSİ VE IŞIK İŞLEME

2.1. Işık Spektrumu

Bir prizma yardımıyla beyaz bir ışığın veya en basit olarak güneş ışığının farklı renklere ayrıştığını görebiliriz. Bu güneş ışığı spektrumu şekil 2.1 de gösterilmiştir. Fakat insan gözü bu renklerin sadece görünür bölgede olanlarını hissedebilmektedir. Bir insanın algılayabildiği spektrum ise şekil 2.2 de gösterilmiştir.

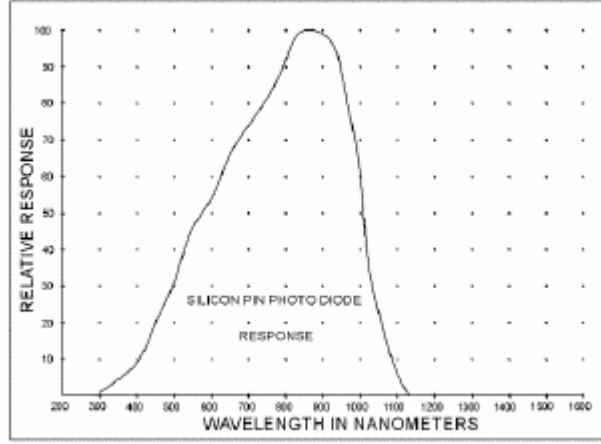


Şekil 2.1. Güneş ışığı spektrumu



Şekil 2.2. İnsan gözünün ışık duyarlılığı

Fakat insan gözünün aksine bir silikon foto diyot daha geniş bir spektrum ile insan gözünün seçebileceği ışıktan daha fazla ışık sezebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. PIN foto diyotun ışık duyarlılığı

2.2. Işık Gücü ve Yoğunluğu

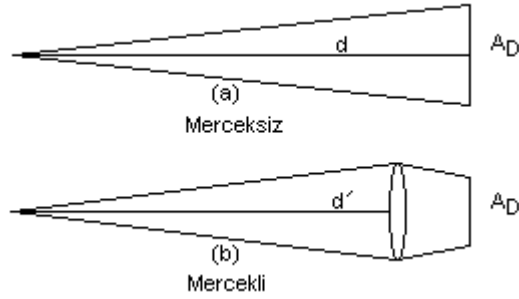
Gücün bilimsel anlamdaki birimi “watt” tır. Işık yoğunluğu, ışık gücü olarak tanımlanabildiği için muhtemelen “watt” birimi de ışık yoğunluğunu tanımlamak için kullanılacak en iyi birim olabilir. Bununla beraber güç enerji ile karıştırılmamalıdır. Enerji güç ile zamanın çarpımına eşittir. Bilindiği gibi elektriksel güç ışık gücüne ışık gücü de elektriksel güce çevrilebilir.

2.3. Mercek Sistemleri

Fototransistor veya fotodiyot (dedektör) ile kullanılacak bir mercek sistemi, dedektörün hassasiyetini büyük ölçüde arttıracaktır. Şekil 2.4.(a) da görüldüğü gibi şiddeti I olan bir nokta kaynağın bir dedektör üzerindeki yoğunluğu,

$$H = I / d^2 \quad (2.1)$$

'dir. Burada d aradaki mesafedir.



Şekil 2.4.(a) şiddeti I olan bir nokta kaynağın bir dedektör üzerindeki yoğunluğu
(b) kaynak ve dedektör arasına bir mercek yerleştirilmesi halindeki durum

Şekil 2.4.(b) de ise kaynak ve dedektör arasına bir mercek yerleştirilmesi halindeki durum görülmektedir. Burada kaynaktan merceğe olan d' mesafesinin, d 'ye eşit olduğu varsayılmıştır.

Eğer dedektör alan olarak yuvarlak ise:

$$P_D = P_L = H' (r_L)^2 \quad (2.2)$$

dir.

Burada,

P_D : Dedektör üzerine düşen ışık akısı.

P_L : Mercek üzerine düşen ışık akısı.

H' : Mercekteki akı yoğunluğu.

r_L : Mercek yarıçapıdır.

$d' = d$ olduğundan, dedektör üzerindeki akı yoğunluğu:

$$H_D = P_D / A_D \quad (2.3)$$

olup

$$A_D = r_d^2 \quad (2.4)$$

dir.

(A_D : Dedektör alanı)

Böylece

$$H_D = 1 / d^2 (r_L / r_d)^2 \quad (2.5)$$

olur.

Bu durumda dedektör üzerine mercek ile düşen ışık miktarının mercek yokken düşen miktara oranı,

$$H_D / H = [I/d^2(r_L/r_d)^2] / (I/d^2) = (r_L/r_d)^2 \quad (2.6)$$

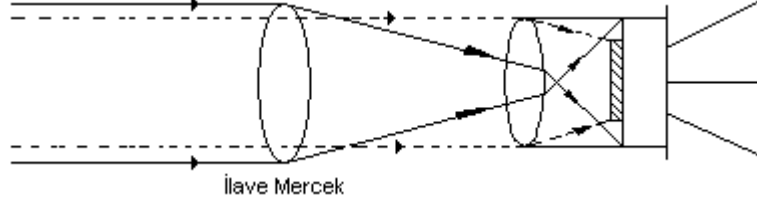
olur.

Bu formülden da anlaşılacağı gibi eğer mercek yarıçapı dedektör yarıçapından büyük ise, dedektör üzerine düşen ışık miktarı artmaktadır. Mercekteki kayıpları da dikkate alırsak mercekli bir sistemin kazancı R aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$R = 0,9 (r_L/r_d) \quad (2.7)$$

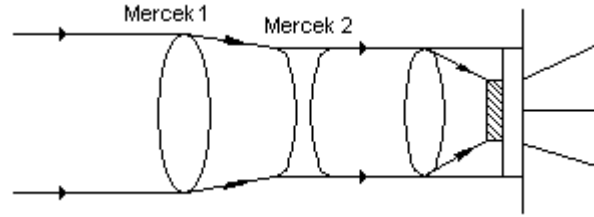
Burada dikkat edilecek husus, mercek sisteminin uygun olarak yerleştirilmesidir. Biçimsiz yerleştirilen bir merceğin faydadan çok zararı olmaktadır. Örneğin Şekil 2.5 'de

kendi merceği olan bir fototransistorun önüne diğer bir mercek konulması neticesinde sistemin veriminin bozulması gösterilmiştir.



Şekil 2.5. kendi merceği olan bir fototransistorun önüne diğer bir mercek konulması

Bu sistemin verimli olabilmesi için ışınların fototransistora paralel olarak gelmesi gerekir. Halbuki konan ikinci mercek, paralel gelen ışınların bu niteliğini yok etmektedir. Şekil 2.6 'da ise verimli bir mercek sistemi gösterilmiştir. 1. mercek gelen ışınları toplamakta, 2. mercek ise bunları paralel ışınlar haline çevirmektedir. Böylece dedektörün yüzey alanı, 1. merceğin yüzey alanına eşdeğer olmaktadır.

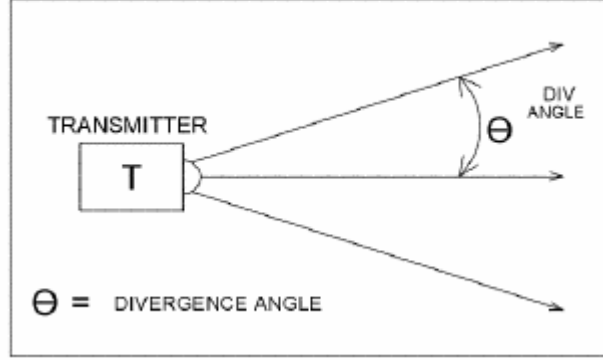


Şekil 2.6. Verimli bir mercek sistemi

2.4. Divergence Açısı

Işık kaynağından dışarıya doğru açılan ışın ortamda ilerledikçe koni biçiminde ileriye doğru açılmaya başlar. Şekil 2.7 de görüldüğü gibi ışığın bu şekilde yayılmasına matematiksel olarak divergence açısı denir. Bu hemen her zaman için merkezle koninin kenarı arasındaki açı ile tanımlanır. Örneğin spot ışıkların divergence açısı normal bir

ampulün divergence açısından daha küçüktür. Bununla beraber bir lazerin divergence açısı spottan çok daha küçüktür.

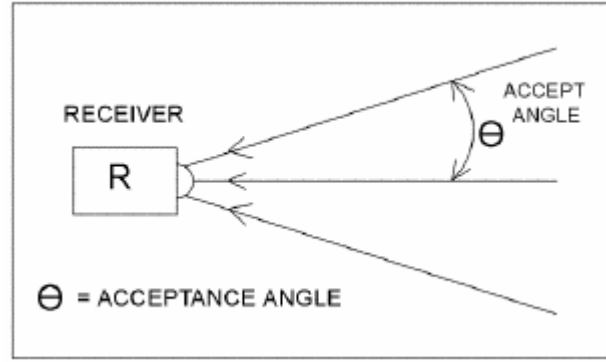


Şekil 2.7. Divergence açısı

Divergence açısı bütün optik elemanlarda mevcuttur. Bunu önlemek oldukça güçtür. Başka bir örnek ise bir lazeri duvara tutarsak duvara yaklaştıkça spotun küçüldüğünü uzaklaştıkça spotun büyüdüğünü görürüz buda bize divergence açısının uzaklıkla orantılı olduğunu göstermektedir.

2.5. Alış Açısı

Bir dedektöre gelen ışık öncelikle aktif bölgeye odaklanır. Aynı zamanda koni biçiminde aktif bölge üzerinde biriktirilir. Merceğin dışında kalan ışınlar ise aktif bölgeye odaklanamayarak dışarı çıkarlar yani dedektör üzerinde toplanamazlar. Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi ışık ince kenarlı bir mercek ile koni biçiminde dedektöre odaklanır. Bu olaya matematiksel olarak alış açısı denir.

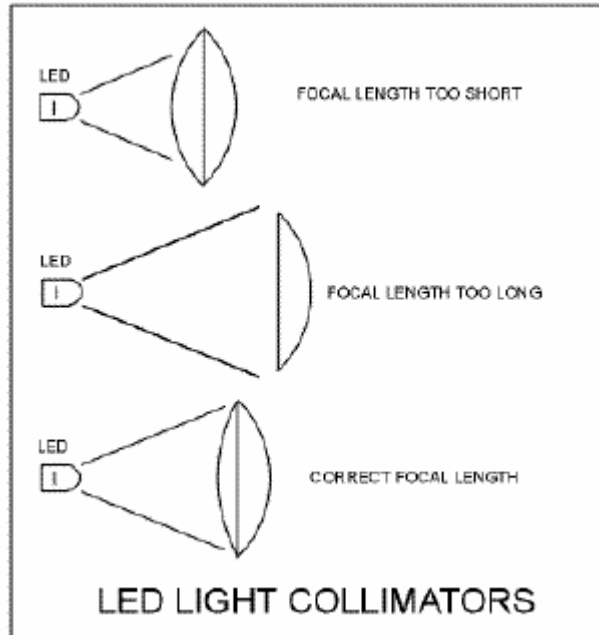


Şekil 2.8. Alış açısı

2.6. Işık Demetinin Paralel Hale Getirilmesi ve Toplanması

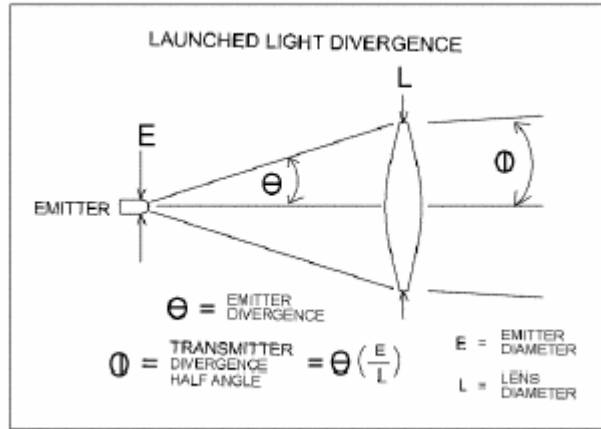
2.6.1. Paralleleştirme

Işığın bir vericiden ayrılırken lens ile kırılmasına “collimated” denir. Yani ışın demeti paralelleştirilir. Şekil 2.9. da görüldüğü gibi LED veya lazer diyot gibi bir kaynaktan çıkan bir ışın demeti mercek ile paralel hale getirilir ve mercek uzaklığı ile odaklama yarıçapı özenle ayarlanır.



Şekil 2.9. Işık demeti paralelleştiriciler

Odaklama uzunluğunun geniş olması uzak haberleşme için bir avantajdır. Düşünelim ki bir optik haberleşme esnasında optik sistemin arasından uçan bir nesne geçti bu nesnenin oradan geçmesi sistem içinde bir kesinti yaratır eğer bu odaklama genişliği büyük olursa uçan nesne optik işaretin önünü tamamen kapatamaz ama işaretle biraz zayıflama olur. Buda haberleşmede tamamen kesinti yaratmayabilir. Şekil 2.10. da divergence açısı için matematiksel açıklama verilmiştir.



Şekil 2.10. Divergence açısı matematiksel ifadesi

Benzer şekilde alış açısı da burada merceğin kaynağa olan uzaklığının değişimi ile ayarlanabilir.

2.6.2. Işığın Biriktirilmesi

Uzun mesafe uygulamaları için, uzun bir mesafeden gönderilen ışığı bir silikon PIN diyot üzerine cam veya plastik bir mercek ile odaklanır. Bir sistem için geniş mercekler daha yaygındır. Düz “frensel” mercekler katı bir mercekten çok daha az pahalıdır. Frensel mercekler birkaç feet yarıçapındadır.

Kesin kısa mesafe uygulamalar için herhangi bir mercek kullanılmadan uygulanabilir. Çok geniş alış açısı istendiğinde lenssiz sistemler daha uygun sistemler olabiliyor.

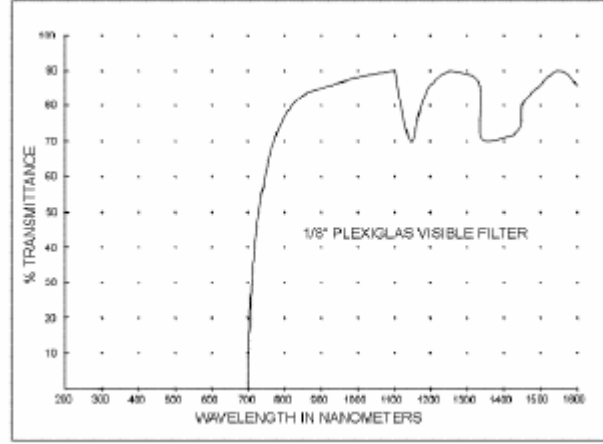
Seçilen mercek mümkün olduğunca geniş olmalıdır ancak bu abartılmamalıdır. Çok geniş olan bir mercek çok küçük olan alış açısının bir yarım açısı kadar açı üretebilir. 0.3° den daha az olan alış açısı mercek sıralama zorlukları ile sonuçlanacaktır. Yapı etkileşimi ve atmosferik bozulmalar dar bir alış açısı ile sinyalin bozulmasına yol açabilirler. Bu sebeple merceğin yarıçapının aktif alanın yarıçapının 100 katından daha büyük olmamalıdır.

2.7. Optik Filtreler

Verici ve alıcı devreler arasındaki mesafe arttıkça mercekler sık kullanılır. Divergence açısını ve alış açısını ayarlamak çok önemlidir. Mesafeyle zayıf hale gelen ışınlar bir mercek ile dedektör üzerine biriktirilir. Fakat mercekler ışıkları biriktirirken çevreden gelen istenmeyen ışıkları da dedektör üzerinde biriktirirler. İşte bu istenmeyen ışınlar gelen optik işaret üzerinde girişim oluştururlar. Bu istenmeyen durum mercek ve dedektör arasına filtre konarak önlenabilir. Optik filtreleri her an her yerde görebiliriz. Bunun en basit örneği de arabaların stop lambalarıdır. Görüldüğü gibi sadece kırmızı ışık geçer. Böyle tek renk optik filtreler bant geçiren filtreler denir. Çoğu filtre tipi optik boşluk haberleşme sistemlerinde kullanılabilir.

Aynı zamanda yüksek geçiren alçak geçiren filtreler de oluşturmak mümkündür. Yüksek geçiren filtreler uzun dalga boyunu, alçak geçiren filtreler ise kısa dalga boyundaki ışıkları geçirmez.

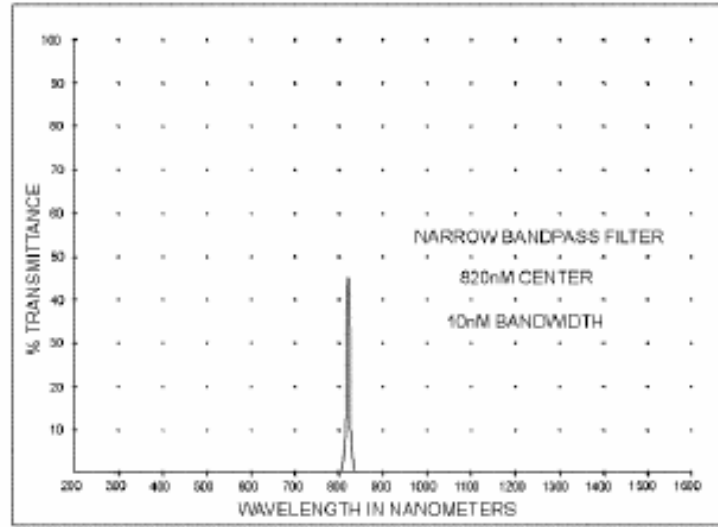
Şekil 2.11 bir alçak geçiren filtrenin spektrumunu göstermektedir. Bu filtre özellikle yakın kızılötesi bölge için tasarlanmıştır. Yakın kızılötesi bölgelerde geçirgen diğer bölgelerde ise koyudur yani geçirmiyor. Eğer bu filtre mercekten sonra dedektörün önüne konursa çevreden gelen istenmeyen ışıklar bloke olacaktır yani filtreden geçemez.



Şekil 2.11. Bir alçak geçiren filtrenin spektrumu

Bu filtre ne kadar iyi olursa olsun yine de güneş ışığının bir bölümünü tutamayacaktır. Yani mükemmel bir filtre olamayacaktır. Halen daha LED den çıkan ışık ile girişim yapmaya yeterlidir. Bunu önlemek için çok dar bir filtreye ihtiyaç vardır. Böyle bir filtreyi kullanmak içinde çok dar spektrumlu bir ışık kaynağına ihtiyaç duyulur. Bunun içinde lazer diyotlar kullanılır. LED lerin spektrumları lazer diyotların spektrumlarından daha geniştir.

Bir optik bant geçiren filtre lazer diyotun spektrumuna uygun şekilde bir filtreleme ile yapılır. Buna ise “girişim filtresi” denir. Böyle bir filtre ise şekil 2.12 de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Dar bant geçiren filtre

Bu basit bir kızılötesi lazer diyot filtresidir. Eğer böyle bir filtre haberleşme sistemlerinde kullanılırsa lazer diyot ışınlarının hepsi dedektör üzerinde biriktirilecektir. Ancak azda olsa çevreden gelen ışıklar sistemi etkileyecektir.

2.8. Ters Kare Yasası

Optikte karşılan önemli problemlerden biriside ters kare yasasıdır. Bu yasa bir alıcının kaynaktan uzağa konduğunda, kaynaktan uzaklaştıkça ışığı üzerinde odaklayıp biriktirebilme verimini tanımlamaktadır. Böyle bir yasa optik sınır eşitliği ile hesaplanabilir.

2.9.Sınır Eşitliği

Eşitlik aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır ve tipik bir boşluk haberleşmesi için bu eşitlik kullanılabilir.

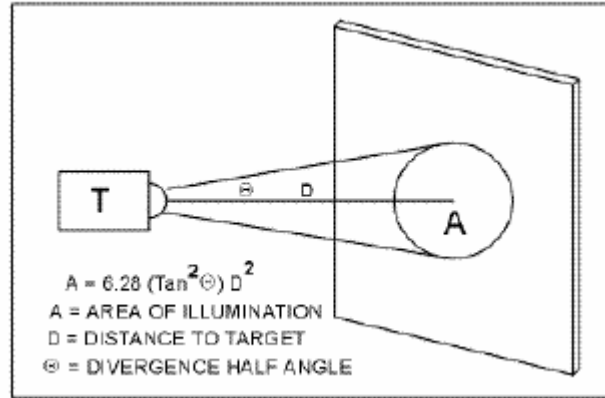
$$D = \sqrt{\frac{(P)(A)(E)}{(\tan^2 \theta)(32N)}} \quad (2.8)$$

dir ki burada D, Feet cinsinden maksimum sınır, P, Watt cinsinden verici gücü, A Feet cinsinden alıcı mercek alanı, θ , verici divergence yarım açısı, N, Watt cinsinden PIN dedektör gürültüsü ve E, PIN çevirim katsayısı olup normal şartlarda 0,5 olarak alınır.

Verici gücü ise

$$P = \frac{(32N)(D^2)(\tan^2 \theta)}{(A)(E)} \quad (2.9)$$

olarak hesaplanabilir.



Şekil 2.13. Sınır eşitliği

Başka bir ifade ile ise alıcı tarafında kabul edilen güç

$$P_{received} = P_{Transmitted} \times \frac{A_{receiver}}{(Div \times Range)^2} \times \exp(-a \times range) \quad (2.10)$$

olarak bulunur ki burada,

P_{received} : Alıcı üzerindeki güç

$P_{\text{Transmitted}}$: Verici üzerindeki güç

A_{receiver} : Alıcı alanı

Div : Divergence açısı

Range : Mesafe

$\text{Exp}(-a \times \text{range})$: Atmosferik zayıflama faktörü (dB/Km) [Bloom,2001]

3.VERİCİLER

3.1.Yarıiletken Diyot Lazerleri

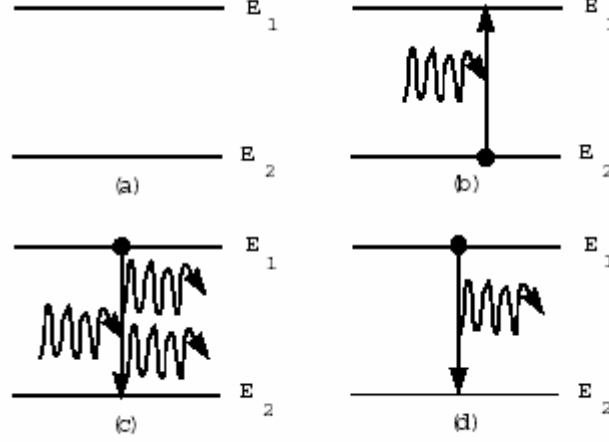
3.1.1. Lazerlerin Çalışma Prensipleri

Lazer kelimesi, ingilizce dilinde LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ışımanın uyarılmış salınımı ile ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir. Bu kelime lazer ışığının sıradan bir ışık kaynağı olmadığını belirtir. Lazer ışığı güneş veya flüoresan ampullerdeki gibi atom ve moleküllerin fazla enerjiyi kendiliğinden salınım yoluyla atmalarıyla meydana çıkan ışıktan farklıdır. Lazer ışığı atom veya molekülde bulunan fazla enerjinin depolanması ve sonradan uyarılması ile elde edilen özel bir ışıktır.

3.1.2. Uyarılmış ve Kendiliğinden Salınım

Şekil 3.1 de gösterildiği gibi basitleştirilmiş bir model ile bir atomun sadece iki enerji seviyesinin olduğu (E1 alt seviye, ve E2 üst seviye) kabul edilir. Normal şartlar altında fiziksel sistemlerin mümkün olan en düşük enerji halinde olmalarından dolayı atom alt seviyede bulunmaktadır. Alt seviyedeki atom ν_{21} frekansında radyasyon aldığı durumda yüksek bir olasılık ile foton soğurup üst seviyeye yükselebilir. Bu yöntem uyarılmış soğurulma olarak bilinir. Şekil 3.1 (b) de gösterilen uyarılmış soğurulmanın gerçekleşmesi için ortamda bir ışık enerjisinin olması şarttır. Genellikle atom üst seviyeye yükseldikten birkaç nanosaniye sonra $h\nu_{21} = E_2 - E_1$ foton enerjisini atıp, alt seviyeye geri döner. 1917 yılında Albert Einstein salınımın iki değişik şekilde gerçekleşebileceğini göstermiştir. Soğurma gibi salınım da uyarılarak (Şekil 3.1 c) veya kendiliğinden (Şekil 3.1 (d)) meydana gelmektedir. Uyarılmış salınım dikkat edilmesi gereken iki önemli husus vardır. Birincisi uyarılan salınımla elde edilen fotonun enerjisi ve frekansı uyaran foton ile aynıdır. İkincisi iki fotonların ışık dalgaları aynı fazda ve aynı polarizasyon durumundadır. Bu demektir ki eğer bir atom ışık saçmak için

uyarılmışsa uyarılan fotonu temsil eden dalga gelen dalgaya eklenip dalga genliğini artırır. Böylece LASER olayı elde edilir.



Şekil 3.1. Atomun enerji seviyeleri

3.1.3. Nüfus Ters Çevrimi

Uyarılmış salınımdaki problem atom ve moleküller termodinamik dengede olduğunda iyi çalışmamasıdır. Atom ve moleküllerin alt enerji seviyesine düşmesi nüfus (her enerji seviyesindeki atom ve molekül sayısı) problemini meydana getirmektedir. Termodinamik dengede molekül ve atomların birinci ve ikinci seviyedeki sayılarının oranı denklem 3.1'de gösterilen Boltzman dağılımı ile verilmektedir.

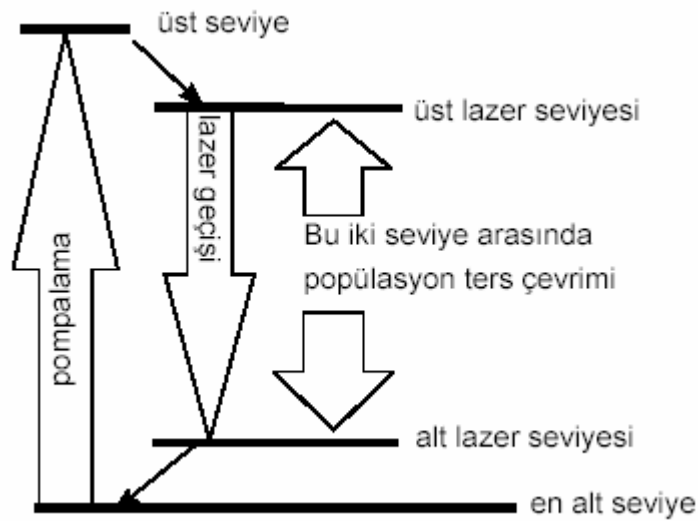
$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2 - E_1) / kT} \quad (3.1)$$

Oda sıcaklığında bu oran, optik dalga boyundaki geçiş enerjileri için küçüktür. Bu demektir ki termodinamik dengede neredeyse tüm atom ve moleküller, en düşük enerji seviyesindedir. Bundan dolayı uyarılmış salınının genliği küçüktür.

Uyarılmış salınım etkin hale getirmek mümkündür. Alt seviyeden sayıca daha fazla atom uyarılmış halde olursa, fotonlar ışığı soğurmak yerine uyarmaktadırlar. Bu duruma “nüfusu tersine çevirme” demektediriz, çünkü normal durumun aksine, atomların çoğu alt seviyeler yerine üst seviyelerdedirler. Nüfusu tersine çevirme durumunda uyarılmış salınım, lazer olayını sağlayan, ışık çağlayanı meydana getirmektedir.

3.1.4. Lazerlerin Enerji Düzeyleri

Nüfusu tersine çevirme durumu, lazer çalışmasında çok önemlidir. Nüfusu tersine çevirme durumunu gerçekleştiren alışılmış yöntem, lazer ortamına enerji koyarak atom ve molekülleri daha yüksek enerji seviyelerine çıkarmaktır. Lazer ortamındaki bu etkileşmeye “pompalama” denir. Pompalama optik veya elektrik olarak yapılır. Normal şartlarda, enerji seviyelerinin kısa ömürleri vardır ve fazla enerjilerini kendiliğinden salınım ile birkaç nanosaniye içerisinde bırakmaktadırlar. Halbuki, nüfusu tersine çevirmek için daha uzun ömürlü enerji seviyeleri gerekmektedir. Bu seviyeler “ara ömürlü seviyeler” olarak bilinmektedir. Çünkü atomik zaman ölçeğinde olağanüstü uzun ömürlüdürler ve mikro saniye ve hatta milisaniye seviyesinde sürebilmektedirler. Lazer fiziğinde bunlar çok önemlidir ve en iyi üst lazer seviyesini oluşturmaktadırlar.



Şekil 3.2.Dört seviyeli lazer enerji düzeyleri

Nüfusu tersine çevirme durumunu iki seviyeli sistemde oluşturmak imkansızdır, çünkü üst ve alt seviyeler birbirini sıfırlamaktadır. Pratik lazer sistemlerinin üç, dört veya daha fazla enerji seviyesine gereksinimleri vardır. En basit enerji seviye yapısı Maiman'ın sentetik yakut lazerindeki gibi “üç seviyeli lazer”dir [Hecht, 1992]. Bu lazerde yüksek etkileşimli üst seviye, meta dayanıklı üst seviye ve alt seviye bulunmaktadır. Çalışan bir sistem olmasına rağmen, ideal değildir. Problem, alt lazer seviyenin aynı zamanda en alt seviye olmasıdır. Nüfusu tersine çevirmek için atomların çoğunu üst seviyeye büyük bir enerji ile koymak lazımdır. Bu durumda, üç seviyeli lazer ancak darbeli olarak çalışmaktadır. Pratik lazerlerin çoğu, dört seviyeden oluşmaktadır (şekil 3.2).

3.1.5. Yarıiletken Diyot Lazerleri

Yarıiletken diyot lazerleri, atomik lazerlerden, enerji seviyeleri ve pompalama mekanizmalarından dolayı oldukça farklıdır. İzole edilmiş atomların tek enerji seviyesinden farklı olarak, yarıiletkenlerdeki elektronlar geniş bir banttaki enerji seviyelerindedir. Her bant, çok büyük sayıda ve birbirine yakın enerji seviyelerinden oluşmaktadır

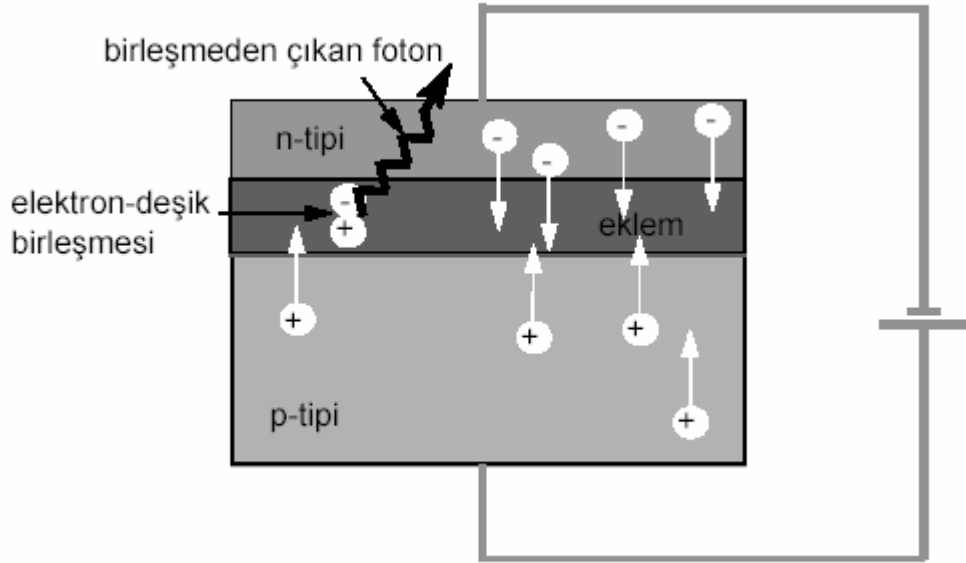
$$E \text{ (eV)} = 1240/\lambda \text{ (nm)} \quad (3.2)$$

Enerji birimi eV, dalga boyu birimi ise nm’ dir.

3.1.6. Eklemlerde Işık Emisyonu

Yarıiletkenlerin özellikleri elektronik aletlerin çalışma şekli için önemlidir ve bu durum genellikle yarıiletkendeki iki bölgenin (p ve n bölgeleri) eklem noktasında meydana gelmektedir.

Yarıiletken eklemleri madde katkılanarak yapılır. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi, yarıiletken diyotun p- tarafına artı voltaj, n- tarafına ise eksi voltaj uygulandığında p ve n taşıyıcıları eklem üzerinden aygıtın diğer tarafına çekilmektedir.



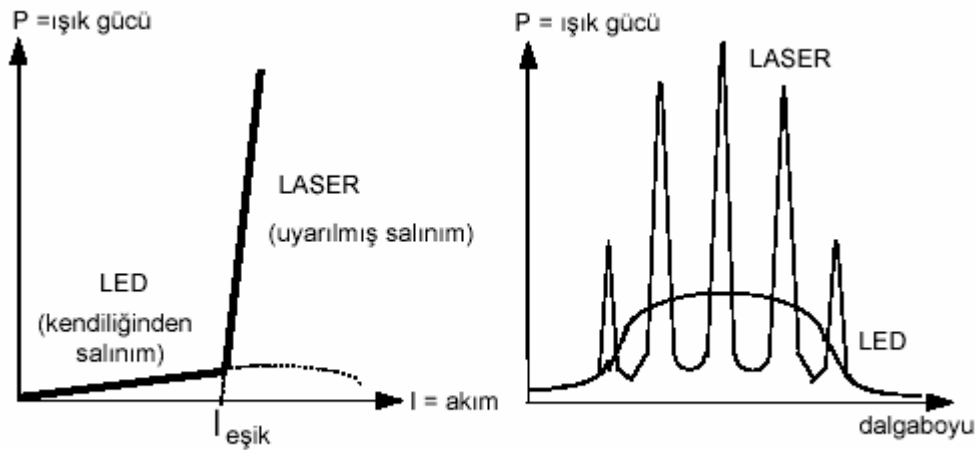
Şekil 3.3.diyot lazerlerin optoelektronik çalışma prensipleri

3.1.7. Yarıiletkenlerin Özellikleri

Yarıiletkenlerin özellikleri, elektronik ve optik olarak ikiye ayrılır. Elektronik parametreler; akım taşıyıcıları, iletkenlik ve taşıyıcıların hareketliliğidir. Yarıiletken lazerlerde optik özellikler de önemlidir. Yasak enerji bandı, yani iletkenlik ve değerlik bandının arasındaki enerji aralığı, bu özelliklerden biridir. Yasak enerji bandı, yarıiletken lazerlerin dalga boyuna aşağıda verilen denklem ile bağlıdır.

$$E \text{ (eV)} = 1240 / \lambda \text{ (nm)}$$

Eklem noktasının yakınında, iki taşıyıcı türü eşit yoğunlukta mevcuttur ve birbirlerini “birleşmek” yöntemi ile silebilmektedirler. Bazı yarıiletkenlerde (silisyum gibi) yeniden birleştirme enerjisi ısı halinde dışarı bırakılmaktadır. GaAs gibi diğer yarıiletkenlerde ise birleşme enerjisi ışık halinde dışarı bırakılmaktadır. Birleşen elektronlar ve deşiklerden çıkan ışık, ışık saçan diyotlar (light emitting diode (LED)) ve yarıiletken diyot lazerlerin temelini oluşturur. Düşük akım seviyelerinde, diyot lazerleri LED’ler gibi kendiliğinden salınım yaparlar. Fakat, akım seviyesi arttıkça diyot lazerleri eşik akımına ulaşırlar ve nüfus ters çevrimiyle lazer çalışır. Şekil 3.4(a)’da görüldüğü gibi eşikten geçtikten sonra ışık gücü çok dik artmaktadır. Bu davranış, uyarılmış salınımın göstergesi olup, şekil 3.4(b)’de gösterilen çınlaçın boylamasına optik kiplerinin (modlarının) sağladığı geri bildirimle etkin hale gelir.



Şekil 3.4. Işık gücünün akıma ve dalga boyuna göre değişimi

3.1.8. Lazer Diyot Parametreleri

Diyot lazerleri çeşitli parametreler tarafından karakterize edilirler. Bu parametreler ve temel tanımlarının bazıları aşağıda verilmiştir.

- Seri direnç (RS) : Diyot lazeriyle seri olan direnç
- Eşik akımı (I_{th}): Lazer olayının başladığı akım

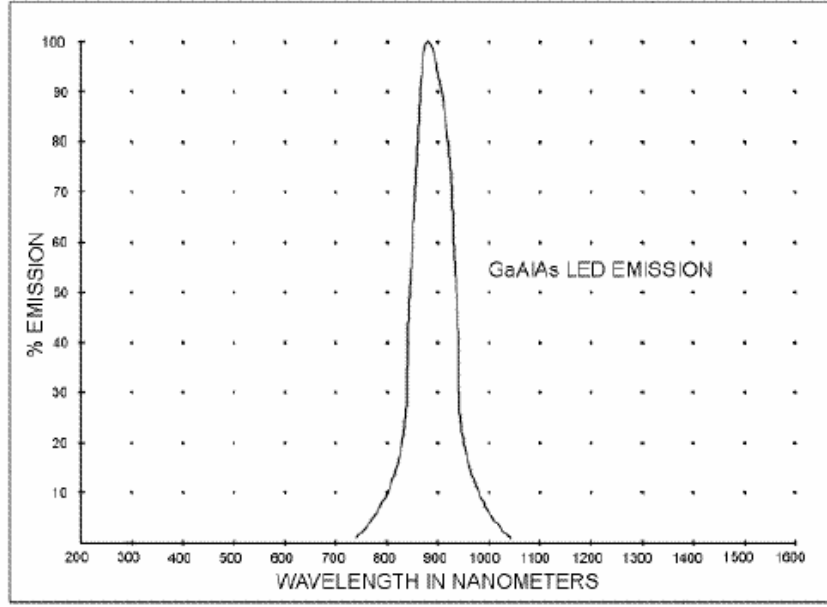
- Eşik akımı yoğunluğu (j_{th}): Birim alana düşen eşik akımı
- Türevsel kuvantum verimi (η_d) : akımdaki artış için ışıktaki artış oranı
- Lazer dalga boyu (λ_p) : lazer olayının maksimum olduğu dalga boyu
- Bant genişliği ($\delta\lambda$) : lazerin dalga boyu bant genişliği

3.2. Işık Yayan Diyotlar (LED)

Çoğu boşluk haberleşme sistemlerinde kızıl ötesi ışık yayıcı diyotlar (IR LED) yaygın olarak kullanılır. Görülebilir ışık yayan diyotların olmasına rağmen kızıl ötesi diyotlar daha yüksek verimlilik ve daha uygun dalga boyu için özellikle silikon fotodiyotlardaki etkisi için daha yaygın kullanılmaktadır.

3.2.1. GaAlAs LED

GaAlAs (gallium, aluminum arsenic) kızılötesi LED kızılötesi ışık kaynağı olarak çok geniş bir alanda kullanılır. Genelde silikon PIN fotodiyotlara (900nm tepki eğrisine sahip) uyumlu bir ışık sağlar. Çoğu diyot yüksek akım seviyelerinde darbe atabilir, ve buna ek olarak ortalama güç üreticilerin maksimum güç harcamasını (normal olarak 0.25 Watt) aşmaz. Duty cycle en az % 0.2'dir. Hızlı diyotların çoğu akımla sürüldüğü zaman en kısa 100 nano saniyelik darbe üretirken çoğu diyotlar en az 900 nano saniye gerektirir. 6 Amperlik bir akım seviyesinde, kaliteli bir LED 0.15 Wattlık bir kızılötesi ışık yayar. Bununla beraber daha yüksek akım seviyelerinde verimi düşer. Şekil 3.5 te bir GaAlAs LED in yayılımının spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 3.5. GaAlAs LED spektrumu

GaAlAs LED'ler kısa ve orta mesafe kontrol bağlantıları ve genel haberleşme için iyi bir seçimdir. Geniş merceklerle kullanıldığında, bir tanesi bile uzun mesafe haberleşme sistemlerinde kullanılabilir.

3.2.2. GaAs Kızıl ötesi LED

Bu LED'ler GaAlAs LED'lere göre daha eski ve daha verimsizdir. Bunların en verimlilerinin emetör yüzeyi, GaAlAs LED'lerinkinden daha küçüktür ve küçük merceklerle dar bir divergence açısı yaratırlar. Aynı zamanda dar olan emetör yüzeyleri fiber optik haberleşme sistemleri için bir avantaj sağlar. GaAs LED'lerin en önemli özelliği hızlarıdır. Bunlar GaAlAs LED'lerden 10 kat daha hızlıdır. Bunlar sık olarak kısa mesafelerde orta hızda haberleşme sağlamaktadırlar.

3.3. Kablosuz Optik Haberleşme Sistemleri İçin Dalga Boyu Seçimi

Serbest boşluk haberleşme sistemlerinde karşılaşılan en önemli sorun şüphesiz atmosferik zayıflatmadır, özellikle atmosferdeki sis olayı. Bu nedenle, bu problemten az etkilenecek dalga boyu sınırı seçilmelidir. Atmosferde oluşan çoğu zayıflatma işlemleri baskın olarak dalga boyuna bağlıdır örneğin Rayleigh saçılımı. Bu zayıflatma daha kısa dalga boyları için daha büyüktür. Fakat Rayleigh saçılımı boşluk optik haberleşme sistemleri için çok fazla önemi de değildir. En büyük kayıp sisten oluşan Mie saçılımında oluşur. Dalga boyunun seçimi özellikle bu problemten kaçmak için çok önemlidir. Sisli havadaki su damlacığının büyüklüğü ile ışığın dalga boyunun büyüklüğünün hemen hemen birbirine yakın olması durumunda orada bir rezonans saçılımı olacaktır. Dumanlı ve açık sisli bir havada, daha uzun dalga boylarında zayıflamayı azaltacaktır.

Şüphesiz ki 1550 nm civarındaki dalga boyu temelli sistem yaklaşık 50 kat daha fazla ışık yayar. Diğer bütün faktörlerin eşit olmasıyla beraber, 1550 nm dalga boyundaki sistemin yüksek gücü sisli bir havaya daha üstün nitelikte bir ilerleme sağlayacaktır.[Richmond, 2001]

Her ne kadar daha önceki kablosuz optik haberleşme sistemlerinin yapımında yakın kızıl ötesi bölge ışık kaynakları (750 nm ve 850 nm civarında) kullanılsa da birçok sebepten dolayı daha iyi bir seçim olarak 1550 nm dalga boyuna yakın ışık kaynakları kullanılmıştır. 1550 nm dalga boyunda, 800 nm lik dalga boyundaki çıkış gücünden 50 kat daha fazla çıkış gücü elde edilmiştir. Ayrıca sisli bir havaya çok iyi nüfus edebilmesi de 1550 nm dalga boyunu avantajlı hale getirmiştir. Bundan başka maliyet olarakta daha kısa dalga boyundaki ışık kaynakları ile de karşılaştırılabilir seviyede bulunabilmektedir.

4.ALICILAR

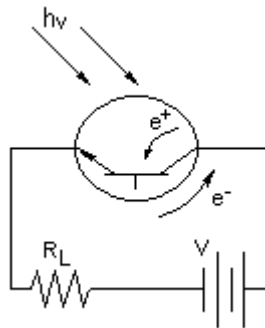
4.1. Foto Dedektörler

Foto direnç, foto diyot, foto transistor ve bunun gibi birçok foto dedektör bilinmesine karşın optik hava haberleşmesinde ancak bunlardan birkaç tanesi kullanılabilir. Çoğu elektronik dergiler, elektronik firmalar her ne kadar temel ışık dedektörlerinin foto transistorler olduğunu düşünseler de hızlı, az maliyetli ve hassas olması gereken devrelerde genellikle PIN foto diyotlar tercih edilirler.

4.1.1. Fototransistor

Fototransistorlar, elektrik akımını ışık ile kontrol eden devre elemanlarıdır. Genel olarak her türlü transistor, ışığı görecektir şekilde şeffaf muhafazalara konulsaydı, fototransistor olarak kullanılabilirdi. Ancak fototransistorlarda bazı etki göz önüne alınarak diğer transistorlardan farklı bir tasarım tekniği kullanılmıştır.

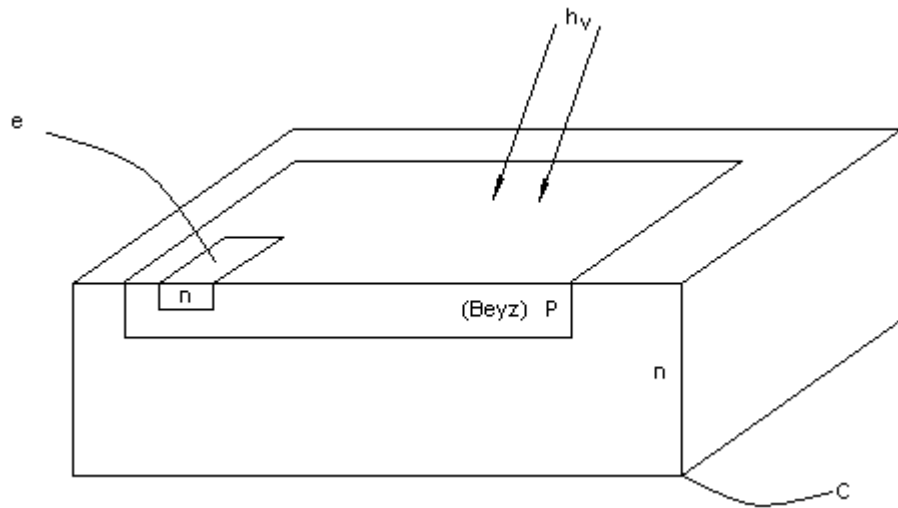
Fototransistorun çalışma prensibi, yarıiletkenler üzerindeki ışık etkisinin bir sonucudur. Gerilim tatbik edilmiş bir yarıiletken üzerine uygun dalga boyunda bir ışık düşürüldüğünde + ve - yüklü tanecikler oluşur ve devre üzerinden akarlar. Bu akma miktarı, uygulanan ışık miktarına bağlıdır. Bu şekilde ışık miktarı ile orantılı bir elektrik akımı doğmuş olur.



Şekil 4.1. NPN fototransistor

Bir fototransistörde + ve - yüklü tanecikler aslında kollektör - beyaz sınırı yakınlarında oluşur. Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi NPN tipi bir transistörde ışık etkisi ile oluşan + tanecikler bazda toplanırlar. Yani ışık etkisiyle bazda oluşan + tanecikler orada kalırlar, kollektörde oluşanlar ise kuvvetli bir manyetik alan etkisiyle bazda doğru çekilirler. Aynı şekilde ışık etkisiyle oluşan - tanecikler (elektronlar) ise kollektörde toplanırlar. Biriken bu + ve - yüklü tanecikler bir noktada birikmek yerine düzgün bir şekilde dağılmak isterler. Bu yüzden + tanecikler (elektronlar) ise kollektörde toplanırlar. Biriken enjekte edilirler. Bu ise emetörden baza doğru elektron enjekte edilmesine yol açar. Emetör enjeksiyonu baz enjeksiyonuna nazaran çok daha fazla olduğu için emetöre enjekte edilen bir + tanecik, baza çok sayıda elektron enjeksiyonuna sebep olur. İşte bu noktada bilinen transistor çalışma şekli oluşur. Emetörden enjekte edilen elektronlar baza geçerek kollektöre doğru çekilirler. Orada ışık etkisiyle oluşan elektronlarla birleşerek ışıkla oluşmuş elektrik akımını meydana getirirler.

Asıl ışık etkili taneciklerin oluşması kollektör baz bölgesinde meydana geleceğinden dolayı bu bölge ne kadar büyük olursa, ışık etkisinden dolayı oluşacak elektrik akımı da o ölçüde büyük olacaktır. İşte bu yüzden fototransistorlerin baz alanı, Şekil 4.2 'de de görüldüğü gibi gelen ışığa geniş bir yüzey teşkil edecek şekilde tasarlanmaktadır.



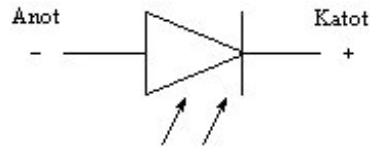
Şekil 4.2. Fototransistor

Bir fototransistor iki veya üç bacaklı olabilir. Üç bacaklı olanlarda baz, bir terminal ile dışarıya verilmiştir. Bu tip fototransistorlar, normal bipolar transistorlar gibi kullanılabilirler. Işık gören pencere kapatılmaz ise normal transistor çalışması ile beraber ışık etkisi de ilave edilmiş olur. İki bacaklı olanlarda ise baza bağlı bacak kaldırılmıştır. Bu durumda sadece ışık ile çalışma söz konusudur.

Fotodiyotlar, ters yönde kutuplandıkları zaman üzerlerine düşen ışıqla orantılı olarak kaçak akımları değişen diyotlardır. Bilindiği gibi diyotlar ters yönde (blokaj yönünde) kutuplandıklarında μA veya nA seviyesinde kaçak akımlar oluşur. İşte fotodiyotlar, üzerlerine düşen ışık miktarı arttıkça bu kaçak akımların artması prensibine dayanarak yapılmışlardır. Kaçak akımlardaki ışığa bağlı değişim elektronik yükselteç devreleriyle yükseltilerek dedektör olarak kullanılmaktadır.

4.1.2. Foto Diyot

Foto diyot ışık enerjisiyle iletme geçen diyottur. Foto diyotlara polarma geriliminin uygulanışı normal diyotlara göre ters yöndedir. Yani anoduna negatif (-), katoduna pozitif (+) gerilim uygulanır.

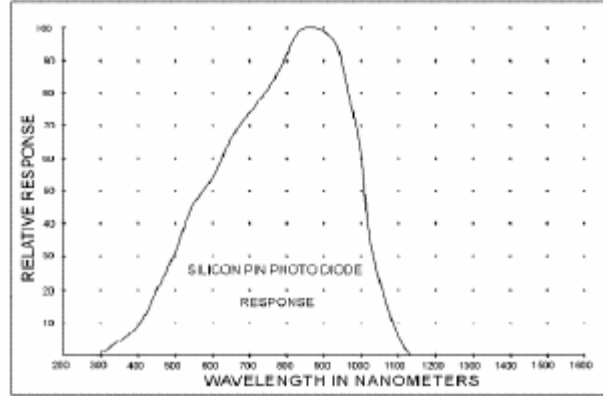


Şekil 4.3. foto diyot sembolü

4.1.2.1. Silikon PIN Foto Diyot

Transistorların NPN veya PNP gibi kullanılan yarıiletken sırası ile isimlendirilmesi gibi foto diyotlarda p ve n eklemleri arasında bulunan doğal “intrinsic” I harfi ile PIN olarak isimlendirilirler.

Silikondan yapılmış PIN foto diyotların çoğu Şekil 4.4 de gösterildiği gibi bir tepki eğrisi gösterirler. Eğer eğriye dikkatle bakılırsa, dedektörün yakın kızılötesi bölgesinde yani 900 nm lik bir bölgede en hassas olduğu gözükmemektedir. Aynı zamanda 1000 nm den sonrada keskin bir şekilde indiği gözlenmektedir.



Şekil 4.4. Silikon Foto diyot Spektrumu

Silikon foto diyot üzerine gelen ışık şiddetine orantılı olarak akım üretebilir. Yani ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür.

Bir silikon fotodiyot üzerine düşen bir 900 nm lik dalga boyunda üzerine gelen her 2 mW lık bir ışık şiddetiyle 1 mA civarında bir akım üretebilir. Bu %50 verimdir.

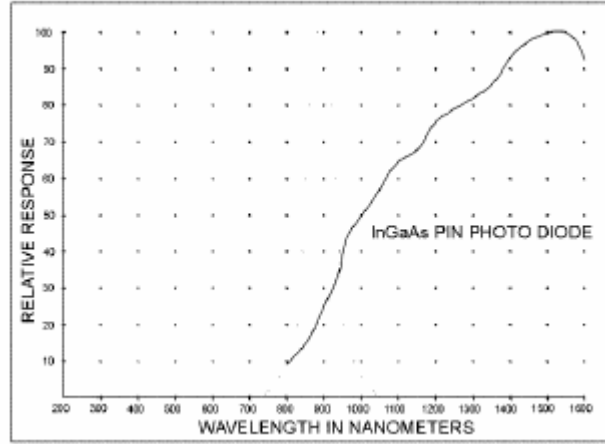
Çoğu dedektörler için bu ilişki 120 dB dir ve sınır 10 mW lardan nW lara kadar bir sınırdır. Elbetteki bu her dalga boyu için aynı verimde çevrilmez. Mesela görünür bölge ışık kaynağında bu verim %25 dir.

Bir ışık gücü girişine bağlı olarak çıkış akımının değişimi bir PIN diyotun en önemli karakteristiğidir. Çünkü bu ilişki bizim haberleşme sisteminin ne kadar mesafeye kadar çalıştığını hesaplamamıza yardımcı olur. Bir haberleşme sistemi için optik komponentlerin çok uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Işık giriş gücünün çıkış akımına çevirimi ışık darbesinin süresinden bağımsızdır. Işık darbe süresi ister 1 saniye isterse 1 nanosaniye olsun yine de aynı akım değerini verir. Bunu ilerleyen konularımızda inceleyeceğiz.

4.1.2.2. InGaAs PIN Diyot

Katı hal foto diyotlar sadece silikondan değil galyum indium elementlerinden de yapılır. Ve uzun kızıl ötesi bölgede iyi sonuç verirler. Bu PIN diyotun karakteristiği Şekil 4.5 de gösterilmiştir. Bununla beraber, bu fotodiyotların çoğu fiber optik haberleşmesi için üretilmektedir. Genellikle aktif alanları çok küçük olurlar fakat pahalı komponentlerdir.



Şekil 4.5. PIN diyotun karakteristiği

4.1.2.3. Çığ Fotodiyot

Çığ fotodiyot (APD) bir silikon PIN diyot gibi üretilen optik haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan özel bir ışık dedektörüdür. Bir PIN diyotun aksine, çığ fotodiyot sadece birkaç voltluk bir eğilimleme gerilimine ihtiyaç duyar. Bir APD 150 Voltluk gerilimle eğilimlenir. Işık komponente geldiği zaman, aynen tipik bir PIN diyotta olduğu gibi az bir akım geçirir fakat çok yüksek seviyelerde değil. Bir PIN

diyotun aksine 2 mikrowatt lık ışık için sadece bir mikro amperlik akım üretebilirler. Bir APD her mikrowatt için 100 mikro amperlik akım akıtabilirler (x100 kazanç). Bu kazanç faktörü tamamıyla çalışma sıcaklığı ve uygulanan eğilimleme gerilimine bağlıdır. Bu ilişkide avantajlıdır ve istenen kazancı elde etmek için eğilimleme gerilimini değiştirebilirler. Dar bir bant geçiren filtreli lazer ışık kaynağı uygulandığında, APD daha Hassas bir şekilde serbest boşlukta haberleşmeyi sağlayabilir. Böylece daha uzun mesafelere bilgiyi optik olarak göndermemiz mümkün olacaktır. Çoğu endüstriyel alanda kullanılan APD lar çok küçük aktif alana sahiptirler, buda onları serbest boşluk haberleşmesi için daha popüler olmayan bir hale getiriyor. Aynı zamanda en iyi PIN diyottan 20 kat daha pahalıdır.

Sonuç olarak, yüksek eğilimleme gerilimi gereksinimleri ve APD nin sıcaklık hassasiyeti devreyi bir PIN diyot devresinden daha karmaşık bir hale getirir. Ama düşük fiyatlı, geniş aktif alanlı APD lar mevcut olarak endüstride bulunmaktadır.

4.1.3. Tipik PIN Diyot Özellikleri

4.1.3.1. Kılıf

Çoğu ticari PIN fotodiyotlar genellikle kızılötesini geçirici bir kılıf içine yerleştirilirler. Bu plastik kılıf kızılötesinin yanında görünür bölgenin de çoğunu geçirir. Bu plastik kılıfların içinde de gelen ışığı biriktirmek için aktif alanın önüne bir mercek konur.

4.1.3.2. Aktif Alan

PIN diyotlarda aktif alan etkilidir. Bir PIN diyotun karakteristiğini kılıf değil aktif alan belirler. Büyük aktif alanlı PIN ler, daha çok ışık yakalayabilirler ancak, küçük alanlılara göre daha yavaşırlar. Bundan dolayı yüksek hızlı uygulamalarda bunlar tercih edilirler. Bunun aksine uzun mesafe uygulamalarda ise büyük aktif alanlı PIN diyotlar tercih edilirler.

4.1.3.3. Tepki Süresi

Bütün PIN diyotlar, nano saniyeler mertebesinde bir yükselme ve alçalma süresine sahiptirler. Daha küçük süre daha hızlı PIN diyot anlamına gelmektedir. Genellikle, uygulamalarda tepki süresinin 500 nanosaniyeden daha az olması istenir. Bununla beraber, PIN diyotların iniş süresi çıkış sürelerinden çok az daha uzun olur.

4.1.3.4. Kapasitans

Kullanacağımız PIN diyotları aldığımız zaman karakteristik özelliklerinin içinde mutlaka toplam kapasitans değerini görürüz. Ve o genellikle pikofarad mertebesindedir. Aktif alan ve kapasitans birbirleri ile birebir ilişkilidirler. Buda komponentin hızını etkiler. Bununla beraber kapasitans sabit bir değere sahip değildir. Kapasitans yüksek bir ters eğilimleme gerilimi ile azalacaktır. Bir örnek verecek olursak, 1 milimetre karelik bir aktif alan sıfır eğilimleme gerilimde 30 pikofaradlık bir kapasitans değeri verecektir. Fakat 12 Volt luk bir gerilimde sadece 6 pikofarada azalacaktır. Büyük alanlı komponentler her zaman için daha büyük kapasitans değerine sahip olacaktır.

4.1.3.5. Karanlıktaki Akım

Bütün PIN diyotlar karanlıkta çok küçük bir sızıntı akımına sahiptirler ve bu akımın değeri sadece nano amperler seviyesinde ölçülürler. Büyük alanlı komponentler için bile bu seviyeyi geçmez.

4.1.3.6. Gürültü Şekli

Bir PIN diyotun özellikleri incelendiği zaman bir gürültü listesiyle karşılaşırız. Birimi genellikle hertzin karekökünde bir watt olarak alınır. Bazen de NEP (gürültü değerinde güç) olarak adlandırılır. Genellikle bu gürültü ihmal edilir. Çünkü gürültü her şartta doğabilir çevresel ışıklardan dolayı.

4.2. Foto Alıcı Devreler

Foto alıcı devrelerini geliştirmek için öncelikle sistemde kullanılacak foto alıcı düzgün seçilmelidir. Algılanmak istenen ışınların spektrumuna uygun foto alıcı seçilmelidir. Seçilen foto alıcı, sistemde yer alan ışınların minimum değerine duyarlı olmalıdırlar.

Optoelektronik sistemler, genelde darbeleri rejimde çalışmaktadırlar. Bundan dolayı devrelerin analizinde foto alıcının ışığa duyarlı yüzeyine darbeleri ışının uygulanması ve bu darbeleri ışın etkisi ile foto sinyalin değişimi önemlidir.

4.2.1. PIN Fotodiyotun Foto Alıcı Devrede Kullanımı

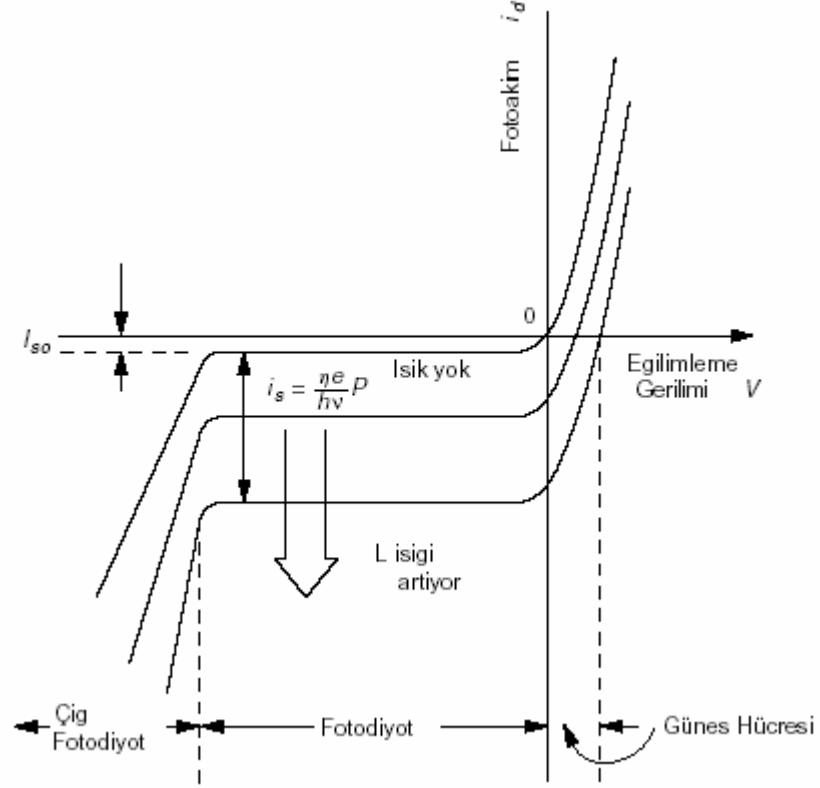
PIN foto diyotun bir p-n eklemi olduğunu ve üzerine ışık geldiği zaman sabit bir akım üretici olarak çalıştığını daha önce belirtmiştik. Herhangi bir ışık gelmediği zaman foto diyottan akan akım olan i_d nin değeri

$$i_d = I_{so} (e^{eV/kT} - 1) \quad (4.1)$$

şeklindedir. Şekil 4.6 da gösterildiği gibi akım i_d pozitif V için üstel olarak artar. Negatif V için ise, akım değeri I_{so} değerine yaklaşır. Denklem 4.1 de görüldüğü gibi p-n eklemi ters eğilimlendiği zaman akım I_{so} ya eşit olur. Buda “saturated back biased current” olarak adlandırılır.

Şekil 4.6 da gösterilen foto akımı içeren karakteristik eğrisinde, foton sayısının artması, I-V eğrisinin aşağı yönüne doğru bir geçişe sebep olmaktadır. Negatif eğilimleme bölgesinde, aynı zamanda ters eğilimleme bölgesi de denir, n tabakası pozitif ve p tabakası negatiftir. Negatif eğilimleme bölgesi foto dedektör olarak kullanılır.

Çünkü karanlık akım (ışık yokken) minimumdandır ve ters eğilimleme akımı doymuşluğa ulaşır. Vuruş gürültüsü, ekleme doğru akan akıma orantılı olarak, minimize edilebilir. Ayrıca bu bölgede, pratik olarak geri eğilimlemeden bağımsız olarak p-n eklemının empedans artmasıdır.



Şekil 4.6. Foto diyot karakteristiği

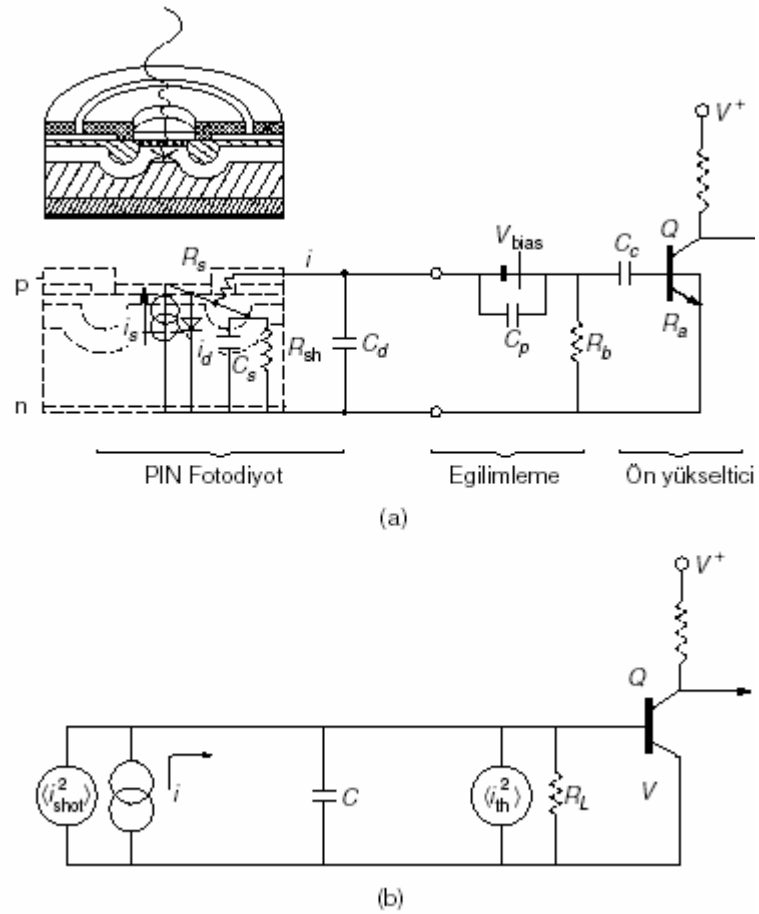
Aşırı negatif eğilimleme bölgesi çığ etkisi ile ilişkilendirilebilir. Büyük bir eğilimleme gerilimi ile elektronlar hızlandırılarak orbital elektronları çarpışmasıyla ek elektron delik çiftleri oluşur. Böylece foto akım eğilim akımına bağlı olarak binlerce kere büyür. Buna çığ foto diyot (APD) denir.

Şekil 4.7. (a) da bir PIN diyot kullanılarak yapılan direk algılama devresi gösterilmiştir. Şekil 4.7. (b) ise gürültü kaynakları ve gelen ışığa karşı akım üreten bir akım kaynağını da içeren basit bir eşdeğer devre gösterilmiştir. Diyottan geçen akım

(4.1) denklemi ile vermiştik. Foto akımı da aşağıdaki denklem ile verebiliriz [Wiley, 2002].

$$i_s = \eta \frac{e}{h\nu} M P_s \quad \text{ve} \quad i_s = \eta \frac{e\lambda}{hc} M P_s \quad (4.2)$$

burada P_s giren ışık gücüdür. Oldukça sık durumda, karanlık (dark) akım, ışık olmadığı zaman foto diyottan akan akım, doyuma ulaşmış geribeslemeli akımdan daha yaygın kullanılır.



Şekil 4.7. PIN diyot algılama devresi

Böyle büyük karanlık akımlar kristal yapı bozuklukları ve yüzeysel hatalardan oluşur. Bu ekstra akım R_{sh} şönt direnci ile hesaplanır. Tükenme (depletion) bölgesindeki hareketsiz yükün kapasitif etkisi C_s ile ifade edilir. Aradaki telin bağlanmasıyla ilişkili

dağılmış kapasitans C_d ile, elektrodun temas direnci R_s ile, yükselticinin giriş direnci R_a , eğilimleme direnci R_b ile RF bypass kondansatörü C_p ile ve kuplaj kondansatörü ise C_c ile ifade edilmektedir.

4.2.1.1. PIN Diyotun Frekans Tepkisi

PIN diyot ile algılanan ışık sinyalinin genlik modülasyon frekansı üzerindeki üst sınır aşağıdaki faktörlerle belirlenir.

1. doğal katmanda (i katmanı) üretilen bir elektronun elektroda ulaşması için geçiş süresi
2. p-tipi ve n tipi katmanlarda oluşan taşıyıcıların elektroda ulaşma süreleri
3. sinyal devresinin RC zaman sabiti

Frekans tepkisi üzerinde üst sınırı artırmak için aşağıdaki bahsedilen yollar uygulanmalıdır.

1. katkısız tabakada oluşan geçiş süresi geri eğilimleme gerilimi artırılmasıyla kısaltılmalıdır. Doğal katmanda minimum bir katkılama seviyesi ile sürüklenme hızı ivmelendirilir ve yüksek elektrik alanı korumak için ihtiyaç duyulan rezistivite sağlanmalıdır. Yüksek elektrik alan daha kısa geçiş süresi demektir. Geçiş süresini kısaltmanın diğer bir yolu ise doğal katman bölgesinin boyunu kısaltmaktır. Fakat buda fotonların elektrona çevirim verimini azaltır.
2. tesadüfi olarak bir fotonun doğal katmandan önce p+ katmanına düşmesi ile bu bölgede bir elektron delik çifti oluşturur. p+ katmanında oluşan böyle taşıyıcılar için, yüksek iletkenlikten dolayı elektrik alan zayıftır. Taşıyıcılar elektroda ulaşmak için difüzyona bağlı kalırlar ki buda dış bir elektrik alanının oluşumundan sürüklenen elektronlardan çok daha yavaş ilerler. Bu taşıyıcılar sadece, foto diyotun tepkisini azaltmaz aynı zamanda bir alıcı gürültü kaynağı da oluşur. Böyle problemleri minimize etmek için p+ tipi tabaka mümkün olduğunca ince tutulur.

3. foto diyotun harici bir devrenin zaman sabiti RC ile ilişkili olması aynı zamanda algılayıcının frekans tepkisini sınırlar. Şekil 4.7. (a) da gösterilen eşdeğer devrede zaman sabiti hesaplanır. Böylece potansiyel R_s nin uçları arasında oluşur, ve akım R_{sh} a doğru akar ve kuplaj kondansatörü C_c ihmal edilebilir derecede küçük olur.

Foto akım şekil 4.7. (a) dan

$$i = i_s - i_d \quad (4.3)$$

burada i_s sinyal akımı ve i_d diyot akımıdır.

Şekil 4.7. (b) deki basit eşdeğer devresinden foto akım kondansatör C ve direnç R_L arasında paylaşılır. Böylece

$$\begin{aligned} C &= C_s + C_d \\ \frac{1}{R_L} &= \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} \end{aligned} \quad (4.4)$$

çıkış gerilimi ise

$$V = \frac{R_L / j\omega C}{R_L + 1 / j\omega C} i \quad (4.5)$$

$$= \frac{R_L}{\sqrt{1 + (\omega R_L C)^2}} e^{j\phi} \cdot i \quad (4.6)$$

olarak hesaplanır. Burada

$$\tan \phi = -\omega R_L C \quad (4.7)$$

olarak bulunur. Kesim frekansı ise

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_L C} \quad (4.8)$$

kesim frekansı modülasyon frekansının üst sınırını belirler. $R_L C$ değerinin azalması üst sınır frekansının değerini artıracığından C değerinin küçük olması ve R_L nin küçük seçilmesi gerekir. Fakat bununla beraber R_L nin küçülmesi gerilim değeri V nin de küçülmesine neden olur.

5. OPTİK MODÜLASYON TEKNİKLERİ

Bir bilginin uzağa gönderilmesi için vericinin mutlaka temel bant olarak nitelendirilen bir sinyal ile modülasyonunun yapılması gerekmektedir. Örneğin en basitinden gönderilecek olan bir ses sinyali optik haberleşme ile gönderilecekse ışık ile modüle edilmelidir. Burada ses temel bant sinyali ise ışık taşıyıcı frekansı olarak nitelendirilir ve ses frekansı ışık frekansı etrafında modüle edilir. Bu bölümde ise modülasyon tekniklerinden bahsedilecektir.

Modülasyon teknikleri genel olarak iki kısımda ifade edilir. Analog modülasyon ve dijital modülasyondur. Dijital modülasyon “Binary Pulse Modulation” ve “Multiple State Pulse Modulation” olarak ikiye ayrılabilir. Hepsinin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır. Seçim, frekans bant genişliği, gürültü ve bozulmaya dayanıklılık, ve ışığın ekonomikliği gibi kriterlere göre yapılır. Modülasyon tipleri çizelge 5.1de gösterilmiştir.

5.1. Genlik Modülasyonu

Bir ışığı modüle etmek için üç parametre kullanılır. Bunlar genlik, frekans ve fazdır. Genlik modülasyonu bunlardan en basit olanıdır. Çizelge 5.1in en başında gösterilen genlik modülasyonu $s(t)$ temel bant sinyali ile aşağıdaki formülle açıklanır.

$$E(t) = E_0[1 + ms(t)] \cos 2\pi f_c t \quad (5.1)$$

burada f_c ışığın taşıyıcı frekansı m ise modülasyon indeksidir. Frekans spektrumu Fourier dönüşümü ile $f_c - B$ ve $f_c + B$ frekans bantları oluşur ve burada B temel bant sinyalinin frekans bant genişliği f_c merkez frekanstır. Böylece genlik modülasyonu $2B$ lik bir bant genişliği üzerindedir. bir lazer diyot için iki yönlü genlik modülasyonu yapılabilir. Hem içeriden olabilir hem de dışarıdan modüle edilebilir.

İç modülasyon ile temel bant sinyal akımı, uygun bir eğilim akımı ile birleştirilerek lazer diyotun çıkış ışığını modüle etmek için lazer diyota doğru verilir. Bu yaklaşım içinde sadece genlik değil lazer diyot ışık şiddeti de temel bant sinyal akımı ile doğrusal olarak modüle edilir. Foto diyotta da tam tersi olarak modüle edilen ışık elektriksel işarete çevrilerek demodüle edilir. Böyle bir metot “direkt algılama” olarak isimlendirilir.

Aynı zamanda verilen akıma göre frekansta değiştirilebilir. Buna da Frekans modülasyonu denir. Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Harici modülasyonda ise yine verilen akım lazer diyota verilir ve çıkışta elektro optik genlik modülatörü ile modüle edilebilir.

Çizelge 5.1de genlik modülasyon çeşitleri gösterilmiştir. Bunlardan ilki çift yan bant genlik modülasyonudur (DSB). Taşıyıcı bastırılır ve aşağıdaki formül ile açıklanır.

$$E(t) = s(t) \cos \omega_c t \quad (5.2)$$

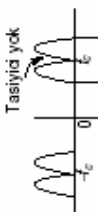
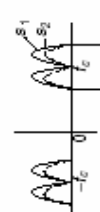
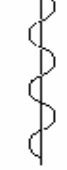
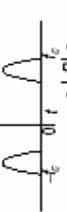
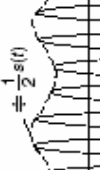
Taşıyıcı bilgiyi taşımaz ve onun transferi ışık enerjisini saklar. Bununla beraber, bu modülasyon özenle yapılmış bir demodülasyon şeması gerektirir.

Bir sonraki modülasyon türü ise Quadratik genlik modülasyonudur (QAM). Bu modülasyon türünde frekans bant genişlikleri aynı olan iki sinyal verilebilir. Işık iki parçaya bölünür ve ilk parça temel bant sinyali $s_1(t)$ ile çarpılır. Böylece

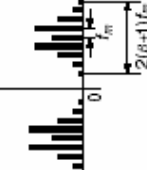
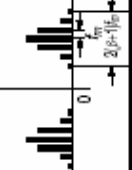
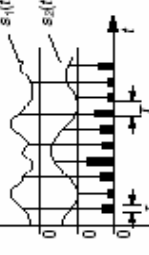
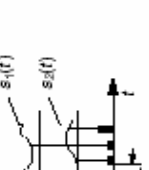
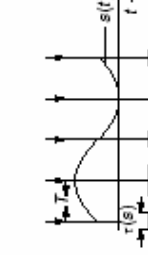
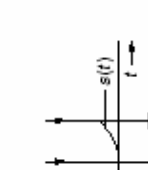
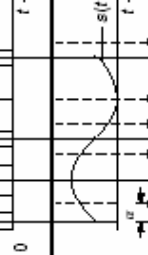
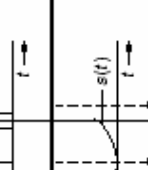
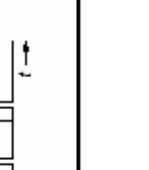
$$E_I(t) = s_1(t) \cos \omega_c t \quad (5.3)$$

ikinci parça ise Quadrature parçası olarak ilk parçadan $\pi/2$ radyan faz farkı ile kaydırılır.

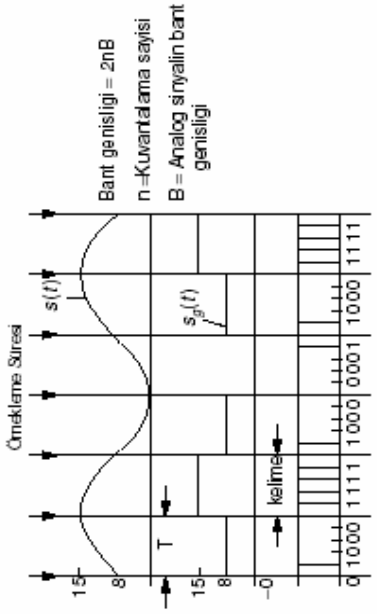
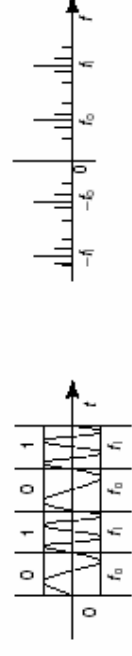
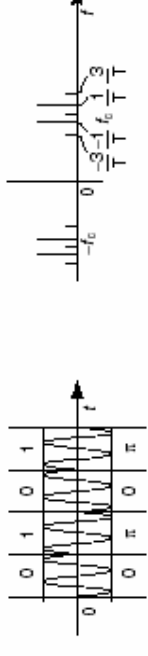
Çizelge 5.1. Çeşitli Modülasyon Tipleri

Kategori	Kısaltması	Tanı Adı	Açıklaması	Spektrum		Özellikler
				Zaman	Frekans	
Tasiyici Genlik Modülasyonu	AM	Genlik Modülasyonu	$A[1 + m(t)] \cos \omega_c t$			Modülasyonu ve Demodülasyonu Çok Basittir
	IM	Isık Sıddeti Modülasyonu	$s(t) \text{ nin bant genişliği } B \text{ Hertz dir}$ $I[1 + m(t)] \cos \omega_c t$			Bant genişliği uygun değildir
DSB	DSB	Çift yan bant Modülasyonu	$s(t) \cos \omega_c t$			modülasyonu kolay fakat demodülasyonu zordur. Tasiyici frekansı için enerji yok (Gerekli güç AM'den 50% daha az).
DSBC	DSBC	Tasiyici bastırılmış Çift yan bant Modülasyonu				
QAM	QAM	Quadrature Genlik Modülasyonu	$s_1(t) \cos \omega_c t + s_2(t) \sin \omega_c t$			Bant Genişliği korunur.
SSB	SSB	Tek yan bant Modülasyonu	$\frac{1}{2}[s(t) \cos \omega_c t + \hat{s}(t) \sin \omega_c t]$ $\hat{s}(t)$: $s(t)$ nin Hilbert dönüşümü			Bant genişliği korunur. Demodülasyonu zordur.
				$s(t) = \cos 2\pi f_m t$ nin özel durumu için		
VSB	VSB	Vestigial yan bant Modülasyonu	$\frac{1}{2}[s(t) \cos \omega_c t - j s(t) \sin \omega_c t]$			Bant genişliği korunur. Demodülasyonu zordur. Yan bantlardan sadece bir tanesi kullanılır.

Çizelge 5.1 (devam)

Kategori	Kısaltma	Tam Adı	Açıklama	Spektrum		Özellikler
				Zaman Domeni	Frekans Domeni	
Açı Modülasyonu	PM	Faz Modülasyonu	$A \cos[\omega_c t + s(t)]$			Kontrol edilemez karmasiktir. LO lazerin siki gereksinimleri Bozulma ve gürültüye karşı dayanıklılık.
						
Darbe Modülasyonu	PAM	Darbe genlik Modülasyonu	$\sum_{n=-\infty}^{\infty} [as(nT) + K] \pi \left(\frac{t - nT}{\tau} \right)$			Modülasyon ve demodülasyonu başittir. Dar darbe genişliği gürültüye karşı hassastır.
						
Darbe Modülasyonu	PPM	Darbe Konum Modülasyonu	$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \pi \left(\frac{t - nT - \alpha}{\tau(s)} \right)$ $\alpha = as(nT)$			Genlik gürültüye karşı hassas değildir Darbenin iki ucunun sıfır geçiş noktalarının konumu gürültüye karşı hassastır.
						

Çizelge 5.1. (devam)

Dijital sekil içinde Analog sinyal	PCM	Darbe kod Modülasyon	Kullanımı yaygındır. Bozulma ve gürültüye karşı dayanıklıdır. Yüksek kalitede haberleşme için uygun maliyet. 
Binary Modülasyon (iki seviyeli Modülasyon)	ASK	Genlik kaydırmalı anahızlama	$h(t) \cos \omega_c t$ $h(t) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$  Modülasyonu ve demodülasyonu basittir. Bozulma ve gürültüye karşı dayanıklıdır.
	FSK	Frekans kaydırmalı Anahızlama	$\cos[\omega_h(t)t]$ $\omega_h(t) = \begin{cases} 2\pi f_0 \\ 2\pi f_1 \end{cases}$  ASK dan üç dB daha yüksek enerji Sistem kontrolü karmaşıktır. Gürültü ve bozulmaya karşı dayanıklıdır.
	PSK	Faz Kaydırmalı Anahızlama	$\cos[\omega t + \phi(t)]$ $\phi(t) = \begin{cases} 0 \\ \pi \end{cases}$  ASK dan üç dB daha yüksek enerji. algılama için referans dalga üzerinde sıkı gerksinimler

Buda diğer temel bant sinyali $s_2(t)$ ile çarpılır.

$$E_Q(t) = s_2(t) \sin \omega_c t \quad (5.4)$$

E_1 ve E_Q bant genişliği artmadan eşzamanlı olarak gönderilir. Alıcıda sinyaller seçili olarak $E_1(t)$ nin $\cos \omega_c t$ ile $E_2(t)$ nin de $\sin \omega_c t$ ile çarpılmasıyla demodüle edilir ve bir alçak geçiren filtre ile filtrelenerek filtre elde edilir.

Çift yan bant modülasyonunda ise iki yan bant sinyali gerekli olarak iki aynı bilgiyi içerir. Bu nedenle fazla olan bu sinyallerden bir tanesi atılır ve bunun atılması ortaya tek yan bant modülasyonunun sunulmasını sağlamıştır.

Tek yan bant modülasyonu ise matematiksel olarak

$$E(t) = \frac{1}{2}[s(t) \cos \omega_c t + \hat{s}(t) \sin \omega_c t] \quad (5.5)$$

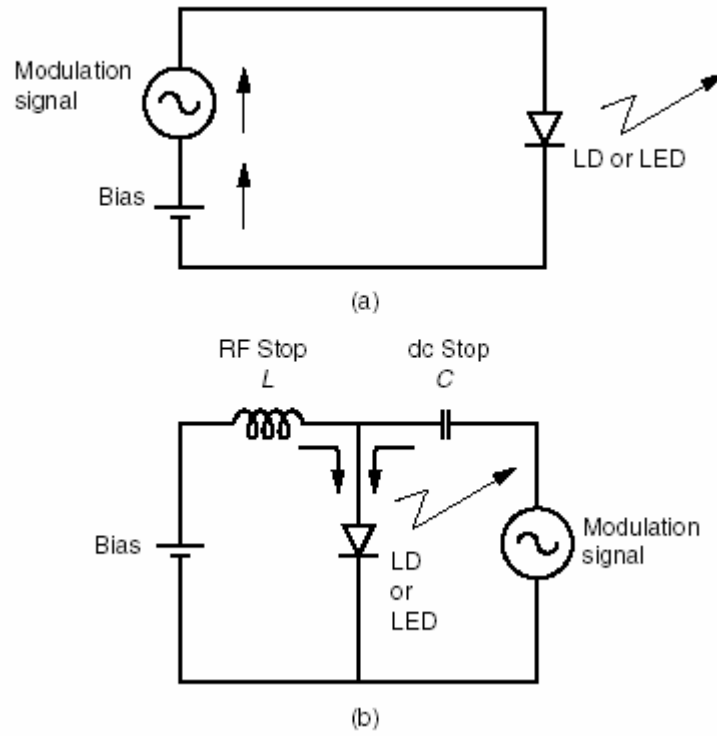
şeklinde tanımlanır. Burada $\hat{s}(t)$, $s(t)$ nin Hilbert fonksiyonu olarak isimlendirilir ki buda temel bant sinyalinin 90° faz kaydırılmış halidir. bu olay aşağıda da açıklanmıştır.

$$s(t) = a \cos \omega_m t \quad (5.6)$$

$$\hat{s}(t) = a \sin \omega_m t \quad (5.7)$$

buradan da modüle edilmiş sinyal;

$$E(t) = \frac{1}{2}a \cos(\omega_c - \omega_m)t \quad (5.8)$$



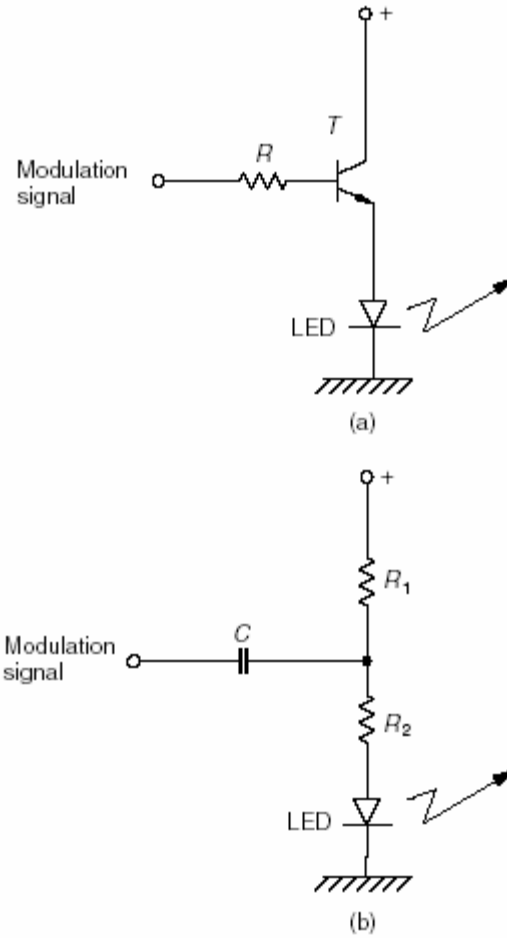
Şekil 5.1. bir ışık diyotun genlik modülasyonu
(a) seri devre modülasyonu (b) şönt devre modülasyonu

böylece düşük yan bant $(\omega_c - \omega_m)$ i içerir ancak $(\omega_c + \omega_m)$ i içermez. Fakat tek yan bant modülasyon devresi bantlardan birini bastırmak ve demodüle devresinde tekrar elde etmek için daha karmaşık bir devre yapısına gereksinim duyar.

Dahili genlik modülasyon devrelerinde

1. modülasyonun kolaylığı
2. karakteristik eğrisinin doğrusallığı
3. tipik olarak 1,5-2 Ω gibi düşük giriş empedansına uyumluluğu sağlaması önemlidir.

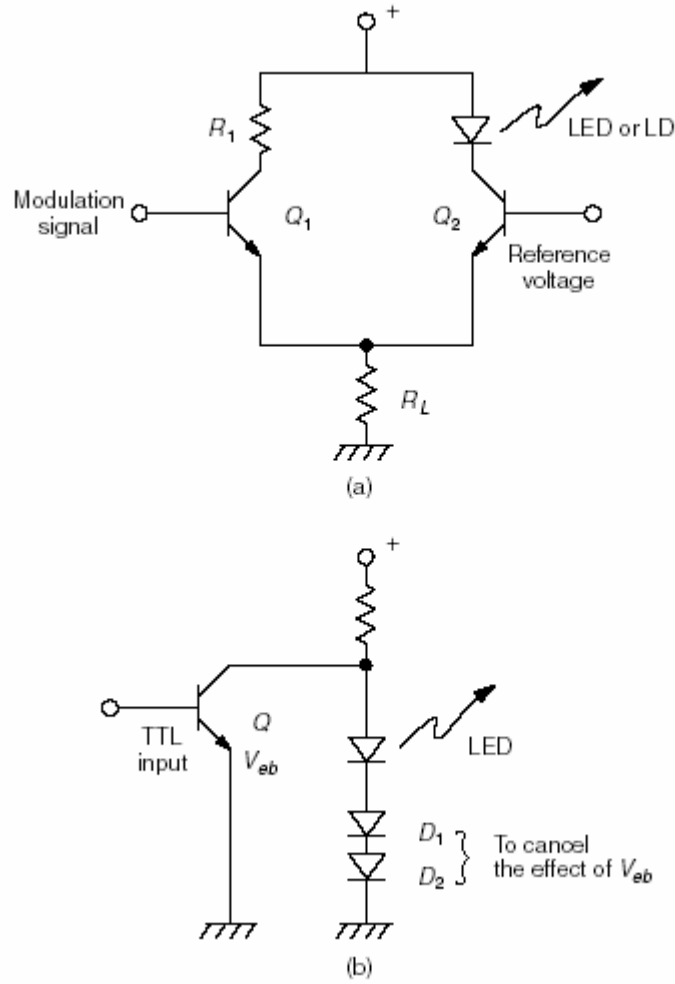
Genlik modülasyon metotları seri ve şönt bağlantı olarak iki sınıfa ayrılabilirler. LED veya lazer diyotlarda ise şekil 5.2. de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.2. Seri ve şönt bağlı genlik modülasyon devresi

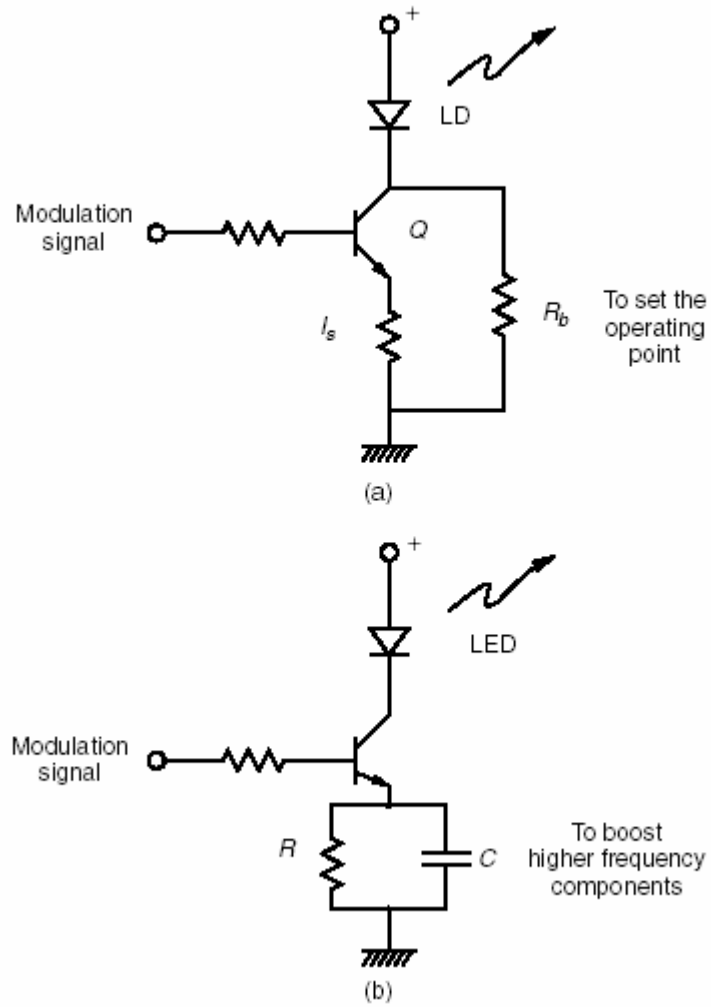
Şekil 5.3 (a) da ise lazer diyot ve LED ler için kullanılan diğer devreler gösterilmiştir. Şekil 5.3 (a)' da bir emetör kuplajlı devre aynı tip transistor çifti ile gerçekleşir dış etkilerle oluşan sıcaklık ile oluşan çalışma noktasındaki sürüklenme bastırılır. Şekil 5.3.(b) 'de gösterilen bir diğer metot ise anahtarlama metodudur. Q transistörü açılıp kapandığında aynı zamanda LED de açılıp kapanır.

Şekil 5.4. başka bir sürme devresidir. Lazer diyotun eğilimleme akımına karşı ışık gücünün lineer karakteristik eğrisini işlemek için şekil 5.4.(a) da R_b direnci ile Q transistörünün şönt bağlanması ile ön eğilimlemeyi gösteriyor [Iizuka, 2002].



Şekil 5.3. Uygulamada kullanılabilecek diğer modülasyon devresi

Şekil 5.4 (b) ise yüksek modüle frekanslarda modülasyonda LED in çıkış gücünün kompanze edilmesi gösterilmiştir. R direncine paralel olarak bir kondansatör bağlanmıştır. Bu sürücü devresi ile modülasyonun frekans bant genişliği büyütülebilir.



Şekil 5.4. (a) R_b direnci ile Q transistörünün şönt bağlanması ile ön eğilimleme (b) Yüksek modüle frekanslarda modülasyonda LED in çıkış gücünün kompanze edilmesi

5.2. Açık Modülasyonu

Genlik modülasyonuna diğer bir alternatifte açı modülasyonudur. Faz modülasyonu (PM) ve frekans modülasyonu (FM) iki tip açı modülasyonudur.

Faz modülasyonunda, temel bant sinyali sinyalin fazını modüle eder ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$E(t) = A \cos[\omega_c t + s(t)] \quad (5.9)$$

frekans modülasyonu ise

$$E(t) = A \cos \left(\omega_c t + \int_{t_0}^t s(\lambda) d\lambda \right) \quad (5.10)$$

genlik modülasyon sinyalinin istenen frekans bant genişliği $2B$ dir. Fakat frekans modülasyonunda gereken bant genişliği daha fazladır. Ve bu çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

Faz modülasyonu ve frekans modülasyonunun genlik modülasyonuna göre yararları gürültü ve girişime karşı önemli derecede iyileştirilmiş olmasıdır.

Faz veya frekansla modüle edilmiş sinyal ,bununla beraber “direct detection” metodu ile demodüle edilemezler, sadece ışık gücünü algılayabilir, ışık taşıyıcının frekansının ya da fazının ayrımı yapılamaz. Farklı bir algılama sistemi ise “coherent detection” sistemidir ki bu sistem faz ve frekans ile modüle edilmiş sistemlerin demodülasyonu için tasarlanmış sistemlerdir. “coherent detection” sistemi ile alınan sinyal, ilk önce bir mikser diyota daha sonra orta frekans (IF) üreten bir osilatör üzerine bindirilir.

$$f_{IF} = |f_c - f_{LO}| \quad (5.11)$$

burada f_{LO} bölgesel ışık osilatörünün taşıyıcı frekansı, FM sinyali IF sinyalden bir frekans ayırıcı kullanılarak demodüle edilir ve faz sinyali de IF sinyalden bir faz ayırıcı kullanılarak modüle edilebilir.

5.3. Darbe Modülasyonu

Darbe modülasyonunda, işaret sürekli bir dalga sinyalinde ziyade darbe şeklinde bir işaret ile bilgi gönderilir. Darbe modülasyonu çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Birincisi darbe genlik modülasyonu (PAM) olarak isimlendirilir. PAM da, darbenin yüksekliği temel bant sinyalinin büyüklüğüne göre değişir.

Darbe süre modülasyonu (PDM) ve darbe konum modülasyonu (PPM) diğer darbe modülasyon türleridir. Bunlar çizelge 5.1de ayrıca gösterilmiştir.

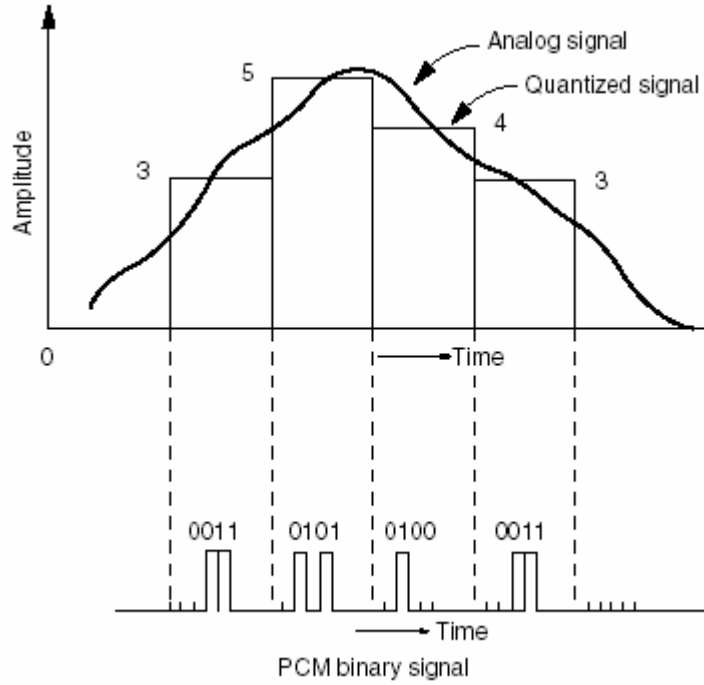
Darbe süre modülasyonunda, temel bant sinyalinin büyüklüğüne göre her T darbe periyodu içinde darbe süresi τ yu modüle eder. Bu modülasyonun avantajı sabit darbe büyüklüğüdür. Böylelikle frekans modülasyonunda olduğu gibi gürültü ve girişimden kaynaklanan değişimler kolaylıkla geri alınabilir.

Darbe konum modülasyonu ise T darbe periyodunun başlangıcından sonra α darbesinin oluşum süresini modüle eder. PPM de PDM ile aynı avantajlara sahiptir.

5.3.1 Darbe Kod Modülasyonu

Darbe kod modülasyonunda, öncelikle temel bant sinyali, binary kodlanmış darbeler ile ifade edilebilen genlik seviyelerine ayrıştırılmıştır (şekil 5.5). Binary kod darbe zinciri gönderilen ışığı modüle etmek için üretilmiştir. En basit binary ışık kod modülasyonu ışığın olduğu yerlerde “1” olmadığı yerlerde ise “0” olmasını sunmuştur. Alıcıda binary kod darbeleri tekrar elde etmek için dedekte edilir. Daha sonra da binary kodlu sinyal dijital analog çevirici ile analog sinyale çevrilir.

Binary kod modülasyon “1” ve “0” durumlarını gerektiren bir modülasyondur sadece iki durum söz konusudur.



Şekil 5.5. Darbe kod modülasyonu

5.3.2. Binary Modülasyon (İki Durumlu Modülasyon)

Binary modülasyon genellikle “shift keying (kaydırmalı anahtarlama)” olarak geçer. Daha önceleri haberleşmeciler bu metodu mors alfabesi olarak kullanmışlar. Mors kodunda alfabenin her harfi delik ve noktaların birleşimiyle kodlanmıştır. Delik ve noktalar elektrik sinyalin açılıp kapanmasıyla oluşur. Mors kodunu üreten anahtarlama cihazı “anahtarlama” cihazı olarak adlandırılır ve modern haberleşme terminolojisine bu şekilde girmiştir. Anahtarlama cihazı sadece iki durum üretebilir. Elektriksel sinyalin olup olmaması durumu arada bir değer asla üretemezler.

Haberleşme teorisinde, binary modülasyon “kaydırmalı anahtarlama” olarak isimlendirilir. Eğer iki durum genliğin iki seviyesi arasındaki farkla üretilirse,

modülasyon genlik kaydırmalı anahtarlama (ASK) olarak adlandırılır. Eğer ışık taşıyıcısının frekansı arasındaki fark ise frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK), faz farkları arasındaki fark ise faz kaydırmalı anahtarlama (PSK).

5.3.2.1. Genlik Kaydırmalı Anahtarlama

Genlik kaydırmalı anahtarlama modülasyonunda iki seviyeli bir işaret olur ki bu verilen akımın lazer diyotu açıp kapatmasıyla oluşur. Açık durumundaki verilen akımın seviyesi her darbeye aynı olduğu için, frekans modülasyonu ile ilgili değildir, yarıiletken lazer diyotun genlik modülasyonundaki durumu gibidir.

Alıcıda, ASK modülasyonu ile modüle edilmiş ışık, algılanır ve elektrik darbelerinin orijinal sırasına indirir. “0” veya “1” durumu, bir karşılaştırıcı ile alınan sinyalin seviyeleri karşılaştırılarak düzenlenir. Eğer sinyal seviyesi karşılaştırıcı seviyesinden yüksekse “1” konumunu aksi takdirde düşükse “0” konumunu alır.

Böylece, ASK modülasyonu ile hatta gürültü yüzünden bozulma hemen hemen düzgün darbe yüksekliğinin yarısı kadar daha büyük olsa bile, yinede bozulmanın genişliği bozulmayan darbelerin yüksekliğinin yarısından az olduğu sürece darbeler düzgünce çözülebilir. ASK modülasyonu sadece gürültüye ve dayanıklılığı ile değil aynı zamanda kolayca sistemin okunabilirliği ve basitçe sistemin kurulabilmesi yönünden de avantajlıdır. Teorik olarak analizi de kolaydır.

5.3.2.2. Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) Ve Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK)

FSK modülasyonu, darbelerin “0” ve “1” konumlarına göre, iki farklı frekans arasında ışığın taşıyıcı frekansını kaydırır. FSK ile modüle edilmiş ışık, ya frekansı ayarlanabilen bir yarıiletken lazer diyotla veya farklı dalga boylarında iki yarıiletken lazer diyot arasında anahtarlama yaparak elde edilebilir.

FSK modülasyonunun sistematiği ASK dan çok daha karmaşıktır ve frekans spektrum bant genişliği $2(\Delta f + B)$ dir. Burada $2\Delta f$ iki frekans arasındaki boşluktur ve $2B$ temel bant sinyalinin bant genişliği yüzündendir. ASK ile karşılaştırılırsa, FSK için gerekli olan bant genişliği $2\Delta f$ kadar daha geniştir.

PSK ise bir elektro optik faz modülatör kullanılarak oluşturulan iki farklı faz arasındaki taşıyıcı ışığın fazını kaydırır.

FSK ve PSK nın önemli bir avantajı, bozulma ve gürültüye karşı ASK dan daha dayanıklı olmasıdır. Bunun sebebi ise ASK nın genlik bilgisini kullanmasıdır ki buda gürültüden ve bozulmadan etkilenen en hassas parametredir. FSK ise durumu düzeltmek için frekans bilgisini kullanır.

ASK modüle edilmiş bir ışık zamanın %50 si süresince kapalı “off” konumdadır. FSK ile modüle edilmiş ışık her zaman için açık “on” konumdadır. Böylece alıcıya ulaşan ışık enerjisinin miktarı, ASK ninkinden 3 dB daha yüksektir ki buda bir FSK sistem için daha yüksek bir sinyal gürültü oranını izler.

FSK ile karşılaştırıldığında, PSK, daha iyi bir sinyal gürültü oranı sağlar. Fakat bunun algılama devresi daha karmaşıktır.

5.4. Bitlerin Oluşturulması

Elektriksel sinyal ASK modülasyon, FSK modülasyon veya PSK modülasyon ile oluşturulabilir. Kodlama karakteristikleri çizelge 5.2 de gösterilmiştir.

5.4.1.NRZ (NonReturn Zero -”sıfıra dönme”) kodu

Lojik “1”, bit periyodu süresince elektriksel sinyalin “1” konumunda korunmasıyla oluşturulur. Benzer olarak lojik “0” bit periyodu boyunca elektriksel sinyalin “0”

konumunda korunmasıyla oluşur. Kodlamanın yapılmasının basit olduğu halde, bazı dezavantajları vardır. Bir kondansatör kuplajlı devre bir sinyal yükselticinin girişinde kullanıldığında, sürekli kesintisiz bir lojik “1” seviyesinde sinyal oluşur. Bu dc seviye olarak gözüktür ve kondansatör tarafından bloke edilir ve dc seviye sürüklenir. Bu yasa “baseline wander” olarak adlandırılır. Bu dezavantajı önlemek için yeni bir kod sistemi bulundu.

5.4.2.RZ (Return To Zero -“sıfıra dön”) Kodu

Lojik “1” durumu bit periyodunun ilk yarısı süresince elektriksel sinyalin “1” konumunu korumasıyla oluşur ve ikinci yarı periyodu süresince lojik “0” konumuna döner. Böylece “1” konumundaki darbe bit periyodunun

Çizelge 5.2. Kodlama karakteristikleri

Kisaltma	Tam Adi	Tanimlama	Ömek
NRZ	Nonreturn to zero kod	Lojik "1": Elektriksel durum 1 tam periyot süresince Lojik "0": Elektriksel durum 0 tam periyot süresince	
RZ	Return to zero kod	Lojik "1": Elektriksel durum 1 yarım periyot süresince Lojik "0": Elektriksel durum 0 tam periyot süresince	
Manchester	Manchester kod	Lojik "1": Elektriksel durumun "1" den "0" a geçisi Lojik "0": Elektriksel durumun "1" den "0" a geçisi	

yarı süresince geçer. Lojik “0” diğer bir deyişle “0” durumundaki elektriksel sinyal bitin tam bir periyodu boyunca korunur.

Bu kodlamayla birlikte, sinyal “1” konumunda sürekli olduğu sürece bile her yarı bitte bir geçiş olacak ve bir kondansatör kuplajlı yükseltici ile işaret yükseltilebilecektir. Bununla beraber, yükselticinin gerekli olan frekans bant genişliği NRZ nin iki katı olur.

Uzun bir mesafede haberleşme isteniyorsa, optik yükselticinin gürültüsü ve ışığın ortamda yayılması performansı etkiler. Bu yönden daha iyi bir kalite elde etmek için NRZ kod, RZ koddan daha iyidir.

5.4.3. Manchester kodu

Manchester koduyla, lojik, kendi durum geçişlerinden ziyade elektriksel sinyali durum geçişlerine göre oluşur.

Lojik “1”, elektriksel sinyalin “1” konumundan “0” konumuna geçiş noktasında oluşur, lojik “0” ise tam aksi durumda elektriksel sinyalin “0” konumundan “1” konumuna geçişinde oluşur. Basit bir kural olarak, lojik “1”, “1” konumunda başlar “0” konumunda biter. Lojik “0” ise “0” konumunda başlar “1” konumunda biter. Manchester kod her zaman birbirine bitişik darbeleri karşılaştırdığı için sinyal seviyesinin uzun dönem değişimlerinden etkilenmez. Bununla beraber her yarı bitte geçişler oluşur. Böyle olunca da alıcı kısımda kolaylıkla bir saat darbesi oluşturulabilir.

Üç metot için binary kodlamanın dayanıklılığı sağlamak bir maliyettir aynı zamanda frekans bant genişliğini artırmakta bir maliyettir. Şimdi PCM kodlamayı kullanarak bir 4KHz lik bir ses iletim kanalı için ne kadar bant genişliğine ihtiyacımız olduğunu hesaplayalım. Bir 4 KHz lik sesi göndermek için ses sinyalinin genliği ses kanalının en yüksek komponentinin her periyodu en az iki kere örneklenmelidir. Bunun anlamı ses sinyalinin anlık değerini 1 saniyede 8×10^3 kez örneklenmesi gerektiğidir. Her örneklenmiş değer örnekleme değerini oluşturmak için 8-bitlik kelimeye veya 256 renk ölçeğine çevirmelidir. Böylece bit verimi, bir ses kanalını göndermek için saniyede üretilen bitlerin sayısına eşittir ki bu $8 \times 8 \times 10^3 = 64 \text{ kb/s}$ dır.

Her darbe dikdörtgen şeklindedir. Modülasyon tekniklerinde darbenin şekli mükemmel olarak elde edilmek istenir. Fakat haberleşme sistemlerinde darbenin şeklinin çok düzgün olmasına gerek yoktur. Sadece darbenin olup olmasını ayırt

edilecek kadar şeklin belirginleşmesi yeterlidir. Darbenin olup olmadığını ayırt edebilmek için, bir frekans bant genişliği B bit verimi RZ kodu için B_t ve NRZ kod için ise B_t olması yeterlidir. Matematiksel olarak,

$$\begin{aligned} B &= B_t \quad \text{RZ için} \\ B &= \frac{1}{2}B_t \quad \text{NRZ için} \end{aligned} \tag{5.12}$$

olarak tanımlanabilir.

Böylece 4 KHz lik bir ses kanalının PCM i için en az 32 KHz lik bir bant genişliğine ihtiyaç duyulduğu görülmüş olur [Iizuka, 2002].

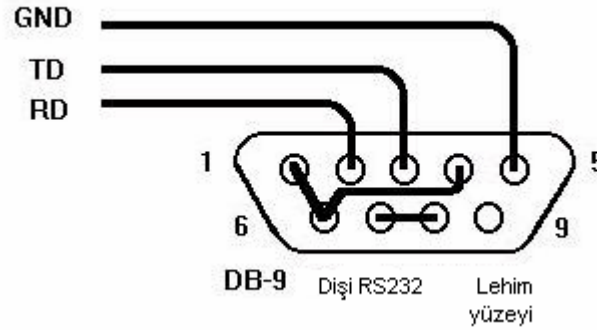
6. LAZER ALICI VERİCİ DEVRE UYGULAMASI

Bu çalışmada lazer alıcı-verici devre dizaynındaki amaç aynı ortamda bulunan iki bilgisayar arasında kablo kullanmadan lazer sinyali ile veri transferini sağlamaktır.

Aynı ortamda bulunan bilgisayarların bağlanması söz konusu olunca iki alternatiften birisi seçilebilir. Bir tanesi, iletişim portları olan COM'ların doğrudan kablo ile bağlanması, ikincisi ise Ethernet kartı kullanımıdır. Alınacak performans kadar maliyet de söz konusu olunca, iki bilgisayar için en ekonomik çözüm kablo bağlantısıdır. Bağlanacak iki bilgisayarda boş COM portu bulunması bağlantı için yeterli olacaktır. Bağlantı için arada kullanılacak kablonun normal bir modem kablosundan farklı olması gerekir. Yani kablonun iki ucunun da bilgisayarlara gireceği unutulmamalıdır. Kabloların iki bilgisayarda da aynı COM'lara takılması zorunlu değildir. Ancak hangi COM portuna takıldıklarının bilinmesi şarttır, çünkü ileride programın çalışması sırasında bu bilgiye ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca kullanacağımız COM portlarının BIOS'tan 'enable' edilmiş olmaları gerekmektedir. Kablo bağlantıları yapıldıktan sonra geriye kalan işlemler yazılımsal olarak gerçekleştirilir.

Hyper Terminal'in bulunduğu bölümde yer alan doğrudan kablo bağlantısı programı bu iş için sistemde yer almaktadır. Sadece Windows Kur kartında İletişim seçeneğinden Doğrudan Kablo Bağlantısını işaretlenmesi yeterlidir.

6.1. RS-232 Bağlantısı



Şekil 6.1. RS232 Bağlantısı

Pin 1 : Data Carrier Detect (DCD) Veri taşıyıcısını arar ve daima DTR ile kısa devre edilir.

Pin 2 : Received Data (RD) dışarıdan gelen datayı bilgisayara taşır ve bu bir bilgisayara giriş birimidir.

Pin 3 : Transmit Data (TD) Bilgisayardan gelen datayı dışarıya verir ve bu bir çıkış birimidir.

Pin 4 : Data Terminal Ready (DTR) Bilgisayar dışarıdaki bir birime haberleşmeye hazır olduğunu bildirir.

Pin 5 : Signal Ground (SG) Toprak sinyali bunun olması zorunludur.

Pin 6 : Data Set Ready (DSR) Dış birim bilgisayara haberleşme için hazır olduğu bilgisini verir.

Pin 7 : Request To Send (RTS) Bilgisayar dış birime bir data gönderebileceği konusunda bilgilendirir ve buda bir çıkış birimidir.

Pin 8 : Clear To Send (CTS) Dış birim bilgisayara bir data gönderebilmesi konusunda işaret verir.

Pin 9 : boş pin

6.2. Devre Dizaynı

Bu çalışmada verici kaynağı olarak 940 nm dalga boyunda 16 mW çıkış gücünde bir kızılötesi LED kullanılmıştır.

Bu çalışmada tasarımı yapılan alıcı verici devresinde, RS-232 uyumlu gerilim sinyallerini almak ve üretmek için ST232CN entegresi kullanılmıştır. RS-232'den gelen sinyal öncelikle ST232CN entegresine gelerek burada haberleşmeye uygun hale getirilir. Alıcı sensörü bir NPN kızıl ötesi fototransistordür (SFH213). Her ne kadar dalga boyu kızılötesi bölgede 940 nm civarında olsa da foto transistor daha geniş bir alıcı bandına sahiptir (450 nm-1550 nm) ve geniş bir spektrumdaki lazer ışın demetini algılayabilir. Foto transistor den çıkan sinyal, bir schmitt tetikleyici çifti ile tamponlanır. Sinyali açık hale getirir ve sinyali kare haline getirir. İkinci tamponun çıkışı ise direkt olarak ST232CN entegresi ile RS232 standart sinyaline dönüştürülür.

ST232CN entegresi bir +5VDC bir dual yük pompalama gerilim çevirici kullanarak +10V ve -10V arasında salınan bir gerilim üretir.

Lazer diyot sürücüleri 74LS05 open collector hexadecimal eviriciden oluşur. Eviricinin çıkışlarının tamamı 3V-35 mA ile lazer diyotu sürmek için yeterli akımı sağlamak amacıyla birbirleriyle kuplajlanır. 78L05 gerilim regülatörü entegre ve lazer diyota kararlı şekilde 5V'luk bir DC gerilim sağlar. Lazer diyota seri bağlanmış iki adet ileri kutuplu 1N4001 diyot 5V'luk DC gerilimi 3.6V civarına getirir. Bu gerilim değeri, lazer diyot için nominal gerilimdir.

Alıcı verici sinyal olmadığı zaman lazer açık olacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu tasarımda lazer detektörü kurulumu aşamasında, lazerin odaklandığı noktanın görülmesine yardımcı olmaktadır. Alıcı verici 9V'luk bir pille beslenmektedir ve yaklaşık 80 mA 'de lazer açık ve 40 mA 'de de lazer kapalı durumdadır.

6.2.1. Devrenin Gerçekleştirilmesi

Çizelge 6.1. Devrede kullanılan Malzeme Listesi

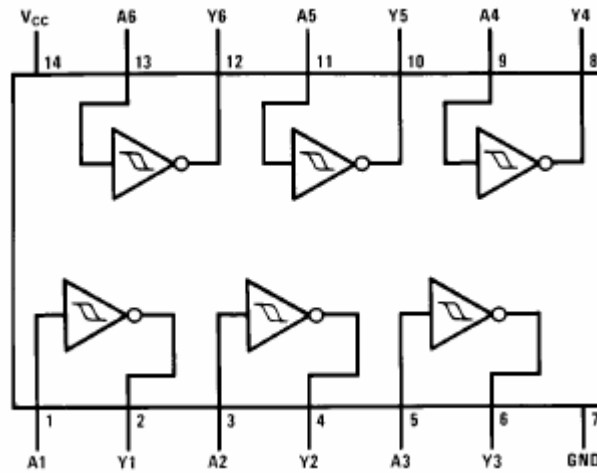
Tanımlama	Devredeki konumu	Kılıfı	Miktarı
100 nF Kondansatör	C1	RAD-0.3	1
100 nF Kondansatör	C2	RAD-0.3	1
100 nF Kondansatör	C3	RAD-0.3	1
100 nF Kondansatör	C4	RAD-0.3	1
100 nF Kondansatör	C5	RAD-0.3	1
10 nF Kondansatör	C6	RAD-0.3	1
1N4004 Diyot	D1	DIODE-0.4	1
1N4004 Diyot	D2	DIODE-0.4	1
9 V DC Besleme	J1	POWER2	1
RS 232 Konnektörü	J2	POWER2	1
LT1885-81-940	J3	POWER2	1
-9 V DC Konnektör	J4	POWER2	1
SFH 213 NPN Fototransistor	Q1	SFM-T2(3)/X1.6V	1
665 Ohm Direnç	R1	AXIAL-0.3	1
6.07 Kohm Direnç	R2	AXIAL-0.3	1
14.55 Kohm Direnç	R3	AXIAL-0.3	1
RS 232 Hat Sürücüsü	U1	ST232CN	1
Schmitt Tetikleme Devresi	U2	DIP-14	1
Açık Kollektör Çıkışlı Hex Evirici	U3	DIP-14	1
78L05 Gerilim Regülatörü	U4	SFM-T3/A4.7V	1
UA741 Opamp	U5	DIP-8	1

Bu devrede kullanılan malzemeler yukarıdaki çizelge 6.1’de listelenmiştir.

Dizayn için ilk önce Protel DXP programında şematik dosyası oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak ilgili PCB dökümanı çıkartılır. Çıkarılan bu doküman gerekli kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra 2 adet PCB oluşturulur. Oluşturulan bu iki PCB üzerine malzemelerin yerleşimi gerçekleştirilir.

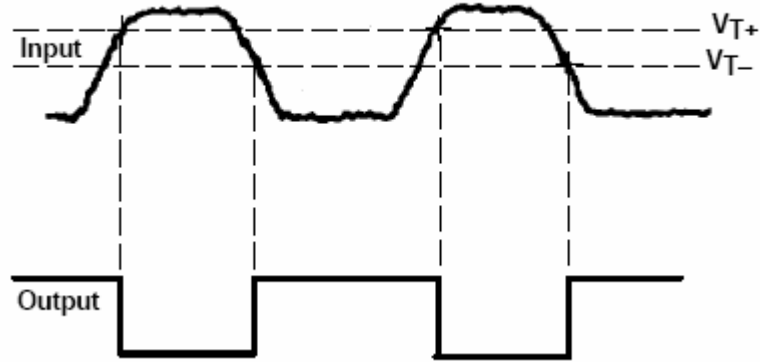
6.2.1.1. 74LS14

74LS14 entegresi altı adet evirici Schmitt tetikleme devresinden oluşmaktadır. Her giriş gelen sinyali gürültüye karşı elimine eder ve yavaş geçişleri hızlı geçişlere çevirir. Bu entegrenin bacak bağlantıları şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. 74LS14 Entegre bacak tanımlamaları

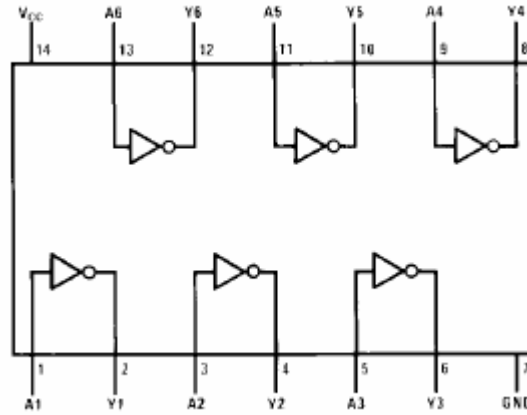
Bu entegrede şekilde görüldüğü gibi fototransistordan gelen işlemsel yükselteç ile kuvvetlendirilmiş işareti V_{T+} pozitif tetikleme sınırı ile tetiklenir ve bu sınır 1.4 V – 1.9 V ve V_{T-} negatif tetikleme sınırı ile tetiklenir ve bu sınırda 0.5 V – 1 V olarak belirlenmiştir. Bu olay şekil 6.3’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Evirici Schmitt tetikleme devresine giren ve çıkan sinyaller

6.2.1.2. 74LS05

74LS05 entegresinin içinde de altı adet birbirinden bağımsız evirici mevcuttur. Bu eviricide V_{IL} gerilimi 0.8 V iken evirir, V_{IH} gerilimi ise minimum 2 V iken evirir. Buna karşılık gelen V_{OL} gerilimi maksimum 0.5 V ve V_{OH} gerilimi 5.5 V gerilim değeri verir.

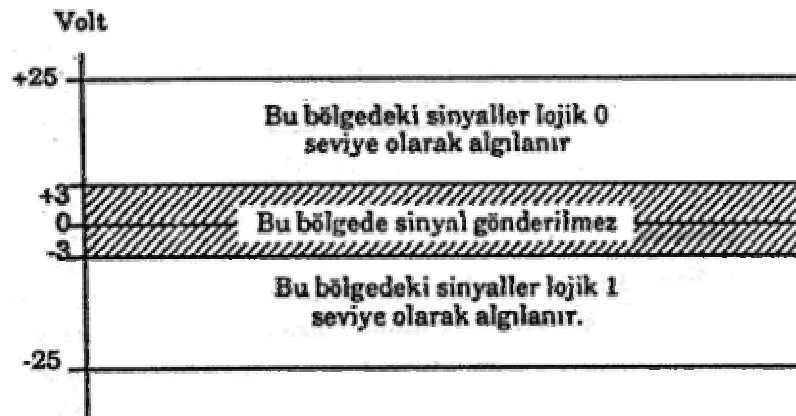


Şekil 6.4. 74LS05 Evirici bacak tanımlamaları

6.2.1.3. ST232CN

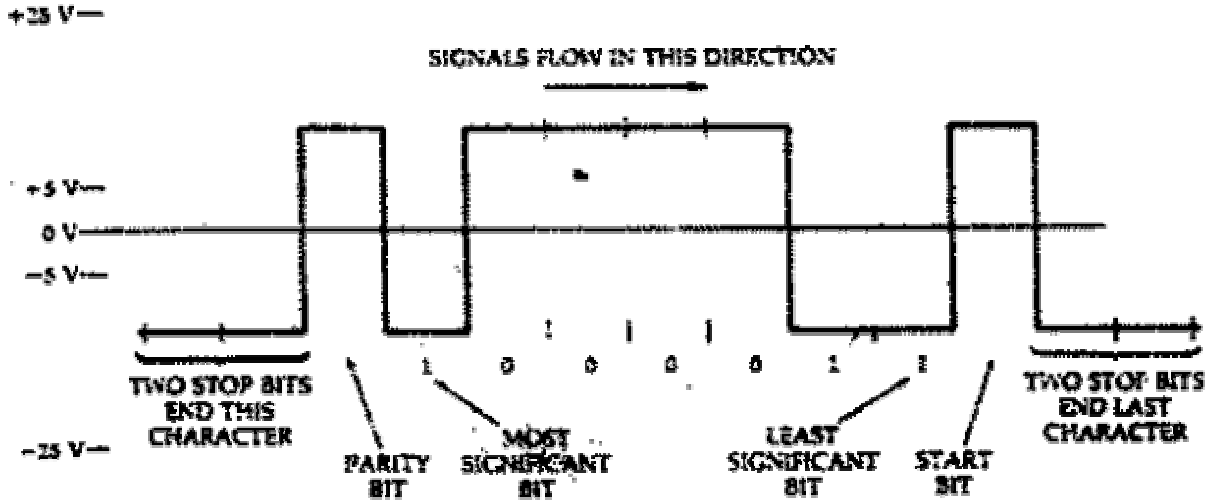
ST232CN entegresi, EIA/TIA-232 ve V.28 haberleşme standartları için iki alıcı ve iki sürücü modülüne sahiptir. Bu entegre özellikle $\pm 12V$ gerilimin olmadığı uygulamalarda 5V besleme gerilimi ile çalışabilir. Sadece dört adet 0.1 μF lık harici kondansatör kullanılarak RS232 standardına uygun bir çıkış gerilimi sağlayabilir.

PC'lerde tek voltaj (genellikle 5V) lojik 1 olarak ve 0 V ve toprağında lojik 0 olarak bilinir. Bu tür iletim bilgisayar içinde sorun çıkarmaktadır. RS-232 hatları gürültülü hatlar üzerinde yüzlerce feet sinyalleri göndermek zorunda kalabilmektedir. +5V, uzak mesafelere göndermede bir zayıflamaya maruz kalacaktır. Başarılı bir iletimin sağlanabilmesi için RS-232 sinyalleri pozitif bir sinyal için +5V ile +15 V arasında ve negatif bir sinyal içinse -5V ile -15 V arasında bir değer almalıdır. Bu aralığı bu şekilde tutarak, gürültüden dolayı oluşan gerilim dalgalanmalarından etkilenmesini de minimuma indirilmiş olunur. Bu şekilde bir sinyal vericiden gönderildiğinde RS-232 alıcısı için ise bu sinyal aralığı +3V'dan yukarısı için pozitif sinyal, -3V ve bundan aşağı için ise negatif sinyal olduğu anlaşılır. Burada -3V ile +3V arasındaki bölge ise kararsız bir bölgedir. Bu bölgede bulunan bir sinyal, gürültü olarak kabul edilir. Fakat RS-232 hatları pozitif olarak +25 V' a kadar, negatif olarak da -25V' a kadar olan sinyalleri taşıyabilir.



Şekil 6.5. RS 232 standardı sinyal seviyeleri

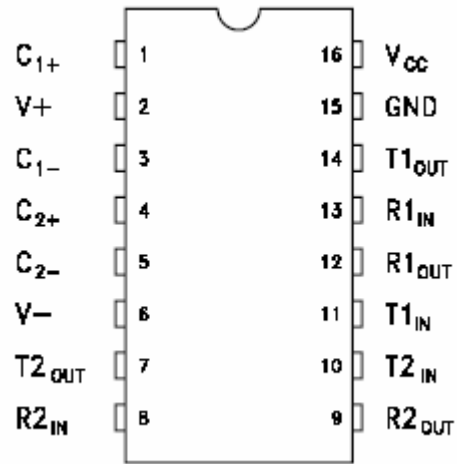
Yani veriler, paketler halinde gönderilir ve her data paketleri start ve stop bitlerine sahiptir. Sonuç olarak karakterimiz start ve stop bitleri ile çerçevelenmiştir. Asenkron iletişim için en çok kullanılan kod ASCII'dir. RS-232 bağlantıları karakteri temsil etmek için ASCII kodunu kullanır.



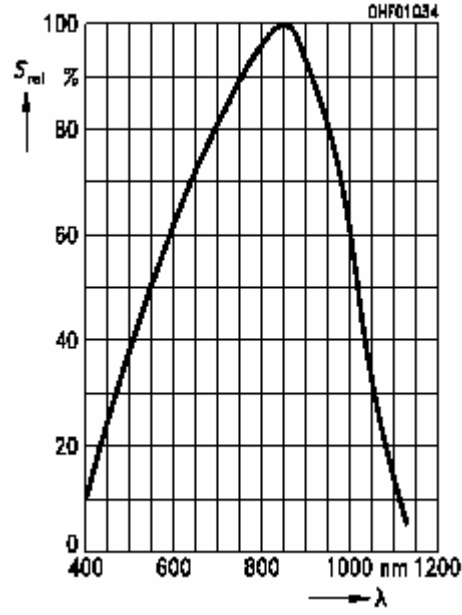
Şekil 6.6. Bir veri sinyali

Yukarıda görüldüğü gibi karakterin başladığını bildiren start biti ile işleme başlanır. Start bitinden sonra karakter gelir. Yukarıda dikkat edileceği gibi her bir data biti için negatif gerilime lojik 1 karşılık gelirken, her bir data biti için pozitif gerilimine lojik 0 karşılık gelir. Gönderilen bu karakter genellikle 7 bittir. Yukarıdan da görüldüğü gibi karakter 1000011'dir. Gönderilen karakterin bir ASCII kodu vardır. Yani iletişim ASCII kodu ile yapılır. Örneğin iki farklı bilgisayar kullanılmasında bir bilgisayar tarafından gönderilen bir karakterin diğer bir bilgisayar tarafından anlaşılması önemlidir.

ST232CN entegresinin bacak bağlantıları şekil 6.7'de gösterilmiştir. Burada C_{1+} ve C_{2+} , pozitif terminal yük pompalama kondansatörü, C_{1-} ve C_{2-} , negatif terminal yük pompalama kondansatörü, V_+ , 5 V gerilimi 10 V gerilime yükseltmek için, V_- , evirme gerilimidir.



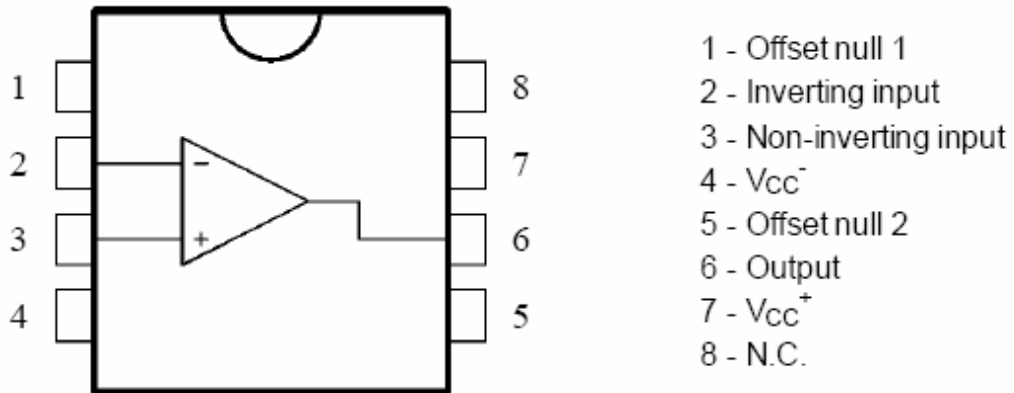
Şekil 6.7. ST232CN bacak tanımlamaları



Şekil 6.9. SFH 213 spektral yoğunluğu

6.2.1.5. UA741

Devredeki SFH 213 fototransistor çıkışında oluşan gerilimi kuvvetlendirmek için evirmeyen kuvvetlendirici olarak devrede kullanılmıştır. Bacak bağlantıları şekil 6.10'da gösterilmiştir.



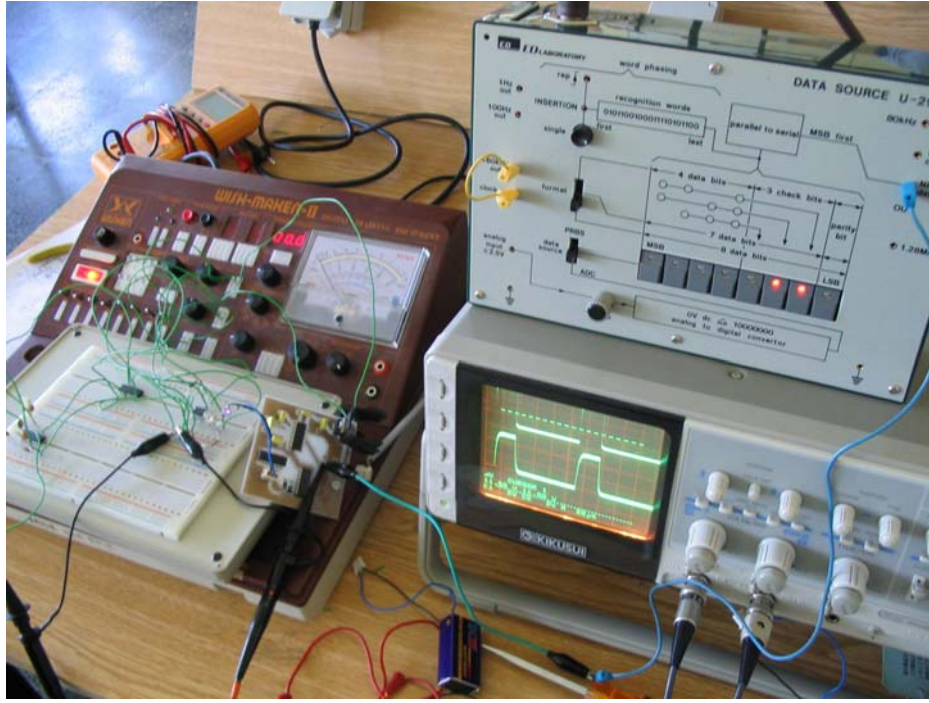
Şekil 6.10. UA 741 Bacak bağlantıları

6.2.1.6. LT1885-81-940

LT1885 kızıl ötesi LED, 940 nm dalga boyunda 16 mW çıkış gücü ($I_F = 100$ mA iken) üreten 22 derecelik divergence açısına sahip GaAs materyalinden yapılmış bir komponenttir. I_F 50 mA iken V_F gerilimi maksimum 1.7 V olmaktadır.

6.2.2. Devrenin Testi

Devre ilk önce herhangi bir data olmaksızın ve kızıl ötesi ışık kullanılmadan, sadece DC besleme var iken test edilmiştir. Foto transistorun emetör noktasında 0.12 V genlikli bir gürültü tespit edilmiştir. Daha sonra kızıl ötesi ışık ile foto transistor sürülmüş ve aynı noktada 1.2 V 'luk bir DC gerilim değeri okunmuştur. Okunan bu gerilim değeri devrenin Schmitt evirici tetikleme devresinin sürülmesi için yeterli değildir. Bunun için, UA741 opamp kullanılarak bir evirmeyen kuvvetlendirici tasarlanmış ve bu kuvvetlendirici foto transistor çıkışına bağlanmıştır. Daha sonra yapılan ölçümde 4.09 V'luk bir DC gerilim değeri okunmuştur. Bundan sonraki en önemli aşama iki devre arasındaki veri aktarımıdır. Datalar ED U-2970 veri kaynağından NRZ formatında sağlanmıştır. Veri kaynağından alınan sekiz bitlik veri, kızıl ötesi haberleşme verici devresinden geçirilerek alıcı kısma ulaşır. Burada ST232CN RS-232 hat sürücüsünün 14. bacağından çıkış alınmıştır. Elde edilen veriler aşağıda görülmektedir. Veri iletimi başarıyla sağlanmış, devre aktif haldeyken kaynaktaki veri değiştirilmiş ve alıcı verinin sürekli değişimine başarıyla tepki vermiş ve çıkış sürekli olarak doğru bir şekilde alınmıştır. Çıkışta data üzerindeki gürültü normal genlik değerinin yanında çok çok küçük kalmaktadır (%1.2). Devre dizaynı sırasında karşılaşılan en büyük problemlerden biri olan 78L05 transistorundaki ısınma bir soğutucu yardımıyla ortadan kaldırılmış, devre uzun süre aktif bırakılarak herhangi bir komponentte problem olmadığı tespit edilmiştir. Bu deney düzeneği ve kullanılan cihazlar şekil 6.11 de gösterilmiştir.



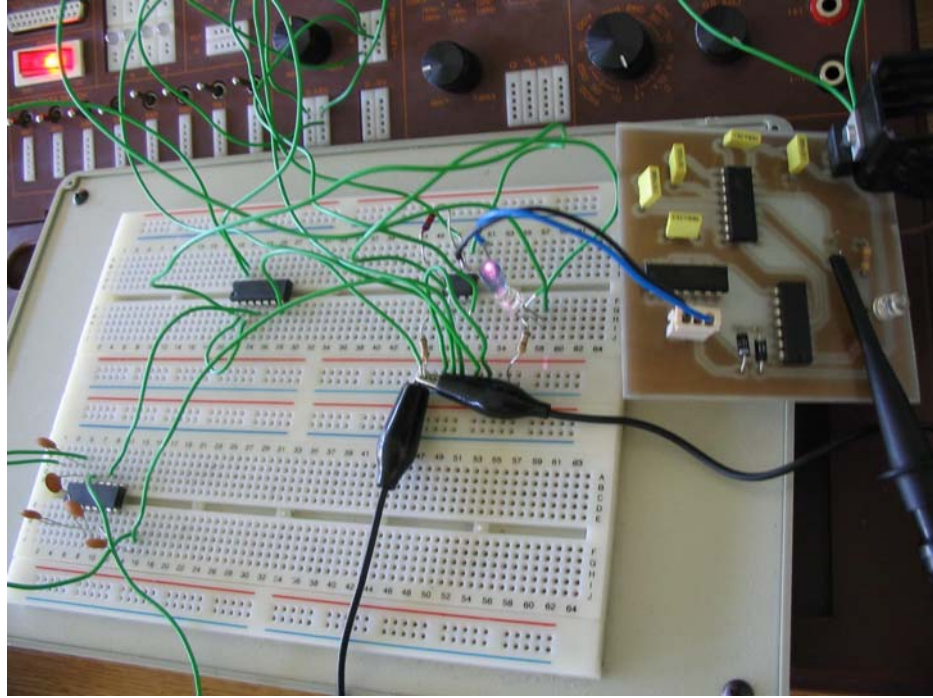
Şekil 6.11. Deney düzeneği ve kullanılan cihazlar

Veri kaynağından gönderilen 00000110 datası osiloskopta giriş ve çıkış işaretleri gösterilmiştir. Osiloskobun üstteki işaret yani CH1 kanalı veri girişini, alttaki işaret ise veri çıkışını göstermektedir.

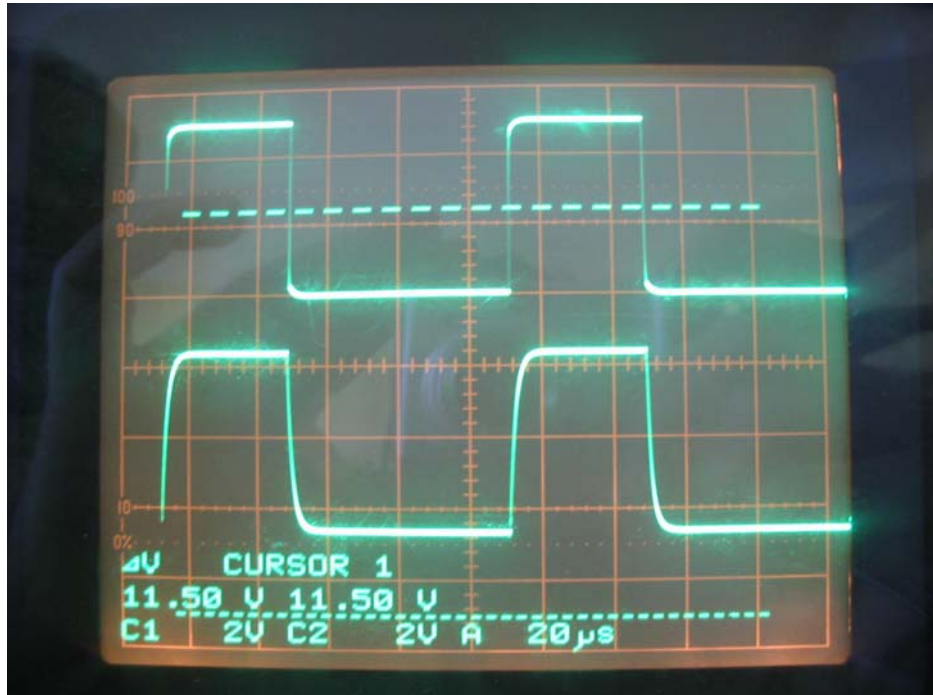
Devrenin verici kısmının PCB üzerinde ve alıcı kısmının ise bread board üzerine kurulması ile sağlanan alıcı verici devresinde kurulan devrenin yakın görüntüsü şekil 6.12 de gösterilmiştir.

Şekil 6.13'te sistemimizin girişine uygulanmış olan bir datanın genliği tepeden tepeye 27 V olarak ölçülmüş ve çıkışta da hiç kayıpsız olarak 27 V genlikli bir işaret olarak bozulmasız elde edilmiştir. İşaretimizin frekansı ise non-return zero (NRZ) olarak 10 KHz frekansında gönderilip alınmıştır. Bununla beraber değişik türde veriler gönderilerek devrenin çalışması gösterilmiştir.

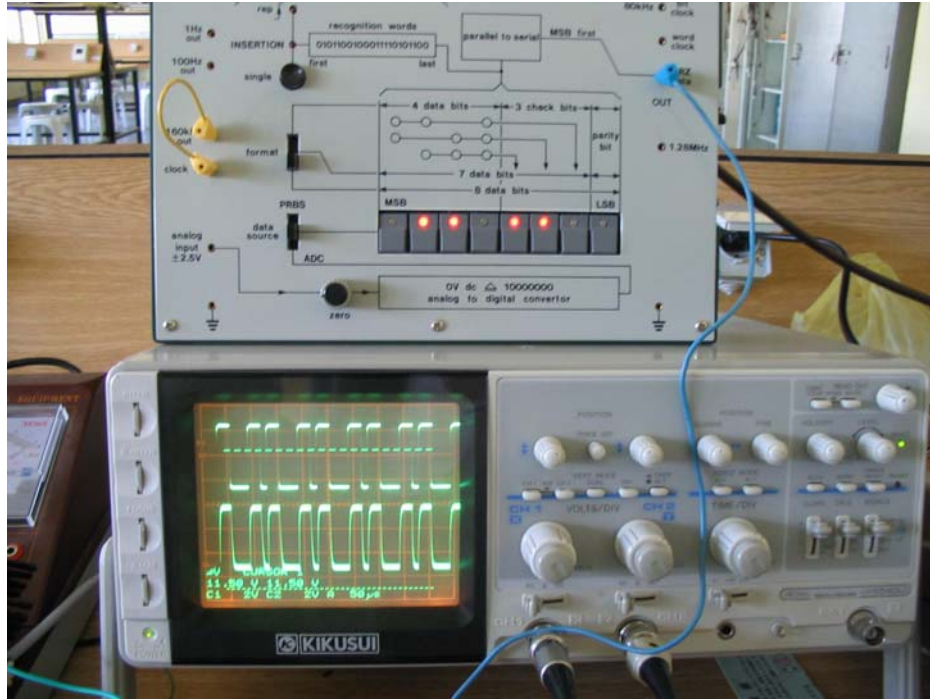
Şekil 6.14'de 10 KHz frekansında 01101100 verisi gönderilip çıkışta elde edilmiştir.



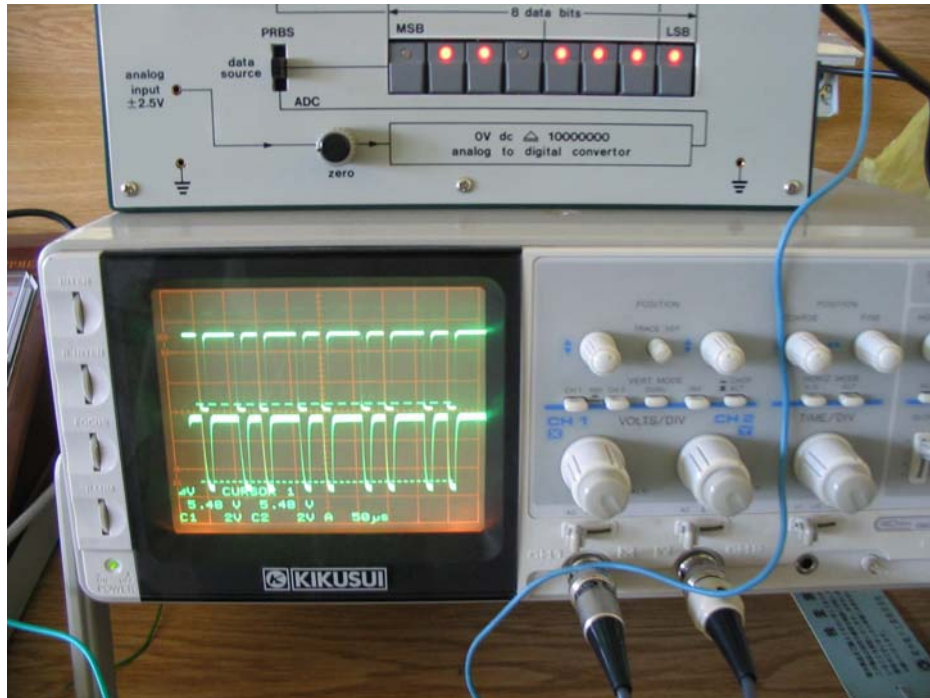
Şekil 6.12. Devrenin bread board üstündeki görüntüsü



Şekil 6.13. bir datanın osiloskop görüntüsündeki genlik ve frekansı



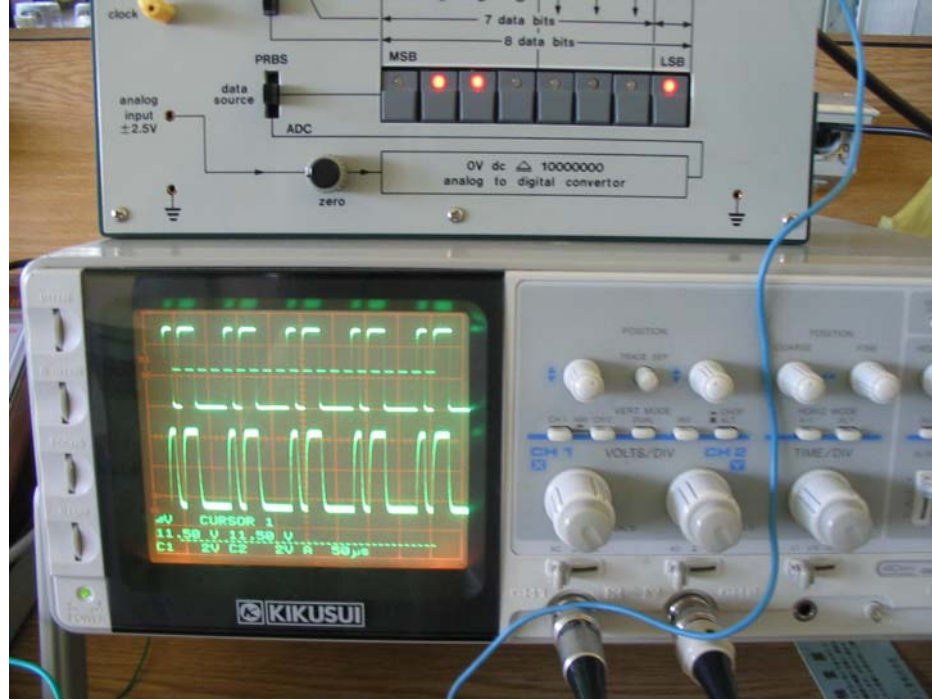
Şekil 6.14. 01101100 verisinin veri kaynağı ve osiloskoptaki çıkış görüntüsü



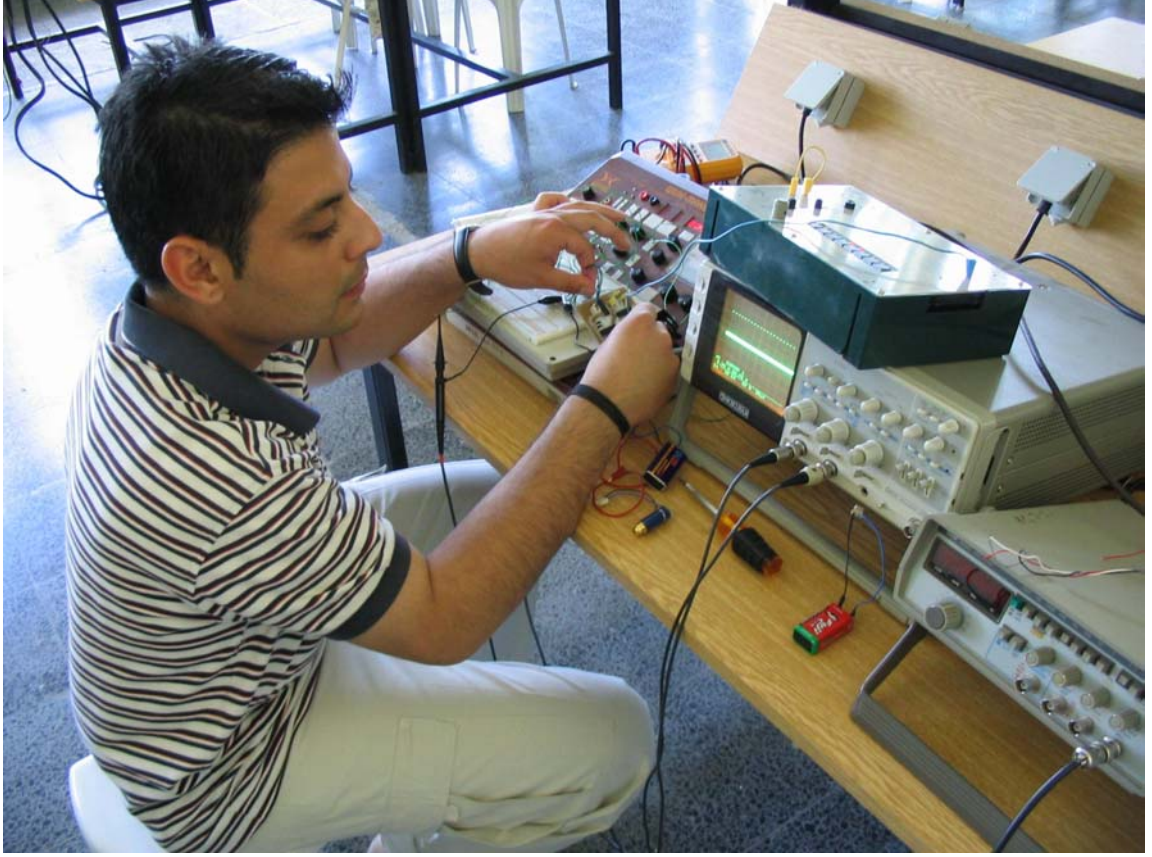
Şekil 6.15. 01101111 verisinin alıcı çıkışının osiloskoptaki görüntüsü

Şekil 6.15’de 10 KHz frekansında 01101111 verisi gönderilip çıkışta elde edilmiştir.

Şekil 6.16’da 10 KHz frekansında 01100001 verisi gönderilip çıkışta elde edilmiştir.



Şekil 6.16. 01100001 datasının görüntüsü



Şekil 6.17. Deney sıralarında bir görüntü

7. SONUÇLAR

Günümüzde haberleşme ihtiyacındaki artış, haberleşmeyi sağlayan metotlarında çeşitliliğini sağlamıştır. Bu metotların dizaynında kullanım noktalarına göre öne çıkan en önemli özellikler, güvenlik, bant genişliği, maliyetin azaltılması, düşük güç tüketimi ve daha hızlı veri aktarımı gibi faktörlerdir. Bu faktörlerin hepsini bir arada sunan optimum bir çözümün oluşturulması en önemli problem olarak karşımızda durmaktadır.

Bu çalışmada bu problem için uygun bir çözüm sunan kızıl ötesi ışık yardımıyla veri aktarımı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Fiber optik devrelerdeki hızlı veri aktarımına bir alternatif olarak sunulabilecek bu çalışma esas manasıyla maliyeti azaltarak bilgisayar yerel alan ağlarında, bir oda veya ofis gibi küçük ölçekli bölgelerde bir ağ sistemi dizaynına yardımcı olma amacı taşımaktadır.

Devrede kızıl ötesi ışık ve fototransistor kullanımı bir çok sayısal devrede ortaya çıkan elektromanyetik uyumluluk probleminin bu sistemde oluşmamasına katkıda bulunmuştur. Bu da böyle bir devre dizayn edilirken tasarım problemi gerçekleşmemesi sonucunu doğurmaktadır. Veri haberleşmesi sırasında karşılaşılan devre içi gürültü, genlik seviyesi bakımından veri ile karşılaştırıldığında bir problem olmaktan çok uzaktır. Devre uzun süre aktif bırakıldığında sadece transistorda bir ısınma meydana gelmiş bu da bir soğutucu vasıtasıyla ortadan kaldırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki veri aktarımı alıcı ve verici sistem arasında oldukça hızlıdır. İki sistemin haberleşmesi sırasında çevresel ışık faktörlerinin sistemi çok az etkilediği tespit edilmiştir. Devrenin asıl gövdesini oluşturan ve veri aktarımını sağlayan kızıl ötesi ve fototransistorun dalga boylarının daha farklı seçilmesiyle devrenin gelişimi gerçekleştirilebilecektir. Günlük yaşamda kullanılan sayısal sayaçlardan optik porta veri aktarımı sırasında kullanılacak bu tür bir devre maliyeti oldukça düşürecektir.

Tasarımı ve gerçeklemesi yapılan bu devre özellikle endüstriyel kontrol ve gözlemler, müze seslendirmesi, gezi turları ve konuşma odaları, garaj kapı açıp kapama sistemleri, ışıkla yapılan kontroller, iç alarmlar, hava gözlemleri, trafik düzenleme ve izleme sistemleri ,hayvan kontrol ve gözlemleme sistemleri, medikal gözlemler, uzaktan EKG ve kan basıncının izlenmesi ve lokal yerel alan ağı bağlantısı içeren kısa mesafe uygulamalarında kullanılabilecek ve birkaç küçük değişiklik ile daha da geliştirilebilecek yapıdadır.

řu anlık sadece RS232 standardı haberleşmesi için geliştirilen bu sistem daha sonraki alışmalarda 5 mW gcndeki lazer diyot yardımı ile haberleşme mesafesinin artırılması için alışmalar devam edecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Analog Electronics Lecture Notes, [**Hayrettin Köymen**], 2004
- [2] Handbook of Optical Through the Air Communications, [**David A. Johnson, P.E.**]
- [3] Building Electro-Optical Systems: Making it All Work 2002, [**Philip C. D. Hobbs**]
- [4] Elements of Photonics, Volume II: For Fiber and Integrated Optics, [**Keigo Iizuka**]
- [5] Free Space Optical Communication 2002, [**Dr. Daryl Szebesta**]
- [6] The Physics of Free Space Optics, [**Scott Bloom**], Air Fiber Inc.
- [7] Siemens Silicon PIN Photodiode with Very Short Switching Time (SFH 213) Datasheets
- [8] Texas Instruments 74LS14 Schmitt Trigger Datasheets, March 2000
- [9] 5 V Powered Multi-Channel RS-232 Drivers And Receivers (ST232) Datasheets
- [10] On Semiconductor Hexa-Decimal Invertor (SN74LS05) Datasheets
- [11] LEDTech Datasheets
- [12] Understanding the Performance of Free-Space Optics, [**Scott Bloom, John Schuster, Heinz A. Willebrand**], 2003
- [13] Texas Instruments Operational Amplifier for Every one Design Reference, [**Ron Mancini**], 2001
- [14] Texas Instruments OPAMP (UA 741) Datasheets
- [15] http://www.silisyum.net/htm/diyotlar/foto_diyot.htm
- [16] fSONA Communications Corporation #140 – 11120, [**Horseshoe Way Richmond**]
- [17] <http://www.aselsan.com.tr/DERGI/eylul98/ars.htm>, [**Erdoğan Tohum**]

ÖZGEÇMİŞ

Süleyman BİLGİN 1978 yılında KRD/Ereğli’de dünyaya geldi. İlk, orta ve lise tahsilini Burdur’da tamamladı. 1995 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümüne girdi, 1998 yılında stajını ASELSAN Mikroelektronik Güdüm ve Elektrooptik bölümünde tamamladıktan sonra 2000 yılında bu bölümden mezun oldu. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı ve eğitimini devam ettirmektedir. Sırasıyla, BİLNET Bilgi İşlem Ltd. Şti.’de Elektronik Mühendisi olarak çalıştı ve halen ERELSAN Elektrik ve Elektronik Malzeme San. Tic. Ltd. Şti.’ de Araştırma ve Geliştirme bölümü sorumlusu olarak çalışmaktadır.