

## AÇIK OPTİK KANALLI OPTOELEKTRONİK IŞIN VERİCİ - FOTOALICI SİSTEMİNİN YENİ UYGULAMALARI

*Eldar MUSAYEV\**

**Özet:** Bu çalışmada, açık optik kanallı optoelektronik ışın verici - fotoalıcı sisteminin yeni uygulamaları incelenmiştir. Klasik devre tasarımında, işaretin devrenin bir bölgesinden diğer bölgesine taşınması bakır hatlar ile yapılır. Benzer şekilde iki kart arasındaki iletişim kablolar ile yapılır. İşaret iletiminde bakır hatların veya kabloların kullanılması maliyeti artırdığı gibi (örneğin kart üzerinde fazla alanın kaplanması) sistemin dış etkilere olan duyarlılığını da arttırmaktadır. Ayrıca kullanımı da zordur. Hatta bazı durumlarda imkansızdır (örneğin yüksek gerilim devrelerinde).

Açık optik kanallı optoelektronik sistemlerin devre tasarımında kullanılması ile bağlantı hatları ve kablolar azaltılmış (bu da kart ebatlarının azalmasını sağlar), kontrol eden ve kontrol edilen bölgeler arasında galvanik bağlantının olmaması sağlanmış, aynı anda bir işaret farklı bölgelere ulaştırılmış, devrenin çalışıp çalışmadığı temassız test edilebilmiş, temassız olarak bilginin yüklenmesi ve elde edilmesi sağlanmış ve kartlar arası bağlantı temassız gerçekleştirilmiştir.

Makalede, açık optik kanallı sistemlerin yeni uygulamaları ve tasarımı verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optoelektronik, ışın verici, fotoalıcı, sistem, optik kanal, uygulamalar.

### New Applications Of Open Optical Channel Optoelectronic Phototransceiver System

**Abstract:** In this study, new applications of open optical channel optoelectronic phototransceiver system are examined. In classical circuit design, transmission of signal from one part of the circuit to another part is achieved via copper lines. Similarly, cables are used in communicating two cards. However, copper lines and cables increase not only the cost but the sensitivity of system to external affects in signal transmission. Also it is hard to use and in some applications such as high voltage circuits impossible.

By using open optical channel optoelectronic systems in circuit design, connectors and cables are reduced, galvanic connection is established between the controller parts and the parts that are being controlled and the signal is transmitted to different parts simultaneously. Also, circuit can be tested, data can be loaded and received and communication of cards can be achieved without any need for connectors.

In the paper, design and new applications of open optical channel systems are given.

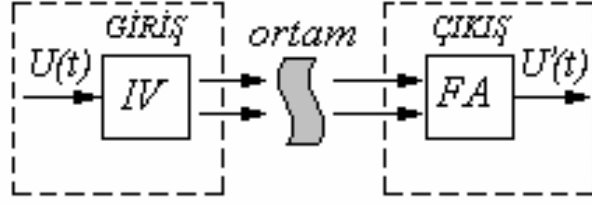
**Key Words:** Optoelectronics, phototransmitter, photodetector, system, optical channel, applications.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, elektroniğin hızla gelişen dallarından biri optoelektroniktir. Optoelektronik sistemlerin en temel elemanları ışın vericiler ve fotoalıcılardır [Dawid Wood, (1994)]. Optoelektronik sistemlerde, ışın verici LED'ler ve lazerler, fotoalıcı olarak ise fotodiyotlar, fototranzistörler ve fototristörler kullanılmaktadır [Musayev, E. (1999)].

Işın verici ile fotoalıcı arasında optik kanal vardır. Optik kanal dış etkilere kapalı ise "kapalı optik kanallı optoelektronik sistem" olarak adlandırılır. Bu tip sistemlere örnek olarak optokuplörler verilebilir [Musayev, E. (2000)]. Optik kanal dış etkilere açık ise "açık optik kanallı optoelektronik sistem" olarak adlandırılır. Açık optik kanallı optoelektronik sistemin blok şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 16059 Görükle, Bursa.



Şekil 1.  
Açık optik kanallı optoelektronik sistem.

Genelde bu tip sistemlerde ışın verici olarak LED'ler kullanılmaktadır. LED'in ışın yayan kristali çok küçük olduğundan, noktasal bir ışın kaynağı olduğunu kabul edelim ve uzaklıkların karesiyle ters orantı yasasından yararlanarak [Uiga, E. (1995) Optoelectronics]

$$\frac{P_{FA}}{P_{FAmax}} = \frac{L_1^2}{L^2} \quad (1)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada  $P_{FA}$ ; fotoalıcıya  $L$  mesafesinde aktarılan güç,  $P_{FAmax}$ ; fotoalıcıya  $L=L_1=1cm$  mesafesinde aktarılan güçtür.

LED'in noktasal bir ışın kaynağı olduğundan ve fotoalıcının ışın algılama yüzeyi (LED'e göre) büyük olduğundan dolayı  $P_{FAmax}=P_{IV}=P_L$  şeklinde yazabiliriz. Burada  $P_{IV}$  ve  $P_L$ ; ışın vericinin (LED'in) ışın gücüdür. Bunları hesaba katarak yukarıdaki denklemi

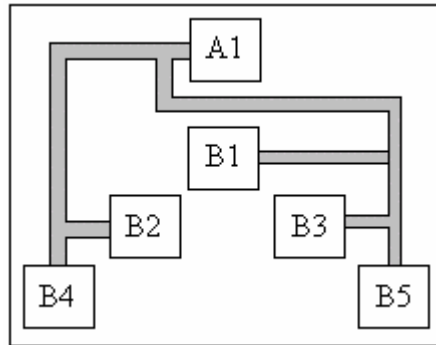
$$\frac{P_{FA}}{P_{IV}} = \frac{[1cm]^2}{[Lcm]^2} = \frac{1}{L} \quad (2)$$

şeklinde yazabiliriz. Buradan fotoalıcıya aktarılan güç [2]

$$P_{FA} \sim \frac{P_{IV}}{L^2} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,  $P_{IV}$ ; lazerin veya LED'in ışık gücü,  $L$ ; ışın verici ile fotoalıcı arasındaki mesafe,  $P_{FA}$ ; fotoalıcıya aktarılan ışık gücüdür.

Normalde, bir elektronik kart üzerinde işaret bir noktadan başka bir noktaya bağlantı hatları ile taşınır [6]. Genelde baskı devre alanının yaklaşık %60'nı bağlantı hatları almaktadır. Yani bağlantı hatları baskı devre üzerinde devre elemanlarından daha fazla yer almaktadır. Bağlantı hatları yerine açık optik kanallı optoelektronik sistemler kullanılırsa kartlar küçülecektir. Bağlantı hatlarının bir diğer dezavantajı, ortamdaki elektromanyetik alanların devreyi etkilemesidir. Hat uzadıkça bu etki artar. Şekil 2'de bir baskı devrenin genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.  
Genel olarak baskı devrenin yapısı.

Burada kontrol eden bölge A1 bölgesidir. B1, B2, B3, B4 ve B5 ise kontrol edilen bölgelerdir. Kontrol eden bölge ile kontrol edilen bölgeler bakır hatlar ile birbirlerine bağlanmıştır. Kontrol edilen bölge sayısı arttığında bakır hat sayısı da artmaktadır.

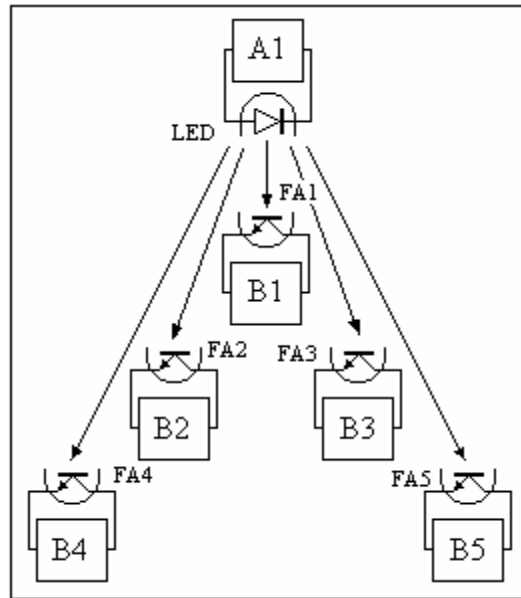
Bazı durumlarda bir kart başka kartları kontrol eder. Bu durumda kartlar arasında, bağlantı kabloları kullanılır. Bu tip sistemlerin tasarımı ve kullanım sırasındaki bakımları zorlaşır. Hatta bazı durumlarda imkansız hale gelir. Örnek olarak düşük gerilim ile yüksek gerilimin kontrol edildiği sistemler verilebilir.

Açık optik kanallı optoelektronik sistemlerin, devre tasarımında kullanılmasının getireceği avantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Devre tasarımında bağlantı hatlarının azaltılması. Bağlantının optik ışınlar ile oluşturulması.
2. Kontrol eden bölgeyi (ışın verici bölgesi) kontrol edilen bölge (fotoalıcı bölgesi) etkilemez (tek yönlü optik bağlantı). Örneğin kontrol edilen bölgede bir kısa devre durumu oluşursa, kontrol eden bölgeyi bu kısa devre ekilemez.
3. Devrenin çalışıp çalışmadığının temassız dışarıdan test edilebilmesi (örneğin bir optik prob ile)
4. Aynı anda bir işaretin farklı bölgelere ulaştırılabilmesi.
5. Devrenin kutu dışında çalışmasının engellenmesi.
6. Kartlar arası kablosuz bağlantının sağlanması.
7. Bilgi giriş ve çıkış işlemlerinin kablosuz gerçekleştirilmesi.

## 2. AÇIK OPTİK KANALLI OPTOELEKTRONİK IŞIN VERİCİ - FOTOALICI SİSTEMİNİN YENİ UYGULAMALARI

Şekil 2’de gösterilen örnekten görüldüğü gibi kontrol edilen abone sayısı artınca (örneğin bir sayısal devrede) bağlantı hatları sayısı da artmaktadır. Ayrıca kontrol eden ve kontrol edilen bölgeler arasında farklı gerilimler söz konusu ise hatlar ile bağlantılar imkansızlaşır (örneğin yüksek gerilimli kontrol edilen bölgelere düşük gerilimli kontrol eden bölgeden işaretin transferi). Şekil 3’de, böyle bir devreye açık optik kanallı ışın verici - fotoalıcı sistemin uygulanması gösterilmiştir.



Şekil 3.

*Açık optik kanallı ışın verici - fotoalıcı sisteminin uygulanması.*

Burada A1 kontrol eden bölge, B1, B2, B3, B4 ve B5 kontrol edilen bölgelerdir. Kontrol edilen bölgeler birbirlerini engellemeyecek şekilde yerleştirilir. Yani, FA1, FA2, FA3, FA4 ve FA5 birbirlerini engellemeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Burada fotoalıcı olarak fotodiyot veya fototranzistör kullanılabilir.

Işın vericiye en yakın ve en uzak fotoalıcılara aktarılan ışın güçleri,

$$P_{FAy} \sim \frac{P_{IV}}{L_{min}^2} \quad P_{FAu} \sim \frac{P_{IV}}{L_{max}^2} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $P_{FAy}$ , LED'e en yakın olan fotoalıcıya aktarılan ışın gücü.  $P_{FAu}$ ; LED'e en uzak olan fotoalıcıya aktarılan ışın gücü,  $L_{min}$ ; LED'e en yakın olan fotoalıcı ile LED arasındaki mesafe,  $L_{max}$ ; LED'e en uzak olan fotoalıcı ile LED arasındaki mesafedir. Örneğin sistemde SFH409 tipi bir LED ve SFH205 tipi bir fotodiyot seçelim [Optoelectronics Data Book, (1996)].

SFH409 tipi LED'in özellikleri:

- Spektrumunun maksimumu,  $\lambda_{Lmax}=950\pm 20nm$
- Işıma diyagramının yarı açısı  $\varphi = 20^\circ$
- $100mA$ 'lık akımda  $15mW$ 'lık ışın şiddeti yayar.

$100mA$ 'de  $15mW$ 'lık güç elde edildiğine göre elektro-optik dönüşüm katsayısı,

$$K_L = \frac{P_L}{I_L} = \frac{15mW}{100mA} = 0,15 mW/mA \quad (5)$$

olur. Bu tip LED'in eşik gerilimi  $U_L=1,5V$ ' tur.

SFH205 tipi fotoalıcının özellikleri:

- Spektrumunun maksimumu,  $\lambda_{Smax}=950nm$ ,
- Işına duyarlı yüzeyin alanı,  $A=7mm^2$ ,
- Dış ebatlar,  $5mm \times 7mm$ ,
- Karanlık akımı,  $I_R=2\mu A$ ,
- Işığa duyarlı yüzeye  $0,5m.W/cm^2$ 'lik ışık düştüğünde kısa devre akımı  $I_K=25\mu A$ ,
- Fotoiletken rejiminde yük direnci  $R_L=50\Omega$ , besleme gerilimi  $U_{CC}=5V$ ,  $\lambda_{max}=850nm$ , fotoakım  $I_p=800\mu A$  olduğunda ve uygulanan ışın darbe şeklinde ise fotoakımın yükselme ve düşme süreleri  $t_r=t_f=20ns$ ,
- Fotodiyodun kapasitesi  $72pF$ .

Seçilen LED ile fotoalıcı arasında spektrum uyumluluğu sağlanmıştır. Çünkü ışın vericinin ve fotoalıcının spektrumlarının maksimumları birbirine yakındır.

LED'in bir lojik devrenin çıkışına bağlandığını ve besleme geriliminin  $U_{DD}=5V$  olduğunu kabul edelim. LED üzerinden akan akımın  $I_L=5mA$  olması için akım sınırlayıcı direncin değeri,

$$R_L = \frac{U_{DD} - U_{T(sat)} - U_L}{I_L} = \frac{5V - 0,1V - 1,5V}{0,005A} = 680\Omega \quad (6)$$

şeklinde olur. Burada  $U_{T(sat)}=0,1V$ , LED'i süren tranzistörün doyumdaki gerilimidir.

Belli bir akımda, LED ile fotoalıcı arasındaki maksimal mesafe,

$$L_{max} = 1cm \sqrt{\frac{P_L}{P_{FA}}} = 1cm \sqrt{\frac{K_L I_L}{P_{FA}}} \quad (7)$$

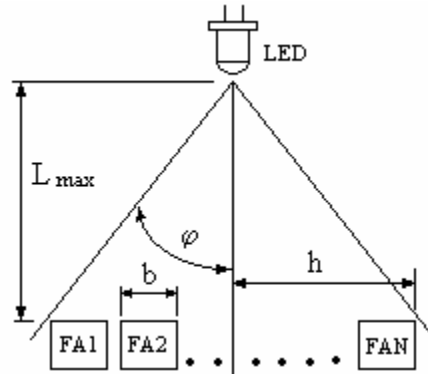
şeklinde ifade edilebilir.

Fotoalıcının güvenli şekilde çalışması için ve fotoakımın yeterli seviyede olması için fotoalıcının ışığa duyarlı yüzeyine düşmesi gereken minimum ışın şiddeti  $P_{FA}=0.005mW$  olarak alalım. Bunları hesaba

katarak olabilecek maksimum mesafe, olur. Tasarlanan elektronik kartın boyutları küçük ise LED akımı boyuta bağlı olarak düşürülebilir.

$$L_{max} = 1cm \sqrt{\frac{(0,15mW / mA).5mA}{0.005mW}} = 12.2cm \quad (8)$$

LED'in ışına diyagramından yararlanarak kapsama alanına yerleştirilebilecek fotoalıcı sayısı belirlenebilir. Seçilen fotoalıcının ışığa duyarlı yüzeyinin kare şeklinde olduğunu kabul edelim ve karenin bir kenar uzunluğu  $b=5mm$  olarak alalım. Sistemde kullanılan LED'in ışına diyagramının yarı açısını  $\varphi = 20^\circ$  alırsak, kapsama alanında birbirine engellemeyecek şekilde yerleştirilebilecek fotoalıcı sayısı Şekil 4'de gösterilen diyagramdan yararlanarak bulunabilir.



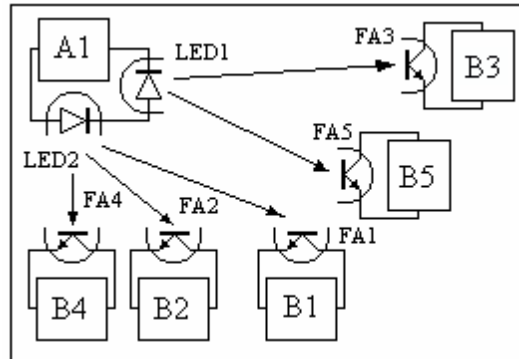
Şekil 4.

Kapsama alanında yerleştirilebilecek fotoalıcı sayısının belirlenmesi.

$$N = \frac{2L_{max} \tan \varphi}{b} \quad (9)$$

Tasarlanan kartın ebatları belli ise ve  $L_{max}=200mm$ ,  $b=5mm$  ve  $\varphi=20^\circ$  olarak alınırsa kapsama alanına yerleştirilebilecek fotoalıcı sayısı, olur.

$$N = \frac{2L_{max} \tan \varphi}{b} = \frac{2.200mm. \tan 20}{5mm} = 29 \quad (10)$$



Şekil 5.

Kapsama alanının genişletilmesi.

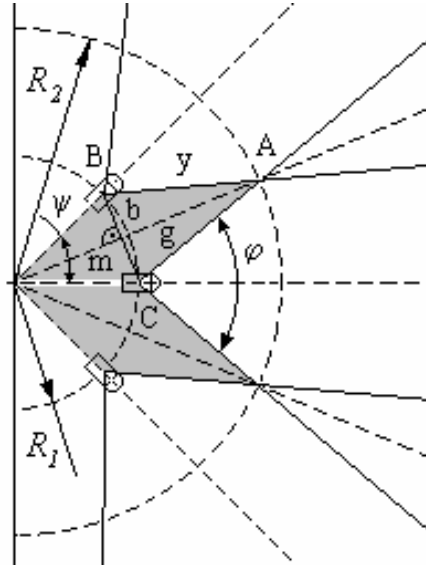
Devrenin yapısına göre bir LED kontrol edilen bölgeleri kapsamıyor ise (bazı bölgeler kapsama alanının dışında kalıyor ise) ve bir LED yeterli gelemezse, kapsama alanının genişlendirilmesi için birden fazla LED kullanılabilir. Şekil 5’de bir örnek olarak kapsama alanının genişletilmesi gösterilmiştir.

LED’ler seri bağlandığında LED’ler üzerinden akan akım,

$$I_L = \frac{U_{DD} - U_{T(sat)} - U_{L1} - U_{L2}}{R_L} \quad (11)$$

şeklinde olur. Burada  $U_{L1}$  ve  $U_{L2}$  birinci ve ikinci LED’lerin eşik gerilimleridir.

Kontrol eden bölge, elektronik kartın merkezinde ve kontrol edilen bölgeler kartın değişik bölgelerine dağılmış ise ışın verici kartın tamamını kapsayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu durumda gerekli LED sayısı Şekil 6’da gösterilen diyagramdan yararlanarak bulunabilir [Musayev, E. Tekin, İ. (2000)].

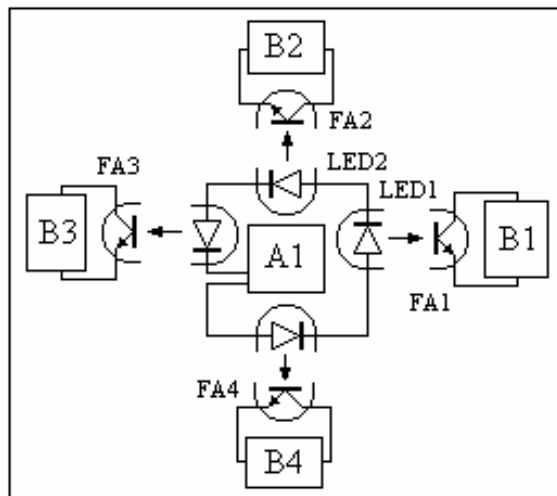


Şekil 6.

*Işın verici ışınlarının kartın tamamını kapsayacak şekilde tasarlanması.*

Şekil 6’da simetrik olduğundan dolayı yarı küre gösterilmiştir.

Bu diyagramdan 360°’de homojen ışın oluşturmak için gerekli LED sayısı,



Şekil 7.

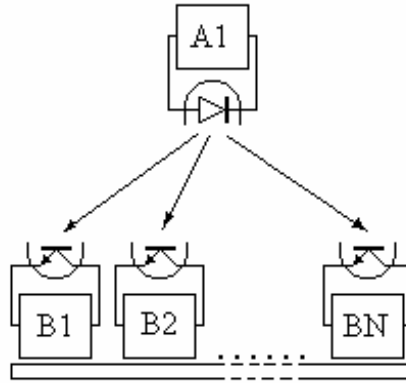
*Kontrol eden bölgenin kartın merkezine yerleştirilmesi.*

$$N = \frac{360^\circ(R_2 - R_1)}{2 \sqrt{\left(\frac{R_2 - R_1}{\cos \varphi/2}\right)^2 - (R_2 - R_1)^2 \cos \varphi/2}} \quad (12)$$

şeklinde bulunur. Burada,  $\varphi$ , kullanılan LED'in ışınma açısıdır.

Kontrol eden bölgenin kartın merkezine yerleştirilmesi Şekil 7'de basitleştirilmiş diyagram ile gösterilmiştir.

Bazı durumlarda kart üzerinde bulunan elemanlar ışınların fotoalıcılara ulaşmasını engelleyebilir. Bu durumda kontrol eden bölge, kontrol edilen bölgelerin üstünde yerleştirilir. Şekil 8'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 8.

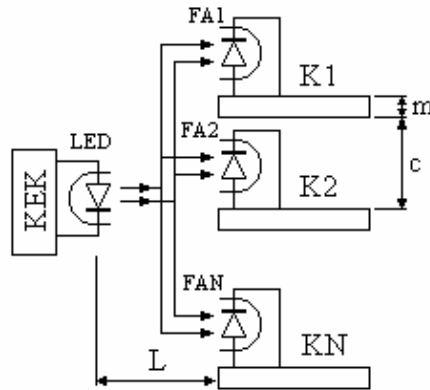
*Kontrol eden bölgenin kontrol edilen bölgelerin üstünde yerleştirilmesi.*

Devre tasarımında bir kart üzerinden bir kaç kartın kontrol edilmesi gerekir. Genelde bu amaçla kablolu bağlantılar kullanılmaktadır. Kontrol edilen kart sayısı artınca bağlantı kabloları sayısı da artmaktadır. Bu da bir kaç dezavantaj yaratmaktadır. Bu amaçla açık optik kanallı sistemin kullanılması problemi basitleştirmektedir. Şekil 9'da bu durum gösterilmiştir. Burada KEK; kontrol eden kart, K1, K2,..... KN; kontrol edilen kartlardır.

Bir kartın birçok kartı kontrol ettiği uygulamalarda kapsama alanına yerleştirilebilecek kart sayısı kartların ebatları ile belirlenir.

LED seçimini, kullanılan kart sayısı  $N$  ve kartların ebatları belirler. Kart sayısına ve ebatlarına bağlı olarak kullanılacak LED'in ışınma açısı aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\varphi = \arctan \frac{N(m+c)}{2L} \quad (13)$$

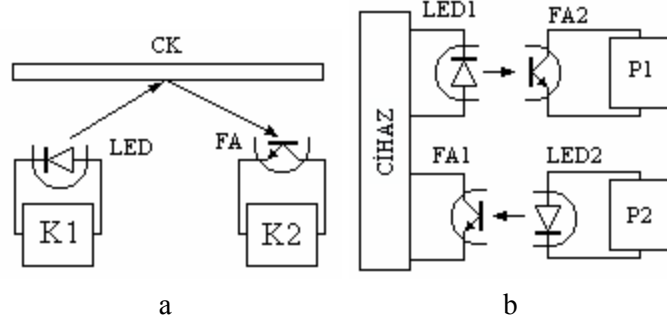


Şekil 9.

*Bir kart ile birçok kartın kontrol edilmesi.*

Burada,  $m$ ; kartın kalınlığı,  $c$ ; kartlar arasındaki mesafedir. Bu formülden gerekli ışınma açısı elde edilir. Elde edilen açı değeri var olan LED'lerin ışınma açısından büyük ise birden fazla LED kullanılır.

Elektronik kartlarda açık optik kanallı sistemlerin kullanılması güvenliği de artırmaktadır. Eğer cihazın kapağı açıldığında cihazın çalışmasını istemiyorsak kontrol eden bölge ile kontrol edilen bölgelerin bağlantısı optik olarak kapaktan yansıtılarak yapılabilir. Bu durumda cihazın kapağı açıldığında cihaz çalışmayacaktır. Şekil 10a'da bu durum gösterilmiştir.

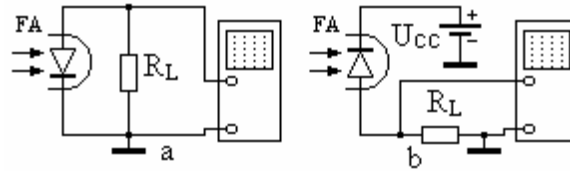


Şekil 10.

Açık optik kanallı sistemin uygulamaları.

Bir cihazdan bilginin dışarıdan algılanması veya dışarıdan bilginin cihaza yüklenmesi için özel bağlantı konnektörleri kullanılmaktadır. Bağlantı konnektörlerinin kullanılması belli dezavantajların oluşmasına neden olur. Açık optik kanallı sisteminin cihazın giriş ve çıkış bölgelerinde kullanılması ile bu dezavantajlar ortadan kaldırılabilir ve bilgi transferi olayı basitleştirilebilir.

Şekil 10b'de cihazın girişi ve çıkışı açık optik kanallı sistem ile gerçekleştirilmiştir. Bu durumda cihaza bilginin yüklenmesi veya bilginin alınması için bağlantı proplarının (P1 ve P2) kapsama alanına yerleştirilmesi yeterlidir.



Şekil 11. Probu'nun şeması.

Elektronik devrelere açık optik kanallı ışın verici - fotoalıcı sisteminin uygulanması ile kartların test edilmesi kolaylaşır. Bunun için kapsama bölgesine bir probun yerleştirilmesi yeterlidir. Prob çok basit şekilde tasarlanabilir. Şekil 11'de probun şeması gösterilmiştir.

Prob, bir fotodiyot içerir. Fotodiyot fotoiletken rejiminde olabileceği gibi fotogalvanik rejimde de olabilir. Fotogalvanik rejimde besleme kaynağına ihtiyaç yoktur. Burada önemli olan  $R_L$  yük direncinin optimal seçilmesidir. Yük direncinin değeri artınca, fotoalıcının çıkışında elde edilen işaretin genliği artmaktadır. Yük direncinin değerinin artması devrenin zaman sabitinin artmasına neden olur. Bu da sistemi yavaşlatır ve darbelerin bozulmasına neden olur. Fotogalvanik rejimde çalışan prob için çıkış gerilimi,

$$U_c = U_{Boş} - (R_S + R_L)C_F \quad (14)$$

şeklindedir. Devrenin zaman sabiti ise,

$$\tau_{FA} = \left( \frac{R_S R_L}{R_S + R_L} \right) C_F \quad (15)$$

şeklindedir. Burada  $R_S$ ; fotoalıcının iç direnci,  $C_F$ ; fotoalıcının kapasitesi,  $U_{Boş}$ ; devre açık iken fotodiyot uçlarında oluşan gerilimdir.



Fotodiyodun iç direnci, kısa devre rejiminde akımın ( $I_K$ ), açık devre rejiminde ise  $U_{Boş}$  geriliminin ölçülmesi ile bulunabilir.

$$R_S = \frac{U_{Boş}}{I_K} \quad (16)$$

Fotoiletken rejimde çalışan devrenin çıkış gerilimi,

$$U_c = I_F R_L \quad (17)$$

şeklinde ifade edilebilir. Fotoakım ışın şiddetine bağlıdır. Devrenin zaman sabiti fotogalvanik rejimde olduğu gibi bulunur.

### 3. SONUÇLAR

Açık optik kanallı optoelektronik ışın verici - fotoalıcı sisteminin yeni uygulamaları incelenmiştir. Açık optik kanallı optoelektronik sistemlerin elektronik devrelere uygulanması devre tasarımında bazı avantajlar getirmiştir. Bir işaretin kart üzerinde farklı bölgelere iletilmesi kablosuz sağlanmaktadır. Devrenin temassız test edilebilmesi bir diğer avantajdır.

Makalede, açık optik kanallı sistemin uygulanması için gereken denklemler elde edilmiştir ve örnekler incelenmiştir.

### 4. KAYNAKLAR

1. Musayev, E. (2000) Optokuplörler ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
2. Musayev, E. (1999) Optoelektronik Devreler ve Sistemler”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
3. Musayev, E. Tekin, İ. (2000) Geniş Açılı Kızılötesi Aydınlatma Sistemleri, Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İstanbul.
4. Uiga, E. (1995) Optoelectronics, Prentice Hall, New Jersey.
5. Dawid Wood, (1994) Optoelectronics Semiconductor Devices, Prentice Hall.
6. Bilgisayarda Elektronik Şematik ve Baskılı Devre Hazırlama Teknikleri, (2000) Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
7. Optoelectronics Data Book, (1996) SIEMENS Components Inc.