

## OPTOELEKTRONİK UZAKLIK ÖLÇER

*Erdem ÖZÜTÜRK\**

**Özet:** Bir LED tarafından gönderilen ışık hedefe çarptıktan sonra geri döner. Geri dönen ışığın şiddeti LED'in yanında bulunan bir fotodedektör tarafından gerilime çevrilir. Fotodedektörün çıkışında elde edilen gerilim, ışığın katetiği yolun karesiyle ters orantılıdır. Burada yapılan çalışmada, bu gerilim, logaritmik ve antilogaritmik kuvvetlendiriciler kullanılarak uzaklık ölçer devresinin çıkışında uzaklıkla doğru orantılı bir gerilime dönüştürülmüştür. Tasarlanan devreler pasif elemanlar, transistörler, işlemsel kuvvetlendiriciler, 555 zamanlama tümdevresi ve bir örnekle-tut tümdevresi kullanılarak gerçekleştirilmiş analog devrelerdir. Bu çalışmada daha uzak mesafeleri ölçebilmek için, LED darbeleri yüksek akımlarda çalıştırılarak LED'in ışık şiddeti artırılmıştır. Aynı zamanda, ışık şiddetinin darbeleri olması sayesinde ortamda bulunan diğer ışık kaynaklarının oluşturduğu fon gürültüsünün etkisi de azaltılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** LED, fotodiyot, ışık şiddeti, uzaklık ölçme.

### Optoelectronic Distance Meter

**Abstract:** A light sent by the LED reflects back after impact on a target. The radiant power of reflected light is turned into voltage by a photodiode near the LED. The photo detector voltage is inversely proportional to the square of the distance which LED's light had traveled. In this study, this voltage has been turned into a voltage which is proportional to the distance at the output of the distance meter circuit using the logarithmic and antilogarithmic amplifiers. The circuits which have been designed in this study are analog circuits and these circuits consist of passive elements, transistors, operational amplifiers, 555 timer and a sample and hold integrated circuit. In this study, LED is used in pulsed high current operation to increase LED radiant power and to measure long distance. At the same time, the background noise which is produced by the other light sources in the medium has been reduced by using of the LED in pulsed high current operation mode.

**Key Words:** LED, photodiode, radiant power, distance measurement.

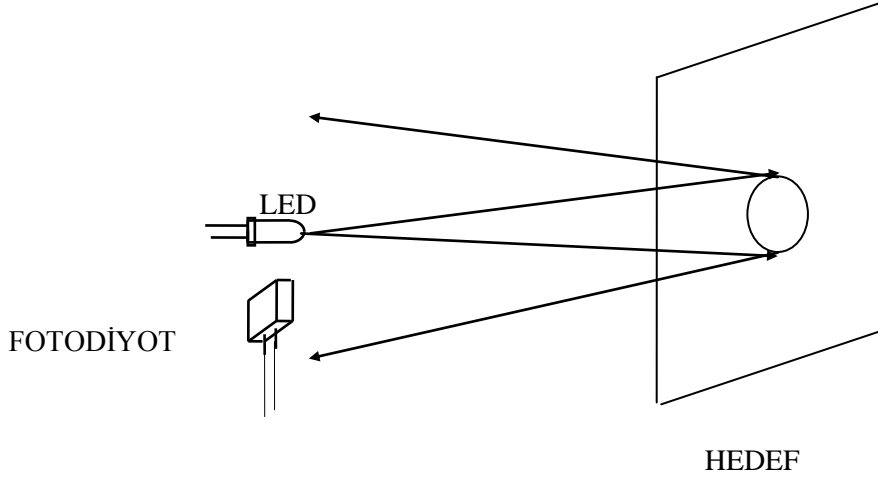
## 1. GİRİŞ

Uzaklık ölçer devresi, bir verici ve bir de alıcı kısımdan oluşmaktadır. Verici devre 555 tümdevresiyle oluşturulmuş, darbe-boşluk süresi ayarlanabilir bir osilatörden ve bir kızılötesi LED'den oluşmaktadır. Alıcı devre ise cisimden yansıyıp gelen ışınları algılayan bir fotodiyot, alınan işaretin kuvvetlendirilerek işlenebilir bir hale getirilmesini sağlayan kuvvetlendiriciler, bir örnekle-tut devresi ile logaritmik ve antilogaritmik kuvvetlendiricilerden oluşmaktadır. Uzaklık ölçer devresinde, verici devre tarafından ışığı modüle edilen LED ile hedefe çarpıp geri yansıyan ışığı tespit edecek olan alıcıdaki fotodiyot yan yana olmalıdır. Bilindiği gibi serbest ortamda yol alan ışığın şiddeti uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak zayıflar. Yani, fotodedektörde elde edilen ve fotodiyoda çarpan ışığın şiddetiyle orantılı olan gerilim, ölçülecek mesafenin karesiyle ters orantılı olarak değişir. Uzaklık ölçer devresi, uzaklıkla üstel olarak değişen gerilimin, devrenin çıkışında uzaklıkla lineer bir değişim halinde gözlenmesini sağlar.

Şekil 1'de, LED'in, fotodiyodun ve hedefin ölçme düzeninde nasıl yerleştirildikleri görülmektedir. Burada LED ile fotodiyot birbirine çok yakındır. Fotodiyot LED'in 1cm gerisinde bulunmaktadır. LED ile fotodiyodun aynı hizada bulunmamasının sebebi, LED'den çıkan ışığın yakınındaki fotodiyoda en kısa yoldan ulaşarak fotodedektör çıkışında epey büyük bir gürültü gerilimi oluşturmasıdır. Fotodiyoda en kısa yoldan ulaşan bu gürültü gerilimi çok büyük bir ölçüm hatasına yol açmaktadır. Fotodiyodu, LED'in 1cm gerisine yerleştirmek bu hatayı yeteri kadar küçültmeye yetmemiş ve araya,

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

söz konusu hatayı ihmal edilebilecek düzeye düşürecek kadar kızılötesi ışığı geçirmeyen bir engel yerleştirilmiştir.



**Şekil 1:**  
*LED'in, fotodiyodun ve hedefin ölçme düzenindeki yerleşimi.*

Günümüzde ışıkla uzaklık ölçmede kullanılan çok değişik yöntemler ve devreler bulunmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen uzaklık ölçer devresinde ışık çok kısa süreli periyodik darbeler halinde gönderilmektedir. Art arda gelen iki ışık darbesi arasındaki süre ışık darbesi süresine göre çok uzundur. Yüksek şiddette ışık darbeleri elde edebilmek için ışık verici LED, darbeli yüksek akım rejiminde çalıştırılmıştır. Yüksek genlikli ve kısa süreli darbeli ışık sayesinde daha uzak mesafeleri ölçmek mümkün olduğu gibi, LED ışığının ortamdaki diğer ışık kaynakları tarafından üretilen fon gürültüsünden ayırt edilmesi de kolaylaşmaktadır. Alıcı devresi, fotodedektör devresinde oluşan gerilimden yalnızca LED'den ışık gönderildiği anlara denk düşen çok kısa sürelerde örnekler aldığından, iki ışık darbesi arasındaki çok uzun süre boyunca diğer ışık kaynaklarının fotodedektörde oluşturduğu gerilimlerden etkilenmemektedir. Bu nedenle de fon gürültüsünün etkisi azaltılmış olmaktadır.

Burada tasarlanan devre bir robot kolu için yaklaşım detektörü veya uzaklık ölçer olarak kullanılmaya elverişli bir devredir. Devrede bir takım geliştirmeler yapılarak uzaklık ölçümünün ortam koşullarından etkilenmemesini sağlamak mümkündür.

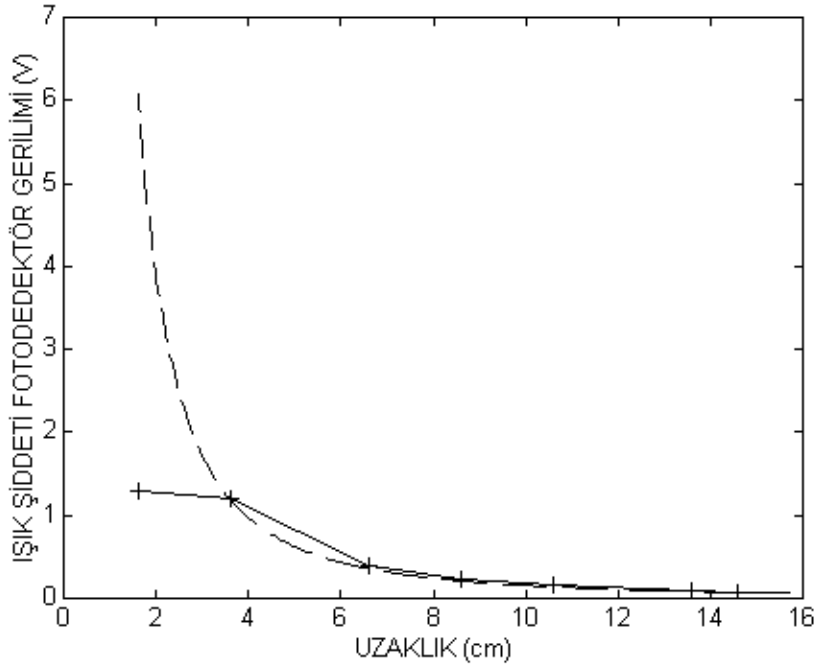
Burada, yapılan çalışma ortaya konulurken ilk olarak bir engele çarpıp gelen ışığın şiddetinin uzaklıkla değişim ifadesi grafik yöntemle incelenmektedir. Daha sonra devrenin blok gösterimi verilmekte ve uzaklığın nasıl ölçüldüğü, devrenin çeşitli noktalarında oluşan işaretin ifadeleri incelenerek açıklanmaktadır. İlerleyen bölümlerde, tasarlanan devrede yer alan her bir devre yapısı tek tek ele alınıp açıklanmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

LED'in ışık şiddeti uzaklık arttıkça azalmaktadır. Daha uzun mesafeleri ölçmek için LED'in verdiği ışık şiddetinin ve fotodedektörün duyarlılığının artırılması gerekmektedir. Işık şiddetini arttırmak için LED, darbeli yüksek akımla sürülmelidir. Fotodiyotlu devreden oluşan fotodedektör devresindeki eleman değerleri, duyarlılık ve ışığın darbe süresine bağlı olarak uygun seçilmelidir.

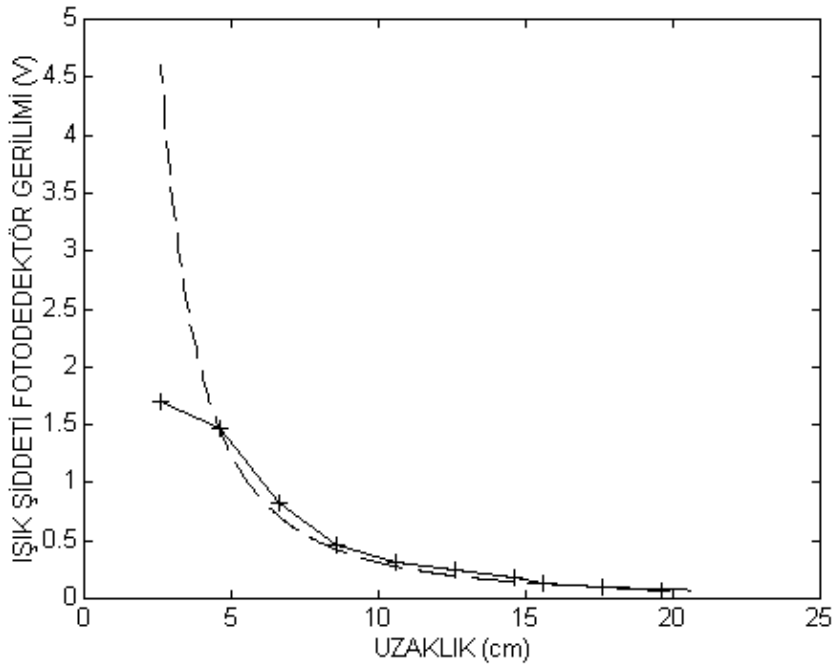
LED'in ışık şiddetini arttırmak için LED'den geçen akımın artırılması gerekmektedir (Bhattacharya, 1997), (Özütürk, 1998), (Özütürk, 2000), (Özütürk, 2002), (Özütürk, 2003), (Özütürk, 2006a). LED'den akan akımın değeri arttıkça LED ısınmakta ve belli bir akım değerinden sonra LED fazla ısınıp yanabilmektedir. Bu nedenle, LED'den daha fazla akım akıtmak ancak darbeli akımla mümkün olmaktadır. Darbeli çalışmada, LED'e nominal doğru akımının çok üzerinde genliğe sahip akım darbeleri uygulanabilmektedir. Doğru akımdaki en büyük ışık şiddeti, LED'in dayanabileceği doğru akım değerine bağlıdır. Kızılötesi LED'ler için doğru akımın tipik değeri 5-400 mA'ler mertebesinde. Darbeli çalışmada, LED'e 10A, 15A gibi yüksek akım genliklerinde akım darbeleri uygulamak mümkündür.

Aşağıda, iki farklı yansıtıcı hedef için LED'den elde edilmiş olan uzaklıkla ışık şiddetinin değişimini gösteren grafikler verilmiştir. Burada, ışık şiddetiyle doğru orantılı olan gerilim değerleri kullanılmıştır. İlk grafik, yansıtıcı hedef olarak transistörlerin soğutulmasında kullanılan siyah alüminyum soğutucu için ölçülmüş olan değerlere göre çizilmiştir (Şekil 2). İkinci grafik ise yansıtıcı hedef olarak sanayide ambalajlamada kullanılan düzlemsel ambalaj kartonu için çizilmiştir (Şekil 3). Grafiklerde sürekli çizgi ile gösterilmiş olan eğri ölçülen değerlerden elde edilmiştir. Kesikli çizgiyle gösterilmiş olan eğri ise uygun bir ölçüm değeri kullanılarak türetilmiş olan teorik değişimi (Selet, 2006) göstermektedir.



**Şekil 2:**

*Alüminyum soğutucu yansıtıcı engel olarak kullanıldığında, uzaklık-gerilim eğrisi.*



**Şekil 3:**

*Karton yansıtıcı engel olarak kullanıldığında uzaklık-gerilim eğrisi.*

Işık şiddetinin uzaklıkla değişimi ifadesini elde etmek için, hedef bir pencere perdesi rayı üzerindeki LED'in gönderdiği ışığa dik olarak yerleştirilmiş ve değişik uzaklıklara karşılık fotodedektör gerilimleri ölçülmüştür. Ölçüme LED'den geçen akım  $I=3.6$  A genliğinde ve  $40\mu s$  süreli bir akım darbesi şeklindedir. Periyodik akım darbelerinin boşluk süresi ise yeteri kadar uzundur. LED'den çıkan ışık boş ortamdan geçerek  $x$  kadar uzaklıktaki hedefe çarpmaktadır. Çarpan ışığın  $k$  oranındaki bir kısmı geriye yansıtılmaktadır. Hedeften yansıyan ışık boş ortamda tekrar bir  $x$  uzaklığını kat ederek fotodiyoda ulaşmaktadır. Eğer hedef kendisine çarpan ışığın şiddetinden bağımsız olarak ( $x$  uzaklığından bağımsız olarak her  $x$  uzaklığında)  $k$  katını yansıtıyorsa ışığın uzaklıkla değişiminin ifadesi:

$$P(x) = \frac{F_0 k}{(2x)^2} = \frac{F_0 k}{4x^2} = \frac{a}{x^2} \quad (1)$$

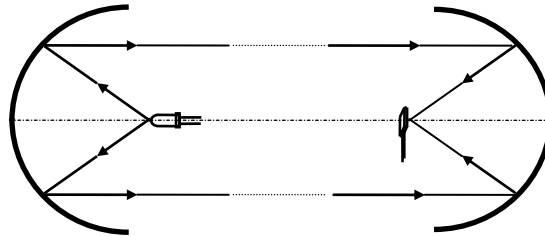
olacaktır. Burada,  $F_0$ , yansıtıcı hedef olmadığı durumda fotodiyotla hedefin aynı doğrultuda birbirine bakacak şekilde yerleştirilmeleri halinde, ışığın, boş ortamdan geçerken ortamdan kaynaklanan zayıflamasıdır. Bu ifadedeki  $a$  katsayısının değeri ölçülmüştür. Ölçümde, hedef ile fotodiyot çok yakın olurlarsa fotodiyot doymaya girebilmektedir. Yukarıda, iki farklı hedef için elde edilmiş uzaklık-ışık şiddeti değişim eğrisinde en yakın  $x$  değerlerinde büyük bir sapma olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, söz konusu uzaklıklarda fotodiyodun doymaya girmesidir. Teorik ifadeler, ölçülmüş olan bir değerden türetildikten sonra, ölçülmüş olan değerlerle nokta nokta çizilmiş olan deneysel sonuçlar aynı grafiğe çizilir. Eğer iki grafik büyük oranda çakışıyorsa teorik ifadenin türetilmesinde kullanılmış olan değer uygun bir değerdir.

Siyah alüminyum soğutucu hedef için teorik ifadenin elde edilmesinde  $L(2)=3.6$ cm ve  $P(2)=1.2$ V değerleri kullanılarak  $a_1=15.552$  değeri bulunmuştur. Buna göre teorik ifadenin değişimi  $P(x)=15.552/(x^2)$  şeklindedir. İkinci hedef olan düzlemsel ambalaj kartonu için  $L(2)=4.6$ cm ve  $P(2)=1.47$ V değerleri kullanılarak  $a_2=31.1052$  değeri bulunmuştur. Buna göre, ambalaj kartonu için teorik değişimin ifadesi  $P(x)=31.1052/(x^2)$  şeklindedir.

Her iki grafikteki deneysel ve teorik değişimlere bakıldığında başlangıç değerlerin dışında, grafiklerin çakıştığı görülmektedir.

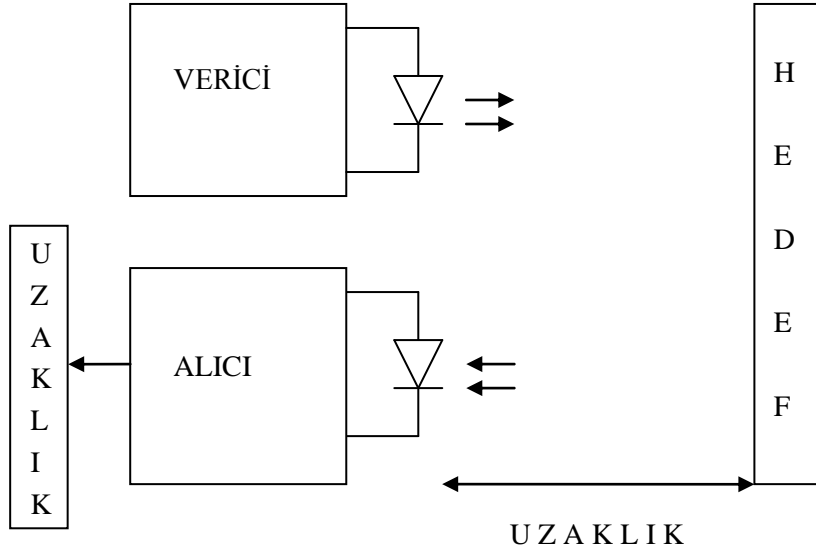
Burada LED'in ışık şiddetinin, uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Yukarıdaki açıklamalardan  $a$  katsayısının doğru bulunabilmesi için kullanılacak bir yöntem ortaya çıkmaktadır.

Mercek, yansıtıcı ayna gibi optik elemanlar, LED'in verdiği ışığın fotodedektöre ulaştırılmasında kullanılabilir (Watson, 1988), (Özütürk, 2006b). Bu tip optik elemanların kullanılacağı düzeneklerden bir tanesi Şekil 4'de verilmiştir (Wilson ve diğ., 2000). Burada iki adet yansıtıcının kullanıldığı durum görülmektedir. Bu düzenekte LED'in verdiği ışığın tamamı fotodiyoda ulaştırılmaktadır. Burada kullanılan yansıtıcılara optik anten adı da verilmektedir. Ancak yansıtıcıların yansıtma faktörlerinin %100 olmaması nedeniyle yansıtıcı optik elemanlar üzerinde bir miktar ışık zayıflatması oluşmaktadır.



**Şekil 4:**

*Optik elemanların kullanılacağı düzenek.*



Şekil 5:

*Uzaklık ölçer devresinin blok gösterimi.*

Uzaklık ölçer devresinin blok diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. Vericideki LED tarafından gönderilen ışık LED'den  $x$  uzaklığındaki hedefe çarpar. Çarpan ışığın şiddeti fotodetektör gerilimi cinsinden  $F_0/(x^2)$ 'dir. Hedefin yansıtma katsayısının  $k$  olması durumunda, hedeften yansıyan ışık fotodiyoda ulaştığında bir  $x$  kadar daha uzaklığı kat etmiş olacağından fotodiyoda ulaşan ışığın şiddeti denklem (1)'deki gibi  $(kF_0)/(4x^2) = a/x^2$  olacaktır. Fotodiyodun anodundan alınan gerilim pozitif kazançlı kuvvetlendirici tarafından kuvvetlendirilerek örnekle-tut devresinin girişine uygulanır. Örnekle-tut devresinin girişine ışık şiddetiyle orantılı gerilim darbesi ulaştığı anda örnekleme darbesinin uygulandığı uca da örnekleme darbesi uygulanmış olmaktadır. Bu örnekleme darbesi 555 tümdevresinin 3 nolu çıkış ucundan gelmektedir. 555 tümdevresinin 3 numaralı çıkış ucundaki bu işaret Ö/T devresinin örnekleme anını belirlediği gibi, aynı darbe süresince LED sürücü MOSFET'i doyuma götürerek LED'den geçen akımla orantılı bir ışık darbesi oluşturmasına neden olmaktadır. Örnekle-tut devresinin çıkışındaki ışık darbesinin genliğiyle orantılı bu gerilim, darbenin olmadığı boşluk süresince örnekle-tut devresinin çıkışında tutulmaktadır. Yeni bir darbe geldiğinde bu darbe de örneklenmekte ve darbenin genliği farklıysa (uzaklık değiştiyse) örnekle-tut devresinin örnekleme kondansatörü bu yeni genlik değeriyle dolmakta ve bu değer yeni bir sonraki darbeye kadar örnekle-tut devresinin çıkışında tutulmaktadır. Bu şekilde örnekle-tut devresinin çıkışında, girişine gelen kısa süreli gerilim darbelerinin genlikleri değerinde bir doğru gerilim elde edilir. Bu gerilim logaritmik kuvvetlendirici girişine uygulanır. Bu gerilim,

$$V_s = \frac{Aa}{x^2} \quad (2)$$

değerinde olur. Logaritmik kuvvetlendirici çıkışındaki gerilim  $V_0 = -K_1 \ln(K_2 V_s)$ 'dir. Buradaki  $K_1$  ve  $K_2$  katsayıları kuvvetlendiricideki bazı elemanların değerlerine bağlı çarpanlardır. Son ifadede  $V_s$  yerine yazılırsa,

$$V_0 = -K_1 \ln(K_2 Aa) + K_1 \ln(x^2) \quad (3)$$

olur. Yukarıdaki ifadede yer alan ilk terim, logaritmik kuvvetlendirici çıkışında bulunan fark kuvvetlendiricide bu ifadeden çıkarılır ve bu gerilim,

$$-V_s' = -K_1 \ln(x^2) \quad (4)$$

indirgenir. Bu çıkışın, (-1) kazançlı bir kuvvetlendirici ile evrilmesi gerekir. Son kuvvetlendiricinin çıkışı üstel kuvvetlendiricinin girişine bağlıdır. Üstel kuvvetlendirici çıkışındaki gerilim,

$$V_0' = \frac{1}{K_2'} \exp\left(\frac{V_s'}{K_1'}\right) \quad (5)$$

şeklinde. Buradaki  $K_1'$  ve  $K_2'$  çarpanları üstel kuvvetlendirici devresindeki bazı dirençlerin değerine bağlıdır. Son ifadede,  $V_s'$  değeri yerine alınırsa,

$$V_0' = \frac{1}{K_2'} \exp\left[\frac{K_1 \ln(x^2)}{K_1'}\right] = \frac{1}{K_2'} \exp\left[\ln(x^2)^n\right] = \frac{1}{K_2'} (x^2)^n \quad (6)$$

olur. Bu ifadede  $n=(K_1/K_1')$  dür. İlgili devrelerdeki dirençlerin değerleri ayarlanarak  $n=1/2$  yapılabilir. Bu durumda,

$$V_0' = \frac{1}{K_2'} x \quad (7)$$

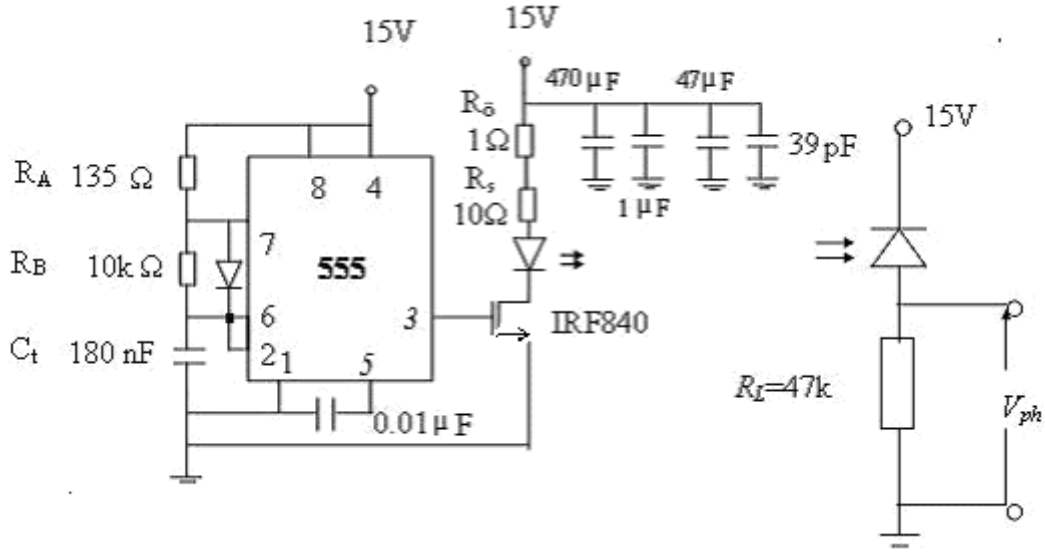
olur. Tasarlanan uzaklık ölçer devresinde  $K_2'$  katsayısı seçilen direnç değerleri ile "1" yapılmış, böylece çıkışta gözlenen gerilim değerinin doğrudan uzaklık bilgisini vermesi sağlanmıştır. Bu gerilim, uygun ölçekleme ile analog olarak uzaklık bilgisine dönüştürülebileceği gibi istenirse bir dijital voltmetre tümdevresi kullanarak veya gerilim değişimini frekans değişimine dönüştürdükten sonra bir sayısal frekansmetre kullanarak uzaklık bilgisini sayısal olarak da göstermek mümkündür.

### 2.1. Uzaklık Ölçer Devresinin Verici Kısmı

Verici devresi Şekil 6'da verilmiştir. Devrede kullanılan osilatör, 555 tümdevresiyle oluşturulmuş, darbe / boşluk süresi oranı değiştirilebilir bir darbe osilatörüdür.  $C_t$  zamanlama kondansatörü,  $R_A$  direnci ve diyot üzerinden dolmaktadır. Anahtar diyodunun iletim direnci değeri ihmal edilirse, darbe süresi,  $R_A$  ve  $C_t$  değerine bağlı olarak  $t_d = 0.695R_A C_t$  ifadesiyle belirlenir.  $C_t$  üzerindeki gerilim, belli bir değeri geçince, bu gerilim  $R_B$  direnci üzerinden ve 555 tümdevresinin 7 nolu ucundan toprağa doğru boşalmaktadır. Üretilen darbeleri işaretin boşluk süresi, kondansatörün boşalma süresinin olan  $t_b = 0.695R_B C_t$  bağıntısı ile belirlenir. Darbeleri işaretin periyodu ise  $T = t_d + t_b$  süresine eşittir.  $R_A$  ve  $C_t$  değerleri değiştirilerek istenilen darbe ve boşluk süreleri elde edilir. Osilatörün ürettiği işaret 3 nolu çıkış ucundan elde edilir.

LED'e darbeleri akım uygulamak için uygun bir anahtar devre elemanına ihtiyaç vardır. Böyle bir eleman, LED için kısa sürelerde 10A-15A gibi yüksek değerlerde akım darbeleri gerektiğinden bu büyüklükteki bir akımı 555 tümdevresinin tetiklediği IRF840 MOSFET ile sağlanmaktadır. Ayrıca, iletim anında üzerinde oluşan doyma gerilimi küçük olmalıdır. Doyma geriliminin yüksek olması durumunda büyük değerli akım akıtılabilmek için daha büyük besleme gerilimine ihtiyaç olacaktır. Ayrıca anahtar elemanı, ilgili darbe sürelerinde ve yüksek akım değerlerinde ısınmamalıdır. Yukarıda belirtilen özellikler dikkate alınarak anahtar elemanı olarak bir güç MOSFET'i (IRF 840) seçilmiştir.

Darbe süresince kondansatörlerden yüksek akım (10-15A) çekilmekte, boşluk süresince ise kondansatörler besleme kaynağından sağlanan akımla dolmaktadır. Kondansatörlerdeki kısa süreli darbe değişimlerinde çınlama olayı ortaya çıkabilmektedir. Çınlama olayını yok etmek için güç kaynağı uçlarına büyük ve küçük değerlerde birkaç kondansatör paralel bağlanmıştır.



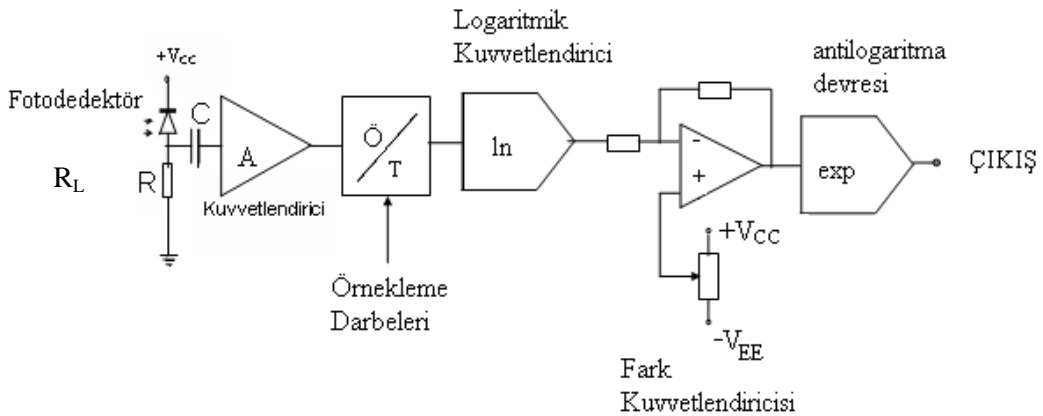
Şekil 6:  
Verici devresi.

## 2.2. Uzaklık Ölçer Devresinin Alıcı Kısmı

Uzaklık ölçer devresinin alıcı kısmı, fotodetektörden alınan işareti çeşitli işlemlerden geçiren devrenin çıkışındaki gerilimin uzaklıkla lineer olarak değişmesini sağlamaktadır.

Alıcı devresinin blok şeması Şekil 7’de verilmiştir. Alıcı devre altı kısımdan oluşmaktadır:

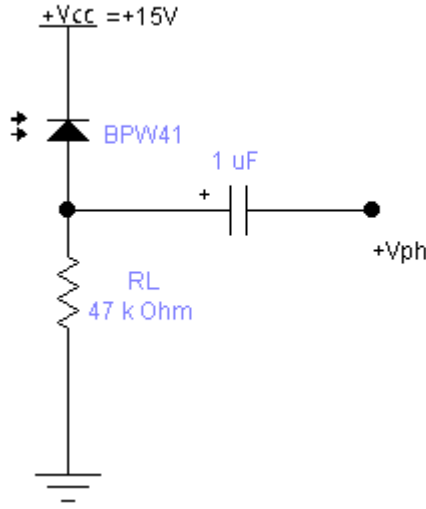
- Fotodetektör devresi,
- Kuvvetlendirici katı,
- Örnekle-tut devresi,
- Logaritmik kuvvetlendirici devresi,
- Fark kuvvetlendiricisi,
- Antilogaritma devresi.



Şekil 7:  
Alıcı devresinin blok şeması.

### 2.2.1. Fotodedektör Devresi

Fotodedektör devresi Şekil 8’de görülmektedir. LED’in verdiği ışığın şiddetinin ölçülmesi için fotodedektör olarak BPW41 fotodiyodu kullanılmıştır. Ölçmelerde kısa süreli ışık darbeleri söz konusu olduğu ve doğrusallık önemli olduğu için fotodiyot fotoiletken moda kutuplanmıştır (Özütürk, 2006b). Ölçmelerde kullanılan fotodedektörün ters besleme gerilimi  $V_{CC}=15V$ ’ tur. Bu gerilimin artırılması ile karanlık akımı  $i_0$  (gürültü) da artar. Fotodiyodun iletim süresini azaltmanın bir yolu  $R_L$  yük direncinin değerinin azaltılmasıdır. Ancak  $R_L$ ’nin azaltılması durumunda, üzerindeki gerilimin değeri de azalacaktır. Fotodiyot ile LED’in spektral uyumluluk göstermeleri de gereklidir. İyi bir spektral uyum olduğunda fotodiyot devresinden maksimum foto akım veya gerilim elde edilebilir.



Şekil 8:  
Fotodedektör devresi.

### 2.2.2. Kuvvetlendirici Katı

Kuvvetlendirici katında, fotodedektörden alınan düşük seviyedeki işaretin kuvvetlendirilmesi için iki adet faz çeviren kuvvetlendirici devresi kullanılmıştır. Kuvvetlendirici katının çıkışında yine aynı fazda bir işaret elde edilmiştir. İşlemsel kuvvetlendirici olarak LM301 kullanılmıştır. LM301 tümdevresi yüksek değişim hızı (yükselme eğimi) nedeniyle seçilmiştir.

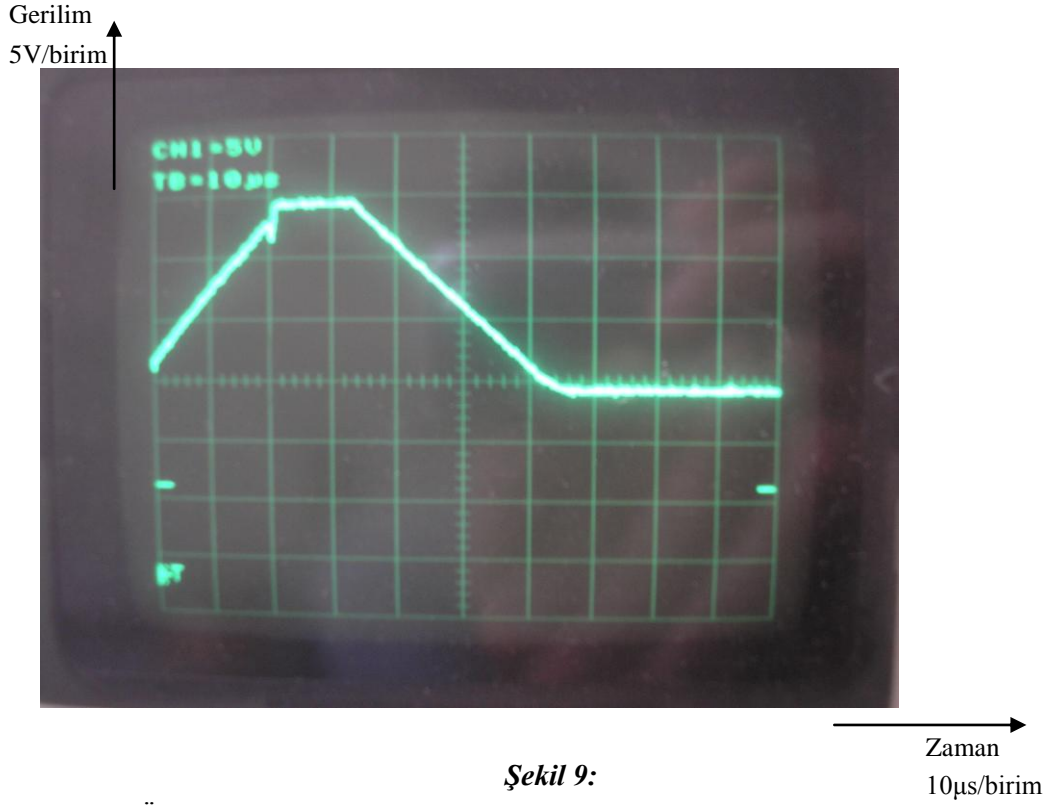
Şekil 9’da kuvvetlendirici katının çıkışındaki gerilim darbesinin değişimi görülmektedir. Bu işaret aynı zamanda örnekle-tut devresinin girişindeki (3 numaralı uç) işaretidir.

### 2.2.3. Örnekle-Tut Devresi

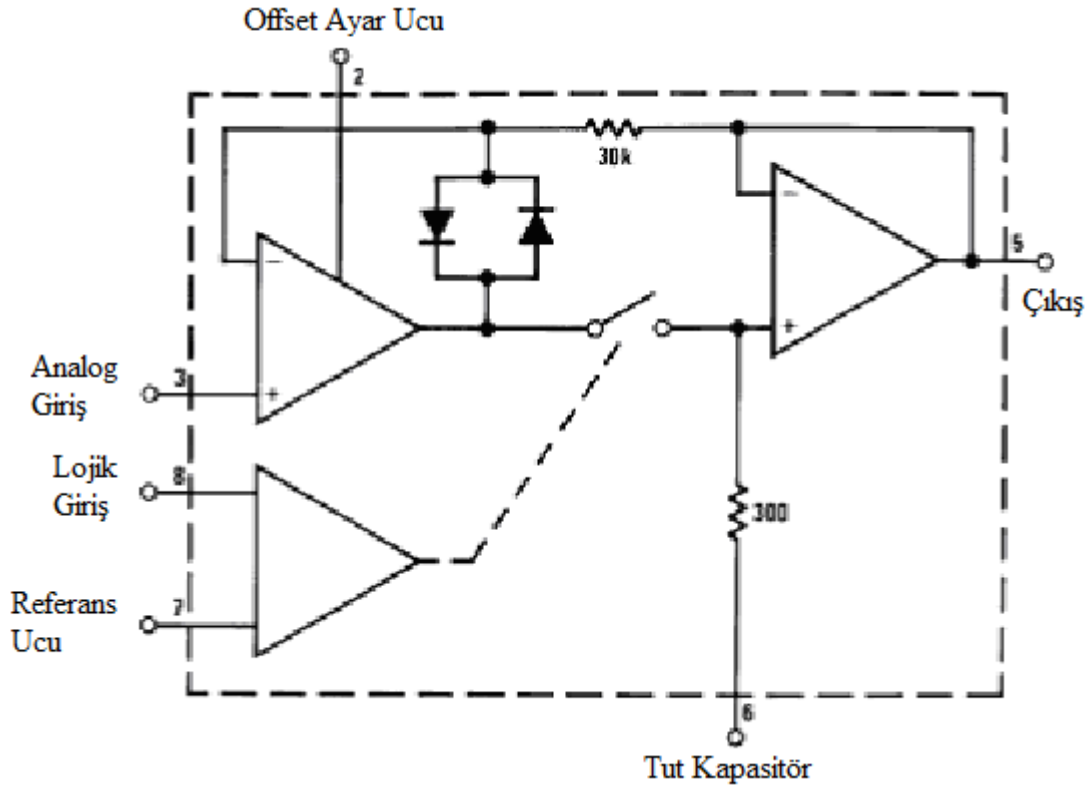
Fotodiyodun anodundan alınan gerilim (uzaklık bilgisi) pozitif kazançlı kuvvetlendirici katında kuvvetlendirildikten sonra örnekle-tut devresinin girişine uygulanır. Devrede örnekle-tut devresi olarak LF398 tümdevresi kullanılmıştır. Şekil 10’da örnekle-tut devresi olan LF398’in iç yapısı verilmiştir. Şekil 11’de ise bu tümdevrenin bağlantı diyagramı gösterilmiştir.

Kuvvetlendirici katından alınan kuvvetlendirilmiş işaret örnekle-tut devresinin 3 numaralı analog giriş ucuna, 555 tümdevresinin çıkış ucu olan 3 numaralı uçtan alınan darbeler ise örnekle-tut devresinin örnekleme girişi olan 8 numaralı lojik giriş ucuna uygulanır. Şekil 12’deki 555 tümdevresinin 3 numaralı çıkış ucundaki işaret, örnekle-tut devresinin örnekleme anını belirlediği gibi, aynı darbe süresince LED sürücü MOSFET’i doymaya götürerek LED’e bir akım darbesi uygulamakta ve bu akımla orantılı bir ışık darbesi oluşmasına neden olmaktadır. Bu şekilde, örnekle-tut devresinin çıkışında devrenin girişine gelen mikrosaniyeler kadar kısa süreli darbelerin genlikleri değerinde bir doğru gerilim elde edilmektedir (Şekil 13). Bu gerilim logaritmik kuvvetlendirici girişine uygulanmaktadır.

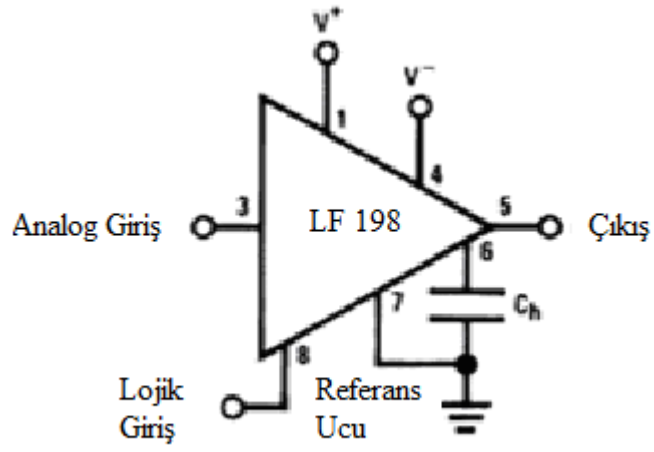




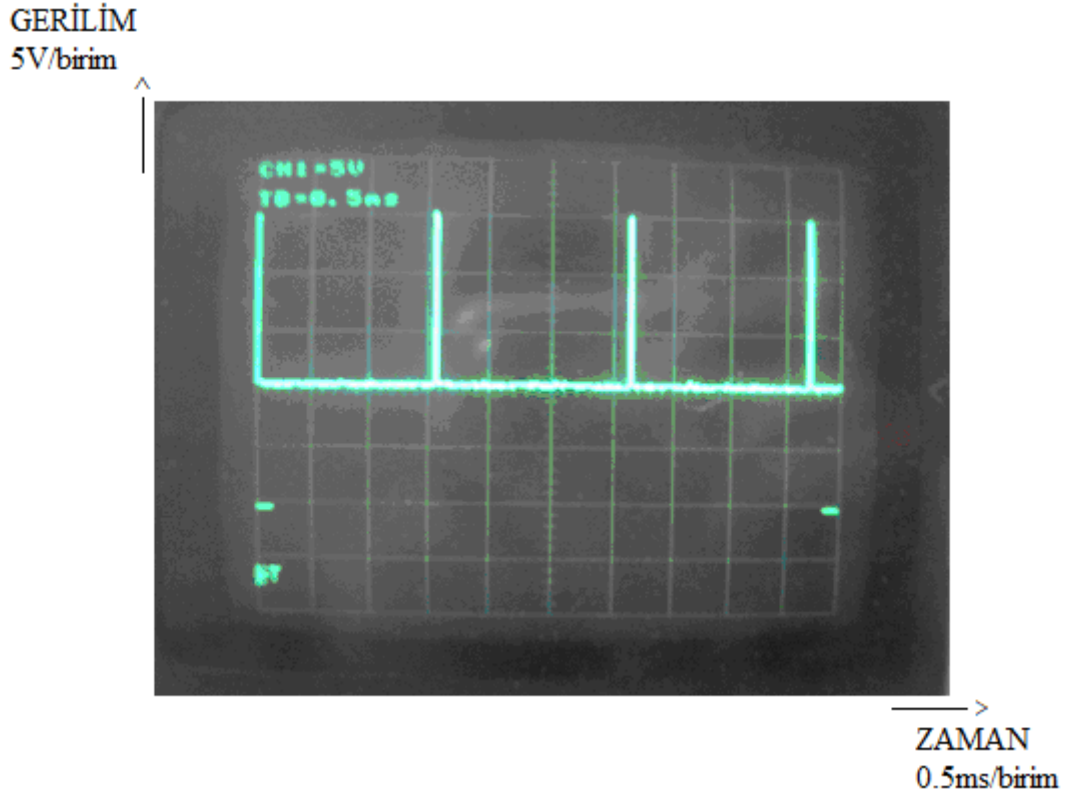
**Şekil 9:**  
Örnekle – tut devresinin 3 numaralı girişinde gözlenen darbe değişimi.



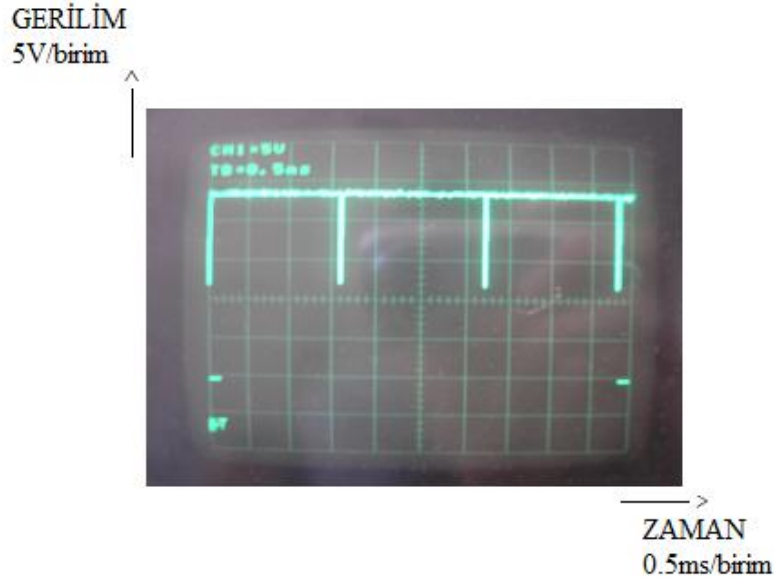
**Şekil 10:**  
LF398 örnekle-tut tümdevresinin iç yapısı.



**Şekil 11:**  
LF398 örnekle-tut tümdevresinin bağlantı diyagramı.



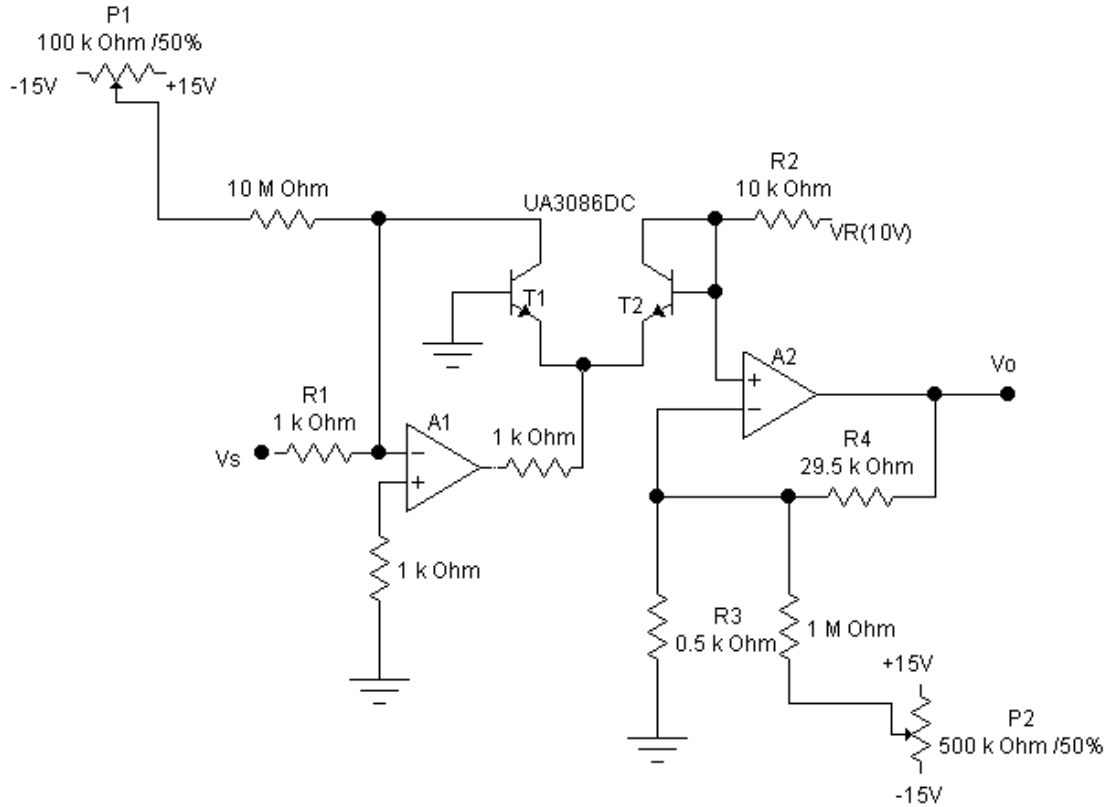
**Şekil 12:**  
555 tümdevresinin çıkışından alınan örnekleme darbeleri (örnekle-tut tümdevresinin 8 numaralı ucundaki işaret).



**Şekil 13:**  
Örnekle-tut devresinin çıkışında (5 numaralı uça) gözlenen işaret.

#### 2.2.4. Logaritmik Kuvvetlendirici

Örnekle-tut devresinin çıkışından alınan işaret logaritmik kuvvetlendirici devresine uygulanır. Devrede kullanılan logaritmik kuvvetlendirici, transistörlerle gerçekleştirilmiş bir logaritmik kuvvetlendiricidir. Transistör karakteristiklerinin birbirine çok yakın olması ve hemen hemen aynı sıcaklıkta bulunmaları gerektiğinden devrede transistör olarak UA3086 tümdevresi içindeki transistörler kullanılmıştır. Logaritmik kuvvetlendirici devresi Şekil 14’te verilmiştir (Pastacı, 1998).



**Şekil 14:**  
Transistörlerle gerçekleştirilmiş logaritmik kuvvetlendirici.

Devredeki her iki transistörün tıkkama yönündeki akımlarının eşit olduğu ve  $I_B \ll I_C$  şartı göz önüne alınırsa  $A_2$ 'nin pozitif girişindeki gerilim,

$$V = V_{BE_2} - V_{BE_1} = V_T \ln I_{C_2} - V_T \ln I_{C_1} = V_T \ln \frac{I_{C_2}}{I_{C_1}} \quad (8)$$

olur.  $V$  gerilimi baz-emetör gerilimleri arasındaki farka eşit olup, referans gerilime göre ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Yani,  $T_2$  transistörünün baz gerilimi toprak potansiyeli seviyesindedir.  $I_{B_2} \ll I_{C_2}$  olduğundan,

$$I_{C_2} = V_R / R_2, \quad I_{C_1} = V_S / R_1 \quad (9)$$

olur.  $A_2$  faz çevirmeyen bir kuvvetlendirici olduğundan çıkış gerilimi,

$$V_0 = V \frac{R_3 + R_4}{R_3} \quad (10)$$

olur.  $I_{C_1}$  ve  $I_{C_2}$  eşitlikleri yerine konulursa,

$$V_0 = -V_T \frac{R_3 + R_4}{R_3} \ln \left( \frac{V_S R_2}{R_1 V_R} \right) = -K_1 \ln(V_S K_2) \quad (11)$$

elde edilir.

Devrede kullanılan elemanlara göre  $K_1$  ve  $K_2$  değerleri şu şekilde hesaplanabilir:  $R_1 = 1k$ ,  $R_2 = 10k$ ,  $R_3 = 0,5k$ ,  $R_4 = 29,5k\Omega$  ise,  $K_1 = 1,5$  ve  $K_2 = 1$  olarak bulunur. Buradan

$$V_0 = -1,5 \ln(V_S) \quad (12)$$

çıkış gerilimi,  $V_S$ 'nin logaritmik fonksiyonu olarak elde edilir.

Devrede  $P_1$  potansiyometresi ile  $A_1$ 'in çıkışı sıfırlanır. Daha sonra toplam devrenin çıkışı  $P_2$  potansiyometresi ile sıfırlanır.  $V_S = 1V$  için  $P_2$  potansiyometresi ile çıkış,  $V_0 = 0$  yapılmış olur.

### 2.2.5. Fark Kuvvetlendiricisi

Logaritma devresinin girişindeki gerilim Eşitlik 2'de verilmiş olup

$$V_S = \frac{Aa}{x^2}$$

şeklinde dir. Logaritmik kuvvetlendirici çıkışındaki gerilim Eşitlik 11'e göre  $V_0 = -K_1 \ln(K_2 V_S)$ 'dir. Buradaki  $K_1$  ve  $K_2$  katsayıları kuvvetlendiricideki bazı elemanların değerlerine bağlı çarpanlardır. Son ifadede  $V_S$  yerine yazılırsa Eşitlik 3'de görülen

$$V_0 = -K_1 \ln(K_2 Aa) + K_1 \ln(x^2)$$

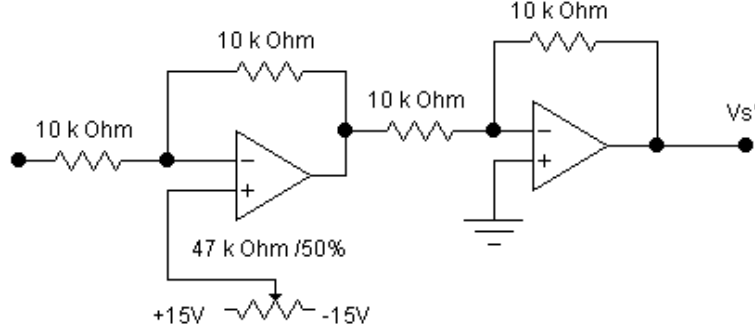
bulunur.

Fark kuvvetlendirici devresi Şekil 15'te görülmektedir. Logaritmik kuvvetlendirici çıkışı fark kuvvetlendiricisine uygulanır.

Yukarıdaki ifadede yer alan ilk terim, logaritmik kuvvetlendirici çıkışında bulunan fark kuvvetlendiricisindeki  $47k\Omega$ 'luk potansiyometre ile ifadeden çıkarılır. Fark kuvvetlendirici çıkışındaki bu gerilimin -1 kazançlı bir kuvvetlendirici ile bir kere daha evirilerek Eşitlik 4

$$V_s' = K_1 \ln(x^2)$$

elde edilir. Fark kuvvetlendiricideki bu sinyal antilogaritmik kuvvetlendiricinin girişine bağlanır.



**Şekil 15:**  
Fark kuvvetlendirici devresi.

### 2.2.6. Antilogaritmik Kuvvetlendirici

Fark kuvvetlendiricisinin çıkışından alınan sinyal antilogaritma devresinin girişine uygulanır. Şekil 16'da antilogaritma devresi görülmektedir (Pastacı, 1998).  $T_1$  transistöründeki  $I_{C1}$  akımı sabit olup  $V_R$  referans gerilimine bağlıdır.  $A_3$  ve  $A_4$ 'ün pozitif ve negatif girişleri arasında gerilim farkı olmadığından ve kuvvetlendirici akım çekmediğinden  $T_1$ 'in baz ve kollektör gerilimleri birbirine eşittir. Yani,

$$-V = V_{BE1} - V_{BE2} \quad (13)$$

yazılabilir. Transistörler benzer olduğundan  $V$  çok küçüktür ve  $V_R$  yanında ihmal edilebilir. Buradan,

$$I_{C1} = \frac{V_R'}{R_2'} \quad I_{C2} = \frac{V_0'}{R_1'} \quad (14)$$

olur. Girişteki gerilim bölücünden,

$$-V = \frac{R_3'}{R_3' + R_4'} V_s' = V_T \ln \frac{I_{C2}}{I_{C1}} \quad (15)$$

elde edilir.  $I_{C1}$  ve  $I_{C2}$  yerine konular ve düzenlenirse

$$V_0' = \frac{R_1'}{R_2'} V_R' \exp\left(\frac{V_s'}{V_T} \frac{R_3'}{R_3' + R_4'}\right) = \frac{1}{K_2'} \exp\left(\frac{V_s'}{K_1'}\right) \quad (16)$$

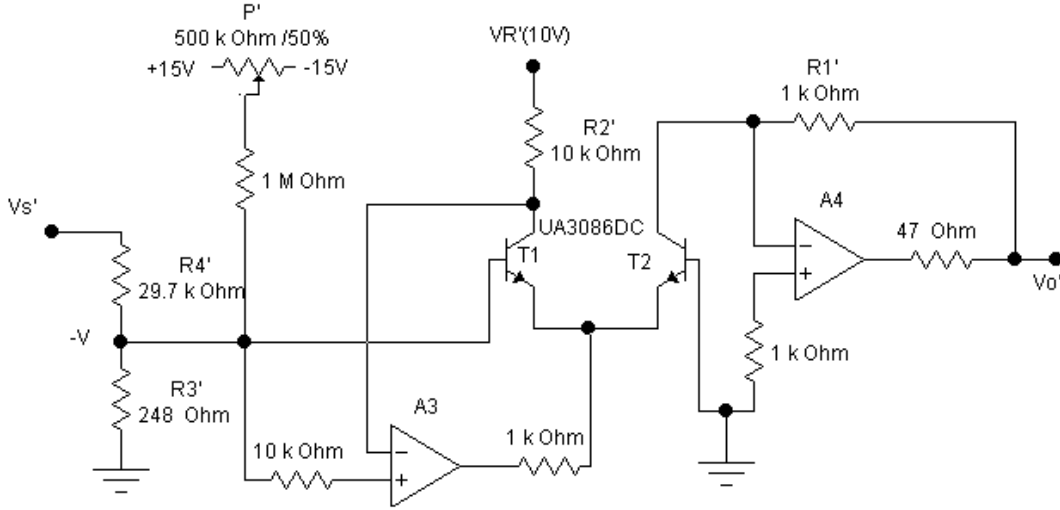
bulunur. Devrede kullanılan elemanlar  $R_1' = 1k$ ,  $R_2' = 10k$ ,  $R_3' = 248\Omega$  ve  $R_4' = 29,7k$  alınırsa  $K_1' = 3$  ve  $K_2' = 1$  olarak bulunur. Denklemden  $V_s' = K_1 \ln(x^2)$  konularak yeniden düzenlenirse

$$V_0' = x \quad (17)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi, devrenin çıkışında ölçülen gerilim doğrudan aradaki mesafeyi vermektedir. Burada da dikkat edilmesi gereken, 500k'lık potansiyometre ile devrenin sıfırlamasını sağlamaktır. Devrenin sıfırlaması için  $V_s = 0$  yapılır ve potansiyometre ile

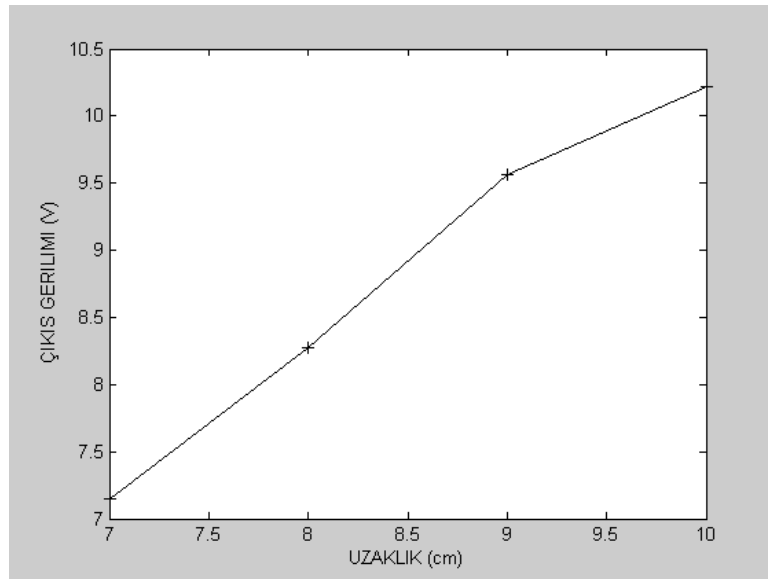
$$V_0' = \frac{R_1'}{R_2'} V_R' = 1V \quad (18)$$

olacak şekilde çıkış gerilimi ayarlanır.



**Şekil 16:**  
Antilogaritmik kuvvetlendirici.

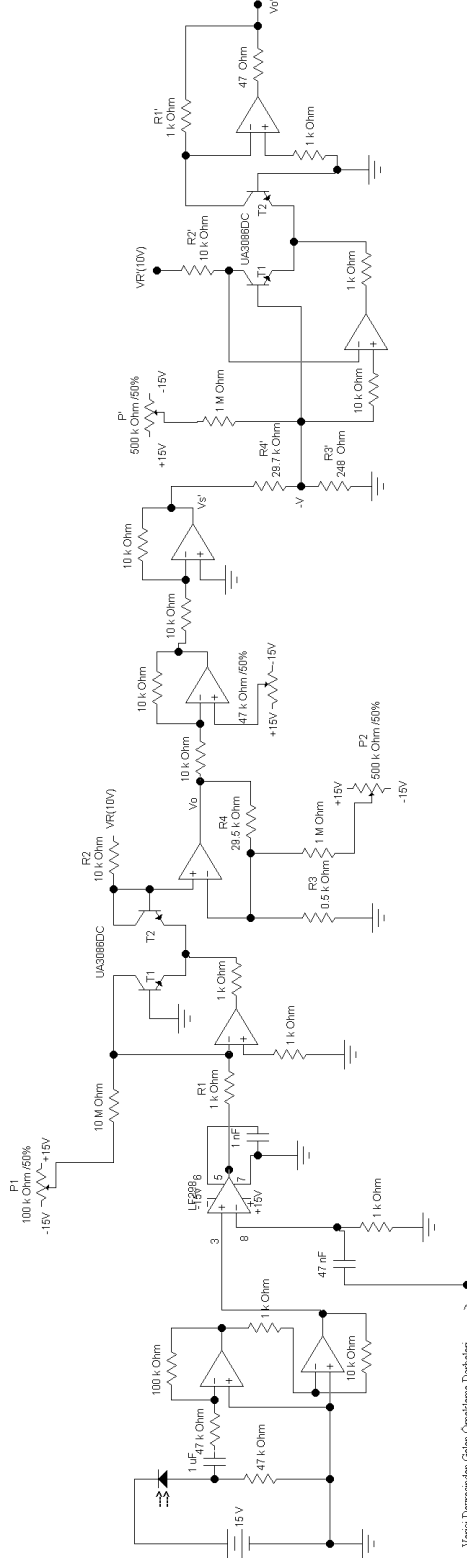
Şekil 17'de uzaklık ölçer devresinin çıkış gerilimi-uzaklık eğrisi verilmiştir. Şekil 18'de de alıcı devresinin tamamına yer verilmiştir.



**Şekil 17:**  
Uzaklık-çıkış gerilimi değişimi grafiği.

### 3. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada uzaklık ölçer devresi pratik olarak gerçekleştirilmiş ve devrenin çalıştığı görülmüştür. Gerçekleştirilen devrenin, çıkış gerilimi-uzaklık eğrisinin 7-10cm arasında doğrusala yakın olduğu (Şekil 18) görülmüştür. Bu aralık dardır, genişletilebilir.



Şekil 18:

Alıcı devresinin tam şekli.

Alıcı devresindeki logaritmik kuvvetlendirici çıkışında oluşan gerilimdeki uzaklıkla ilgili olmayan terimleri içeren  $-K_1 \ln(K_2 A a)$  bileşeni fark alıcı devre yardımıyla yok edildiğinden, alıcı devresinin çıkışında uzaklıkla doğrusal olarak değişen çıkış gerilimi ifadesinde kuvvetlendiricilerin kazancı  $A$ , hedefin yansıtma katsayısı  $k$  ve fotodetektör devresinden alınan gerilim ile LED'in ışık şiddetini birbirine bağlayan  $F_0$  orantı katsayısı açık olarak yer almamaktadır.

Yükselteç kazancı ( $A$ ), hedefin yansıtma katsayısı ( $k$ ) ve fotodetektör-LED'i birbirine bağlayan  $F_0$  orantı katsayısındaki değişimlerin, fark alıcı yükselteç devresindeki potansiyometre ile kompanze edilebildiği görülmüştür. Böylece, gerçekleştirilen devre,  $A$ ,  $k$ , ve  $F_0$  değerlerinden bağımsız olarak çalışabilmektedir. Fark alıcı yükselteçteki potansiyometre, ortam koşullarına göre, otomatik olarak kompanzasyon işlemini gerçekleştirebilirse, bu devre robot kolu kontrolünde kullanılabilir.

Bir robot kolu için, devrede birtakım geliştirmeler yapılarak, fark alıcı devredeki potansiyometrede ayar yapmaya gerek kalmadan uzaklık ölçümünün otomatik olarak ortam koşullarından etkilenmemesi sağlanabilir. İleride böyle bir çalışmanın yapılması düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Bhattacharya, P. (1997) Semiconductor Optoelectronic Devices, Second Edition, Prentice-Hall, U.S.A.
2. Özütürk, E. ve Karlık, S.E. (1998) Kızılötesi Işımlarla Açık Optik Ortamda Bilgisayarlar Arası Veri İletimi, Bursa 5. Bilgisayar-Haberleşme Sempozyumu, 104.
3. Özütürk, E. (2000) LED'lerin Aşırı Darbe Akımında Çalışmasının Teorik ve Pratik Araştırması, Doktora Tezi, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
4. Özütürk, E. (2002) LED'lerin Aşırı Darbe Akımında Bazı Davranışlarının İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(1), 19-35.
5. Özütürk, E. (2003) Darbeli Akımlarda LED Akımının Ne Oranda Arttırılabileceğini Veren Bazı Bağıntılarının Çok Yüksek Akımlarda Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 8(1), 17-24.
6. Özütürk, E. (2004) Fotodiyodun Anahtarlama Sürelerinin Darbeli Yüksek Işık Şiddetleri İçin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2), 221-226.
7. Özütürk, E. (2006a) LED'in Elektriksel Karakteristiklerinin Optik Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(3), 389-396.
8. Özütürk, E. (2006b) LED Işığının Algılanabilme Uzaklığını Arttırma Olanaklarının Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1-2), 83-96.
9. Selet, M. E. (2006) Optoelektronik Uzaklık Ölçer, Bitirme Ödevi (Danışman: Dr. Erdem Özütürk), Uludağ Üniversitesi, Bursa.
10. Türkdoğan, S. (2007) Optoelektronik Uzaklık Ölçer, Bitirme Ödevi (Danışman: Dr. Erdem Özütürk), Uludağ Üniversitesi, Bursa.
11. Pastacı, H. (1998) Elektronik Devreler, İstanbul.
12. Watson, J. (1988) Optoelectronics, Van Nostrand Reinhold, U.K.
13. Wilson, J. ve Hawkes, J. F. B. (2000) Optoelektronik, Değişim Yayınları, Adapazarı.

Makale 28.06.2010 tarihinde alınmış, 13.05.2011 ve 10.11.2011 tarihlerinde düzeltilmiş, 30.11.2011 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: E.Özütürk (ozuturk@uludag.edu.tr).