

Cilt: 1 Sayı: 2 sh. 59-69 Mayıs 1999

## LED - FOTODİRENÇ ÇİFTİ İLE TASARLANMIŞ OPTOELEKTRONİK OSİLATÖR

(OPTOELECTRONIC OSCILLATOR DESIGNED WITH LED - PHOTORESISTOR PAIRS)

Eldar MUSAYEV, İsmail TEKİN

Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü

### ÖZET / ABSTRACT

Klasik osilatörlerin frekanslarını, devrede kullanılan kondansatörler belirler. Düşük frekans üreten osilatörlerde kullanılan kondansatörlerin kapasitesi, dolayısıyla boyutları çok büyük olmaktadır. Bu da osilatörün entegre veya çip şeklinde tasarlanmasını engeller. Optoelektronik osilatörlerde ise frekans belirleyici devrelerinde büyük boyutlu kondansatörler yerine fotoalıcı - LED çifti kullanılır (Musayev, E.). Optoelektronik osilatörler düşük frekanslı titreşimler üretmek, ışın şiddetini frekansa dönüştürmek, bir cismin emilme veya yansımaya katsayılarını frekansa dönüştürmek amacıyla kullanılabilirler.

*Frequency of classical oscillators are determined by the size of capacitors that are used in the circuit. Capacitors which are used in low frequency oscillators are very big in size due to their large capacity values. This is a drawback for the low frequency oscillators to be designed as integrated circuits and chips. Instead of large capacitors, photoreceiver -LED pairs are used in frequency-defining section of optoelectronic oscillators. Optoelectronic oscillators can be used to generate low frequency vibrations, to convert light to frequency, and to convert absorption and reflection coefficients of an object to frequency.*

### ANAHTAR KELİMELELER / KEY WORDS

optoelektronik, osilatör, LED, fotodirenç, ışık, frekans. / *optoelectronic, oscillator, LED, photoresistor, light, frequency.*

### 1. GİRİŞ

Elektronikğin bir dalı olan optoelektronik, günümüzde çok hızlı gelişmektedir. Işın vericiler, fotoalıcılar, ve bunların elektronik devreleri ile bağlantıları ve bu şekilde elde edilen devrelerin analizi optoelektronikğin temelini oluşturmaktadır. Optoelektronik devreler ile çeşitli sistemler tasarlanabilir. Bu makalede LED - fotoalıcı çifti ile tasarlanmış optoelektronik osilatör devresi incelenmiştir. Optoelektronik osilatörün temelinde darbeli ışın ile ışıklandırılmış fotodirencin zaman sabiti vardır. Yani fotodirencin ışığa duyarlı yüzeyine düşen ışık ile direncin değişimi arasında olan gecikmedir. Optoelektronik osilatörde klasik osilatörlerdeki gibi kondansatör - direnç veya endüktans - direnç devreleri kullanılmamaktadır. Böylece düşük frekanslı sinyal üretiminde büyük değerli ve boyutlu kondansatör kullanılması zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Osilatörün frekans belirleyici devresi LED-fotodirenç çifti ile geliştirilmiştir.

### 2. OPTOELEKTRONİK OSİLATÖRÜN TEORİSİ, YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Optoelektronik osilatörlerin frekans belirleyici devresinde LED - fotoalıcı çifti kullanılmaktadır. Fotoalıcı, darbe şeklinde modüle edilmiş bir ışık ( $F(t)$ ) ile uyarılırsa elde edilen fotosinyal aşağıdaki denklem ile belirlenir. (Musayev, 1997)

$$\tau \frac{dU}{dt} + U(t) = S_0 \cdot F(t) \quad \dots\dots\dots(1)$$

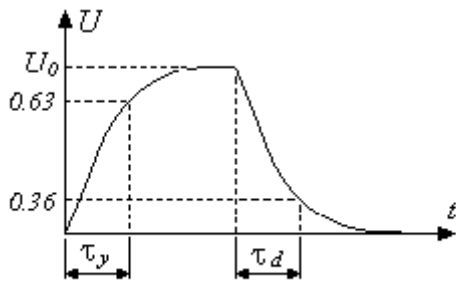
Burada  $U(t)$ ; fotosinyal,  $F(t)$ ; fotoalıcının ışığa duyarlı yüzeyine düşen ışık,  $\tau$ ; zaman sabiti,  $S_0$ ; fotoalıcının duyarlılığıdır. LED akımı ile ışık gücünün değişimini ( $P_{LED} = K_{LED} \cdot I_{LED}$ ) lineer olduğunu kabul ederek fotosinyalin ifadesi,

$$\tau \frac{dU}{dt} + U(t) = S_0 K_{LED} I_{LED}(t) \quad \dots\dots\dots(2)$$

şeklinde elde edilir. Burada,  $I_{LED}(t)$ ; LED akımı,  $K_{LED}$ ; LED'in akımı ışığa çevirme katsayısıdır. Bu diferansiyel denklemin çözümü fotoalıcının geçit karakteristiğini ifade eder. Fotosinyalin yükselme ve düşme süreleri eksponansiyel denklemler ile gösterilebilir.

$$U_1(t) = U_0 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_D}{\tau_y}\right) \right] \quad U_2(t) = U_0 \cdot \left[ \exp\left(-\frac{t_B}{\tau_d}\right) \right] \quad \dots\dots\dots(3)$$

Burada,  $U_1(t)$ ; sinyalin yükselmesi,  $U_2(t)$ ; sinyalin düşüşü,  $t_D$ ; darbe süresi,  $t_B$ ; boşluk süresi,  $\tau_y, \tau_d$ ; yükselme ve düşme zaman sabitleri,  $U_0$ ; sinyalin maksimum değeridir. Bu denklemlerden ve Şekil 1'den de görüldüğü gibi fotosinyalin yükselme ve düşme süresi bir zaman sabitine sahiptir. Bu zaman sabiti fotoalıcının yapısına ve tipine göre değişir. Örneğin fotodirençler için bu zaman sabiti çok büyük, fotodiyotlar ve fototranzistörler için ise daha küçüktür. Tasarlanan optoelektronik osilatörün istenen frekans bölgesini kapsamaması için gerekli fotoalıcı seçilebilir.



**Şekil 1.**

Şekil 2'de optoelektronik osilatörün şeması gösterilmiştir. Optoelektronik osilatör iki N-P-N tranzistörden, dirençlerden ve LED - fotodirenç çiftinden geliştirilmiştir. Devredeki tranzistörlerin çalışma rejimlerini  $R_1, R_2, R_3, R_4$  dirençleri ve fotodirenç - LED çifti belirler.

Optoelektronik osilatörün frekansı  $f = \frac{1}{t_D + t_B}$  dir. Şekil 5’de gösterildiği gibi  $U_1(t) = U_1$  ve  $U_2(t) = U_2$  alınarak optoelektronik osilatörün çıkışında elde edilen kare darbelerin süresi  $t_D$  ve boşluk süresi  $t_B$  bulunabilir:

$$U_0 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_D}{\tau_y}\right) \right] = U_1 U_0 \cdot \left[ \exp\left(-\frac{t_B}{\tau_d}\right) \right] = U_2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

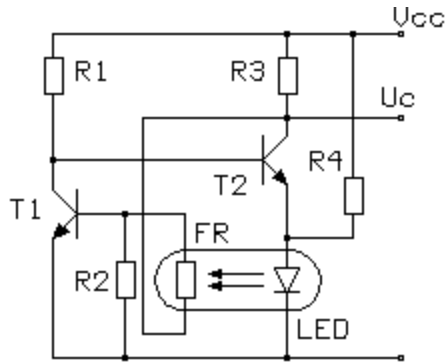
Bu denklemlerden  $t_D$  ve  $t_B$  zamanları aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$t_D = \tau_y \cdot \ln\left[\frac{U_0}{U_0 - U_1}\right] \quad t_B = \tau_d \cdot \ln\left[\frac{U_0}{U_2}\right] \quad \dots\dots\dots(5)$$

Böylece osilatörün frekansı,

$$f = \frac{1}{t_D + t_B} = \frac{1}{\ln\left[\frac{(C \cdot K_{LED} \cdot I_{LED})^{\tau_y + \tau_d}}{(C \cdot K_{LED} \cdot I_{LED} - U_1)^{\tau_y} \cdot U_2^{\tau_d}}\right]} \quad \dots\dots\dots(6)$$

olur. Optoelektronik osilatörde gereken faz farkı fotodirencin zaman sabiti ile oluşan gecikme süresi ile elde edilir.



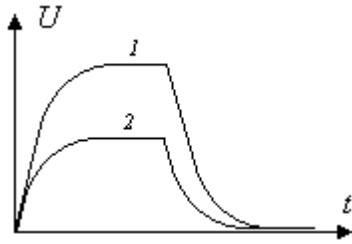
**Şekil 2. Optoelektronik osilatörün şeması.**

Osilatörün frekansı, (devrede bulunan dirençlerin değerleri sabit olması koşuluyla ) fotodirencin karanlık ( $R_{FRK}$ ) ve ışıklandırılmış durumdaki dirençleri ( $R_{FRışık}$ ) ve LED’in akımı ile belirlenir. Çünkü fotodirencin direnci LED’den gelen ışık ile belirlenir. LED’in ışını ise üzerinden geçen akım ile belirlenir.

$$R_{FR} = C \cdot K \cdot I_{LED} \quad \dots\dots\dots(7)$$

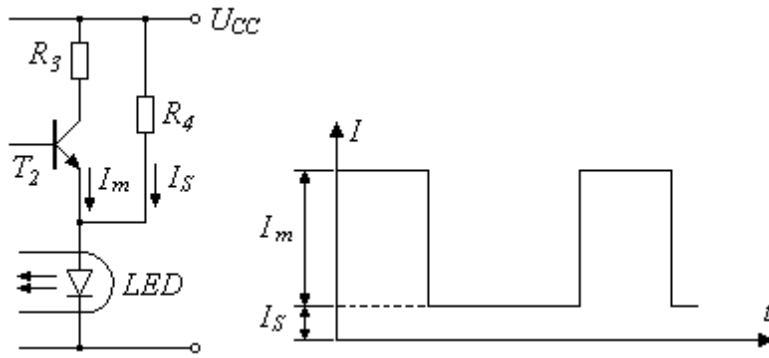
Burada,  $C$ ; fotodirencin ışını dirence çevirme katsayısı,  $K_{LED}$ ; LED'in akımı ışına çevirme katsayısı,  $I_{LED}$ ; LED'in akımıdır.

Fotodirencin karanlık direnci çok büyük değerlere sahiptir (genelde 10 MW 'lar mertebesinde). Bu da devrenin kararlılığını ve frekansını olumsuz etkilemektedir. Karanlık direncin değerini azaltmak için optoelektronik osilatörde  $R_4$  direnci kullanılmıştır. Bu direnç LED üzerinde sabit bir akım oluşturmakta ve karanlık direncin mertebesini belirlemektedir. Yani karanlık direnci ışık olmadığı değerden yeni bir ışıklandırılmış mertebeye düşürmektedir. Bu durum grafik olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada birinci eğri (1) fotodirenç üzerine ışık düşmediği durum içindir. İkinci eğri (2) ise LED üzerinden sabit bir akım ( $R_4$  direnci ile sağlanan akım) geçtiği durum içindir.



Şekil 3.

Bu durumda LED üzerinden iki akım akmaktadır. Birinci akım  $R_4$  direnci ile belirlenen sabit akımdır. İkinci akım ise  $T_2$  tranzistörü üzerinden akan modüleli akımdır. Şekil 4'de LED üzerinden akan akımlar ve bu durumu açıklayan zaman diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.

LED üzerinden akan toplam akım,

$$I_{LED} = I_m + I_s \dots\dots\dots(8)$$

dır.

Burada,  $I_s$ ;  $R_4$  direnci ile belirlenen akımdır. Bu akım fotodirencin karanlık direncini gereken seviyeye düşürmektedir.  $I_m$ ; modüle edilmiş akımdır. Şekil 4'den de görüldüğü gibi bu akım genelde kare dalga şeklindedir.

LED üzerinden akan sabit akım değeri,

$$I_s = \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4} \dots\dots\dots(9)$$

şeklinde dir. (9) nolu formülü (7) nolu formülde yerine konarak fotodirencin yeni karanlık direnci,

$$I_{LEDK} = \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4} \dots\dots\dots(10)$$

şeklinde elde edilir. Burada  $U_{LED}$ ; LED'in eşik gerilimidir. Fotodirenç karanlık durumda iken  $T_1$  tranzistörü kesimdedir ve dolayısıyla LED üzerinden akım akmaz.  $T_2$  tranzistörünün kollektör gerilimi yaklaşık olarak besleme gerilimine eşit olur. Fotodirencin karanlık direnci,  $R_2$  direncine ve birinci tranzistörün giriş direnci  $h_{ie}$ 'ye göre çok büyük olduğundan birinci tranzistörün baz akımı fotodirencin karanlık akımına eşit olur:

$$I_{BK} = I_{FRK} = \frac{V_{CC}}{R_{FRK}} = \frac{V_{CC}}{C.K_{LED} \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4}} \dots\dots\dots(11)$$

olur. Bu akım  $T_1$  tranzistörünün durumunu değiştirmek için yeterli değildir. Tranzistör  $T_1$  kesimde iken, tranzistör  $T_2$  doyuma gider ve LED üzerinden akım akmaya başlar. LED'in ışığı fotodirencin ışığa duyarlı yüzeyine düşer. Bu durumda fotodirencin ışıklandırılmış durumdaki direnci,

$$R_{FR_{ışık}} = C.K.(I_{LED_{ışık}} + I_{LEDK}) \dots\dots\dots(12)$$

formülü ile belirlenir. Işıklandırılmış durumdaki direnci oluşturan LED akımın değeri,

$$I_{LED_{ışık}} = \frac{V_{CC} - U_{LED} - V_{T2}}{R_3} \dots\dots\dots(13)$$

LED'in  $R_3$  ve  $R_4$  dirençleri ile oluşan akımları hesaba alarak fotodirencin direnç değeri,

$$R_{FR_{ışık}} = C.K. \left[ \frac{V_{CC} - (V_{T2} + U_{LED})}{R_3} + \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4} \right] \dots\dots\dots(14)$$

olur. Tranzistör üzerinde düşen gerilimi dikkate almazsak fotodirencin direnç değeri,

$$R_{FR_{ışık}} = C.K_{LED} \cdot (V_{CC} - U_{LED}) \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3 \cdot R_4} \dots\dots\dots(15)$$

olur. Fotodirenç üzerine ışık düştüğü durumda fotodirenç üzerinden akan akım,

$$I_{FR_{1\text{şık}}} = \frac{V_{CC} - (I_m + I_{FR_{1\text{şık}}}) \cdot R_3}{R_{FR_{1\text{şık}}} + (R_2 // h_{ie1})} \dots\dots\dots(16)$$

olur. Burada  $h_{ie1}$ , birinci tranzistörün giriş direncidir.  $R_{FR_{1\text{şık}}} + (R_2 // h_{ie}) = R_B$  olarak kabul ederek ve ara hesaplamaları atlayarak,

$$I_{FR_{1\text{şık}}} = \frac{V_{CC} - I_m \cdot R_3}{R_B + R_3} \dots\dots\dots(17)$$

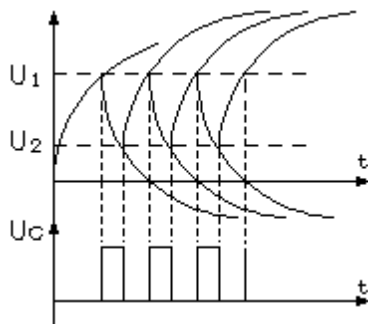
şeklinde olur.  $I_{B_{1\text{şık}}} = I_{FR_{1\text{şık}}} - I_{R_2}$  olursa ve  $I_{R_2} = \frac{U_{BE1}}{R_2}$  olarak kabul edersek  $T_1$  tranzistörünün baz akımı,

$$I_{B_{1\text{şık}}} = \frac{V_{CC} - I_m \cdot R_3}{R_B + R_3} - \frac{U_{BE1}}{R_2} \dots\dots\dots(18)$$

olur. Burada  $U_{BE1}$ , birinci tranzistörün baz - emetör gerilimidir.  $T_2$  tranzistörünün baz akımı,  $T_1$  tranzistörü kesimde iken akar ve  $R_1$  direnci ile belirlenir.  $T_2$  tranzistörü doyumda çalışır.

Optoelektronik osilatörün düzgün ve verimli çalışması için devrede kullanılacak olan elemanlar uygun şekilde seçilmelidir.

Optoelektronik osilatör, besleme gerilimine bağlandığında  $T_1$  tranzistörü kesimdedir. Çünkü fotodirencin direnç değeri çok büyüktür (karanlık direnç).  $T_2$  tranzistörü ise iletimdedir. LED üzerinden akım akar. Bu akım ile oluşan ışık fotodirencin ışığa duyarlı yüzeyine düşmektedir. Fotodirencin direnç değeri bir zaman sabiti ile azalmaya başlar. Bu direnç ile oluşan sinyal  $U_1$  (Şekil 5) değerine ulaşırken  $T_1$  tranzistörü doyuma (iletime) geçer.  $T_2$  ise kesime geçer. LED üzerinden akım geçmez ve ışık kesilir. Fotodirencin direnci bir zaman sabiti ile yükselmeye başlar ve oluşan sinyal değeri  $U_2$  değerine ulaşırken  $T_1$  kesime,  $T_2$  ise iletime geçer ve LED üzerinden yeniden akım akar. Olay bu şekilde periyodik olarak devam eder ve periyodik kare darbeler üretilir. Bu olay Şekil 5’de verilen zaman diyagramları ile gösterilmiştir.

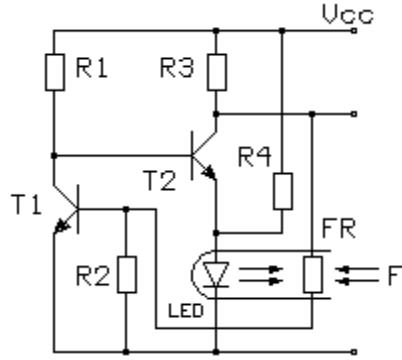


**Şekil 5. Optoelektronik osilatörün çalışmasını ifade eden zaman diyagramları.**

### 3. OPTOELEKTRONİK OSİLATÖRÜN ŞEMASI VE PRATİK DENEMELERİ

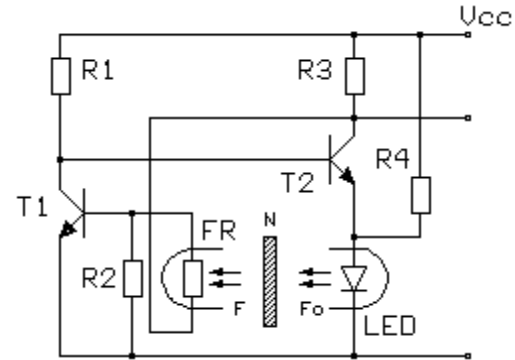
Optoelektronik osilatörler, çeşitli amaçlar için kullanılabilirler. Osilatör devresinde kondansatörlerin olmaması bu devreleri entegre veya çip şeklinde tasarlanmasına olanak verir. Optoelektronik osilatörlerin düşük frekanslarda kullanılması daha avantajlıdır.

LED ile fotodirençin optik bağlantısını sabitleyerek ve fotodirenç, dış ışığa açık olacak şekilde tasarlanarak ışığı frekansa dönüştüren bir devre elde edilebilir. Şekil 6'da bu amaç için tasarlanmış devrenin şeması gösterilmiştir.



**Şekil 6. Optoelektronik osilatörün ışığın şiddetini frekansa çevirmek amacıyla kullanılması.**

LED ile fotoalıcı arasındaki optik kanal açık olarak tasarlanırsa bu kanala yerleştirilen çeşitli cisimlerin emilme katsayıları frekansa dönüştürülebilir. Şekil 7'de bu amaçla tasarlanmış devre örneği gösterilmiştir.



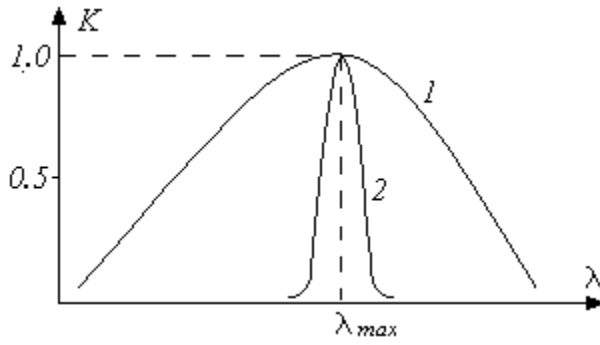
**Şekil 7. Optoelektronik osilatörün bir cismin emilme katsayısını frekansa dönüştürme amacıyla kullanılması.**

Optoelektronik osilatörün bir devre örneği ve devrenin çeşitli noktalarında elde edilen sinyallerin şekilleri (Şekil 10) gösterilmiştir. Fotodirenç olarak NSL19-M51 tipi fotodirenç kullanılmıştır. Bu fotodirençin katalog değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.**

duyarlılığın maksimum olduğu dalga boyu	550nm
10Lux'luk ışık şiddetindeki direnç değeri	20...100kW
100Lux'luk ışık şiddetindeki direnç değeri	5 kW
karanlık direnci	20M W
maksimum besleme gerilimi	100V
fotodirenç üzerinde harcanan maks. güç	50mW
yükselme zaman sabiti ( $t_y$ )	45ms
düşme zaman sabiti ( $t_d$ )	55ms
çalışabileceği sıcaklık aralığı	-60° C...75° C

LED olarak yeşil veya sarı ışık veren LED kullanılabilir. Seçilen LED'in spektrum diyagramının maksimumu, fotodirençin spektrum diyagramına Şekil 8'de gösterildiği gibi uygun seçilmelidir. Deneyde L-517 EGW tipi LED kullanılmıştır. Bu LED 10 mA'lık akımda 3,6 mcd'lik ışın şiddetine sahiptir. LED'in eşik gerilimi 1,8 V'tur.



**Şekil 8.**

Devrede iki adet BC239 tipi silisyum tranzistör kullanılmıştır. Deneyin amacı devre elemanlarının çıkış işareti üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

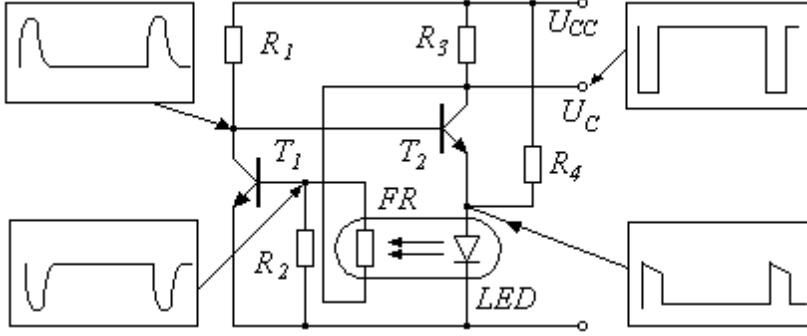
Denemeler yapılması için Şekil 10'da gösterilen optoelektronik osilatör devresi kurulmuştur. Dış ışığın etkisini engellemek için LED-fotodirenç çifti Şekil 9'da gösterildiği gibi siyah bir boru içine yerleştirilmiştir.





### Şekil 9.

Osilatör devresinde kullanılan direnç değerleri şunlardır:  $R_1=1k\Omega$  ,  $R_2=22k\Omega$  ,  $R_3=1k\Omega$  ,  $R_4=22k\Omega$  . Bu değerler için ve besleme gerilimi  $V_{CC}=12V$  olmak üzere devrenin önemli noktalarında elde edilen işaretler Şekil 10'da gösterilmiştir.

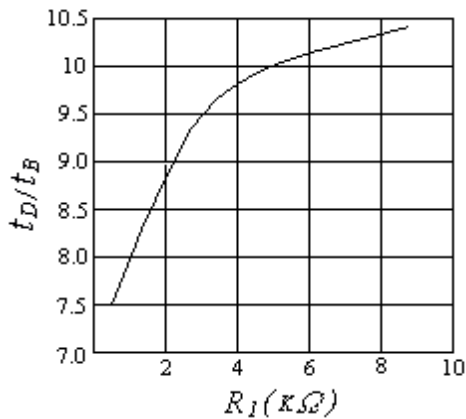


### Şekil 10.

Devredeki dirençlerin çıkış işareti üzerindeki etkisini araştırmak için direnç değerleri belli aralıklarda değiştirilmiş ve her bir adımda darbe - boşluk oranı hesaplanmıştır. Bir direncin değerinin etkisi araştırılırken diğer dirençler sabit tutulmuştur.  $t_D/t_B=f(R)$  fonksiyonları grafik olarak elde edilmiştir ( $t_D/t_B$ 'yi  $Q$  ile gösterelim).

Kare dalga üreten osilatörlerde çıkış sinyalinin frekans parametresi yerine darbe boşluk oranını kullanmak daha iyidir. Çünkü bazı durumlarda darbe - boşluk oranı önemli ölçüde değişse de frekans sabit kalabilmektedir. Bundan dolayı denemelerde direnç değerlerinin frekans üzerindeki etkisi yerine darbe - boşluk oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Şekil 11'de  $R_1$  direnci  $560\Omega$  ile  $8,5k\Omega$  arasında değişik değerler alınarak  $t_D/t_B=Q$  oranının değişimi tespit edilmiştir.



### Şekil 11.

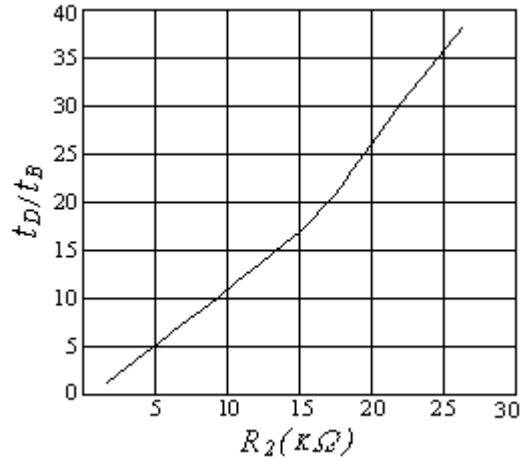
Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_I = 0,0013.R_I^3 + 6,8894.R_I^2$$

şeklindedir.

$R_I$  direncinin değeri  $T_1$  tranzistörünün kazancını ve  $T_2$  tranzistörünün doyumunu etkiler. LED üzerinde düşen gerilimin eğilimi (Şekil 10'da görüldüğü gibi) bu direncin değeri ile belirlenir. Bu direncin değeri fotodirencin direncinin düşmesini az miktarda etkiler. Çünkü  $T_2$  tranzistörü doyumda iken LED akımı  $R_3$  direnci ile belirlenir.

Şekil 12'de  $R_2$  direnci 1kW ile 27kW arasında değişik değerler alınarak  $t_D/t_B=Q$  oranının değişimi tespit edilmiştir.



## Şekil 12.

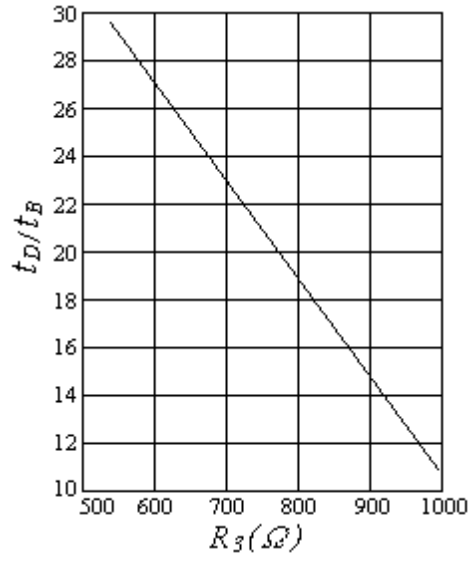
Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_2=0,0054.R_2^3 -18,2555.R_2^2$$

şeklindedir.

$R_2$  direncinin değişimi  $T_1$  tranzistörünün baz gerilimini etkilemektedir. Çünkü bu direnç fotodirenç ile bir gerilim bölücü oluşturur. Ancak fotodirence ışık düştüğünde direnç değeri,  $R_2$  direncinin altına düşer ve etkisini kaybeder.

Şekil 13'de  $R_3$  direnci 560W ile 1kW arasında değişik değerler alınarak  $t_D/t_B=Q$  oranının değişimi tespit edilmiştir.



### Şekil 13.

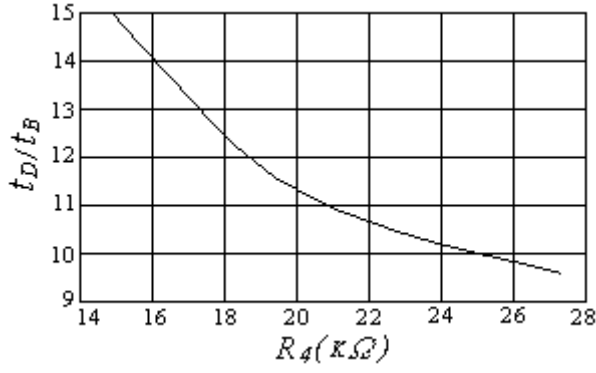
Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_3 = -0,0002.R_3 + 0,197$$

şeklindedir.

T<sub>2</sub> tranzistörü doyumda iken LED akımını R<sub>3</sub> direncinin değeri belirler. LED'in akımı arttığında fotodirencin ışıklandırılmış durumdaki direnci düşer. Bu da T<sub>1</sub> tranzistörünün çalışmasını etkilemektedir.

Şekil 14'de R<sub>4</sub> direnci 15kΩ ile 27kΩ arasında değişik değerler alınarak t<sub>D</sub>/t<sub>B</sub> oranının değişimi tespit edilmiştir.



### Şekil 14.

Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_4 = 0,0004.R_4^3 + 50,8414.R_4^2$$

şeklindedir.

R<sub>4</sub> direncinin değeri fotodirencin karanlık seviyesini değiştirmektedir. Sinyalin yükselme bölgesini fazla etkilemez. Bu direncin asıl fonksiyonu fotodirencin karanlık direncini düşürmesidir.

#### **4. SONUÇLAR**

Bu çalışmada optoelektronik osilatör tasarlanmıştır. Optoelektronik osilatörün frekans belirleyici devresinde kondansatör yerine fotoalıcı - LED çifti kullanılmıştır. Osilatörün yapısı ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. Optoelektronik osilatörün kullanımını ifade eden örnekler gösterilmiştir. Pratik olarak LED - fotodirenç çiftiyle bir osilatör devresi tasarlanmıştır ve pratik sonuçlar elde edilmiştir.

#### **5. KAYNAKLAR:**

1) MUSAYEV, E., "Optoelektronik osilatör". Patent No: 630733.

2) MUSAYEV, E. (1997): "Optoelektronik", Bursa, Uludağ Üniv. Basımevi, No:122, 143 s.