

KIZIL-ÖTESİ ALGILAMALI AYGIT DENETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Onur ARKUT
(504041218)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Şubat 2007

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Osman PALAMUTÇUOĞULLARI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Sait TÜRKÖZ
Prof.Dr. Adnan KAYPMAZ

ŞUBAT 2007

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında danışmanım olarak bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Osman PALAMUTÇUOĞULLARI'na teşekkürlerimi sunarım.

“Endüstride Uygulama Destekli Tez Programı” kapsamında çalışmamın hayata geçirilmesini sağlayan ARÇELİK A.Ş. AR-GE Merkezi'ne teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bilgileri ve deneyimleri ile katkıda bulunan başta Enver GÜLŞEN, Sefa HAZIR, İlker YAĞCI, Özdemir KILOĞLU, ve Erkan ÖZTÜRK olmak üzere tüm Arçelik AR-GE Elektronik Tasarım Ailesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Verdiği büyük destekle ve gösterdiği gayretle çalışmamı hızlandıran ve bana önemli ölçüde yardımı dokunan Celal AVCI'ya teşekkür ederim.

Tezimin yazım aşamasında bana rehberlik eden ve yardımlarını esirgemeyen Yavuz ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Her zaman maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan aileme ve tüm sevdiklerime şükranlarımı sunarım.

Aralık 2006

Onur ARKUT

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Anahtarlama Tuşları ve Çalışmanın Amacı	1
1.1.1 Tuşlardan Beklenen Özellikler	1
1.2 Tuş Çeşitleri	2
1.2.1 Mekanik	2
1.2.2 Dirençsel	2
1.2.3 Piezo-elektrik	3
1.2.4 Sığasal	3
1.2.5 Optik	4
2. OPTOELEKTRONİK SİSTEMLER	6
2.1 Temel Radyometri Kavramları	6
2.1.1 Katı Açısı	7
2.1.2 Işıyan Enerji	8
2.1.3 Işıyan Güç	8
2.1.4 Erkesel Yoğunluk	9
2.1.4.1 Yarı Açısı	9
2.1.5 Erkesel Aydınlanma	10
2.1.6 Erkesel Uyarıcılık	10
2.1.7 Işınım Sıklığı	11
2.1.7.1 Lambert Işıyıcısı	11
2.2 Optoelektronik Elemanlar	12
2.2.1 Optik Vericiler	12
2.2.1.1 Işık Yayan Diyot	12
2.2.1.2 Lazer Diyodu	14
2.2.2 Optik Algılayıcılar	15
2.2.2.1 Fotoiletken	15
2.2.2.2 Fotodiyot	15
2.2.2.3 Fototranzistor	20
3. LİTERATÜR VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	22
3.1 Optik Tuşların Çalışmasında Karşılaşılan Bozucu Etkiler	22
3.2 İşaretin Parametrelerinin Belirlenmesi	24
3.3 Optik Tuş Tasarımı Örnekleri	27
4. OPTİK TUŞ TASARIMI	32
4.1 Devre Donanımının Tasarımı	32

4.1.1	Ortam Işığının Donanımınla Kompanzasyonu	35
4.2	Mikrodenetleyici Yazılımının Tasarımı	37
4.2.1	Ortam Işığının Yazılımla Kompanzasyonu	42
5.	DENEY VE ÖLÇÜMLER	43
5.1	Elemanların Başarımlarının Deneylerle Karşılaştırılması	43
5.1.1	Duyarlılık	44
5.1.2	Kaçak Işıkların Etkisi	45
5.1.3	DC Ortam Işığının Etkisi	45
5.1.4	AC Ortam Işığının Etkisi	46
5.2	Karşılaştırma Deneylerinin Sonuçlarının Yorumlanması	46
5.3	Kompanzasyon Deneyi	49
6.	SONUÇLAR	50
	KAYNAKLAR	51
	EKLER	53
	ÖZGEÇMİŞ	55

KISALTMALAR

LED	: Light Emitting Diode
LCD	: Liquid Crystal Display
PCB	: Printed Circuit Board
IREL	: Infrared-Light Emitting Diode
DC	: Direct Current
AC	: Alternating Current
CRT	: Cathode Ray Tube
ADC	: Analog-Digital Converter
HALIOS®	: High Ambient Light Independent Optical System
DAC	: Digital-Analog Converter
SPI	: Serial Peripheral Interface
PWM	: Pulse Width Modulation
CMOS	: Complementary Metal-Oxide Semiconductor
PT	: Phototransistor

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Adresleme Çıkışlarının Tuşları Denetimi	38
Tablo 5.1 Denenen Elemanlar ve Özellikleri.....	43
Tablo 5.2 Duyarlılık Deneyinin Sonuçları	44
Tablo 5.3 Kaçak Işık Deneyinin Sonuçları.....	45
Tablo 5.4 DC Ortam Işığı Deneyinin Sonuçları	45
Tablo 5.5 AC Ortam Işığı Deneyinin Sonuçları	46
Tablo 5.6 Elemanların Başarımlarının Sıralaması	47
Tablo 5.7 Kompanzasyon Deneyinin Sonuçları	49

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	: Katı açının diferansiyeli.....8
Şekil 2.2	: Eğik duran bir yüzeyin katı açısı.....8
Şekil 2.3	: Noktasal bir kaynağın yoğunluğu9
Şekil 2.4	: Erkesel aydınlığın uzaklığın karesi oranında düşmesi 10
Şekil 2.5	: Genişletilmiş bir kaynağın ışınımlılığı 11
Şekil 2.6	: Diyotlarda foton üretimi 13
Şekil 2.7	: Yarıiletkenlerdeki enerji seviyeleri 14
Şekil 2.8	: Fotovoltaik etki 16
Şekil 2.9	: Fotodiyotun akım – gerilim karakteristiği 17
Şekil 2.10	: Geçiş empedansı kuvvetlendiricisi..... 18
Şekil 2.11	: Fototranzistorun eşdeğer devresi ve gösterimi 20
Şekil 3.1	: Güneş ve ampulün ışımaya tayfı..... 22
Şekil 3.2	: Flüoresan lambanın kızıl-ötesi ışımaya tayfı..... 23
Şekil 3.3	: Parmağın optik yansıtma karakteristiği 26
Şekil 3.4	: E909.01 tümdevresinin blok şeması..... 27
Şekil 3.5	: Bozucu işaretlerin çıkarılması..... 28
Şekil 3.6	: Bozucu işaretlerin bastırılması..... 29
Şekil 3.7	: Optik tuşta darbe genlik modülasyonu 31
Şekil 4.1	: Verici devresi 33
Şekil 4.2	: Alıcı devresi 34
Şekil 4.3	: Ortam ışığının donanımla kompanzasyonu 36
Şekil 4.4	: Tuşların etkinleştirilme zamanlaması..... 37
Şekil 4.5	: Kesme altprogramının algoritması 39
Şekil 4.6	: Ana programın algoritması 41
Şekil A.1	: Deneme devresinin şeması..... 53

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yüzey alanı
A_d	: Algılayıcı yüzeyi alanı
A_s	: Kaynak yüzeyi alanı
β	: Akım kazancı
c	: Işık hızı
C_1	: Kapasite
E	: Enerji
E_e, E_p	: Erkesel ve fotonsal aydınlıklar
f_0	: Kesim frekansı
h	: Plank sabiti
η	: Kuantum verimliliği
θ	: Düşey açı
θ_s	: Kaynak düşey açısı
i	: Akım
i_0	: Doyma akımı
i_{IRED}	: IRED akımı
i_p	: Fotoakım
i_{sc}	: Kısa-devre akımı
I_e, I_p	: Erkesel ve fotonsal yoğunluklar
k	: Boltzmann sabiti
L_e, L_p	: Işınımlılık ve fotonsal ışıklılık
λ	: Dalga boyu
M_e, M_p	: Erkesel ve fotonsal uyarıcılıklar
PT_1, PT_2, \dots	: Fototranzistörler
q	: Elektron yükü
Q_e, Q_p	: Işıyan enerji ve foton enerjisi
r	: Yarıçap
R_1, R_2, R_3, \dots	: Dirençler
R_f	: Geri-besleme direnci
t	: Zaman
T	: Sıcaklık
T_1, T_2, T_3, \dots	: Tranzistörler
V	: Gerilim
V_{CC}	: Besleme gerilimi
V_{IRED}	: IRED gerilimi
V_o	: Çıkış gerilimi
V_{oc}	: Açık-devre gerilimi
V_{satp}, V_{satn}	: Doyma gerilimleri
φ	: Yatay açı
Φ_e, Φ_p	: Işıyan güç ve foton gücü
Ω	: Katı açı
Ω'	: Eğik duran yüzeyin katı açısı
Ω_d	: Algılayıcı katı açısı

KIZIL-ÖTESİ ALGILAMALI AYGIT DENETİMİ

ÖZET

Elektrikli aygıtlarda çalışmanın ve işlevlerin kullanıcı tarafından denetimini sağlamak için tuşlar bulundurulmaktadır. Bu tuşların çoğu iki durumlu olup aygıtın elektronik denetim sisteminin anahtarları olarak çalışırlar. Anahtarlama tuşlarının gerçekleşmesine ilişkin araştırmalar farklı ilkelere dayanan değişik yapılar ortaya çıkarmıştır. Günümüzde sadece dokunmayla çalışarak kullanıcının tuşa fiziksel kuvvet uygulama gerekliliğini ortadan kaldıran yapılara yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu yapıların her biri dayandıkları ilkelere göre kendi üstünlük ve kusurlarına sahiptir.

Bu tezde, fiziksel bir kuvvet gerektirmeyen ve bir verici devresinden gönderilen ışığın kullanıcının parmağından yansıyıp bir alıcı devresi tarafından alınması ilkesine göre çalışan optik tuşların tasarımına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Optik tuşların en önemli kusuru olan ortamdaki ışık kaynaklarına karşı olan duyarlılıkları, maliyeti düşük olan yöntemlerle azaltılmaya çalışılmış; bu sayede tuşların başarımlarının artırılması amaçlanmıştır.

Yakın kızıl-ötesi dalga boylarında çalışan, optik vericiler olarak ışık yayan diyotlar ve optik algılayıcılar olarak fototranzistörler kullanan ve 3 adet tuş bulduran bir optik tuş devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Yazılımı ayrıca tasarlanan 8-bitlik bir mikrodenetleyici ve bir zaman bölmeli analog çoğullama tümdevresi, verici devresinin sürülmesi ve alıcı devresinin çıkış değerinin okunması işlemlerini gerçekleştirmektedir. Ortam ışığının etkisini iptal etmek amacıyla, fotoakımı algılayıcı fototranzistörlerinkinden çıkarılan bir kompanzasyon fototranzistörü kullanılmıştır. Ayrıca, mikrodenetleyicinin yazılımıyla, ortam ışığının etkisi tuşların etkinleştirilmesinden bağımsız olarak ölçülüp, bu etkinin giderilmesine yönelik olarak programdaki karar verme sürecinde değişiklik yapılmıştır.

Yapılan deney ve ölçümlerin sonuçları tuşların uygun şekilde çalıştığını göstermiştir. Kompanzasyon fototranzistörü alıcı devresinin çıkış işaretini ortam ışığının etkilerinden büyük ölçüde arındırmaktadır. Yazılım kompanzasyonu ile, ortam ışığının etkisine göre parmağın konumunun kararı için bir eşik değeri belirlenip; böylece DC ışık kaynaklarına karşı belirli bir ölçüye kadar direnç sağlanmıştır.

APPLIANCE CONTROL BY INFRARED SENSING

SUMMARY

In electrical appliances, buttons are provided in order to allow the operation and the functions to be controlled by the user. Many of these buttons work as switches of the electronic control system of the device. Researches on realizing the switching buttons have introduced various structures based on different principles. Nowadays studies, which aimed at structures that operate with just touching, eliminating the need for the user to apply physical force, have gained speed. Each of these structures has their own advantages and drawbacks.

In this thesis, studies have been performed on the optical buttons, which do not require a physical force and are based on the principle that light is sent from a transmitter circuit, reflects from the user's finger, and then is received by a receiver circuit. Sensitivity of the optical buttons to the light sources that are present in the ambient, which constitutes their main drawback, are tried to be reduced with low-cost techniques; thus increasing the performance of the buttons is intended.

An optical button circuit, which operates at near infrared wavelengths, uses light emitting diodes as transmitters and phototransistors as receivers, and provides 3 buttons, is designed and realized. An 8-bit microcontroller, whose software is designed separately, and an integrated time division analog multiplexer circuit perform the operations of driving the transmitter circuit and reading the output value of the receiver circuit. A compensator phototransistor, whose photocurrent is subtracted from the sensor phototransistors', is used in order to nullify the effects of the ambient light. Besides, by the microcontroller's software, the effects of ambient light are measured independently of the buttons' activation, and modification on the software's decision process is applied in order to neutralize these effects.

The results of the experiments and the measurements indicate that the buttons are working properly. The compensator phototransistor substantially clears the effects of ambient light from the output of the receiver circuit. And with the software compensation, a threshold value for the decision of the finger's presence is set according to the ambient light's effect, thus resistance to DC light sources is provided to some extent.

1. GİRİŞ

Elektrikli ev eşyalarının kullanıcı tarafından denetimi, çoğunlukla anahtarlama tuşları ile sağlanır. Kullanıcı, tuşlara parmağıyla basarak, açma ve kapamanın yanı sıra aygıtın işlevlerini de etkinleştirir ve ayarlarını yapar.

1.1 Anahtarlama Tuşları ve Çalışmanın Amacı

Günümüzde, elektronik aygıtların içindeki sistemler büyük çoğunlukla mikrodenetleyiciler ile denetlenmektedirler. Anahtarlama tuşlarının konumları da, genellikle doğrudan bir mikrodenetleyiciye bildirilir. Her bir tuşun konumu mikrodenetleyicinin ayrı bir girişinden okunabileceği gibi, birkaç tuşun konumları çoğullama yapılarak tek bir giriş ile de okunabilir. Mikrodenetleyicinin içindeki yazılım ile, okunan tuş konumlarına göre sistem yönlendirilir.

Bu çalışmanın amacı, aygıtlarda yaygın olarak kullanılan, bir deliğin içinden aygıt yüzeyine çıkarılmış mekanik tuşlardan farklı olarak, kullanıcının aygıtın gösterge paneline dokunarak konumunu değiştirdiği tuşlar tasarlamaktır.

1.1.1 Tuşlardan Beklenen Özellikler

Aygıtların kullanım biçimi ve çevre koşullarına göre tuşların bazı asgari özelliklere sahip olması gerekir. Beklenen en önemli özelliklerden biri de, olağan çevre koşullarının çalışmayı etkilememesidir.

Tuşların yaşlanmaya karşı dayanıklılığı, başka bir deyişle kullanım ömrü en az aygıtın belirlenen kullanım ömrü kadar olmalıdır.

Tuşa basılmasıyla tuşun atandığı işlemin harekete geçmesine kadar geçen süre 200 milisaniyeyi geçmemelidir. Bu süre, gürültü, girişim gibi anlık etkilere karşı tuşun yanlılıkla etkin hale geçmesini önlemek için de iyi bir önlemdir. Benzer şekilde, tuşa basma süresi öngörülen süreyi geçerse bir hata oluştuğu varsayılp tuşun işlemi harekete geçirilmemelidir.

İki ya da daha fazla tuşa aynı anda basma durumu, eğer söz konusu tuş kombinasyonu için belirlenmiş bir işlem yoksa, hata olarak algılanıp göz ardı edilmelidir.

1.2 Tuş Çeşitleri

Tuşlar malzemelerin çeşitli fiziksel özellikleri kullanılarak gerçekleştirilirler. Tuşun etkin hale geçmesiyle meydana gelen değişim bir devre ile algılanır. En yaygın kullanılan tuş yapıları mekanik, dirençsel, piezo-elektrik, sığasal, ve optik tuşlardır.

1.2.1 Mekanik

En yaygın olarak kullanılan tuş yapısıdır. Genellikle aygıt üzerinde açılan bir deliğin içinden yüzeye çıkarılmış bir cisme, kullanıcının fiziksel kuvvet uygulayarak parmağı ile basmasıyla çalışır. Yüzeydeki hareket eden cisme bağlı bir iletken, algılama devresine çizilmiş iki bakır yolu kısa devre eder. Bu kısa devreyi algılayan devre, tek bir tuşun konumu için sayısal bir çıkış verebileceği gibi, genellikle başvurulan yöntemle birkaç tuşun konumunu tek bir analog çıkış olarak da verebilir.

Mekanik tuşların tasarım ve parça maliyetleri düşük olduğundan birçok uygulamada tercih edilirler.

Parmağın tuşa fiziksel kuvvet uygulama zorunluluğu olduğu için mekanik bir tuş gösterge paneli gibi sabit yüzeyler üzerinden kullanılamaz. Bu da tuşu mekanik aşınmaya ve yaşlanmaya karşı korunmasız bırakır. Ayrıca mekanik tuşların ortamdaki neme karşı duyarlılıkları her zaman yeterince düşük değildir.

1.2.2 Dirençsel

Dirençsel tuşlar, iletken ve dirençsel özellikler gösteren iki katmanın üst üste, bir taban üzerine konumlandırılması ile oluşturulur. Bu iki katman arasında çok küçük bir boşluk bırakmak için aralarına küçük noktalar ya da kenarlarına yapıştırıcı yerleştirilir. Bu sayede tuş kullanımında değilken katmanlar birbirleri ile temas etmez. Kullanıcının tuşu harekete geçirmesi için fiziksel bir kuvvet uygulaması, diğer bir deyişle basınç yapması gerekmektedir. Uygulanan basınç ile katmanlar bazı noktalarda birbirleri ile temas eder ve dirençsel katmanın gösterdiği elektriksel direncin değeri düşer. Bu düşüş bir işleme devresiyle algılanır. Tuş aygıtın yüzeyinde

bulunduğu için işlevsel katmanları dış etkilerden korumak amacıyla ek bir koruma katmanı daha bulunur.

Dirençsel tuşların maliyeti düşük olduğu için düşük maliyetli panel uygulamaları için tercih edilirler.

Sahip oldukları birçok olumsuz özellik, dirençsel tuşların kullanımını zorlaştırmaktadır. Mekanik tuşlardaki aşınma, yaşlanma ve neme karşı dayanıksızlık, sabit yüzeylerde kullanılmama gibi kusurlar, dirençsel tuşlar için de gereklidir. Bunların dışında ayrıca, kimyasal maddeler, sıvılar, ve sıcaklıktan yüksek derecede etkilenme gibi sorunlar vardır.

1.2.3 Piezo-elektrik

Uygun malzemelerdeki piezo-elektrik etki kullanılarak üzerine uygulanan basınç ile çalışan tuşlar gerçekleştirilebilir. Kristal yapıdaki piezo-elektrik malzemeye yeterli basınç uygulandığında moleküllerdeki net dipol momenti sıfırdan farklı olur. Bunun sonucunda küçük bir çıkış gerilimi oluşur ve bu gerilim algılanarak tuşa basıldığı anlaşılır.

Aygıtlardaki sabit panel yüzeyi piezo-elektrik malzemedен oluşturulabilir. Piezo-elektrik tuşlar mekanik aşınma, yaşlanma, ve neme karşı dayanıklıdır.

Harekete geçmek için uygulanması gereken fiziksel kuvvetin 3-5 Newton gibi yüksek değerlerde olması piezo-elektrik tuşların en önemli kusurudur. Ayrıca, çıkışta yüksek bir doyma geriliminin oluşmasını önlemek için ek bir sınırlayıcı devre gerekmektedir.

1.2.4 Sığasal

Hafif bir dokunmayla çalışan ve son yıllarda uygulama alanı genişleyen bir tuş türüdür. Sığasal bir algılayıcının sığasının parmağın yaklaştırılması ile değişimi ilkesi üzerine kuruludur. Algılayıcı elektronik devre kartı üzerine çizilen iletken yollar ile oluşturulur. Algılayıcı kapasite, iki iletken arasında olabileceği gibi tek bir iletken ile toprak arasında da olabilir.

İki iletkenin kullanılması durumunda iletkenler devre kartında birbirlerine yakın olacak şekilde çizilir. Parmağın yokluğu sırasında dahi, iletkenler arasında sığasal bir etki mevcuttur. İletkenler aynı düzlemde oldukları ve yüzeyleri birbirlerine

bakmadıkları için, oluşan bu kapasitenin sığası görece düşük değerlidir. Kartın yüzeyiyle birleştirilmiş yalıtkan bir katman, parmağın karta dokunmasını önler. Parmak yalıtkan yüzeye dokunduğunda, parmak ile her iki iletken arasında, birbirlerine seri konumda olan birer kapasite oluşur. Oluşan kapasitelerin yüzeyleri birbirlerine bakar. Bu da bileşke sığanın boş durumdaki sığadan fark edilebilir derecede fazla olmasına yol açar. Algılayıcının sığasındaki değişim bir ölçme devresi ile algılanır. Bu yöntemin olumsuz taraflarından biri, devre kartının aygıtta dokunulacak yüzeyle birleşik olmasından dolayı LED (Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot), LCD (Liquid Crystal Display – Sıvı Kristal Gösterge) gibi gösterge elemanlarının yerleşim sorununun ortaya çıkmasıdır.

Tek bir iletken ile toprak arasındaki kapasitenin kullanılması durumunda gösterge elemanları iletken ile kartın aynı yüzeyine yerleştirilip iletkenle aygıt yüzeyi arasındaki boşluk iletken bir malzeme (genellikle metal bir yay) ile kapatılır. Bu durumda, toprakla aynı potansiyeldeki parmağın yüzeye dokunmasıyla iletken ile toprak arasında boş durumdakinden daha büyük bir sığa oluşur ve bu değişim bir ölçme devresiyle algılanır.

Çalışması için fiziksel bir kuvvet gerektirmemesi ve sabit yüzeylerin ardından çalışabilmesi sığasal tuşu diğer birçok tuş çeşidinden ayırmaktadır. Aygıtın dış yüzeyinde bulunmaması mekanik aşınma ve yaşlanmaya karşı dayanıklı olmasını sağlar. Ayrıca birkaç sığasal algılayıcı, kart yüzeyinde iç içe çizilerek parmağın hareket yönü algılanarak kaydırma tuşları da oluşturulabilir. Bu da kullanıcının aygıtın seçeneklerinde gezinmesini kolaylaştırır.

Sığasal tuşlar neme karşı fazla duyarlıdır. Havadaki nem yoğunluğunun artması algılayıcının sığasının önemli ölçüde artmasına, hatta iletkenlerinin kısa devre olmasına neden olabilir. Bu nedenle aygıtta iyi bir nem yalıtımı sağlanmalıdır.

1.2.5 Optik

Dokunmayla çalışma özelliğine sahip olan tuşların gerçekleşmesinde diğer bir yöntem optik verici ve algılayıcıların kullanılmasıdır. Optik tuşlar, bir ışık demetinin optik bir vericiden optik algılayıcıya ulaşımının sağlanıp sağlanmaması prensibine dayanırlar. Verici ve algılayıcı birimler elektronik kart üzerinde yan yana, ama verici yüzeyi algılayıcı yüzeyine bakmayacak şekilde bulunurlar. Elektronik kart ve dolayısıyla verici ve algılayıcı birimleri, aygıtın optik geçirgenliği olan yüzeyinin

arkasında bulunur. Tuş etkin değilken, diğer bir deyişle parmak tuşun üzerinde değilken, vericinin yaydığı optik ışınların tamamına yakını algılayıcıya ulaşamaz. Parmak tuşun üzerindeyken ise, vericinin gönderdiği ışınların bir kısmı parmaktan yansiyarak algılayıcıya ulaşır. Böylece parmağın varlığı tespit edilerek tuş etkinleştirilir.

Verici ve algılayıcı birimler birer optoelektronik elemandan oluşur. Genellikle verici bir LED elemanı, algılayıcı ise bir fotodiyot veya fototranzistor elemanıdır. Tuşun durumu ölçülürken, verici LED bir sürücü devre ile sürülür. Algılayıcı ise alıcı devresi tarafından belirli bir çalışma noktasında tutulur. Parmağın tuşa dokunup ışığın üzerine düşmesi ile algılayıcı elemanın üzerinden akan akım artar. Alıcı devre bu artış ile tuşun basılı olduğu bilgisini verir. Verici diyotun yaydığı ve algılayıcı elemanın duyarlı olduğu ışığın dalga boyu kırmızı ile kızıl-ötesi arasında seçilir. Bunun nedeni bu dalga boyu aralığında insan parmağının ışığı yansıtma oranının yüksek olmasıdır. Algılayışın çözünürlüğünün yüksek olması açısından parmağın kendisine gelen ışığı mümkün olduğunca büyük bir oranda yansıtması gerekir.

Optik tuşların diğer tuşlara kıyasla pek çok olumlu yanları vardır. Sığasal tuşlardaki fiziksel kuvvet gerektirmeme, sabit panellerin arkasından çalışabilme, kaydırma tuşları oluşturarak hareket algılayabilme, gibi kullanım kolaylıklarının yanı sıra, LED sürücü devresiyle ışık şiddetini ayarlayarak parmağın algılanma menziline artırma olanağına da sahiptir. Optik tuşlar, mekanik aşınma, yaşlanma, sıcaklık, ve neme karşı dayanıklıdır. Ayrıca PCB (Printed Circuit Board – Baskı Devre Kartı) tasarımları görece kolay olup, işlevleri yazılım ile değiştirilebilir.

Optik tuşların çalışması sırasında oluşabilecek en önemli sorun, dış ortamdaki gürültüye ve girişime neden olabilen ışık kaynaklarıdır. Bu kaynakların yaydığı ışıklar çalışma dalga boyunda olmasa dahi, algılayıcıyı önemli ölçüde etkileyebilir. Bu soruna çözüm olarak, çeşitli kompanzasyon yöntemleri geliştirilmiştir.

2. OPTOELEKTRONİK SİSTEMLER

Optoelektronik sistemler, yapısında hem optik hem de elektronik birimler bulunduran sistemlerdir. Bu sistemlerin en yaygın kullanılan örnekleri, elektriksel bir işaretin optik bir işarete dönüştürülerek bir iletim ortamına gönderilip taşındığı, daha sonra da tekrar elektriksel işarete dönüştürülerek işlendiği sistemlerdir. Optik ve elektronik işaretler arası dönüşümler optoelektronik devre elemanları ile gerçekleştirilir.

Bu bölümde ışığın miktarı ve yoğunluğuna ilişkin bazı temel radyometri büyüklükleri ile optik tuşlarda verici ve algılayıcı olarak kullanılan kimi optoelektronik devre elemanları tanıtılacaktır.

2.1 Temel Radyometri Kavramları

Radyometri elektromanyetik ışınımın ölçülmesi ile ilgili bir bilim dalıdır. Verici ve algılayıcı optik elemanların yayınım ve duyarlıklarının miktarları ve açısız değişimleri radyometri kavramlarıyla gösterilir.

Radyometrinin miktar belirten kavramları iki farklı terminoloji ile ifade edilir. Bunlar enerji ve foton türevli büyüklüklerdir. Ayrım amacıyla, enerji türevli büyüklükler e alt indisi ile ($Q_e, \Phi_e, I_e, E_e, M_e, L_e$), foton türevli büyüklükler p alt indisi ile ($Q_p, \Phi_p, I_p, E_p, M_p, L_p$) gösterilirler. Alt indissiz gösterilen büyüklükler enerji türevli anlamını taşırlar. Bunun nedeni enerji türevli büyüklüklerin daha yaygın olarak kullanılmasıdır. Foton türevli büyüklükler, foton algılayıcıları denilen, doğrudan fotonlara tepki gösteren algılayıcılar gibi yüksek duyarlılık gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. h : Plank sabiti (6.626176×10^{-34} J.s), c : ışık hızı (2.99792438×10^8 m/s) ve λ : fotonun dalga boyu (m) olmak üzere, bir fotonun taşıdığı enerjiyi gösteren

$$E = hc / \lambda \quad (2.1)$$

denkleminde görülebileceği üzere, taşınan enerji fotonun dalga boyuna bağlı olduğu için enerji ve foton türevli büyüklükler arasında dönüşüm yaparken, dalga boyuna

göre çizilmiş büyüklük eğrilerinin şekilleri değişir. Büyüklükler arası dönüşümler, (2.1) denkleminde ifade edilen, foton başına düşen enerji miktarı kullanılarak yapılır. Enerji türevli birimlerden foton türevli birimlere geçmek için, ışınım enerjisi birimi Joule (J) yerine foton sayısı birimi (q), ışınım akısı (ışınım gücü) birimi Watt (W) yerine birim zaman başına düşen foton (q/s) kullanmak gerekir. Tezin geri kalan kısmında enerji türevli büyüklükler ve birimleri kullanılacaktır.

2.1.1 Katı Açı

Radyometri, üç boyutlu Öklid uzayı içindeki yüzeyler arasındaki ışınım enerjisi ile ilgili olduğu için, bir yüzeyin yaydığı, ya da o yüzeyin üzerine düşen ışığın açısını belirtmek için üç boyutlu bir açı tanımı olan katı açığa ihtiyaç duyulur.

Katı açı için en yaygın tanım; bir birim kürenin yüzey alanının, zirvesi kürenin merkezi olan bir koni tarafından kesilmesiyle oluşan alan ile ölçülen, koninin zirvesinden yayılan açı demetidir [1]. Birimi steradyandır. Yüzey geometrideki radyan tanımına benzer olarak, bir katı açının steradyan birimindeki değeri, kürenin üzerindeki yüzeyin alanının, kürenin yarıçapının karesine oranıdır.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2.2)$$

Bu eşitlikten, bir kürenin içerdiği katı açının $4\pi r^2 / r^2 = 4\pi$ steradyan olduğu görülebilir. Şekil 2.1'de bir katı açının diferansiyeli görülmektedir. Küresel koordinatlara ilişkin

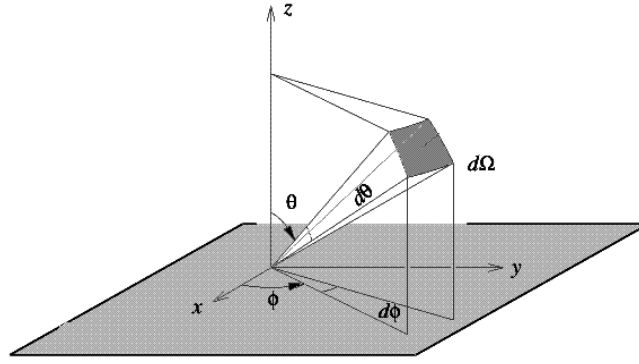
$$dA = r \cdot d\theta \cdot r \cdot \sin \theta \cdot d\varphi = r^2 \cdot \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi \quad (2.3)$$

ifadesinden yola çıkarak, katı açının diferansiyelinin

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi \quad (2.4)$$

olduğu görülebilir.

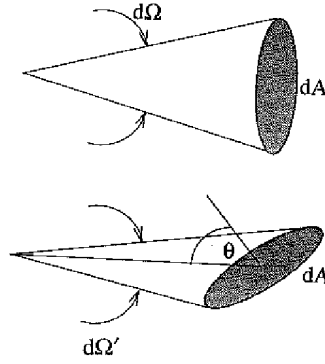
Katı açının tanımlı olduğu bir küresel yüzeyin üzerinde bulunmayan yüzey alanları için, katı açı hesabında, ilgili yüzeyin alanını kapatan küresel yüzey kullanılır. Eğer ilgili yüzeyin alanı, yüzeyin merkeze uzaklığının (kürenin yarıçapının) karesinden yeterince küçükse ($r^2 \gg A$), katı açı için Denklem (2.2) kullanılabilir.



Şekil 2.1: Katı Açımın Diferansiyeli [2]

Eğer ilgili yüzey, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, normal doğrusu merkeze uzanan doğrusuyla arasında bir θ açısı yapacak şekilde eğik duruyorsa, bu yüzeye karşılık gelen katı aç değeri bir $\cos \theta$ çarpanı ile düşer [3].

$$\Omega' = \Omega \cdot \cos \theta \quad (2.5)$$



Şekil 2.2: Eğik Duran Bir Yüzeyin Katı Açısı [3]

2.1.2 Işıyan Enerji

Işıyan enerji, verici yüzeyi tarafından yayılan, fotonlar tarafından taşınan, ve algılayıcının yüzeyi üzerine düşen optik enerjidir. Q ile gösterilir. Birimi Joule’dur.

2.1.3 Işıyan Güç

Işıyan enerjinin akış hızına erkesel akı ya da ışıyan güç denir. Bir algılayıcı yüzey için ışıyan güç, o yüzeye birim zamanda düşen enerjidir. Birimi Watt’tır.

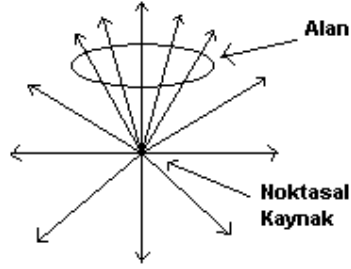
$$\phi = dQ/dt \quad (2.6)$$

2.1.4 Erkesel Yoğunluk

Çoğu uygulamada optik alıcılar, ışık kaynağından gelen ışıyan gücün sadece sınırlı bir katı açısını alabildikleri için, kaynaktan ışıyan gücün, merkezi kaynak noktası olan katı açılara dağılım biçimi önem kazanmaktadır [3]. Erkesel yoğunluk birim katı açı başına düşen ışıyan güçtür. Birimi Watt / steradyan (W/sr) olarak verilir.

$$I = \partial\phi/\partial\Omega \quad (2.7)$$

Noktasal kaynakların yüzey alanları yayınım mesafelerinin karesinden çok daha küçük olduğu için, bu kaynakların ışıma karakteristikleri sadece katı açıya göre tanımlanmış olan erkesel yoğunlukla ifade edilebilir [3].



Şekil 2.3: Noktasal Bir Kaynağın Yoğunluğu

Şekil 2.3'teki noktasal kaynaktan düzenli olarak dağılan gücün $3 \times 4\pi$ W, belirtilen alanın katı açısının 1 sr olması durumunda, bu bölgedeki yoğunluk 3 W/sr olmaktadır.

2.1.4.1 Yarı Açı

Bir ışık kaynağının yarı açısı, erkesel yoğunluğun en yüksek olduğu, büyük çoğunlukla ışıma yüzeyinin normalindeki, yoğunluğun yarıya düştüğü görüş doğrultusunun yüzeyin normali ile yaptığı açıdır. Yarı güç açısı ve yarı yoğunluk açısı adlarıyla da bilinir.

Benzer şekilde, bir algılayıcının yarı açısı da hassasiyetinin en yüksek olduğu doğrultudaki değerinin yarısına düştüğü doğrultunun yüzeyin normali ile yaptığı açıdır.

Yarı açının iki katına görünüm açısı denir.

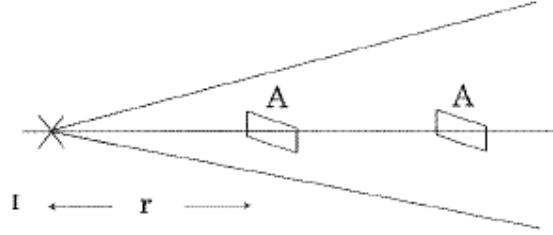
2.1.5 Erkesel Aydınlık

Optik bir ışımaya maruz kalmış bir yüzeyin birim alanına düşen güç miktarına erkesel aydınlık denir. Birimi Watt / santimetrekare (W/cm^2)'dir. Üzerine Φ gücünde ışık düşen A_d alanındaki yüzeyin üzerindeki ortalama erkesel aydınlık:

$$E = \frac{\phi}{A_d} \quad (2.8)$$

olur.

Şekil 2.4'te gösterildiği gibi bir kaynak tarafından üzerine ışık düşürülen yüzeyin erkesel aydınlığı kaynaktan aynı doğrultuda uzaklaştıkça karesel olarak düşer. Bu genel kural noktasal kaynaklar için mutlak olarak geçerlidir [3].



Şekil 2.4: Erkesel Aydınlığın Uzaklığın Karesi Oranında Düşmesi [3]

$$\phi = I \times \Omega = I \times A/r^2 \quad (2.9)$$

$$E = \phi/A = I/r^2 \quad (2.10)$$

Yüzeyin hareket ettiği doğrultuda erkesel yoğunluk sabit kalacağından, yüzeyin katı açısı dolayısıyla da erkesel aydınlığı $1/r^2$ oranında düşer. Bu özellik algılayıcıların doğrusalıklarının sınırlanmasında kullanılır [3].

2.1.6 Erkesel Uyarıcılık

Erkesel uyarıcılık bir yüzeyin birim alanından çıkan güç miktarıdır. Toplam ışıyan gücü Φ , yüzey alanı A_s olan bir kaynağın ortalama erkesel uyarıcılığı:

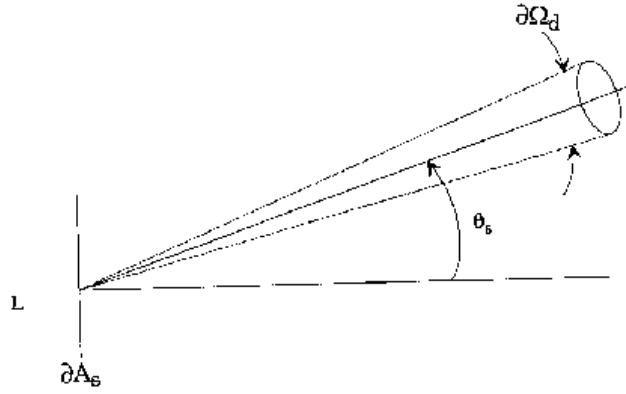
$$M = \frac{\phi}{A_s} \quad (2.11)$$

şeklinde tanımlanır.

Erkesel aydınlık ve erkesel uyarıcılık aynı birime (W/cm^2) fakat farklı yorumlara sahiptir. Erkesel aydınlık algılayıcıları, erkesel uyarıcılık ise kaynakları tanımlarken kullanılır [3].

2.1.7 Işınımlılık

Işınımlılık genişletilmiş, diğer bir deyişle görüş mesafesinin karesine göre kayda değer bir yüzey alanına sahip kaynakları tanımlamak için kullanılan bir kavramdır. Tanımı kaynağın birim alanından birim katı açığa ışıyan güçtür. Işınımlılık bir yüzeyin parlaklığına karşı görsel duyarlılık ile paralel bir kavramdır [3]. Birimi Watt / (steradyan \times santimetrekare) ($W/(sr.cm^2)$)'dir.



Şekil 2.5: Genişletilmiş Bir Kaynağın Işınımlılığı [3]

Şekil 2.5'te ışınımlılık diferansiyel biçimde gösterilmiştir. Işınımlılığın miktarı şu denklemlerle bulunur:

$$L = \frac{\partial^2 \phi}{\partial A_s \cos \theta_s \cdot \partial \Omega_d} \quad (2.12)$$

2.1.7.1 Lambert Işıyıcısı

Eğer bir kaynağın ışınımlılığı, diğer bir deyişle parlaklığı görüş açısından bağımsız ise bu kaynak bir Lambert ışıyıcısıdır.

Lambert kaynakların ışınımlılığı görüş açısından bağımsız olmakla birlikte, erkesel yoğunlukları görüş açısına bağlıdır. Denklem (2.12)'yi yeniden düzenleyerek,

$$\partial^2 \phi = L \cdot \partial A_s \cos \theta_s \cdot \partial \Omega_d \quad (2.13)$$

yüzey alanına göre integralini alıp ışınımlılığın kaynağın yerinden bağımsız olduğu kabulüyle,

$$I = \frac{\partial \phi}{\partial \Omega_d} = \int_{A_s} L \cdot \partial A_s \cos \theta_s = L \cdot A_s \cos \theta_s \quad (2.14)$$

elde edilir. Buradan yoğunluğun, görüş açısı arttıkça açının kosinüsü ile düştüğü görülür. Görsel ışık benzeşimiyle, görüş açısı arttıkça parlaklık sabit kalırken ışık şiddetinin düşmesi, kaynağın görülen izdüşüm alanının azalmasıyla açıklanabilir. Ayrıca Denklem (2.14) ile bir Lambert ışıyıcısının yarı açısının 60 derece olduğu görülebilir.

Tek yüzü ışıma yapan bir Lambert ışıyıcısı için Denklem (2.13)'te katı açıya göre integral alınır,

$$M = \pi \cdot L \quad (2.15)$$

sonucuna ulaşılır. Optoelektronik vericiler, tabanları genellikle ışığı yansıtan bir yüzeye oturtulduğu için, yarı küre şeklinde ışıma yaparlar. Bu yüzden Denklem (2.15) birçok uygulama için kullanılabilir olmaktadır.

2.2 Optoelektronik Elemanlar

Yarıiletken malzemelerin elektriksel ve optik özellikleri arasındaki ilişkilerden yararlanılarak, optoelektronik sistemlerde elektriksel ve optik enerji arasında dönüşüm yaparak verici ve algılayıcı olarak görev yapan optoelektronik devre elemanları geliştirilmiştir. Başlıca optoelektronik elemanlar ve çalışma ilkeleri bu bölümde tanıtılacaktır.

2.2.1 Optik Vericiler

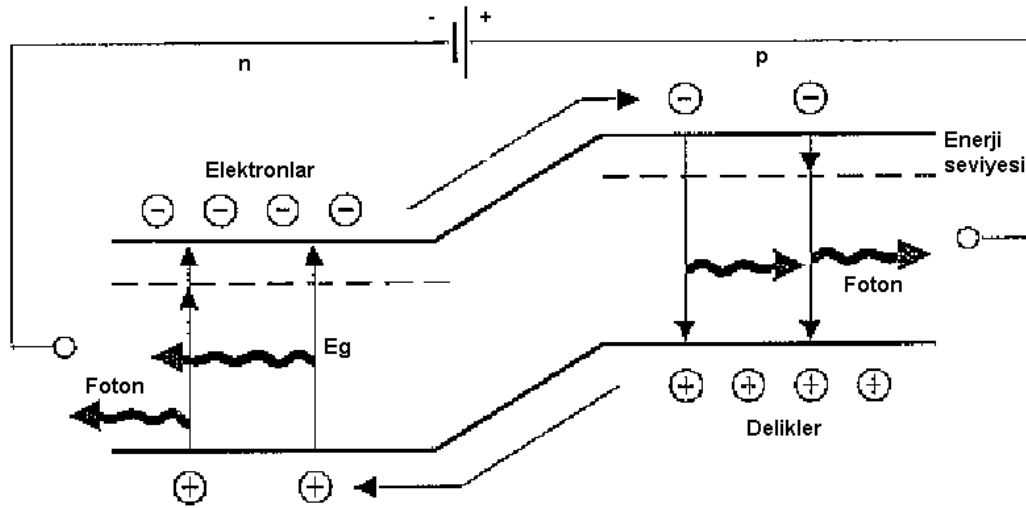
Elektriksel işaretleri optik işaretlere dönüştüren optik vericilerin bazıları bu bölümde kısaca tanıtılacaktır.

2.2.1.1 Işık Yayan Diyot

İletim yönünde kutuplanmış bir $p-n$ jonksiyonunun ışık yayması özelliğinden yararlanılarak geliştirilen ışık yayan diyotlar, kısaca LED'ler, yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Filaman lambaların aksine, yarıiletken malzeme tarafından

belirlenen dar bir dalga boyu aralığında ışınım yapan LED'lerin görünür dalga boylarında çalışanları birçok aygıtta gösterge elemanı olarak kullanılırlar. 800 nm – 950 nm arası dalga boyunda, diğer bir deyişle yakın kızıl-ötesi bölgesinde çalışan, GaAs ya da GaAlAs yarıiletkenlerinden imal edilen, kızıl-ötesi ışık yayan diyotlar, kısaca IRED'ler (Infrared-Light Emitting Diode – Kızıl-ötesi Işık Yayan Diyot), aygıtların uzaktan denetimi, optik tuşlar, optik iletim hatları, optik yalıtıcılar, kart okuyucuları, ve çeşitli ölçüm uygulamaları gibi kullanım alanlarına sahiptir [4].

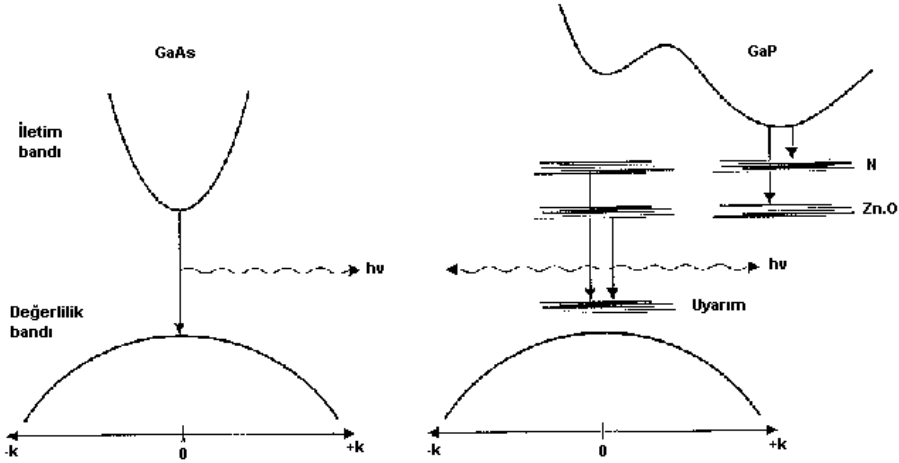
LED'lerin yaydıkları ışığın gücü büyük bir aralıkta üzerinden geçen akımla doğru orantılıdır. Diyotların iletim yönünde çalışması sırasında gerçekleşen elektron – delik çiftlerinin ayrılıp yeniden birleşmeleri olayının bir yan etkisi foton üretimidir. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi, bir dış elektrik kaynağının etkisiyle serbest hale geçip *n*-tipi yarıiletken bölgesinden *p*-tipi bölgeye ulaşan elektronlar, yüksek enerjili iletim bandından daha düşük bir enerji seviyesinde olan değerlilik bandına geçerek elektron – delik çifti oluştururlar. Bu geçiş sırasında bölgeler arasındaki enerji farkı, dışarıya dalga boyu Denklem (2.1) ile belirlenen bir foton gönderilerek kapatılır. *n*-tipi bölgede de benzer şekilde serbest kalan elektronların yerini başka elektronlar değerlilik bandına geçerek doldururken foton üretirler. Her iki durumda da üretilen fotonların enerjilerinin en yüksek değeri bantlar arasındaki enerji farkıdır. Fotonların dalga boyları bir tepe değerine sahip olmak üzere değişik değerlerdedir.



Şekil 2.6: Diyotlarda Foton Üretimi [4]

Enerji seviyeleri dalga sayısı vektörüne bağlıdır. Değerlilik bandına geçen elektronun kaybettiği enerji, GaAs gibi düzgün bir bant yapısına sahip yarıiletkenlerde önemli ölçüde foton olarak dışarıya verilirken, Si ve Ge gibi yaygın kullanılan düzensiz bir

bant yapısına sahip yarıiletkenlerde büyük ölçüde ısı olarak ortaya çıkar. Bununla beraber, Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, bu yapıdaki GaP gibi bazı yarıiletkenlere, elektronlar için geçiş yolları oluşturacak şekilde, eş elektron özellikli katkı yapılarak foton üretimi sağlanabilir [4].



Şekil 2.7: Yarıiletkenlerdeki Enerji Seviyeleri [4]

Foton üretimi genel amaçlı diyotlarda da gerçekleşir. Bu diyotlarda bant yapısı nedeniyle az miktarda üretilen kızıl-ötesi dalga boyundaki fotonlar, eleman yüzeyine çıkamadan emilirler. LED’lerin üretiminde bant yapılarından başka, yarıiletken malzemenin yerleşimi ve elemanın kılıflanması gibi işlemlerde de özel teknikler kullanılır. Genellikle plastik olan kılıfı, LED’in yayınım özelliklerini belirleyen bir lens olarak tasarlanır.

2.2.1.2 Lazer Diyotu

LED’ler üretim kolaylığı ve düşük maliyet gibi üstünlükleri sayesinde birçok uygulama alanı bulmuşlardır. Modülasyon bant genişlikleri 1 GHz değerine ulaşmıştır. Fakat uzun mesafeli optik iletim hatları ve biyomedikal uygulamaları gibi yüksek verim gerektiren bazı alanlarda yetersiz kalmaktadırlar. Lazer diyotu sahip olduğu üstün özellikleriyle LED’lerin sınırlamalarını aşabilmektedir.

Aynı LED gibi bir *p-n* jonksiyonu yapısında olup iletim yönünde çalışan lazer diyotu, sahip olduğu optik kovuk yapısı sayesinde uyarılmış foton yayınımlı yapmaktadır. Belirli aralıklarla gerçekleşen uyarılmış foton yayınımlında sadece belirli bir enerji seviyesindeki, başka bir deyişle sadece belirli bir dalga boyundaki fotonlar bant değiştirerek değerlilik bandına geçerler. Normal olarak sürekli

yayınımla üretilmiş fotonlar büyük ölçüde emilirler [5]. Sonuç olarak yayınının dalga boyu çok dar bir tayfta kalır.

Lazer diyotlarının ışınım karakteristikleri saçılmamış yoğun bir ışık demetinden oluşan keskin bir hat biçimindedir. Modülasyon bant genişlikleri 50 GHz değerine kadar çıkabilir. Fakat üretim tekniklerinin zorlukları ve yüksek maliyetleri kullanımlarını bazı özel uygulamalarla sınırlandırmıştır.

2.2.2 Optik Algılayıcılar

Malzemelerin üzerlerine düşen optik ışınmayla değişen elektriksel özelliklerinden yararlanarak geliştirilen yarıiletken optik algılayıcılar, optoelektronik sistemlerde optik işaretlerin elektriksel işaretlere dönüştürülmesinde kullanılırlar. Bu bölümde bu elemanların belli başlı olanları tanıtılacaktır.

2.2.2.1 Fotoiletken

Fotoiletkenler, bir yarıiletkenin üzerine düşen ışıkla iletkenliğinin artması durumundan yararlanarak geliştirilirler. Eğer malzemeye gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin iletim ve değerlilik bantları arasındaki enerji seviyesinden fazla ise, elektronların değerlilik bandından koparak iletim bandına geçmelerini sağlar. Serbest elektron sayısındaki artış malzemenin iletkenliğini artırır, diğer bir deyişle direncini düşürür. Dirençteki düşme bir kutuplama devresiyle algılanır. Fotoiletkenlerde bir elektron birden fazla serbest elektron üretimine sebep olur. Sonuçta foton algılamasında bir kazanç oluşur.

Fotoiletkenler katkılı ve katkısız yarıiletkenlerle üretilebilirler. Aradaki temel fark, elemanın uzun dalga boyu cevabıdır [3].

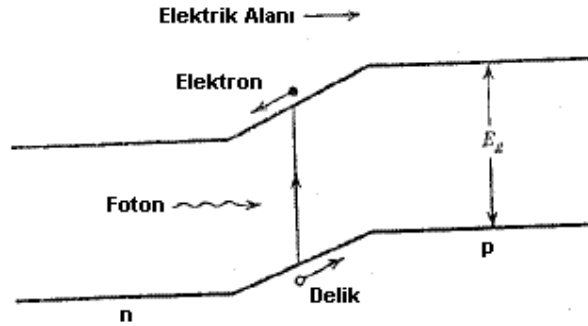
Fotoiletkenlerin görünür ışık dalga boylarında çalışan çeşitleri, düşük maliyetleri nedeniyle cadde ışıklarının denetimi ve oyuncak endüstrisi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Kızıl-ötesi dalga boylarında çalışan fotoiletkenler, fotovoltaiik elemanların ulaşamadığı 15 µm dalga boyuna kadar çalışabilir. Bununla beraber kızıl-ötesi fotoiletkenler yüksek maliyetli elemanlardır [6].

2.2.2.2 Fotodiyot

Fotodiyot en yaygın kullanılan optik algılayıcılar olan fotovoltaiik elemanlardan biridir. Bir $p-n$ jonksiyonunun optik ışınma altında iken elektriksel özelliklerinin

değişmesi kullanılarak geliştirilen özel bir diyot türüdür. Küçük boyutlu, düşük maliyetli, düşük toleranslı ve hızlı bir eleman olan fotodiyot, yıldız ışığının ölçümü, duman algılayıcıları gibi birçok algılama uygulamasının yanı sıra güneş pili gibi optik enerjiden elektrik enerjisi üretimi uygulamalarında da kullanılır.

p - n jonksiyonuna enerjisi değerlilik ve iletim bantları arasındaki enerji farkına yeten bir foton ulaştığında, jonksiyonun nötr ve fakirleşmiş bölgelerindeki değerlilik bandında olan bir elektronun iletim bandına geçmesine neden olarak bir elektron – delik çifti oluşturur. Fakirleşmiş bölgede oluşmuş olan elektrik alanı, elektronların ve deliklerin yeniden birleşmesine engel olarak onları harekete geçirir. Sonuç olarak elektronlar n bölgesine, delikler de p bölgesine geçerek bir akım oluştururlar. Bu olay Şekil 2.8’de gösterilmektedir. Foton etkisiyle serbest hale geçen elektronlara fotoelektron, bu şekilde oluşan akıma da fotoakım denir. Fotoakım diyotun iletim yönüne ters yöndedir. Fotodiyotun açık devre olması durumunda diyot üzerinde akım akamayacağı için, iletim yönünde bir gerilim oluşarak serbest elektronların hareketi engellenir.



Şekil 2.8: Fotovoltaik Etki [1]

Enerjisi bantlar arasındaki enerji farkından daha yüksek olan fotonlar da aynı enerjiyi vererek birer elektronu serbest bırakırlar. Fazla enerjileri ise ısı şeklinde ortaya çıkar. Bu durum fotodiyotun enerjiye göre çizilmiş karakteristiklerinde ışık – akım dönüşüm oranının bant enerjileri farkına karşılık gelen foton dalga boyundan daha düşük dalga boylarında düşmesine yol açar. Yüksek dalga boylarındaki düşüşün sebebi ise foton enerjisinin yetersizliğidir. Bu dalga boylarındaki karakteristik, kutuplama koşullarına bağlıdır.

Fotoakımın büyüklüğü

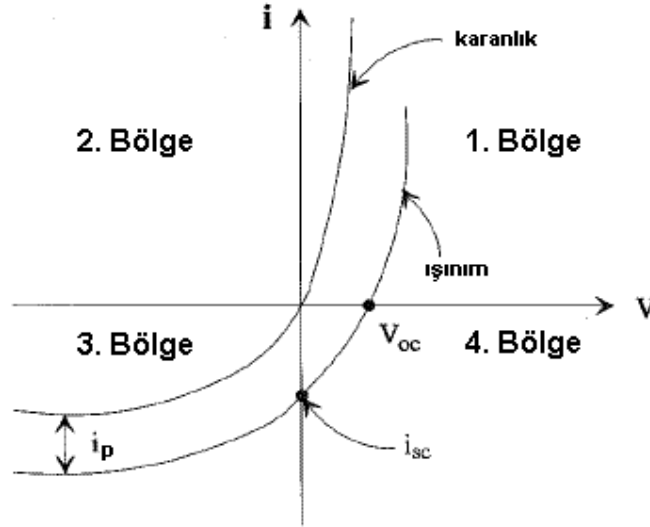
$$i_p = \eta q E_p A_d = \eta q E_e A_d \frac{\lambda}{hc} \quad (2.16)$$

denklemleri ile verilir. Burada q değeri 1.6×10^{-19} C olan bir elektronun yükü, A_d fotodiyotun etkin alanı, η ise kuantum verimliliğidir. Kuantum verimliliğinin ideal değeri 1'dir. Elemandan yansıyan ve geçen optik ışınların, taşıyıcıların yeniden birleşmesinin ve jonksiyonun diğer bölgelerinde üretilen taşıyıcıların yol açtıkları kayıplar, kuantum verimliliğinin değerinin 1'den küçük olmasına neden olur [1].

Fotodiyotun akımı ve gerilimi arasında

$$i = i_0 (e^{qV/kT} - 1) - i_p = i_0 (e^{qV/kT} - 1) - \eta q E_e A_d \frac{\lambda}{hc} \quad (2.17)$$

ilişkisi vardır. Denklem (2.17)'nin ilk terimi sıradan bir diyotun akımını verir. İkinci terim ise fotoakımdır ve Denklem (2.16)'dan görülebileceği üzere fotodiyotun üzerine düşen ışığın erkesel aydınlığı ile doğru orantılıdır. Bu yüzden Şekil 2.9'dan da görülebileceği gibi bir $p-n$ jonksiyon diyotunun akım – gerilim karakteristiği üzerinde fotoakımın etkisi, jonksiyon eğrisinin $-i$ yönünde fotoakımın büyüklüğü kadar kayması biçiminde ortaya çıkar. Ortamda fotodiyotu uyaracak bir ışık olmaması durumunda, fotodiyot sıradan bir diyot gibi çalışır.



Şekil 2.9: Fotodiyotun Akım – Gerilim Karakteristiği [3]

Optik ışınım altındaki fotodiyotun karakteristiğindeki iki çalışma noktasına ilişkin değerler dikkat çekicidir. Bunlardan biri, diyotun anot ve katodu kısa devre iken üzerinden akan kısa-devre akımıdır. Bu akım katottan anoda doğru akar ve Denklem (2.17)'de $V = 0$ alındığında büyüklüğünün fotoakıma eşit olduğu görülür.

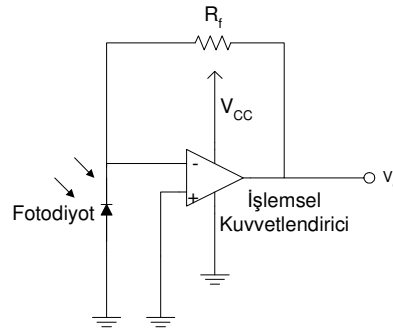
$$i_{sc} = i_p = \eta q E_e A_d \frac{\lambda}{hc} \quad (2.18)$$

Diğer değer, diyot açık devre bırakılmışken üzerinde oluşan açık-devre gerilimidir ve yönü anottan katoda doğrudur. Denklem (2.17)'de $i = 0$ alındığında değerinin

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{i_p + i_0}{i_0}\right) \quad (2.19)$$

olduğu görülür. Yüksek optik ışığa altındayken kısa-devre gerilimi değeri, diyotun bant aralığı gerilimine yaklaşır [5].

Fotodiyotun $i - v$ karakteristiğinin üçüncü bölgesi fotoiletken çalışma bölgesi olarak adlandırılır. Fotoiletken bölgesinde akımın büyüklüğünün gerilime bağılılığı düşük olduğu için, fotodiyot akım kaynağı gibi davranır ve algılayıcı uygulamalarında çoğunlukla bu bölgede çalıştırılır. Bunun için fotodiyot iletim yönüne ters yönde kutuplanır. Bu bölgedeki akımın büyük değerli bileşeninin fotoakım olması algılayıcı uygulamaları için üçüncü bölgeyi ideal kılmaktadır. Akımın diğer bileşeni ışıktan bağımsız olan diyotun ters yöndeki kaçak akımıdır ve gerilimin belirli bir değerinden sonra büyüklüğü sabit olarak kabul edilebilir. Optik algılayıcı uygulamalarında bu akım karanlık akım olarak adlandırılır. Karanlık akımın büyüklüğü fotodiyotun algılama hassasiyeti için bir alt sınır oluşturur. Karanlık akımı düşük olan fotodiyotlar daha düşük güçteki optik ışınları algılayabilirler.



Şekil 2.10: Geçiş Empedansı Kuvvetlendiricisi

Fotoakımın büyüklüğü algılama devreleri için çoğu zaman yetersizdir. Bu yüzden fotodiyot genellikle bir geçiş empedansı kuvvetlendiricisine bağlanarak fotoakımı kuvvetlendirilir. Şekil 2.10'da bir işlemsel kuvvetlendirici ile gerçekleştirilmiş, yaygın olarak kullanılan bir geçiş empedansı kuvvetlendiricisi görülmektedir. Bu

devrede fotodiyot görünürde kısa devredir ve akımı fotoakımdan ibaret olan kısa-devre akımıdır. Kuvvetlendiricinin çıkış gerilimi

$$V_o = R_f i_p \quad (2.20)$$

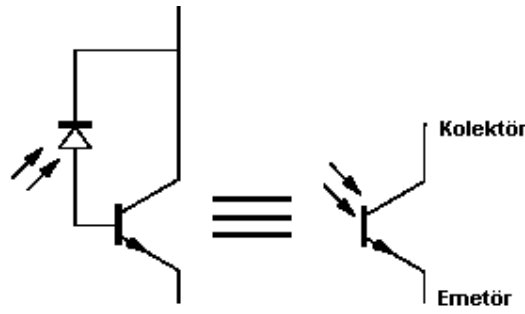
olarak yazılabilir. İşlemsel kuvvetlendiricinin pozitif girişini topraklamak yerine bu girişe pozitif bir gerilim kaynağı bağlanarak fotodiyotun kutuplama gerilimi değiştirilip, yüksek dalga boyu hassasiyeti artırılabilir.

Fakirleşmiş bölgenin darlığı sebebiyle, $p-n$ jonksiyonlu fotodiyotlarda fotonların emilimi ve fotoelektronların üretimi büyük oranda, hemen hemen nötr olan p ve n bölgelerinde gerçekleşir. Bu bölgelerdeki elektrik alanı fakirleşmiş bölgeye göre daha düşük olduğu için taşıyıcıların hareketleri yavaştır. Bu durum da $p-n$ fotodiyotlarını yüksek frekanslı uygulamalarda elverişsiz kılmaktadır. Fotodiyotun p ve n bölgelerinin arasına katkısız ya da düşük katkılı bir yarıiletken bölge yerleştirilerek $p-i-n$ fotodiyotları geliştirilmiştir. $p-i-n$ fotodiyotlarında fakirleşmiş bölgenin geniş olması fotonların çoğunun bu bölgede emilimine, bu da buradaki elektriksiz alanın kuvvetli olmasının sonucu olarak taşıyıcıların daha hızlı olmasına neden olur. Bununla beraber fakirleşmiş bölgedeki elektrik alanının yüksek olması, $p-i-n$ fotodiyotlarının ters yöndeki akımlarının, diğer bir deyişle karanlık akımlarının yüksek olmasına neden olur. Bu yüzden birçok optik haberleşme sistemi gibi yüksek hız gerektiren uygulamalarda $p-i-n$ fotodiyotları kullanılırken, yıldız ışığının algılanması gibi yüksek hassasiyet, yani düşük karanlık akımı gerektiren uygulamalarda $p-n$ fotodiyotları tercih edilir.

Şekil 2.9'da görüldüğü üzere optik ışıma altındaki bir fotodiyotun $i - v$ eğrisinin bir bölümü dördüncü bölgeye girmektedir. Bu da fotodiyotun aktif olarak çalıştığı bir bölgenin varlığına işarettir. Bu bölge fotovoltajik çalışma bölgesi olarak adlandırılır. Optik enerjiden elektrik enerjisi üreten güneş pilleri, fotodiyotları bu aktif bölgede çalıştırarak gerçekleştirilirler. Elektrik enerjisi üretimi uygulamalarında verimlilik önemli bir başarımlı olduğu için, güç kazancını en yüksek tutacak şekilde fotodiyot, akım ve geriliminin çarpımının azami olduğu noktada çalıştırılır. Fotodiyotun yükü buna dikkat edilerek seçilir.

2.2.2.3 Fototranzistor

Fototranzistor, akım kazancı sağlayan bir fotovoltajik optik algılayıcıdır. Çalışma ilkesi olarak, Şekil 2.11’de görüldüğü gibi, bir fotodiyotun bipolar bir tranzistora seri olarak bağlanmasına karşılık gelir. Bununla beraber, bipolar tranzistorun kolektör-baz jonksiyonu optik ışımaya açık olacak şekilde üretilerek gerçekleştirilir. Başka bir deyişle kuvvetlendirici olarak çalışan bir tranzistorun ters yönde kutuplanmış kolektör-baz jonksiyonu bir fotodiyot gibi optik ışımaya cevap vererek fotoakım üretir. Tranzistor kuvvetlendirmesiyle fotoakım, akım kazancı kadar bir çarpan ile büyür.



Şekil 2.11: Fototranzistorun Eşdeğer Devresi ve Gösterimi

Fototranzistor genellikle baz ucu açık devre olarak çalıştırılır ve bu nedenle fototranzistorların çoğu kolektör ve emetör olmak üzere iki uçlu olarak imal edilirler. Bu durumda kolektör ve emetör akımları eşit olur. Bir *n-p-n* fototranzistora dışarıdan uygulanan kolektör-emetör gerilimi pozitif değerli ve fototranzistorun doyma geriliminden yüksek olduğunda, ters yönde kutuplanan kolektör-baz jonksiyonunda üretilen taşıyıcı delikler baza girer, bu da elektronların emetörden toplanmasına neden olur. Baz akımı kolektör akımına eklenmiş olduğundan kolektör ve emetör akımları eşit olur. Fototranzistorun fotoakımı şu şekilde bulunabilir:

$$i_p = \beta \eta q E_e A_d \frac{\lambda}{hc} \quad (2.21)$$

Kolektör-baz jonksiyonunda üretilen karanlık akım da kuvvetlendirilerek emetörden akar. Karanlık akım ve fotoakım birlikte elemanın toplam akımını oluştururlar. Optik ışımaya altında karanlık akımın değeri küçük ve gerilime bağıllığı düşük olduğu için fototranzistor akımının gerilime bağıllığı azdır.

Bazı fototranzistörler baz ucu dışarı alınmış olarak imal edilirler. Bu şekilde üretilmiş bir fototranzistörün baz ve emetör uçları arasında dışarıdan bir direnç bağlanarak, düşük erkesel aydınlığa sahip optik ışıklar altındayken fototranzistörün ilettime girmesi engellenebilir. Aynı yöntem karanlık akımı azaltmak için de kullanılabilir. Bu topolojideyken kolektör-baz jonksiyonunda üretilen fotoakım, direncin üzerindeki gerilim baz-emetör jonksiyonunu ilettime sokabilecek değere ulaşmıca kadar fototranzistörün değil, direncin üzerinden akar. Bu ise özellikle sayısal bir çıkış işareti istendiğinde tercih edilebilir bir sonuçtur.

Fototranzistörlerde üretilen fotoakımın seviyesi birkaç miliampere kadar çıkabilir ve bu da sayısal devreler gibi birçok uygulama için yeterlidir. Bu yüzden ek bir kuvvetlendirmeye ihtiyaç duyulmaz. Fotoakım genellikle bir yük direnci ile gerilime dönüştürülür. Fototranzistörlerin akım kazançları ve üretim kolaylığının sonucu olan düşük maliyetleri birçok uygulamada fotodiyotlara nazaran daha çok tercih edilmelerini sağlar.

Bununla beraber fototranzistörün birçok önemli kusurları vardır. Kuvvetlendirme ile oluşan Miller etkisi nedeniyle fototranzistör, fotodiyota göre daha kötü bir dinamik davranış sergiler ve birkaç 100 kHz'ten daha yüksek frekanslı uygulamalarda yetersiz kalır [4]. Ayrıca yüksek dalga boyuna sahip ışınlar yüksek katkılı emetör bölgesinde önemli bir oranda emildiği için fototranzistörlerin yüksek dalga boylarında kullanımı yaklaşık 1100 nm ile sınırlıdır. Değişken akım kazancından dolayı fotodiyota göre doğrusallığının düşük, toleransı ve gürültüsünün yüksek olması fototranzistörün diğer olumsuz özellikleridir. Bu nedenlerden dolayı, yüksek frekans, yüksek dalga boyu, yüksek doğrusallık veya düşük gürültü gerektiren yüksek başarılı uygulamalarda fotodiyot tercih edilir.

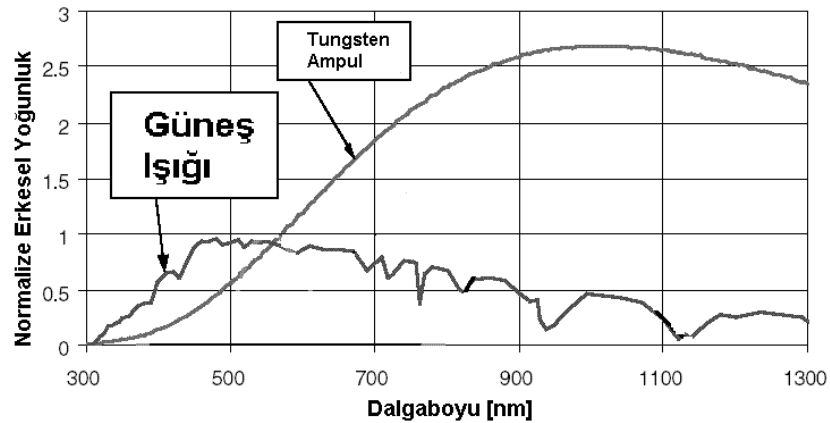
Akımı kuvvetlendirmek için ikinci bir tranzistör kullanılarak geliştirilen fotodarlington elemanı iki katlı kazanç yapısıyla çok daha yüksek kazançlıdır. Fotodarlington elemanı, giriş tranzistörü bir fototranzistör olan bir Darlington çiftidir.

3. LİTERATÜR VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Optik tuşlar, bu tuşların tasarımlarında karşılaşılan sorunlar, ve tuşların başarımları ile ilgili birçok uygulamalar ve bazı akademik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan uygulamaların bir kısmı bilginin korunması amacıyla patentler ile koruma altına alınmışlardır.

3.1 Optik Tuşların Çalışmasında Karşılaşılan Bozucu Etkiler

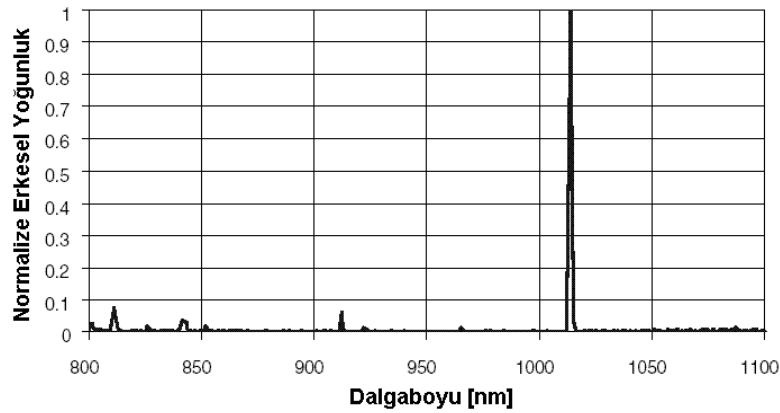
Optik tuşların tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, sistemin çalıştığı dalga boyu ve yakınında ışınım yapan dışarıdaki ışık kaynaklarının etkileridir. Bu kaynaklar algılayıcı elemanın fotoakımını yükseltirler. DC (Direct Current – Doğru Akım) ışık kaynakları fotoakımı sabit bir miktarda artırarak algılayıcının hassasiyetini düşürürler. En önemli DC ışık kaynakları güneş ve ampullerdir. Bu kaynaklarının görünür ışık bölgesinin yanı sıra kızıl-ötesi dalga boyunda olan bileşenleri de vardır. Şekil 3.1’de güneşin ve bir tungsten akkor lambanın genel bir durum için erkesel aydınlıklarının ışık tayfına göre yoğunlukları, görünür tayftaki güneş ışığına göre normalize edilerek gösterilmiştir. Görülebileceği gibi, kızıl-ötesi dalga boylarında lambanın etkisi güneşe göre daha fazla olmaktadır [7].



Şekil 3.1: Güneş ve Ampulün Işıma Tayfı [7]

AC (Alternating Current – Alternatif Akım) ışık kaynakları ise buna ek olarak algılayıcıdaki dalga şeklini bozabilirler. Flüoresan lamba ve televizyonlarda bulunan

CRT (Cathode Ray Tube – Katot Işın Tüpü) alternatif ışık kaynağı örnekleridir. Tipik bir flüoresan lambanın normalize edilmiş erkesel aydınlığını gösteren Şekil 3.2’den görüldüğü gibi, flüoresan lambaların ışıkları iki bileşenden oluşur. Işıyan malzemelerden yayılan birinci bileşen, çoğunlukla görünür dalga boyu bölgesinde ve neredeyse DC bir ışıktır. Gaz boşalmasından kaynaklanan ikinci bileşen ise 1014 nm dalga boyunda olan, DC bir bileşenin yanı sıra, şebeke frekansının ikinci ve daha yüksek harmoniklerini içeren periyodik bir işaret ile modüle edilmiş, kızıl-ötesi algılayıcıları önemli derecede etkileyen güçlü bir kızıl-ötesi ışıktır. CR tüpü ise genliği televizyondaki görüntüye göre rasgele değişen bir kaynaktır [7].



Şekil 3.2: Flüoresan Lambanın Kızıl-ötesi Işıma Tayfı [7]

Genellikle veri haberleşmesinde kullanılan ileri alıcı yapıları için, alternatif kaynakların frekanslarının sistemin taşıyıcı frekansından düşük olması durumunda, bu kaynakların oluşturduğu elektriksel işaretlerin etkileri, DC kaynakların etkileri gibi yüksek geçiren süzgeç ile önlenabilir. Fakat bir DC bileşeni olan çıkış geriliminin doğrudan bir mikrodenetleyicinin ADC (Analog-Digital Converter – Analog-Sayısal Çevirici) elemanı tarafından okunduğu basit donanımlı uygulamalarda değişken ışık kaynaklarının etkilerini önlemek güçleşir.

Vericinin kendisi de algılayıcının hassasiyetini düşüren diğer bir ışık kaynağı olabilmektedir. Bu durumun nedeni vericinin yaydığı, parmaktan yansıyan ışığın haricinde olan ve algılayıcıya ulaşan istenmeyen ışıklardır. Bu ışıkların bir bölümü doğrudan vericiden algılayıcıya ulaşır. Vericinin ve algılayıcının yüzeyleri birbirlerine bakmamalarına rağmen, elemanların kılıflarının içinden, yüzey normaline 90 dereceye yakın olan açılardaki kaçak ışınlar algılayıcıya ulaşır. Özellikle geniş yarı açılara sahip verici ve algılayıcılarda bu sorun daha önemli bir hale gelmektedir. Kartın yüzeyine, verici ve algılayıcı arasına, çalışılan dalga boyu

için ışığı emme özelliği yüksek olan bir malzeme yerleştirilerek bu sorunun önüne geçilebilir.

Vericiden algılayıcıya ulaşan istenmeyen ışınların diğer bir geliş yolu, kullanıcıyla elemanlar arasında bir engel oluşturan ürünün panelinden yansımadır. Panel her ne kadar ilgili dalga boyunda geçirgen bir yapıya sahip olsa da bir miktar ışığı geri yansıtabilir. Özellikle de, panelin üzerinde kir ve leke birikmesi bu etkiyi daha da artırır. Elemanların arasındaki ışığı emici malzemenin yüksekliği panele kadar ulaşıyorsa, panelden yansıyan ışığın miktarı düşürülebilir.

Optoelektronik elemanların üretimden kaynaklanan toleransları dikkat edilmesi gereken diğer bir önemli husustur. Verici LED'lerin akım – erkesel yoğunluk karakteristikleri % 50'ye varan tolerans değerlerine sahip olabilmektedir. Algılayıcılarda özellikle fototranzistörler gene yüksek toleranslı elemanlardır. Tabii olarak, elemanların toleransları ile maliyetleri arasında ters bir ilişki vardır.

LED akımında bir değişiklik olması da algılamayı etkileyen bir durumdur. Bu değişikliğin sebebi LED'i süren devrenin besleme kaynağındaki değişim ve LED akımının sıcaklık ile artması olabilir. Besleme kaynağının şebeke girişimi taşıması durumunda bu sorun daha belirgin olur.

Bütün sistemlerde olduğu gibi optik tuşlarda da gürültü dikkat edilmesi gereken diğer bir konudur. Verici ve alıcı devrelerin gürültülerinin yanı sıra, dış ışık kaynaklarından gelen gürültü de çalışmayı etkiler. Gürültünün yüksek frekanslı bileşenleri bir alçak geçiren süzgeç ile kolayca engellenebilir.

Bütün bu bozucu etkilerin sonucu olarak tuşun konumunun algılanmasında hatalar oluşabilir. Oluşabilecek hatalar iki gruba ayrılabilir. Birinci durum tuşa basılıyken parmağın yokluğuna karar verilip tuşun işlev görmemesi, ikinci durum ise tuşa basılı değilken parmağın varlığına karar verilip bir işlevin yanlış bir şekilde harekete geçmesi şeklindedir.

3.2 İşaretin Parametrelerinin Belirlenmesi

Optik tuşlar gerçekleştirilirken verici ve alıcı arasında yol alan işaretin DC yerine AC olmasının, başka bir deyişle tuşun durumunun sürekli olarak denetlenmesinden dolayı belirli zaman aralıklarıyla denetlenmesinin önemli yararları vardır. Bu durum tuşlar arasında zaman bölmeli çoğullama yapmaya imkan vererek, hem alıcı tarafında

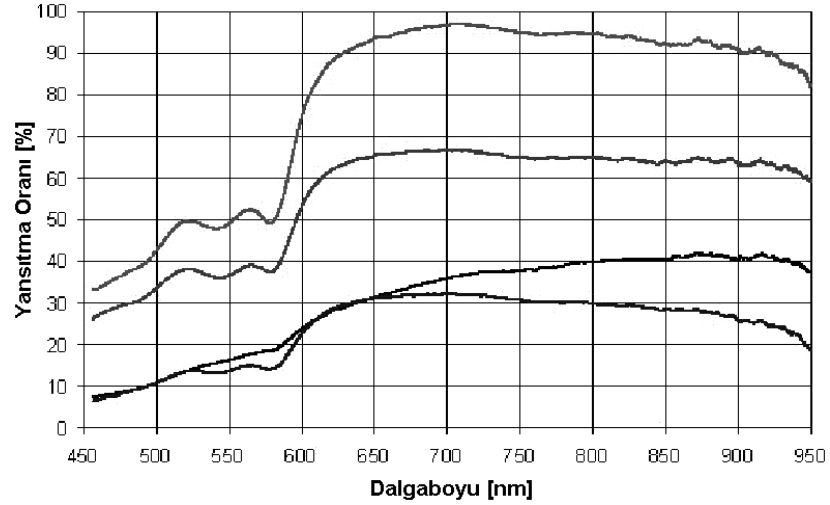
mikrodenetleyicinin daha az ucunun kullanılmasını sağlar, hem de vericilerin toplam güç harcamasını önemli ölçüde düşürür.

En uygun eleman olması sebebiyle verici olarak kullanılan LED'lerin bir mikrodenetleyici tarafından sürülmesi, gönderilen ve alınan işaretlerin eş zamanlılığını ve donanım kolaylığını sağladığı için tercih edilir. Sürücü işaretin dalga şekli, tuşun konumunun kararı aşamasındaki hata oranını etkileyen, önemli bir parametredir.

Milivojevic, Mirkovic ve Stefanovic [8] tarafından yapılan çalışmada farklı dalga şekline sahip optik işaretlerin değişik ortam ışığı seviyeleri altında başarımları deneyler sonucu belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu deney için, dokunmayla çalışan bir optik panel ara yüzü kullanılmıştır. Ara yüzde, yatay ve düşey doğrultuda, birbirlerine bakan verici-algılayıcı çiftleri aralarındaki kızıl-ötesi ışıkların kesilmesi ile parmağın panel üzerindeki konumu saptanır. Verici-algılayıcı çiftlerin durumlarının denetiminde verici, çok sayıda darbe ile sürülmüş ve her bir darbe için algılayıcıdan ölçülen değerler toplanmıştır. Bu şekilde hata olasılığı düşürülmüş olmaktadır. Kullanılan sistemin karar verme birimi için, ortam ışığının neden olduğu gürültü Gauss gürültüsü ve parmağın tuşun üzerinde bulunma olasılığı 0.5 olarak kabul edilerek toplam hata olasılığını en düşük değerinde tutacak bir eşik değeri belirlenmiştir. Ortam ışığının benzetimi ise bir lamba ile yapılmıştır. Deneyin sonucunda başta logaritma fonksiyonu olmak üzere, asimetric darbe şekillerinin simetric olanlara göre daha küçük hata olasılıkları ürettikleri gözlenmiştir. Simetric dalga şekilleri arasında ise dikdörtgen fonksiyonun, üçgen, sinüs, vb. fonksiyonların yanında en küçük hatayı verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara dayanarak, asimetric fonksiyonların üretiminin fazladan bir donanım gerektirdiği de göz önüne alındığında, doğrudan mikrodenetleyici veya diğer sayısal devre elemanları tarafından üretilebilen dikdörtgen darbe şeklinin optik işaret için çok iyi bir seçenek olduğu söylenebilir.

Tuşlardaki optik işaretin dalga boyunun belirlenmesinde en önemli etken insan parmağının optik ışıkları yansıtma karakteristiğidir. Şekil 3.3'te bu karakteristiğin dalga boyuna göre değişimi değişik meyiller için gösterilmiştir [9]. Görüldüğü üzere yaklaşık 590 nm dalga boyuna kadar mavi ve yeşil ışık bölgesinde yansıtma düşüktür. Yansımının yüksek olduğu bölge kırmızı ve kızıl-ötesi dalga boyu bölgeleridir. Bu

bölgelerdeki yansıtma büyük oranda parmağın içinde dolaşan kandan gerçekleşir. Bu nedenle bu karakteristik derinin renginden bağımsızdır.



Şekil 3.3: Parmağın Optik Yansıtma Karakteristiği [9]

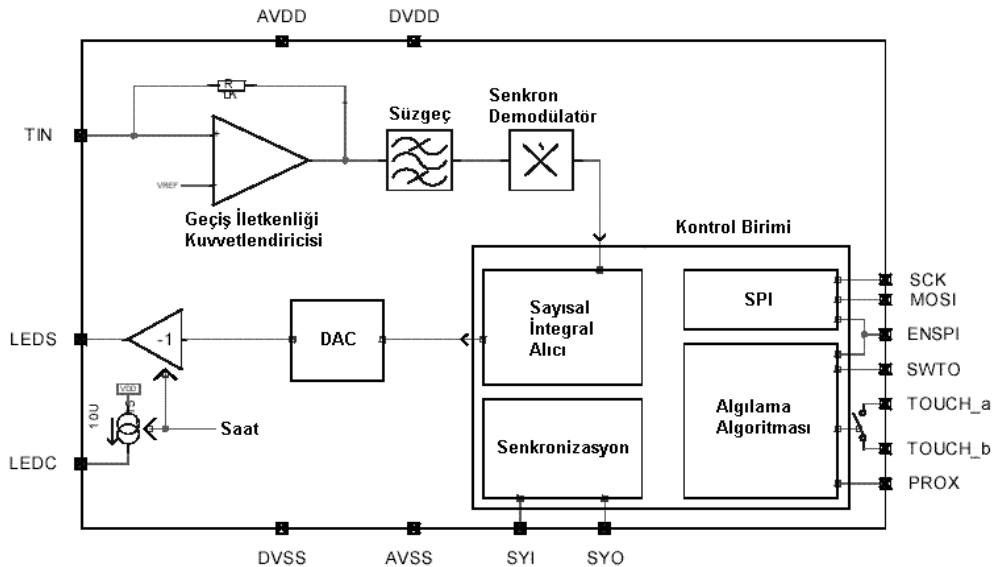
Kırmızı ışık bölgesi yansıtma karakteristiği bakımından uygun olmasına rağmen, görünür ışık bölgesinde olduğu için kullanıcıyı rahatsız edebilir. Bunun yanı sıra kullanıcının giyebileceği bazı eldiven türleri için kızıl-ötesi bölgesine göre çok daha düşük bir yansıtma oranına sahiptir. Elemanların elde edilebilirliği ve maliyetleri de düşünüldüğünde çalışma için en uygun dalga boyu bölgesinin yakın kızıl-ötesi bölgesi olduğu ortaya çıkar. Bu bölgede çalışan LED'ler (IRED'ler) GaAs, fotodiyot ve fototranzistörler ise Si malzemeleri kullanılarak imal edilirler.

İnsan parmağının en yaygın olarak kullanılan ve birçok uygulama için doğruluğu yeterli olan optik modellerinden biri Lambert modelidir [10, 11]. Bu modele göre üzerine ışık gelen parmak, bu ışığı bir Lambert ışığı olarak dağıtır. Bu da gelen ışık tek doğrultuda olsa da parmağın yarı açısı 60 derece olan, erkesel yoğunluğu Denklem (2.14) ile gösterilebilecek bir kaynak gibi davranacağını gösterir. Parmağın bu özelliğinden dolayı, optik tuşlarda optik gücün daha verimli olarak kullanılabilmesi için fototranzistör yarı açısının IRED yarı açısından daha büyük olması tercih edilir.

3.3 Optik Tuş Tasarımı Örnekleri

Bu bölümde daha önce yapılmış bazı optik tuş uygulamaları tanıtılacaktır.

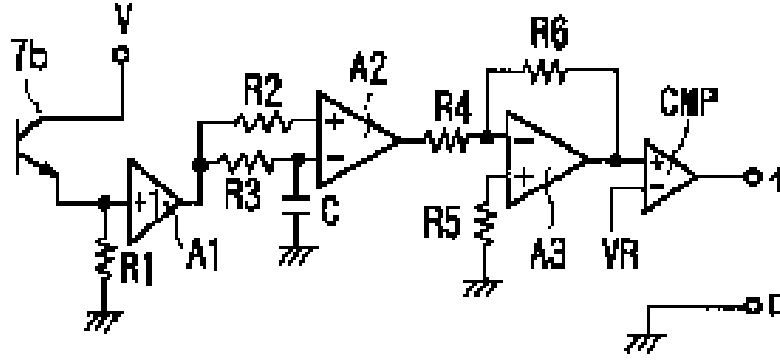
ELMOS firması tarafından geliştirilen HALIOS® (High Ambient Light Independent Optical System – Ortam Işığından Bağımsızlığı Yüksek Optik Sistem) tekniği [9] ve bu tekniği kullanan E909.01 adlı tümdevre [12], ortamın ve vericinin bozucu ışığının tuş üzerindeki etkilerinin giderilmesi için yapılan çalışmalardan biridir. E909.01 tümdevresinin blok şeması Şekil 3.4’te görülmektedir. Bu teknikte bozucu ışıkların kompanzasyonu amacıyla, verici LED (LEDS) ile birlikte, algılayıcı eleman olan fotodiyota doğrudan ışık yayacak biçimde konumlandırılmış bir kompanzasyon LED’i (LEDC) kullanılmıştır. Verici ve kompanzasyon LED’leri ölçümün bir periyodunun farklı fazlarında, kontrollü birer DC akım kaynağı ile sürülerek çalıştırılırlar. Fotodiyotun fotoakımını gerilime dönüştüren geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisinin çıkışından alınan gerilimin iki ayrı fazdaki değerlerinin farkı alınır. Bu fark bir geri-besleme ile kompanzasyon LED’inin sürücü akımını kontrol eder. Kompanzasyon LED’inin çalışma fazında elde edilen gerilim diğer fazdaki gerilimden küçükse kompanzasyon LED’inin akımı ve dolayısıyla yaydığı ışık artırılarak gerilim farkı düşürülür. Böylece negatif geri-beslemeli bir çevrim ile fazlar arasındaki gerilim farkı sıfırlanır.



Şekil 3.4: E909.01 Tümdevresinin Blok Şeması [12]

Sistemin ilk çalışmasından sonra tuşa parmağın dokunmasıyla verici LED’den alınan ışığın artmasıyla denge bozulur. Oluşan gerilim farkı bir sayısal integral alıcıya

gönderilir. İntegral alıcının çıkışındaki oluşan ve aynı zamanda bir DAC (Digital-Analog Converter – Sayısal-Analog Çevirici) ile kompanzasyon LED'inin akımını kontrol eden değerin büyüklüğü ve zamana göre değişimi kontrol birimi tarafından hesaplanarak parmağın konumu, tuşa yaklaşma hızı, ivmesi ve tuş üzerinde bekleme süresi belirlenir. Bu sayede parmak basma olayı dışında tuşu harekete geçirebilecek diğer bazı etkenlere karşı da önlem alınmış olur. Tuşun karar verilen durumu elemanın çıkış uçlarından dışarıya verilir. Ya da bir veri haberleşmesi protokolü olan SPI (Serial Peripheral Interface – Seri Çevresel Arabirim) kullanılarak, kontrol biriminin yazmaçlarında tutulan elemanın konumu, tuşa ilişkin parametreler gibi veriler dışarıya iletilebilir. Birden fazla tuş olması durumunda, diğer tuşlarla senkronizasyon ilgili birim tarafından sağlanabilir.

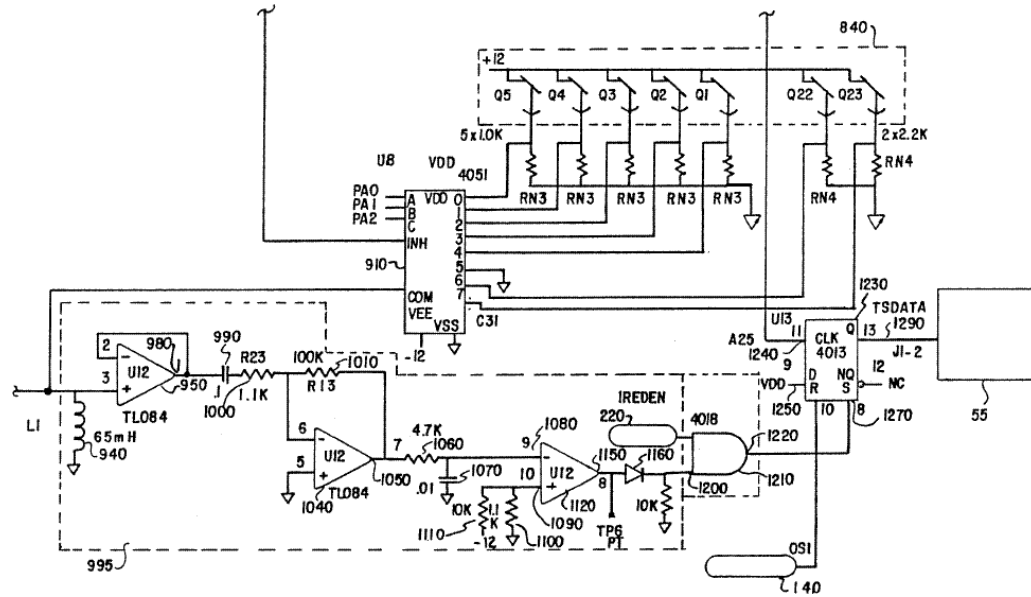


Şekil 3.5: Bozucu İşaretlerin Çıkarılması [13]

Ortam ışığının etkisinin giderilmesi için diğer bir teknik Kazuhide [13] tarafından geliştirilmiş ve bir oyun makinesinin kullanıcı ara yüzündeki optik tuşlarda kullanılmıştır. Tuşun verici kısmı seri bir direnç üzerinden bir kare dalga ile sürülen bir IRED olan optik tuşun alıcı devresi Şekil 3.5'te görülmektedir. Algılayıcı eleman olarak bir fototranzistor (7b) kullanılmıştır. Fototranzistorun yük direnci (R1) ile emetör çıkışlı bir kat oluşturularak, fotoakım gerilime dönüştürülmüştür. Empedans uygunluğunu sağlamak amacıyla kullanılan ayırıcının (A1) ardından bir direnç (R3) ve bir kondansatörle (C) oluşturulan bir alçak geçiren süzgeç ile algılayıcıda elde edilen işaretin yüksek frekansta bulunan sürücü işarete ait bileşenleri bastırılıp, geriye DC ve gerilim şebeke frekansının alçak frekanslı harmoniklerinden oluşan, bozucu ışık kaynaklarının etkileriyle oluşan istenmeyen bileşenler bırakılmıştır. Bu istenmeyen bileşenler bir fark kuvvetlendiricisi (A2) ile ilk alınan işareten çıkarıldığında, sürücü işaretin dalga şekli olan kare dalga elde edilmiştir. Elde edilen kare dalganın seviyesi bir işlemsel kuvvetlendirici (A3) ile oluşturulan eviren bir

kuvvetlendirici ile yükseltilerek bir gerilim karşılaştırıcı (CMP) ile sabit bir gerilim (VR) ile karşılaştırılmıştır. Gerilim karşılaştırıcının çıkışında, tuşun konumuna ilişkin, parmağın varlığı için lojik 0, yokluğu için lojik 1 şeklinde olan sayısal bir veri alınır.

Kilbourn ve McClelland [14] tasarladıkları dokunma ile çalışan optik bir ekranda bozucu işaretlerin yüksek geçiren süzgeç ile bastırılması tekniğini uygulamışlardır. Çoğu optik ekranda olduğu gibi, verici ve algılayıcı çifti olan elemanlar, optik tuşlardakinin aksine, birbirlerini görecek şekilde yerleştirilmiştir. İletilen ışığın kesilmesi parmağın varlığına işarettir. Verici IRED'ler ve algılayıcı fototranzistörler iki boyutlu ekranın yatay ve dikey koordinat eksenlerinin karşılıklı kenarlarına yerleştirilmişlerdir. Zaman bölmeli çoğullama ile IRED'ler bir mikrodenetleyicinin sürücü kapıları tarafından sırayla aktif hale getirilirken, birer direnç ile yüklenmiş fototranzistörlerin çıkış gerilimleri de aynı sürücü kapılar ile sırayla seçilerek bir ölçüm devresine giriş olarak verilir. 35 adet algılayıcı fototranzistörün sadece bir kısmını ve ölçüm devresini gösteren, alıcı devresinin bir bölümü Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6: Bozucu İşaretlerin Bastırılması [14]

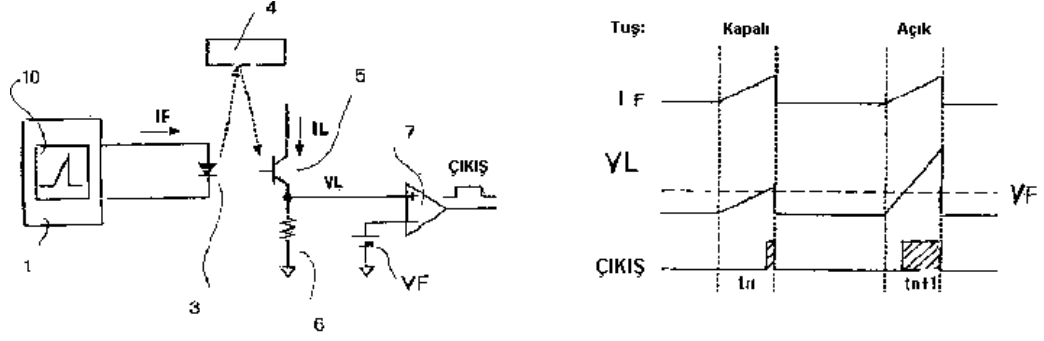
Fototranzistör çıkışları bir analog çoğullayıcı tümdevresi olan 4051 (910) ile seçilmektedir. Şekilde gösterilmeyen fototranzistörlere ilişkin analog çoğullayıcıların ortak uçları (COM) da aynı düğüme bağlıdır. Çoğullayıcıların adres seçme girişleri (PA0, PA1, PA2) ortak olup, etkinleştirme girişleri (INH) farklıdır. Bu şekilde her

bir zaman aralığında istenilen fototranzistorun gerilimi okunabilmektedir. Vericilerden gönderilen işaret 2 kHz frekansındadır. Ölçüm devresinin (995) girişindeki endüktans (940) fototranzistorların yük dirençleriyle birlikte bir yüksek geçiren süzgeç görevi görür. Bu sayede alçak frekanslı bozucu işaretler bastırılır. Bir ayırıcının (950) ardından bir kondansatör (990), iki direnç (1000, 1010) ve bir işlemsel kuvvetlendirici (1040) ile kutbu 1.5 kHz frekansında olan bir yüksek geçiren süzgeç oluşturularak işaretin alçak frekanslı bileşenleri bastırılmış, ve işaret kuvvetlendirilmiştir. Daha sonra sıfırı 3.3 kHz frekansında olan bir alçak geçiren süzgeç (1060, 1070) ile işaret yüksek frekans gürültüsünden arındırılmış, gerilim bölücü dirençler (1110, 1100) ile bir işlemsel kuvvetlendiriciden (1120) oluşan bir gerilim karşılaştırıcı yardımıyla işaret değeri sabit bir gerilim ile karşılaştırılmış ve tuşun konumu belirlenmiştir. Bu bilgi tuşları aktif hale getiren bir denetleme işaretiyle (IREDEN) VE kapısına sokulup, bir ikili devre (1230) yardımıyla mikrodenetleyici ile senkronize edilerek sonuç işareti elde edilmiştir.

Lucas ve Garrett [15] tarafından yapılan çalışmada ise, ışığın kesilmesi ilkesi ile çalışan bir optik ekrandaki DC bozucu kaynakların etkilerini yok etmek için bir yazılım önlemi alınmıştır. Algılayıcı fototranzistorların kolektör çıkışlı yük dirençlerinde oluşan gerilimler, anahtarlama ile doğrudan bir mikrodenetleyicinin içinde bulunan analog-sayısal çeviricinin girişine bağlıdır. Her bir ölçümden önce verici IRED kapatılarak alıcıda oluşan gerilim okunur. Bu gerilim büyük oranda ortam ışığının etkisiyle oluşmuştur. Daha sonra IRED açılır ve okunan yeni gerilim ile önceki gerilimin değerleri arasındaki fark mikrodenetleyicinin yazılımı ile hesaplanır. Bu fark, fototranzistorun doymaya girip girmemesine göre değişik şekillerde değerlendirilir. Doymaya girmediği zaman, fark dinamik bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Buna göre ışığın kesilip kesilmediğine karar verilir. Işığın kesilmemesine karar verilirse eşik değeri güncellenerek ilgili algılama çifti için koşulların değiştiği varsayılır. Fototranzistor doymaya girmişse, fark sabit bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Eşik değerinden küçükse ışığın kesildiğine karar verilir. Değilse, doymaya girmeme durumu için kullanılan dinamik eşik değeri güncellenir. Bu şekilde sistemin yakınsaması sağlanır.

Toshiyuki ve Toru [16] yaptıkları optik tuş çalışmasında IRED'in sürücü işareti olarak testere dişi dalgası şeklinde bir işaret kullanmışlardır. Devre şeması ve işaret dalga şekilleri Şekil 3.7'de görülmektedir. Yük direncinde (6) oluşan gerilim (VL)

dalga şekli IRED (3) sürücü işaretine (IF) benzeyen, genliği parmağın varlığıyla artan bir işarettir. Bu gerilim bir karşılaştırıcı (7) ile sabit bir gerilimle (VF) karşılaştırılarak darbe süresi parmağın (4) konumuna bağlı olan bir kare dalga (ÇIKIŞ) elde edilir. Başka bir deyişle, parmağın konumu ile modüle edilmiş bir PWM (Pulse Width Modulation – Darbe Genlik Modülasyonu) işareti elde edilir.



Şekil 3.7: Optik Tuşta Darbe Genlik Modülasyonu [16]

4. OPTİK TUŞ TASARIMI

Vericinin sürülmesi ve algılayıcının çıkış işaretinin analog değerinin okunması işlemleri 8-bitlik bir CMOS mikrodenetleyici olan Atmel firmasının ATmega8L [17] elemanı tarafından gerçekleştirilen, 5V değerinde DC bir gerilim ile beslenen, 3 tuşlu bir optik tuş devresi tasarlanmıştır.

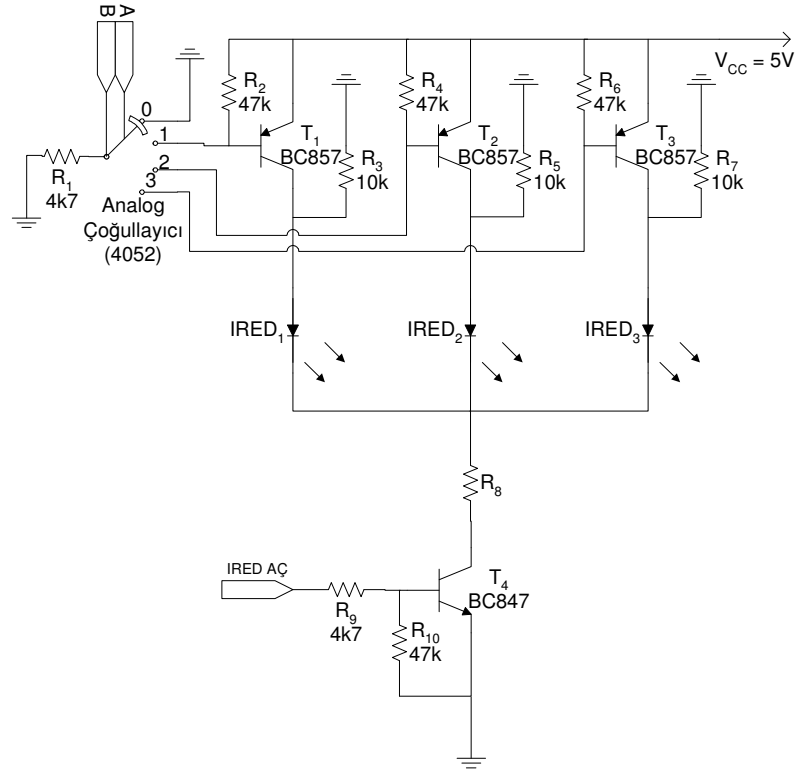
Tuşlardan beklenen başarıyı sağlamaya yetecek şekilde, verici eleman olarak IRED'ler, algılayıcı eleman olarak 2 uçlu, $n-p-n$ fototranzistörler kullanılmıştır. Her bir tuş birer IRED ve fototranzistörden oluşmaktadır. Devrenin çalışma işareti kare dalgadır. Tuşların sürülmesinde zaman bölmeli çoğullama tekniği kullanılmıştır. Her bir tuş farklı zaman dilimlerinde sürülüp ölçülmektedir. Bu sayede devrenin harcadığı güç miktarını büyük oranda belirleyen IRED'ler üzerinden akan toplam akım miktarı düşürülerek devrenin güç harcaması azaltılır. Ayrıca zaman bölmeli çoğullamanın diğer yararları, devrenin sayısal sürücü işaretlerinin kodlanarak daha az mikrodenetleyici çıkış kapısı kullanılabilmesi olanağını vermesi ve bir tuşa ait optik ışığın diğer tuşların algılayıcılarını etkilemesini önlemesidir.

4.1 Devre Donanımının Tasarımı

Verici devresinin şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

IRED'lerin çoğullanması işlemi için, iki yönlü olarak kullanılabilen, 2 adres girişi (B, A), 1 denetim girişi ve her biri 4-kanallı olan bir çift analog çoğullayıcı / çoğullama çözücü bulunduran, standart bir 4052 tümdevresinin kılıfının içindeki çoğullama çiftinden biri kullanılmıştır. Kullanılan tümdevrenin numarası HCF4052B [18], üretici firması STMicroelectronics'dir. Tümdevredeki 0 numaralı kanallar kullanılmamaktadır ve gürültülerinin diğer kanalları etkilememeleri için toprağa bağlanmışlardır.

Optik tuşlarda IRED akımı birkaç on miliamper mertebesindedir. Standart 4052 tümdevresinin giriş – çıkış uçları bu akımı sağlayamayacağı için, IRED'ler anahtar olarak çalıştırılan birer $p-n-p$ tranzistör (T_1 , T_2 , T_3) üzerinden sürülmüştür. Kullanılan sürücü tranzistörler Philips firmasının ürettiği BC857 [19] elemanıdır.



Şekil 4.1: Verici Devresi

Analog çoğullayıcının adres girişleri ile bir IRED'e ait kanal seçildiğinde, o kanal R_1 direncine bağlanmış olur. Çoğullama tümdevresinin iletim direnci R_1 direncinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Seçilen kanala ait sürücü tranzistor açılarak iletme geçer. Bunun üzerine seçili tuşun IRED'i üzerinden, değeri IRED'in iletim yönündeki gerilimi, tranzistorların doyma gerilimi ve bütün IRED'ler tarafından ortak olan kullanılan R_8 direnci tarafından belirlenen bir akım akar. IRED akımı şu denklemle hesaplanabilir:

$$i_{IRED} = \frac{V_{CC} - V_{IRED} - V_{satp} - V_{satn}}{R_8} \quad (4.1)$$

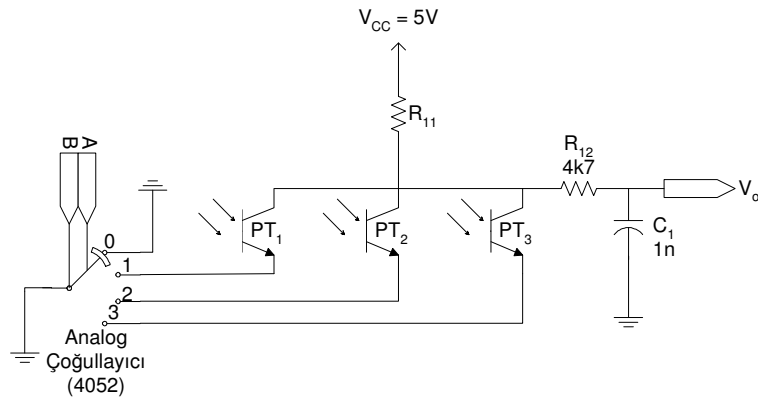
IRED akımının büyüklüğü yaklaşık doğrusal olarak tuşun hassasiyetini belirler, bununla birlikte bu akımın artması devrenin güç harcamasını da artırır.

Bütün IRED'lerin tek bir mikrodenetleyici çıkışı ile kapatılabilmesi amacıyla devreye seri olarak, anahtarlamalı çalıştırılan, Philips firmasının ürettiği bir $n-p-n$ tranzistoru olan BC847 [20] (T_4) bağlanmıştır. Normal çalışmada lojik 1 değerinde olan ilgili mikrodenetleyici çıkışının lojik 0 olmasıyla bütün tuşların vericileri

kapatılmış olur. Bu özellik, yazılım ile ortam ışığının etkisinin saptanmasında kullanılır.

IREĐ'lerden herhangi birinin üzerinden akım aktığı, başka bir deyişle bir tuşun etkin olduğu durumda, IREĐ'lerin ortak katot düğümünün gerilimi 0V değerinden *p-n-p* tranzistorunun doyma gerilimi ve IREĐ'in iletim yönü gerilimi ile belirlenen bir değere yükselir. Bu ise etkin olmayan IREĐ'lerin ters yönde kutuplanmasına yol açar. Ters yönde kutuplanmış bir IREĐ'in kaçak akımı, kendi sürücü tranzistorunu çalışmasına ters yönde bir akım akıtmaya zorlar. Bu durumun önüne geçmek için sürücü tranzistorların kolektör uçları ile toprak arasına birer direnç (R_3 , R_5 , R_7) bağlanmıştır. Dirençlerin değeri etkin durumda üzerlerinden akan akımı önemsiz kılacak kadar büyüktür.

Alıcı devresinin şeması Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Alıcı Devresi

Alıcı devresinin çıkış işaretinin ölçümü mikrodenetleyicinin analog-sayısal çevirici birimi tarafından gerçekleştirilir. Fototranzistörlerin anahtarlamalı olarak ölçülmeleri bütün tuşlar için tek bir mikrodenetleyici giriş kapısı kullanma olanağı verir. Fototranzistörler aynı yük direncini (R_{11}) kullanabilmeleri için anahtarlama işlemi ile sırayla ilettime sokulmuşlardır. Etkin tuşa ilişkin fototranzistörün emetör ucu toprağa kısa devre edilerek üzerinden akım akabilmesi sağlanmıştır.

Fototranzistörlerin anahtarlama işlemi 4052 tümdevresinin içindeki diğer çoğullama elemanı kullanılmıştır. Seçilen kanal toprağa bağlı ortak uca kısa devre edilir. Çoğullama tümdevresinin iletim direnci yük direncinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Kanalların tuşların fototranzistörlerine bağlanması IREĐ'lerdeki ile aynı sıradadır. Ayrıca iki çoğullayıcı ortak adres girişlerine sahiptir.

Bu şekilde herhangi bir tuşa ait IRED ve fototranzistörün aynı zaman diliminde etkin olması sağlanır.

Akan akım yük direnci üzerinde gerilim oluşmasına, bu da fototranzistörlerin ortak kolektör düğümünün geriliminin ölçüm anında 5V değerinden akım ile yük direncinin çarpımı kadar düşmesine yol açar. Çıkış geriliminin ölçüm anındaki değeri şu denklemlerle hesaplanabilir:

$$V_0 = V_{CC} - R_{11} \cdot i_p \quad (4.2)$$

Fototranzistör akımı büyük ölçüde fotoakımdan oluşur. Işığın yansımalarıyla çalışan optik tuşlarda fotoakım birkaç yüz mikroamperden küçüktür. Bunun dışındaki ihmal edilen bileşen, nanoamper mertebesinde olan fototranzistörün karanlık akımıdır.

Denklem (4.2)'den görülebileceği gibi yük direncinin büyüklüğü optik tuşun hassasiyetiyle doğru orantılıdır. Hassasiyeti arttırmak için yük direnci artırılabilir. Fakat bunu yaparken fototranzistörün ölçüm aralığındaki azami akımdan küçük akımlar için doymaya girmemesine dikkat edilmelidir. Yük direncinin büyümesi doymaya girme akımının değerini düşürür. Ayrıca yük direncini artırmanın diğer bir olumsuz etkisi fototranzistörün yükselme ve düşme sürelerinin artmasıdır. Bu da devrenin çalışma hızı sınırını düşürür.

Alıcı devresinin çıkışındaki yüksek frekans gürültüsünü bastırmak için işaret mikrodenetleyiciye gönderilmeden önce birinci dereceden bir alçak geçiren RC süzgeci kullanılmıştır. Bir direnç (R_{12}) ve bir kondansatörden (C_1) oluşan süzgecin kesim frekansı:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R_{12} \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 4.7k\Omega \cdot 1nF} \cong 34kHz \quad (4.3)$$

olur. Mikrodenetleyicinin giriş kapasitesinin empedansı yeterince büyük olduğu için devrenin çalışmasını önemli ölçüde etkilemez.

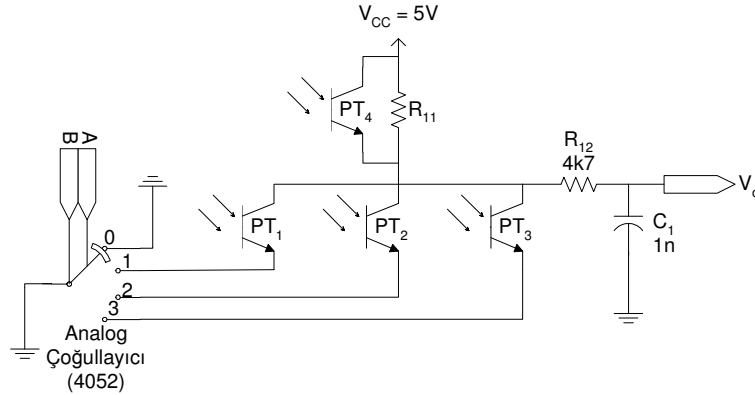
4.1.1 Ortam Işığının Donanımla Kompanzasyonu

Ortam ışığının etkisinin bir yazılım yöntemiyle giderilmesi etkili bir çözümdür. Bunun için ölçüm zaman dilimleri dışındaki bir zaman diliminde, IRED'ler yazılım ile kapatılarak alıcı devresinden, sadece ortam ışığının etkisiyle oluşan değer,

okunarak kaydedilir. Ölçümler esnasında da bu değer ölçüm değerlerinden çıkarılıp aradaki fark yorumlanarak tuşun konumuna karar verilir.

Bu yöntem uygulaması basit ve etkili olmakla birlikte, ortam ışığının bazı halleri için yetersiz kalmaktadır. Flüoresan lambaların ışığı gibi, AC bileşenlere sahip işaretlerle modüle edilmiş bozucu ışıklar çıkış geriliminde sabit bir seviye düşümünün yanı sıra, dalga şeklini de bozup ölçüm zaman diliminde gerilimin sabit kalmamasına neden olurlar. Bu nedenle her zaman diliminde farklı bir etki gösteren bu ışık bileşenleri yukarıda anlatılan yazılım yöntemiyle kompanze edilemez. Bu yöntemin diğer bir olumsuz özelliği ise kompanzasyonun belirli bir erkesel aydınlık değeri ile sınırlı olmasıdır. Eğer ortam ışığı tek başına fototranzistörü doyma bölgesine sokmaya yetecek kadar kuvvetli bir erkesel aydınlığa sahipse, okunan değerler farkı her durumda sıfır olacağı için sadece bu yöntemle kompanzasyon yapılamaz.

Şekil 4.3'te görülen yöntemle, alıcı devresine bir fototranzistör daha ekleyerek değişik bir kompanzasyon yöntemi kullanılmıştır.



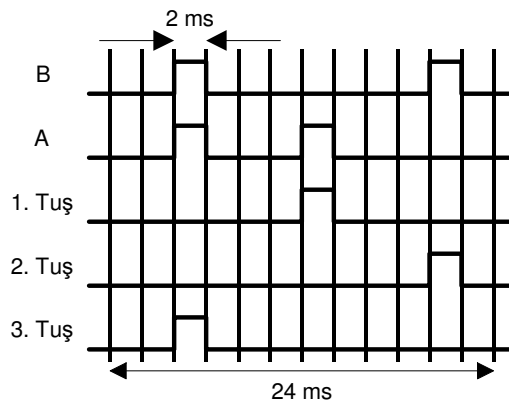
Şekil 4.3: Ortam Işığının Donanımla Kompanzasyonu

Kompanzasyon fototranzistörü (PT₄) yük direncine paralel olarak bağlanmıştır. Amaç, algılayıcı fototranzistörlerin fotoakımlarının ortam ışığı tarafından oluşturulan bileşenleri ile aynı miktarda fotoakımı kompanzasyon fototranzistörünün üzerinden akıtıp, bu akımı algılayıcı fototranzistörlerin fotoakımlarından çıkararak, yük direncinin üzerinden, fotoakımın sadece IRED'lere ilişkin bileşeninin akmasını sağlamaktır. Bu sayede DC ve AC ortam ışıklarının etkileri alıcı devrenin çıkış geriliminde görülmecektir. Bunun için kompanzasyon fototranzistörünün, algılayıcı fototranzistörlerle aynı erkesel aydınlık – fotoakım karakteristiğine sahip

olması ve devre kartı üzerine parmaktan yansıyacak IRED kaynaklı ışıkları görmeyecek şekilde yerleştirilmesi gerekir.

Bu yöntemin sakıncalarından biri algılayıcı ve kompanzasyon fototranzistörlerinin üzerlerindeki erkesel aydınlıkların aynı olması gerekliliğidir. Işık kaynağının devreye yakın olması durumunda ise bu şart sağlanamaz. Bunun nedeni ışığın her bir fototranzistöre uzaklığının ve görüş açısının kısa mesafeler için eşit olarak kabul edilememesidir. Uzaklıkların farklı olması Şekil 2.4'ten de görülebileceği üzere erkesel aydınlıklar arasında önemli bir fark oluşturur. Böyle bir durumda iki farklı sonuç oluşabilir. Kompanzasyon fototranzistörünün üzerindeki erkesel aydınlık, algılayıcı fototranzistöründen düşükse, ortam ışığının donanım ile kompanze edilemeyen kısmınının DC bileşeninin etkisi yazılım yöntemiyle kompanze edilebilir. Fakat kompanzasyon fototranzistörü daha yüksek bir erkesel aydınlığa sahipse, bu durumda kompanzasyon fototranzistörü parmağın yokluğunda doymaya girecek ve aradaki farkın IRED tarafından karşılanma zorunluluğu olduğundan optik tuşun hassasiyeti düşecektir. Bununla birlikte, bu durumun hatalı bir etkinleşmeye sebebiyet vermemesi sonucun daha kötü olmamasını sağlar. Yöntemin diğer bir olumsuz tarafı, tuşa dokunan parmağın, algılayıcı fototranzistörün üzerine düşen ortam ışığını gölgeleyerek etkisini azaltmasıyla fotoakım dengesini bozma olasılığıdır. Bu nedenlerden dolayı, bu yöntemin kullanılmasından önce yukarıda belirtilen durumların önemli bir sorun çıkarmadıkları temin edilmelidir.

4.2 Mikrodenetleyici Yazılımının Tasarımı



Şekil 4.4: Tuşların Etkinleştirilme Zamanlaması

Optik tuşların bir ölçüm periyodu süresince sürülme zamanlamasını gösteren grafik Şekil 4.4'te verilmiştir. Tuşların etkinleştirilmesine ait dalga şekilleri aynı zamanda IRED akımlarının, dolayısıyla da optik işaretlerin dalga şekilleridir.

Tuşların her biri 2 ms süreli kare dalga darbeleriyle sürülmektedir. Her bir tuşun etkin olmasından sonra 6 ms bekleme süresi vardır. Bir ölçüm periyodu 24 ms'dir. Önce 3, sonra 1, daha sonra da 2 numaralı tuşlar etkinleştirilirler. Mikrodenetleyicinin analog çoğullayıcıyı sürerek tuşları adresleme amacıyla kullanılan adres çıkışlarının değerleri etkinleştirilecek tuşa göre belirlenir. Boşluk süreleri için analog çoğullayıcının kullanılmayan kanalı seçilir. Tablo 4.1'de adresleme çıkışlarının lojik değerlerinin kombinasyonlarının tuşlarla ilişkilendirmesi görülmektedir.

Tablo 4.1: Adresleme Çıkışlarının Tuşları Denetimi

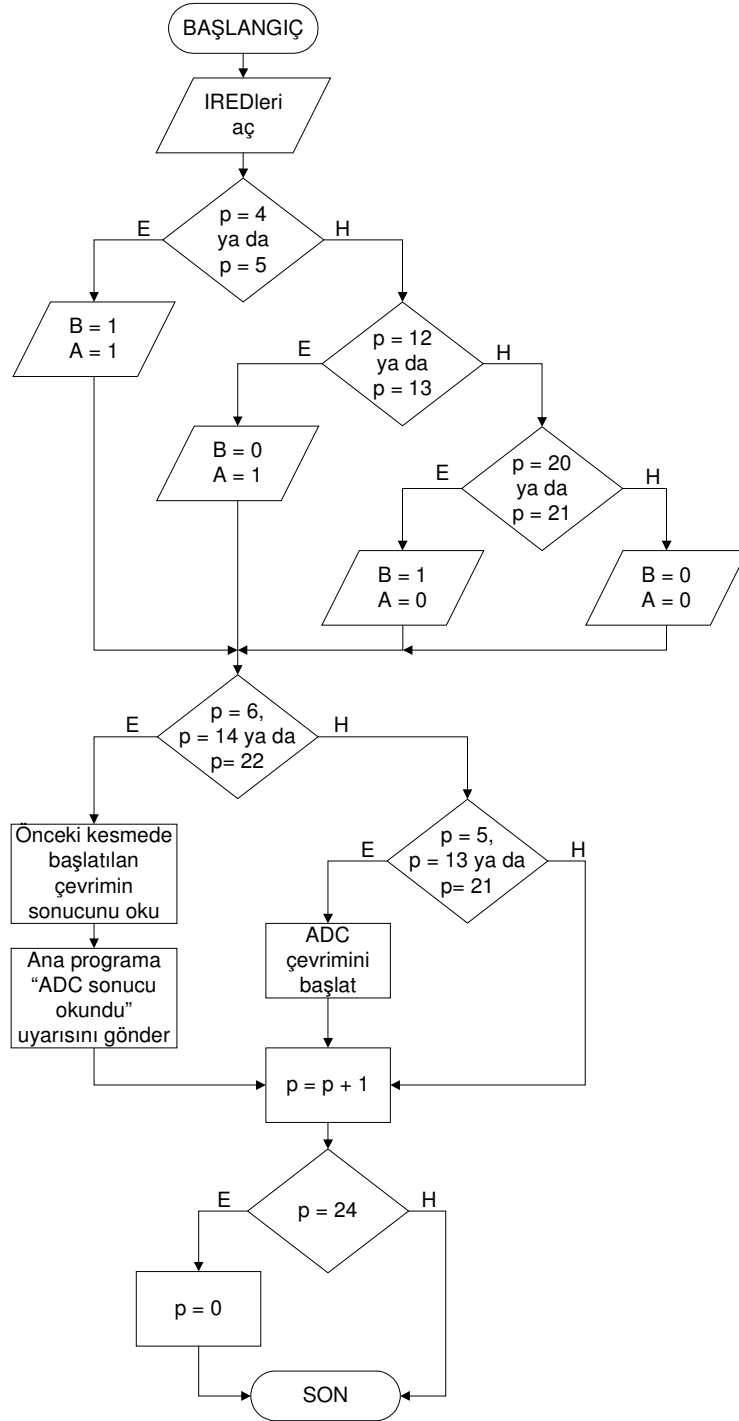
B	A	Seçili Tuş
0	0	Hiçbiri (Boşluk)
0	1	1
1	0	2
1	1	3

Adresleme işaretlerinin elde edilmesinde mikrodenetleyicinin zamanlayıcı birimi ve bu birime ilişkin kesme kullanılmıştır. Zamanlayıcının saat frekansı ve saymaya başladığı sayı değeri, bir sayma süresi 1 ms olacak şekilde düzenlenmiştir. Her sayma süresinin sonunda zamanlayıcı kesmesi gelerek programın akışını kesme altprogramına yönlendirir. Kesme altprogramında tuşların etkinleştirilmesi ve alıcı devresinin çıkışını okumak için analog-sayısal çeviricinin çevriminin başlatılması işlemleri yapılarak ana programa dönülür ve bir sonraki kesme beklenir. Kesme altprogramının algoritması Şekil 4.5'te görülmektedir.

Kesme altprogramının içindeki, 0 ile 19 arasında sayan ve her kesme sonunda değeri ilerletilen bir darbe sayacı (p), ölçüm periyodunun hangi zaman diliminde bulunduğu belirler. Bu sayaca göre adres çıkışlarına hangi değerlerin verileceği ve tuş çıkışı okumalarının ne zaman yapılacağı kararlaştırılır.

Tuşların etkin olduğu zaman dilimleri 2 ms olduğu için bu sürede kesme altprogramı 2 kez çalışır. İkinci kesmenin gelmesiyle, başka bir deyişle etkin zaman diliminin

ortasında, alıcı devresinin çıkış gerilimini okumak için ADC çevrimi başlatılır. Çevrimin etkin zamanının ortasında başlaması, fototranzistorun yükselme süresinden dolayı yapılabilecek hatalı bir okumayı engeller.



Şekil 4.5: Kesme Altprogramının Algoritması

Çevrim başlatıldıktan sonra kesme sonlandırılır. Çevrimin tamamlanması için bir süre gerektiğinden kesme içinde beklenilmez ve 10 bitlik çevrimin sonucunun en yüksek anlamlı 8 bitlik kısmı bir sonraki kesme sırasında ilgili yazmaçtan okunur. Çevrim sonucu okunduktan sonra bu durum, gösterge olarak kullanılan bir değişken ile, değerlendirme yapabilmesi için ana programa bildirilir.

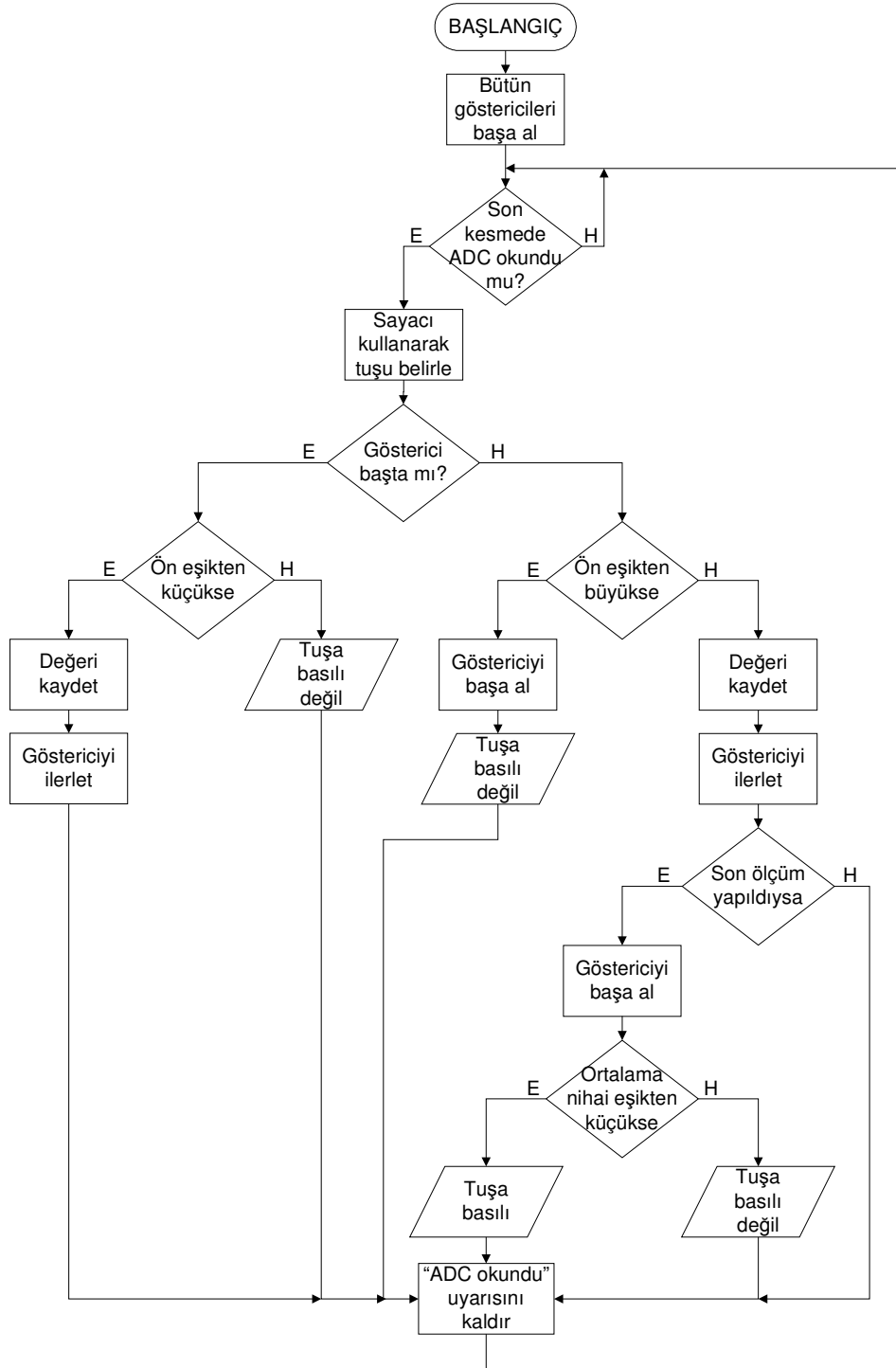
Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, ana program mikrodenetleyici çalıştıkça devam eden bir sonsuz döngü barındırır. Bu döngü, kesme sırasında okunan ADC kaynaklı tuş bilgisinin değerlendirilmesinin yapıldığı yerdir. Döngünün başında bir önceki kesmede ADC sonucunun okunup okunmadığı kesme tarafından yapılan bildirimle denetlenir. ADC sonucu okunmamışsa işlem yapılmadan bir sonraki kesmeye kadar döngüde kalınır. Eğer ADC sonucu okunmuşsa değerlendirme döngünün ilk turunda yapılıp, değerlendirmenin sonunda, sonraki kesmeye kadar diğer turlarda işlem yapılmaması için denetim değişkeni ile sonucun okunma uyarısı kaldırılır.

Bir tuşun etkin olduğuna karar vermek için 8 ölçüm periyodunun tamamlanması beklenir. Sonuçta parmağın algılanma süresi yaklaşık 195 ms olmaktadır. Bu sayede gürültü gibi bozucu etkilere karşı başarımlar yükseltilir. Tuşlardan okunan ADC verileri her biri bir tuşa ait dizilere kaydedilir. Kayıt işleminin dizinin hangi bölgesinde olduğu bilgisi tuşlara ait göstericilerde tutulur. Bir ön eşik değerinden büyük veriler için parmağın tuşa uzak olduğu kabul edilir ve kayıtlar ilerletilmez. Kayıtların sonuca ulaşması için toplanan 8 değer hepsinin de ön eşik değerinden küçük olmalıdır.

Ana programda sonsuz döngü başlamadan önce her bir tuşa ait gösterici, o tuşun dizisinin ilk elemanına atanır. Döngünün başında, kesmede ilerletilen darbe sayacından hangi tuşun verisinin alındığı bilgisi türetilir. İlk ölçümdeyken alınan veri ön eşik değerinden küçükse veri kaydedilip ilgili gösterici ilerletilir; değilse tuşa basılı olmadığına karar verilip gösterici yerinde bırakılır. Eğer gösterici ilk ölçümü göstermiyorsa, bu daha önceki verilerin ön eşik değerinden küçük olduğunun işaretidir. Bu durumda alınan yeni değer ön eşik değerinden büyükse, daha önceki değerlerin ya önceki etkinlik durumundan kalma, ya da bir hata sonucu alındığı varsayılır ve tuşun etkin olmadığına karar verilerek gösterici başa alınır; değilse veri kaydedilip gösterici ilerletilir ve son ölçüme gelinip gelinmediğine bakılır.

Son ölçümün yapıldığı göstericinin konumu ile belirlenmişse, gösterici başa alındıktan sonra, kaydedilen 8 değer aritmetik ortalaması hesaplanır. Sonuç, değeri

ön eşik değerinden küçük olan bir nihai eşik değeri ile karşılaştırılır. Eğer sonuç daha küçükse bu durumda parmağın varlığına karar verilerek tuş etkinleştirilir; değilse tuşun etkin olmadığına karar verilir.



Şekil 4.6: Ana Programın Algoritması

4.2.1 Ortam Işığının Yazılımla Kompanzasyonu

Şekil 4.4'te gösterilen zaman dilimlerinden etkin dilimlerin aralarında boş durumda olanları ortam ışığının yazılım ile kompanzasyonu amacıyla kullanılabilir. Bunun için her tuş için etkin hale geçmesinden önceki zaman dilimi seçilip, bu zaman diliminde mikrodenetleyiciye ait olan, Şekil 4.1'deki "IRED AÇ" çıkışı lojik 0 yapılarak IRED'lerin akım akıtmaları engellenmiştir. Daha sonra denetim çıkışlarıyla ilgili tuş seçilerek fototranzistorundan alınan çıkış gerilimi ölçülmüştür. IRED'ler kapalı olduğundan bu gerilim değeri sadece ortam ışığına ilişkindir.

Ortam ışığına ait değerler her tuş için 8 elemanlı birer dizide tutulur. Ana programda her ölçüm periyodunun ilgili zaman diliminde alınan yeni değerler sırayla diziye kaydedilir. Dizinin sonuna gelindiğinde, bir sonraki periyotta tekrar ilk elemana atama yapılır. Böylece sıralama düzgün olmasa da bu dizi her zaman ortam ışığına ait son 8 değeri tutar.

Bir tuşa ilişkin 8 değer de ön eşik değerini geçmişse değerlerin ortalaması hesaplanırken aynı zamanda ortam ışığına ilişkin değerlerin de ortalaması hesaplanır. Ortam ışığına ilişkin ortalamadan tuşa ilişkin ortalama çıkarıldığında, geriye parmağın neden olduğu gerilim düşümünün sayısal bir büyüklüğe çevrilmiş hali kalır. Programın kompanzasyonsuz çalışmasındaki nihai eşik değeri bu fark büyüklüğüne uyarlanarak yeniden belirlenir. Tuşlara ilişkin göstereciler ilerletilirken ise ortam ışığının anlık değeri ile tuşun etkin durumunda alınan değerlerin farkının yeniden belirlenen ön eşik değerinden büyük olmasına bakılır.

Bu yöntemde her tuşa ilişkin ortam ışığı anlık olarak kendi fototranzistoru ile ölçüldüğü için, parmağın ortam ışığını gölgelemesi sorun çıkarmamaktadır.

5. DENEY VE ÖLÇÜMLER

Optik tuşların gerçekleştirilmesinde en uygun olan elemanları belirlemek amacıyla, değişik firmalar tarafından üretilen, farklı özelliklere sahip IRED ve fototranzistörler Ek A'da Şekil A.1'de şeması gösterilen bir deneme devresi ve Ek B'de verilen mikrodenetleyici yazılımı kullanılarak değişik özellikleri bakımından karşılaştırıldılar. Elemanların ortam ışığından etkilenme derecelerini daha iyi anlayabilmek için, karşılaştırma sırasında alıcı devresinde ve mikrodenetleyici yazılımında ortam ışığı kompanzasyonu kullanılmamıştır.

5.1 Elemanların Başarımlarının Deneylerle Karşılaştırılması

Karşılaştırılacak IRED ve PT (Phototransistor – Fototranzistor) çiftleri belirlenirken üreticiler tarafından dalga boyu ve eleman kılıfları gibi özellikler bakımından birbirlerine uyumlu olarak üretilmiş olmaları ve birlikte kullanım için tavsiye edilme durumları göz önünde bulunduruldu.

Tablo 5.1: Denenen Elemanlar ve Özellikleri

IRED	PT	Firma	λ_p (nm)	IRED Yarı Açısı (°)	PT Yarı Açısı (°)	IRED Erkesel Yoğunluğu (mW/sr) ($i_{\text{IRED}} = 20\text{mA}$)	PT Fotoakımı (μA) ($E_c = 0.1 \text{ mW/cm}^2$)
SFH 420	SFH 320 FA-3	OSRAM	950	60	60	1	38
IR67-21C	PT67-21B/L41/TR8	Everlight	940	60	-	1.5	55
IR91-21C/F10	PT91-21B/F10	Everlight	940	12.5	-	5	220
GL100MN1MP	PT100MF0MP	Sharp	940	10	15	Akı: 2 mW	550
CNY70		Vishay	940	45	45	3	-
TCRT5000		Vishay	940	16	30	7	-
QRD1113		Fairchild	940	-	-	-	-
QRE1113.GR		Fairchild	940	-	-	-	-

Karşılaştırmaya tabi tutulan elemanlar, üretici firmaları, ve veri föylerinden alınan bazı önemli özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Bazı IRED ve fototranzistor çiftleri aynı kılıf içinde bulunmaktadır. Bu çiftler tablonun son dört satırında görülmektedir.

Karşılaştırma deneylerinde sürücü ve alıcı devrelerinin sonucu etkilememesi için ölçümlerde bütün IRED – fototranzistor çiftleri için, IRED akımları ve yük dirençleri eşit tutulmuştur. IRED akımı (I_{IRED}) için 30 mA değeri seçilmiştir. Bu akıma karşılık gelen IRED sürücü direncinin değeri değişik IRED’lerde farklılık göstermekle birlikte çoğu IRED için yaklaşık 123 Ω ’dur. Fototranzistorların yük dirençleri için ise 20 k Ω değeri seçilmiştir.

5.1.1 Duyarlılık

Duyarlılık deneyinde verici-alıcı çiftlerinin kendilerine yaklaşan bir cisme karşı verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır. Yansıma cisimi olarak kızıl-ötesi dalga boyu bölgesinde optik geçirgenliği yaklaşık % 85 olan beyaz yazma kağıdı kullanılmıştır. Kağıt optik tuşa 28 mm mesafede, PCB yüzeyine paralel olarak tutulmuştur. Bu durumdayken alıcı devresinin mikrodenetleyicinin analog-sayısal çeviricisine bağlı olan çıkışında, tuşun boş durumuna göre gerçekleşen gerilim düşmesi ölçülmüştür.

Tablo 5.2: Duyarlılık Deneyinin Sonuçları

IRED – PT Çifti	Ölçülen Gerilim Düşümü (V)
SFH 420 – SFH 320 FA-3	0.44
IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8	2.40
IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10	4.10
GL100MN1MP – PT100MF0MP	4.44
CNY70	0.34
TCRT5000	3.30
QRD1113	2.68
QRE1113.GR	0.20

Ölçüm sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir. Fark gerilimi, fotoakım ve dolayısıyla da duyarlılık ile doğru orantılı olduğundan sonuçlar elemanların duyarlılıklarının karşılaştırılmasında kullanılabilir.

5.1.2 Kaçak Işıkların Etkisi

PCB üzerinde bulunan IRED ve fototranzistor elemanları arasında parmağın yokluğunda bile az da olsa gerçekleşen ışık iletisi şeklinde ortaya çıkan kaçak ışıkların etkisinin saptanması amacıyla, elemanlar arasında dışarıdan eklenen herhangi bir optik yalıtım malzemesi ve tuşa yakın herhangi bir cisim olmaksızın, alıcı devresinin çıkışında gerçekleşen besleme gerilimine göre olan düşüş ölçüldü. Ölçüm sonuçları Tablo 5.3'tedir.

Tablo 5.3: Kaçak Işık Deneyinin Sonuçları

IREN – PT Çifti	Ölçülen Gerilim Düşümü (V)
SFH 420 – SFH 320 FA-3	0.38
IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8	1.86
IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10	Fototranzistor Doymada
GL100MN1MP – PT100MF0MP	Fototranzistor Doymada
CNY70	0.04
TCRT5000	0.06
QRD1113	0.06
QRE1113.GR	0.04

5.1.3 DC Ortam Işığının Etkisi

Tablo 5.4: DC Ortam Işığının Deneyinin Sonuçları

IREN – PT Çifti	Ölçülen Gerilim Düşümü (V)
SFH 420 – SFH 320 FA-3	0.74
IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8	2.66
IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10	Fototranzistor Doymada
GL100MN1MP – PT100MF0MP	Fototranzistor Doymada
CNY70	1.96
TCRT5000	2.66
QRD1113	2.78
QRE1113.GR	0.64

Ortamdaki DC ışık kaynaklarının fototranzistörlerde oluşturduğu fotoakımın etkisiyle meydana gelen bozucu etkiyi her bir elemanda gözlemek için 60 W güç

harcayan, görünür ışık gücü 710 Lümen olan standart bir tungsten akkor lambanın ışığı fototranzistörler üzerine düşürüldü. Lambanın tuşlara mesafesi 1 m'dir ve erkesel yoğunluğunun azami olduğu doğrultu olan dik ekseni ile PCB yüzeyi birbirlerine dik durmaktadır. Bu durumda iken, 220 V AC şebeke ile çalıştırılan akkor lambanın açılmasıyla alıcı devresinin çıkışında oluşan gerilim miktarı ölçüldü. Sonuçlar Tablo 5.4'te gösterilmektedir.

5.1.4 AC Ortam Işığının Etkisi

AC ışık kaynaklarının tuş çıkışlarındaki dalga şeklini bozucu etkilerini incelemek amacıyla tuşların her biri, 220 V AC şebeke ile çalıştırılan, 11 W güç harcaması olan bir flüoresan lambaya 30 cm mesafede tutuldu.

Tablo 5.5: AC Ortam Işığının Deneyinin Sonuçları

IREN – PT Çifti	Tepeden Tepeye Ölçülen AC Gerilim (V)
SFH 420 – SFH 320 FA-3	0.22
IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8	0.80
IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10	2.68
GL100MN1MP – PT100MF0MP	1.88
CNY70	1.22
TCRT5000	0.44
QRD1113	1.18
QRE1113.GR	0.10

Flüoresan lambanın modüle edilmiş ışığı, alıcı devresinin çıkışında ölçüm zaman dilimi içindeki DC gerilimin üzerine binmiş sinüzoidal bir AC gerilim olarak kendini gösterir. Tuşlarda bu etkiyi karşılaştırmak için, her bir tuşta oluşan AC gerilimin tepeden tepeye değeri ölçülmüştür. Bu değerler Tablo 5.5'te gösterilmektedir.

5.2 Karşılaştırma Deneylerinin Sonuçlarının Yorumlanması

Elemanların deneylerle karşılaştırılmasından sonra değişik özellikler bakımından başarımların sıralamaları oluşturuldu. Duyarlılık için başarımların ölçütü ölçülen gerilim düşümünün yüksek olmasıdır. Diğer ölçümler bozucu etkilere ilişkin oldukları için, bu ölçümlerin yorumlanmasında başarımların ölçütü sonuçların düşük değerli olmasıdır. Tasarımda asıl amaç parmağın algılanması olduğu için IRED akımı ve yük direncinin

değerleri duyarlılık ölçüsü temel alınarak belirlenir. Bu da diğer ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasının elemanların duyarlılıkları temel alınarak görelî olarak yapılmasını gerektirir. Bu nedenle duyarlılık dışındaki ölçümlerde sıralama, bu deneylerde ölçülen değerlerin duyarlılık deneyinde ölçülen değerlere bölünerek bulunan görelî sonuçlara göre yapıldı.

Tablo 5.6: Elemanların Başarımlarının Sıralaması

Sıralama	Duyarlılık	Kaçak Işıklar	DC Ortam Işığı	AC Ortam Işığı
1.	GL100MN1MP – PT100MF0MP	TCRT5000	TCRT5000	TCRT5000
2.	IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10	QRD1113	QRD1113	IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8
3.	TCRT5000	CNY70	IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8	GL100MN1MP – PT100MF0MP
4.	QRD1113	QRE1113.GR	SFH 420 – SFH 320 FA-3	QRD1113
5.	IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8	IR67-21C – PT67-21B/L41/TR8	QRE1113.GR	SFH 420 – SFH 320 FA-3
6.	SFH 420 – SFH 320 FA-3	SFH 420 – SFH 320 FA-3	CNY70	QRE1113.GR
7.	CNY70	IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10	GL100MN1MP – PT100MF0MP	IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10
8.	QRE1113.GR	GL100MN1MP – PT100MF0MP	IR91-21C/F10 – PT91-21B/F10	CNY70

Deneylerde karşılaşılan fototranzistor doyması durumları için yük direncinin değeri küçültülerek karşılaştırmalar tekrarlandı. Eleman başarımlarının yüksekten düşüğe doğru sıralaması Tablo 5.6’da görülmektedir.

Duyarlılık ölçütü IRED’in akım – erkesel yoğunluk, fototranzistorun erkesel aydınlık – fotoakım karakteristikleri ve yarı açı değeri gibi yayılım ve algılama özellikleriyle belirlenir. Duyarlılık başka bir deyişle tuşun verimliliğini gösterir. Deney sonuçlarında IRED’in ve fototranzistorun sırasıyla erkesel yoğunluğunun ve fotoakımının yüksek, yarı açıların görece dar olduğu eleman çiftlerinin daha verimli olduğu görülmektedir.

IRED ve fototranzistor elemanlarının aynı kılıf içinde olduğu çiftlerde kaçak ışıkların etkisi ayrı elemanlardakine göre çok daha azdır. Bunun nedeni üretimde verici ve alıcı arasındaki optik yalıtımla doğrudan ışık iletiminin büyük ölçüde engellenmiş olmasıdır. Ayrı elemanlardaki kaçak ışığın yüksek etkisi göz önünde

bulundurulduğunda, bu elemanların kullanılması durumunda dışarıdan bir optik yalıtım gerekeceği açıktır.

DC ortam ışığının etkisinin ölçümünde kullanılan akkor lambanın ışığının tuşları bozucu yönde en fazla etkileyen bileşenleri kızıl-ötesi dalga boyu bölgesinde bulunan bileşenlerdir. Bu bileşenler hem güçleri Şekil 3.1'den de görülebileceği gibi görünür dalga boyu bileşenlerinden güçlü olduğu için, hem de fototranzistörlerin duyarlılığı kızıl-ötesi bölgesinde daha yüksek olduğu için görünür dalga boyundaki bileşenlerden çok daha fazla bozucu etki yaparlar. Bununla beraber Tablo 5.6'da verilen sıralamada elemanların çalışma dalga boyu bölgesindeki duyarlılıkları da göz önünde bulundurulduğu için, çalışma dalga boyundaki bileşenlerin sıralamaya fazla etkisi olmaz. Başka bir deyişle fototranzistörler arasındaki akkor lambaya karşı gösterilen, oransal duyarlılık farkının nedeni kızıl-ötesi bileşenlere karşı olan duyarlılık değildir. Bu farkı belirleyen, çalışma dalga boyu bölgesinin dışındaki bölgelerdeki karakteristiğinin durumudur. Bu nedenle karakteristikleri çalışılan kızıl-ötesi dalga boyu bölgesinden daha düşük ve daha yüksek dalga boylarına doğru gidilirken daha keskin olarak düşen fototranzistörlerin, akkor lambaya karşı daha dirençli oldukları gözlenmiştir.

Alıcının AC bir ışık kaynağına verdiği tepkiyi ölçerken kullanılan flüoresan lambanın AC ışık bileşeni, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi kızıl-ötesi bölgesinde olan 1014 nm dalga boyunda, dar tayflı bir ışığa dahildir. Dolayısıyla değişik çiftlerin fototranzistörlerinin AC ışığa karşı olan görece duyarlılıkları arasındaki fark, fototranzistörün dalga boyuna göre çizilmiş karakteristiğinde, 1014 nm'deki duyarlılık değerinin eleman çiftinin duyarlılığına oranıyla belirlenir. Tuşların çalışma bölgeleri birbirlerine yakın olduğu için, tepki farkı bir anlamda da karakteristiğinin keskinliğiyle ilişkilidir. Elemanların veri föylerindeki karakteristikler Tablo 5.6'da verilen sıralamayla örtüşmektedir.

Tablo 5.6'da verilen sıralamada TCRT5000 [21] elemanının diğerlerine göre genelde daha iyi bir başarıma sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle ilerideki deneyler ve çalışmalar için bu eleman seçilmiştir.

5.3 Kompanzasyon Deneyi

Donanım kompanzasyonunun alıcı devresinin çıkışındaki etkisini gözlemek için DC ortam ışığının etkisinin ölçümündeki koşullarda ve bu ölçümün düzeneği kullanılarak, TCRT5000 elemanı ile oluşturulmuş optik tuşun üzerine akkor lambanın ışığı düşürüldü. Lamba ile tuş arasındaki mesafe 1 m (100 cm)'den başlayarak 10 cm aralıklarla azaltıldı. Her bir mesafe için kompanzasyon fototranzistorunun devrede olduğu ve olmadığı durumlarda çıkış gerilimi olan fototranzistor geriliminde, lambanın açılmasıyla birlikte görülen düşme kaydedildi. Tablo 5.7'de her bir ölçüm için lambanın mesafesi, bu mesafenin tuş üzerinde yol açtığı erkesel aydınlık değeri, kompanzasyonsuz ve kompanzasyonlu durumlarda algılayıcı fototranzistorda gözlenen gerilim düşümü verilmiştir. Erkesel aydınlık değeri, Thorlabs firmasının PM120 optik güç metresi ile ölçülüp hesaplanmıştır. Sonuç olarak kompanzasyon fototranzistorunun gerilim düşmesini azaltarak algılayıcı fototranzistorunun doymaya girdiği erkesel aydınlık değerini artırdığı görülmektedir.

Tablo 5.7: Kompanzasyon Deneyinin Sonuçları

Lamba – Tuş Mesafesi (cm)	Tuştaki Erkesel Aydınlık (mW/cm ²)	Fototranzistor Gerilimindeki Düşüm (V)	
		Kompanzasyonsuz	Kompanzasyonlu
100	0.138	2.66	0.48
90	0.165	3.04	0.48
80	0.192	3.76	0.56
70	0.240	4.16	0.72
60	0.316	4.64	0.88
50	0.435	Doyma	1.52
40	0.631	Doyma	2.64
30	0.931	Doyma	4.24
20	1.675	Doyma	4.40
10	4.938	Doyma	Doyma

6. SONUÇLAR

Bu çalışma evlerde kullanılan elektrikli aygıtların kullanıcı tarafından denetimi amacıyla kullanılan anahtarlama tuşlarının kızıl-ötesi dalga boylarında çalışan optik bir verici-algılayıcı devre elemanı çifti ile gerçekleştirilmesine ilişkin yapılmıştır. Çalışmada bu ve benzer konulara dair daha önce yapılmış olan araştırmalar ve uygulamalar taranmış, sonuçları gözden geçirilmiştir. Elde edinilen bilgi birikimiyle 3 tuştan oluşan bir devre ve bu devreye ilişkin bir mikrodenetleyici yazılımı tasarlanmış, bozucu bir etki olan ortam ışığının kompanzasyonuna ilişkin donanımla gerçekleştirilen yeni bir yöntem önerilmiş, bunun haricinde yazılımla sağlanan ikinci bir kompanzasyonla çalışmanın başarımı artırılmıştır.

Literatür taramasından elde edilen bilgiler devrenin yapısı, çalışma dalga boyu ve sürücü işaretlerinin özellikleri gibi seçimlerde yol gösterici olmuştur.

Devrenin tasarımında verici ve algılayıcı optoelektronik elemanların zaman bölmeli çoğullamasında tasarım 3 tuşa göre yapılmıştır. Ancak zamanlamaya ve gecikmelere dikkat edilmek ve ölçüm süresini çok fazla uzatmamak kaydıyla, etkin zaman dilimleri aralarındaki boşluklar kaldırılarak tasarım daha fazla sayıda tuşa uyarlanabilir. Uygulanan kompanzasyon yöntemleriyle devrenin ortam ışığına karşı dayanıklılığı artırılmış ve bu yöntemlerin uygulanabilirliği tartışılıp yararları ve kısıtlamaları araştırılmıştır. Kompanzasyon yöntemleri birbirlerinden bağımsız olarak uygulanabilir niteliktedir.

Optoelektronik eleman üretiminde çalışan farklı firmalara ilişkin değişik elemanların başarımları deneylerle karşılaştırılmış ve bir verici-algılayıcı çifti seçilerek kompanzasyon yöntemlerinin başarımları sınanmıştır. Deney sonuçları donanımla gerçekleştirilen kompanzasyonun alıcı devresinin ortam ışığına göre çalışma aralığını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında optik tuşlara ilişkin bir tasarım örneği sunulmuş ve bu konuda yapılacak ileriki çalışmalar için hazırlık niteliğinde bir bilgi birikimi elde edilmiştir.

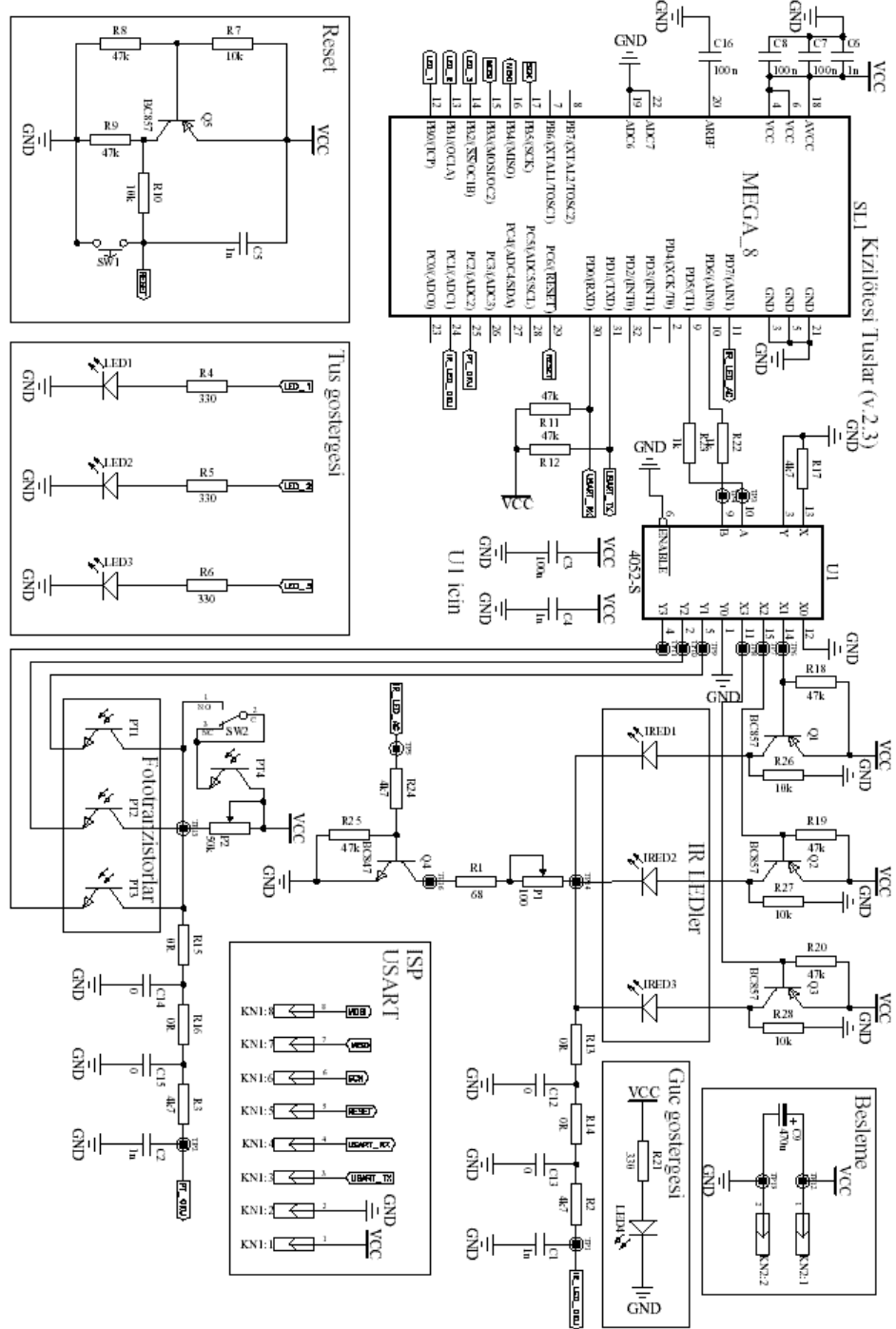
KAYNAKLAR

- [1] **Dereniak, E.L. and Crowe, D.G.**, 1984. Optical radiation detectors, John Wiley & Sons, New York.
- [2] Astronomy 224, <http://earth.ast.smith.edu>, 2006.
- [3] **Dereniak, E.L. and Boreman, G.D.**, 1996. Infrared Detectors and Systems, John Wiley & Sons, New York.
- [4] **OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG**, 2001/2002. *Infrared Components Data Book 2001/2002*, Germany.
- [5] **Singh, J.**, 1996. Optoelectronics: an introduction to materials and devices, McGraw-Hill, New York.
- [6] **Godfrey, L.**, Choosing the Detector for your Unique Light Sensing Application, PerkinElmer, Inc., <http://optoelectronics.perkinelmer.com>, 2004.
- [7] **Vishay Semiconductors**, Disturbance Sources for IR Receiver Modules, <http://www.vishay.com>, 05.08.2003.
- [8] **Milivojevic, Z.N., Mirkovic, M. and Stefanovic M.**, 2001. Digital processing of touch signal – error probability, *EUROCON'2001 – International Conference on Trends in Communications*, Bratislava, Slovakia, 4-7 July 2001, 475 – 478 vol.2.
- [9] **ELMOS Semiconductor AG**, Designing systems with HALIOS® switch, <http://www.elmos.de>, 2006.
- [10] **Lin, S.-S., Yemelyanov, K.M., Pugh, Jr., E.N. and Engheta, N.**, 2006. Polarization-based and specular-reflection-based noncontact latent fingerprint imaging and lifting, *J. Opt. Soc. Am. A*, **23**, 2137-2153.
- [11] **Baranoski, G.V.G. and Krishnaswamy, A.**, 2004. An Introduction to Light Interaction with Human Skin, *RITA*, **9**, 33-62.
- [12] **ELMOS Semiconductor AG**, E909.01 – Optical switch with high ambient light immunity, <http://www.elmos.de>, 24.02.2004.
- [13] **Kazuhide, T.**, 2003. Game machine, *Japanese Patent*, No: JP2003325822 dated 18.11.2003.
- [14] **Kilbourn, T.E. and McClelland, S.R.**, 1985. Infrared touchscreens, *European Patent Application*, No: EP0135391 dated 27.03.1985.
- [15] **Lucas, P.B. and Garrett, J.E.**, 1988. Touch input device, *United States Patent*, No: US4761637 dated 02.08.1988.
- [16] **Toshiyuki, T. and Toru, S.**, 2003. Infrared touch switch, *Japanese Patent*, No: JP2003273721 dated 26.09.2003.
- [17] **Atmel Corporation**, ATmega8; ATmega8L – 8-bit AVR® with 8K Bytes In-System Programmable Flash, <http://www.atmel.com>, 2006.

- [18] **STMicroelectronics**, HCF4052B – Different 4-channel analog multiplexer/demultiplexer, <http://www.st.com>, 2002.
- [19] **NXP Semiconductors**, BC856; BC857; BC858 – PNP general purpose transistors, <http://www.nxp.com>, 16.01.2004.
- [20] **NXP Semiconductors**, BC847/BC547 series – 45 V, 100 mA NPN general-purpose transistors, <http://www.nxp.com>, 19.05.2005.
- [21] **Vishay Semiconductors**, TCRT5000(L) – Reflective Optical Sensor with Transistor Output, <http://www.vishay.com>, 03.07.2000.

EKLER

EK.A DENEME DEVRESİ



Şekil A.1: Deneme Devresinin Şeması

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilen devreleri deneme amacıyla oluşturulan kartın devre şeması Şekil A.1’de görülmektedir. Tasarlanan devrelerden farklı olarak IRED’lerin ortak katotlarından mikrodenetleyicinin girişine giden yol, okunan değer yazılımdaki karar verme sürecinde kullanılmamasına rağmen, diyotların iletim geriliminin ve besleme geriliminin sıcaklıkla değişimi gibi durumların kompanzasyonu amacıyla ileriki çalışmalara yönelik olarak eklenmiştir. 0Ω değerindeki dirençler ve $0 F$ değerindeki kondansatörler de benzer bir sebeple, baskı devreyi değiştirmeden alçak geçiren süzgeçlerin topolojilerinin değiştirilebilmesi amacının sonucu olarak şemada görülmektedir. IRED’lerin sürücü direnci ve fototranzistörlerin yük direnci için ayarlanabilir dirençler kullanılmıştır. Kompanzasyon fototranzistörüne seri olarak bağlanan bir anahtar, donanım kompanzasyonunun kullanıcı tarafından açılıp kapanılmasına olanak vermektedir.

Şemada görülen RESET devresi beslemenin verildiği andan itibaren mikrodenetleyicinin hızlı ve güvenli bir başlangıç yapabilmesi ve kullanıcının yazılımı yeniden başlatabilmesi içindir. Tuş göstergesi devresi ile görünür dalga boylarında çalışan LED’ler kullanılarak tuşlara basıldığında kullanıcıya mikrodenetleyici tarafından geri bildirim yapılmaktadır. Devre harici bir kaynakla beslenmektedir ve bir gösterge de devrenin beslendiğini göstermektedir.

Mikrodenetleyicinin tuşlarla doğrudan ilişkisi olmayan bazı uçları seri programlama ve bilgisayarla haberleşme için kullanılmaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

Onur ARKUT, 1981 yılında Malatya’da doğdu. 1992 yılında Yamanevler İlköğretim Okulu’nu, 1999 yılında da Ümraniye Anadolu Lisesi’ni bitirdi. 2004 yılında İTÜ, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Aynı yıl İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen öğrenimine devam etmektedir.