



## LED'İN DARBELİ AŞIRI AKIMDA BAZI DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

### (AN INVESTIGATION OF SOME BEHAVIORS OF LED AT PULSED HIGH CURRENTS )

Erdem ÖZÜTÜRK\*

#### ÖZET/ABSTRACT

Darbeli akımda darbe süresi ve (darbe/boşluk) oranı uygun olduğunda LED'den nominal doğru akımının çok üstünde genliğe sahip akım darbeleri akıtmak mümkündür. LED'in ışık şiddeti içinden akan akımla orantılı olduğundan akım arttıkça daha fazla ışık şiddeti elde edilebilmektedir. Bu çalışmada LED'in darbeli yüksek akımlardaki bazı davranışları incelenmiş bulunmaktadır.

Darbeli yüksek akımlarda LED'in bazı elektriksel ve optik davranışlarını incelemek için gerekli ölçme devreleri, ölçme düzenekleri ve ölçme yöntemleri tasarlanmıştır. Daha sonra LED akımının LED gerilimi ile değişimi ve LED' in ani direncinin (LED üzerindeki gerilim darbesinin genliği/LED'den akan akım darbesinin genliği) akımla değişimi incelenerek LED'in darbeli yüksek akımlarda elektriksel davranışı ortaya konulmuştur. İkinci olarak akım darbesinin genliği ve darbe süresine göre ışık şiddetinin değişimi incelenmiş ve bu değişimlerde LED'in yüksek akım değerlerinde ısınmasından dolayı oluşan etkiler belirtilmiştir. LED'in darbeli yüksek akımlarda davranışı ile ilgili incelenen diğer bir özelliği ışıma diyagramları ile ilgilidir. LED'den akıtılan değişik genliklerdeki akım darbeleri için ışıma diyagramları çizilerek akım darbesinin genliği arttıkça ışıma diyagramlarında ortaya çıkan değişiklikler gösterilmiştir.

*If pulse duration and (pulse duration/period) ratio are chosen suitable in pulsed operation high currents can be passed through the LED. The radiant power of LED is proportional with LED current, so, if current is increased more radiant power can be handle. In this study the behavior of LED at pulsed high currents has been investigated.*

*For this, designing the necessary measuring circuits and measuring methods the electrical and optical behavior of LED at pulsed high currents are examined. The variation of LED current with LED voltage and the variation of instantaneous resistance of LED (voltage drop on LED/the current amplitude of current pulse) with LED current at high currents are determined. According to amplitude and duration of current pulse the changes of radiant power are examined. The thermal affect on radiant power at pulsed high currents is showed. Drawing radiant diagrams at high pulsed currents the changes on these diagrams at high pulsed currents are specified.*

#### ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

LED, Darbeli yüksek akım, Işık şiddeti, Fotodiyot, Optoelektronik  
LED, Pulsed high current, Radiant power, Photodiode, Optoelectronics

## 1. GİRİŞ

Birçok uygulamada LED'in verdiği ışığın şiddetinin mümkün olduğu kadar fazla olması gerekmektedir. Bu nedenle LED'in ışık şiddetinin artırılmasına yönelik araştırmalar devam etmektedir.

LED'in ışık şiddeti iki yöntem ile artırılabilir. Birinci yöntem daha fazla ışık elde etmek amacıyla LED'in yarıiletken yapısı üzerinde geliştirmeler yapmaktır. İkincisi ise LED'in ışık şiddetiyle orantılı olan parametrelerinde gerekli değişikliğin yapılarak ışık şiddetinin artırılmasıyla ilgili olan parametrik yöntemdir. Bu çalışmanın konusu ikinci yöntemle ilgilidir.

LED'in ışık şiddeti içinden akan akımla orantılıdır ve akım arttıkça ışık şiddeti artmaktadır. Dolayısıyla LED'den daha fazla ışık elde etmek için LED'den akan akımın artırılması gerekmektedir. 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 darbeleri çalışmada ve uygun (darbe/boşluk) oranlarında mümkün olmaktadır. Darbeleri çalışmada LED'in ısıl eylemsizliğinin etkili olduğu, yani LED sıcaklığının darbeleri akımının genliğinin oluşturduğu ısıl güce karşı gelen sıcaklığa yükselmeden akımın kesildiği darbe sürelerinde ve LED'in akım darbesi süresince edindiği ısıyı tamamen çevreye verebildiği boşluk sürelerinde LED'den nominal doğru akımının çok üzerinde genliğe sahip akım darbeleri akıtılabilmektedir. Bu çalışmada nominal akımı 20 mA-400 mA değerlerinde olan LED'lerden genliği 10 A, 15 A değerlerinde olan darbeleri akımlar akıtılmış ve bu yüksek değerli akımlarda LED'in davranışı incelenmiştir. Bu amaçla yüksek akım değerlerinde LED'in elektriksel ve optik karakteristiklerinde ne gibi özelliklerin ortaya çıktığı araştırılmıştır.

Spektral karakteristiği görünür bölgede ışık verecek şekilde olan LED'ler daha ziyade indikatör olarak kullanılmaktadırlar. İnsan gözünü daha fazla uyarması için bunların da akımları artırılarak ışık şiddetleri artırılabilir. Uygulamalarda çoğunlukla kızıl ötesi bölgede ışık veren LED'ler kullanıldığından ve yüzey yayımlamalı LED'ler kenar yayımlamalı LED'lere nazaran daha fazla ışık verdiklerinden bu çalışmada yüzey yayımlamalı kızılötesi LED'ler incelenmiştir.

LED'in nominal doğru akımına nazaran ne oranda daha fazla darbeleri akım akıtılabileceği LED'in ısıl yapısıyla ilgilidir ve bu nedenle yapılan çalışmalar açıklanırken ilk olarak LED'in ısıl yapısıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Daha sonra ölçmelerde kullanılan ölçme devreleri ve ölçme yöntemleri açıklandıktan sonra LED'in yüksek akımlarda incelenen bazı elektriksel ve optik davranışları açıklanmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. LED'in Isıl Özellikleri

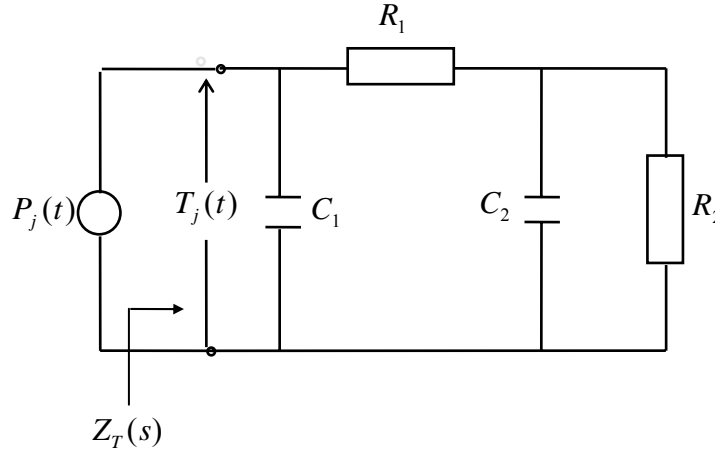
Bu bölümde yüksek akım değerlerinde LED'in ısınmasından dolayı oluşan etkileri görebilmek için LED'in ısıl özellikleri ele alınacaktır.

LED'in yüksek değerlerde akımla sürülmesi durumunda jonksiyonda açığa çıkan ve ısıya dönüşen güç jonksiyon sıcaklığını önemli miktarda yükseltir. Jonksiyon sıcaklığının izin verilen en büyük sıcaklık değerini aşmaması gerekir. GaAs LED'lerde bu sınır 125°C kadardır. Jonksiyon sıcaklığının bu en büyük değeri LED'den akıtılan akımın alabileceği en büyük değerle bağlantılıdır. LED'den akan akımın genliği, jonksiyonda en büyük jonksiyon sıcaklığını meydana getiren ısıl güçten daha fazla bir ısıl güç oluşturmayacak bir değerde olmalıdır. Jonksiyon sıcaklığı LED'in tahrip olacağı en büyük sıcaklığa yükselme de,

sıcaklık arttıkça LED'in verebildiği ışık şiddeti azaldığından daha fazla ışık şiddetinin elde edilebilmesi için jonksiyon sıcaklığının düşük değerlerde kalması gerekir.

Jonksiyonda açığa çıkan ısı gücü buradan LED'in kılıfına, oradan da çevreye yayılarak uzaklaşır. Bu uzaklaşma yolunun ısı direnci ne kadar küçükse ısı o kadar kolay yayılacak ve jonksiyon sıcaklığı o kadar az yükselecektir.

LED'den akan akım zamanla hızlı bir değişiklik gösteriyorsa, bu akımın yarıiletken içinde oluşturduğu ısı gücü de zamanla değişecektir. Isıl gücün hızlı değişimleri için LED'in yapıldığı malzemenin sıcaklığı depolaması ile ilgili olan bir ısı kapasite etkili olacaktır. Isıl gücün hızlı değişimleri için LED'in ısı eşdeğeri Şekil 1'deki gibi olacaktır (Davidov, 1967; Kuntman, 1994). Şekil 1'deki ısı eşdeğer devresinde  $P_j(t)$ , jonksiyonda açığa çıkan ısı gücü,  $T_j(t)$ , jonksiyon sıcaklığı,  $C_1$ , jonksiyondan kılıfa kadar olan bölgenin ısı kapasitesi,  $R_1$ , jonksiyondan kılıfa kadar olan bölgenin ısı direnci,  $C_2$  ve  $R_2$  ise sırasıyla kılıf bölgesinin ısı kapasitesi ve ısı direncidir.



Şekil 1. LED'in AC ısı modeli

$Z_T(s)$  empedansı aşağıdaki gibi basit kesirlere ayrılabilir.

$$Z_T(s) = \sum_{k=1}^2 \frac{A_k}{(s + s_k)} \quad (1)$$

Yukarıdaki gibi bir transfer fonksiyonuna sahip ısı devresinin girişine Şekil 2'deki gibi bir  $P_d$  güç darbesi uygulanması durumunda, bu güce karşılık oluşan jonksiyon sıcaklığının zaman döneminde  $t_1$  anına kadar olan değişimi aşağıdaki gibi olacaktır.

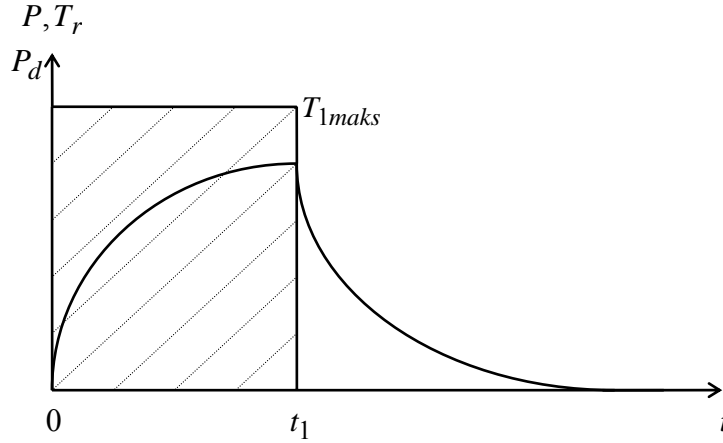
$$T(t) = P_d \sum_{k=1}^2 R_k [1 - \exp(-t / \tau_k)] \quad (2)$$

$t \geq t_1$  olduğu  $t_1$  anından sonra sıcaklık aşağıdaki ifadeye göre değişecektir:

$$T(t) = P_d \sum_{k=1}^2 R_k [1 - \exp(-t_1 / \tau_k)] \exp(-t / \tau_k) \quad (3)$$

Eşitlik 3'te  $\tau_k$ , LED yapısındaki ilgili bölgenin zaman sabitidir. Jonksiyon sıcaklığının ulaşabileceği en büyük değer;

$$T_{1maks} = T(t_1) = P_d \sum_{k=1}^2 R_k [1 - \exp(-t_1 / \tau_k)] \quad (4)$$



Şekil 2.  $P_d$  gücüne göre jonksiyon sıcaklığının değişimi

olmaktadır. Bu en büyük sıcaklık değerinin güç darbesinin genliğine ( $P_d$ ), ısı zaman sabitine ( $\tau_k$ ) ve darbe süresine ( $t_1$ ) bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 3'de LED'in periyodik akım darbeleriyle sürülmesi durumunda jonksiyon sıcaklığının değişimi görülmektedir. Bu değişime göre LED, güç darbesi süresince edindiği sıcaklığın tamamını gücün olmadığı sürede (boşluk süresince) çevreye verememekte ve ısınmaktadır. Bunun sonucu olarak LED sıcaklığı yükselmektedir. Bu sıcaklık değerinin izin verilen en büyük jonksiyon sıcaklığı değerinden daha fazla olmaması gerekir. Ayrıca, LED tahrip olmasa bile jonksiyon sıcaklığı arttıkça ışık şiddeti düştüğünden jonksiyonun ısınması istenmeyen bir durumdur. Eğer güç darbesi sonunda jonksiyonda oluşan ısının tümü boşluk süresinde çevreye verilebiliyorsa, jonksiyon, her yeni darbe sonunda aynı en büyük sıcaklık değerini alacaktır. Bu sıcaklık değeri,  $t_d$  darbe süresi,  $P_d$  ısı darbesinin genliği,  $R_k$  ilgili bölgenin ısı direnci,  $\tau_k$  ilgili bölgenin zaman sabiti olmak üzere aşağıdaki ifadeden bulunabilir.

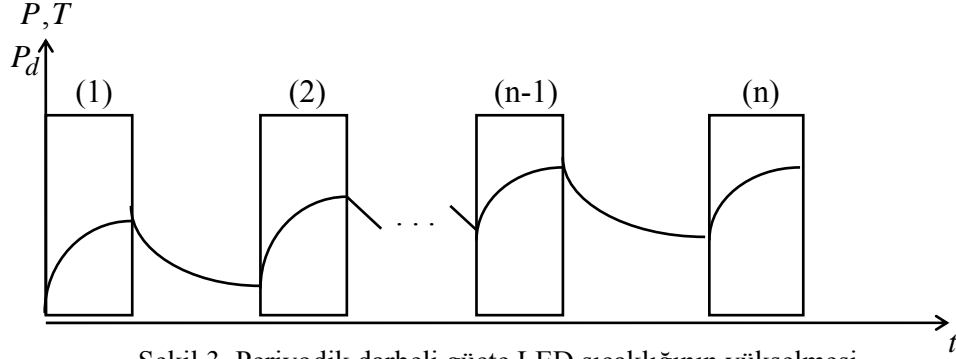
$$T_{maks} = T(t_d) = P_d \sum_{k=1}^2 R_k [1 - \exp(-t_d / \tau_k)] \quad (5)$$

Bu ifadeye göre  $t_d \gg \tau_k$  ise  $T_{maks}$

$$T_{maks} = P_d \sum_{k=1}^2 R_k = P_d (R_1 + R_2) \quad (6)$$

olacaktır. Bu değer aynı zamanda genliği  $P_d$  olan ve zamanla değişmeyen bir sürekli gücün varlığı durumunda jonksiyonun sıcaklık değeridir (Leblebici, 1996). Eşitlik 4'teki

eksponansiyel terimin etkili olduğu darbe sürelerinde jonksiyon sıcaklığı Eşitlik 6 ile verilen sıcaklık değerinin altında kalacaktır. Bu durumda LED daha az ısındığından LED'e daha fazla güç uygulanabilir ( $P_d$  genliği arttırılabilir). LED'in verdiği ışığın şiddeti içinden geçen akımla orantılı olarak arttığından  $t_d$ 'nin uygun değerlerinde LED'in verilen nominal akımının çok üstünde genliğe sahip akım darbelerini akıtmak mümkün olmaktadır.



Şekil 3. Periyodik darbeli güçte LED sıcaklığının yükselmesi

Darbeli çalışmada LED akımının genliği  $I_d$ , periyot  $T$  ve  $I_N$  nominal akımı arasında aşağıda verilen bağıntı bilinmektedir.

$$I_d = I_N \sqrt{\frac{T}{t_d}} \quad (7)$$

Yukarıda Eşitlik 7 ile elde edilirken LED'den nominal akımı  $I_N$  ve darbe akımı  $I_d$  akımı akarken LED'in gösterdiği elektriksel dirençlerin eşit oldukları kabul edilmiştir. Halbuki LED'in değişik akımlarda gösterdiği dirençler oldukça farklı olabilmektedir. Bu direnç değerlerindeki farklılığın etkisinin ne ölçüde olduğunu görebilmek için LED'in gösterdiği direncin akımla değişiminin incelenmesi gerekmektedir. Aşağıda sözkonusu edilen bu değişimi ve ayrıca LED'in yüksek akım değerlerinde ışık şiddetinin değişimini elde edebilmek için kullanılan ölçme devreleri ve ölçme yöntemleri açıklanmaktadır.

## 2.2. Ölçme Devreleri

Yukarıda belirtilen LED'in elektriksel ve optik karakteristiklerini incelemek amacıyla kullanılan ölçme devresi Şekil 4'de gösterilmiştir. Devrede kullanılan osilatör 555 tüm devresiyle oluşturulmuş, (darbe süresi/boşluk süresi) oranı değiştirilebilir bir darbe osilatörüdür.  $C_t$  zamanlama kondansatörü  $R_A$  direnci ve diyot üzerinden akan akımla dolmaktadır. Anahtar diyotunun iletim direnci değeri ihmal edilirse, darbe süresi  $R_A$  direnci ve  $C_t$  zamanlama kapasitesinin değerine bağlı olarak  $t_d = 0.695R_A C_t$  ifadesiyle belirlenmektedir.  $C_t$  kondansatörü, üzerindeki gerilim belli bir değere gelinceye kadar dolmakta, bu gerilim seviyesinden sonra ise  $R_B$  direnci ve 555 tüm devresinin 7'nolu ucu üzerinden toprağa doğru boşalmaktadır. Üretilen darbeli işaretin boşluk süresi kondansatörün boşalma süresini veren  $t_b = 0.695R_B C_t$  bağıntısı ile belirlenmektedir. Darbelye işaretin periyodu ise  $T = t_d + t_b$  süresine eşit olmaktadır.  $R_A$ ,  $R_B$  ve  $C_t$  değerleri değiştirilerek

istenilen darbe ve boşluk süreleri elde edilmektedir. Osilatörün ürettiği işaret 3 nolu ucundan verilmektedir.

LED'den darbeleri şekilde akım akıtılabilmek için uygun bir anahtar devre elemanına ihtiyaç vardır. Böyle bir eleman, LED'den kısa sürelerde 10A-15A gibi yüksek değerlerde akım darbeleri akıtılması gerektiğinden bu büyüklükteki bir akımı 555 tüm devresinin verebileceği akımla kontrol edebilecek yüksek akım kazancına sahip olmalıdır. Ayrıca iletim anında üzerinde oluşan doyma gerilimi küçük olmalıdır. Doyma geriliminin yüksek değerlerde 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.

$V_{DD}$  geriliminin temin edildiği doğru akım güç kaynağı 35V ve 1.5A değerlerine sahiptir. Ölçmeler esnasında akıtılan 10A, 15A gibi yüksek değerli akımlar güç kaynağına paralel bağlı kondansatörlerden çekilmektedir. Darbe süresince kondansatörlerden akım çekilmekte, boşluk süresinde ise kondansatörler besleme kaynağından sağlanan akımla dolmaktadırlar. Akım darbelerinin darbe süresi kısa olduğu için bu sürelerde kondansatörlerden çok yüksek akımlar çekilmektedir. Akımın çekildiği kondansatörlerin toplam kapasitesi ile akımın aktığı seri yol boyunca gördüğü toplam direncin oluşturduğu zaman sabiti darbe süresine göre çok büyüktür. Bu nedenle darbe süresinin zaman sabitine oranı ile bulunabilecek eğilme çok küçük olmaktadır.

Kondansatörlerden hızlı değişimlere sahip akım darbeleri akıtıldığında darbe değişimlerinde çinlama olayı ortaya çıkabilmektedir. Çinlama olayına yol açan kondansatör uçları ve devredeki bağlantı iletkenlerinden kaynaklanan endüktif reaktansı kompanze etmek için güç kaynağı uçlarına büyük ve küçük değerlerde birkaç kondansatör paralel bağlanmıştır (Hall, 1994).

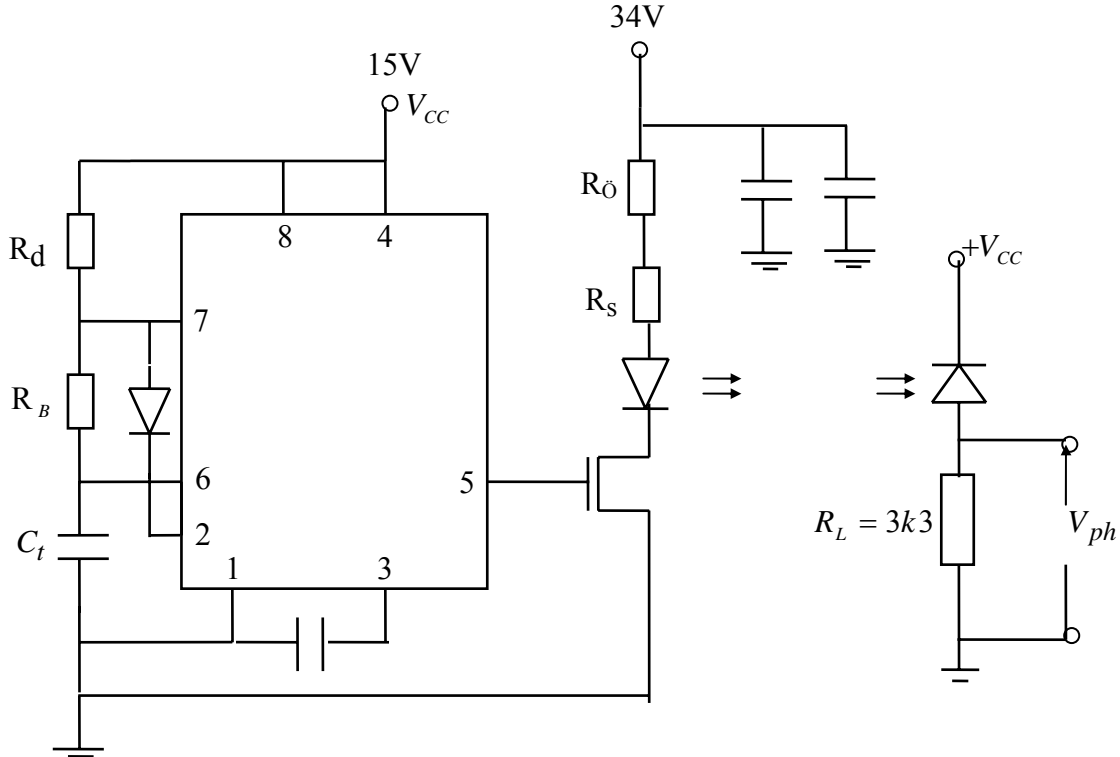
Işık ile ilgili yapılan ölçmelerde doğrudan ışık şiddeti değil bu ışık şiddetine karşılık gelen fotodedektör gerilimi ölçülmüştür. LED'in bir akım için verdiği ışık şiddeti bilindiği takdirde aynı akım için LED'in verdiği ışığın kullanılan fotodedektörde oluşturduğu gerilimin ölçülmesi durumunda gerilim ile ışık şiddeti arasındaki dönüştürme katsayısı bulunabilir ve böylece doğrudan ışık şiddeti değişimleri gösterilebilir. Bu çalışmada ise ışık şiddeti yerine fotodedektör gerilimi ölçülmüş ve ilgili açıklamalar buna göre yapılmıştır. Böylece yüksek akımlarda ve kısa sürelerde fotodedektör gerilimi ile ışık şiddeti arasındaki dönüştürme katsayısı belirlenirken ilaveten oluşacak hatadan kaçınılmıştır.

LED'in verdiği ışığın ölçülmesi için fotodedektör olarak fotodiyot kullanılmıştır (Watson, 1998). Ölçmelerde kısa süreli ışık darbeleri sözkonusu olduğu için ve doğrusallık önemli olduğu için Şekil 4'de gösterilen fotoiletken modda çalışan basit devre kullanılmıştır. Fotodiyotun fotoiletken modda çalışacak şekilde kutuplanması durumunda çalışma hızı artmaktadır. Ayrıca doğrusallığın da iyi olması için  $R_L$  direncinin değeri 3.3 kohm kadar küçük bir değerde seçilmiştir. Işık şiddeti ölçülecek LED ile fotodiyot arasındaki uzaklık en yüksek ışık şiddetinde bile fotodiyotun doymaya girmeyeceği kadardır. Fotodiyot doymaya girdikten sonra fotodiyota çarpan ışığın şiddeti ile fotodedektörden ölçülen  $V_{ph}$  gerilimi arasındaki değişim doğrusal olmamaktadır. Bunlardan başka dedektör olarak kullanılacak fotodiyot ile ışık şiddeti ölçülecek olan LED'in spektral uyumluluk göstermeleri gereklidir. İyi bir spektral uyum olması durumunda fotodiyot devresinden maksimum foto akımı veya gerilimi elde edilebilir.

### 2.3. LED'in Yüksek Akımlarda Elektriksel Karakteristikleri

Bu bölümde LED'in yüksek akım değerlerinde akım-gerilim, akım-direnç karakteristikleri incelenecek ve bu değişimlerin özelliklerine göre birtakım sonuçlar elde edilecektir.

Ölçmeler Şekil 4'deki osilatör devresi kullanılarak yapılmıştır. Ölçmeler esnasında aynı 1 ohm'luk ölçü direnci devrede devamlı seri durumda bağlı tutulmuştur. Akım darbesinin genliği, LED'e değişik değerlerde dirençleri seri bağlayarak değiştirilmiştir. Akım darbelerinin genliği 1 ohm'luk sabit ölçü direnci uçlarındaki gerilim farkı osiloskopa ölçülüp gerilim farkının direnç değerine bölünmesiyle bulunmuştur. Akım darbelerinin süresi ise akımın dirençler, LED, MOSFET seri devresinde sıcaklıkla değişmeyeceği bir değerde seçilmiştir. Periyodik darbe işaretinin boşluk süresi ise darbe süresine göre çok büyük kabul edilebilecek bir değerde (6.76 ms) bulunmaktadır. Darbe süresi ile boşluk süresi karşılaştırıldığında akım darbelerini tekrarlanmayan (periyodik olmayan) tek darbe şeklinde düşünmek mümkündür. Akım ve gerilim değerlerinin ölçme anları darbenin anahtarlama sürelerinin dışında olan ve darbenin en büyük değerini (tepe değerini) aldığı anlardır. LED üzerinde düşen anot ve katot gerilim farkı da yine osiloskopa ölçülerek bulunmuştur.



Şekil 4. Ölçme devresi

Şekil 5'de dört farklı kızılötesi ışık veren LED'in, darbe şeklinde akan akımın tepe değerinin anot-katot geriliminin tepe değerine göre değişimi verilmektedir. Ölçülen akım ve gerilimlerin tepe değerleri darbe süresince sabit olduğundan bu değerler başka şekilde değişen bir akım veya gerilim işaretinin herhangi bir anda aldığı değer şeklinde düşünülebileceği için bu değişime ani gerilim-akım değişimi adı da verilebilir.

Şekil 6'da, Şekil 5'deki ani akım-gerilim değişimi verilen LED'ler için gerilim değerlerinin akım değerlerine oranı alınarak bulunan ani direncin akıma göre değişimleri görülmektedir.

LED'de bir pn jonksiyonu olduğundan ani akım-gerilim karakteristiği de bir diyotun eksponansiyel ifadeyle verilen akım-gerilim değişimine benzeyecektir. Düşük akım

değerlerinde LED akımı LED gerilimiyle üssel olarak değiştiğinden LED'in ani direnci LED akımı arttıkça azalacaktır (Boylestad, 1992). Şekil 6'dan görülebileceği gibi ani direncin en küçük bir sınır değeri vardır. Bu en küçük direnç değeri büyük ölçüde gövde ve temas dirençlerinden meydana gelmektedir. Şekil 6'daki değişimlerden bu direncin değeri 5A'den sonra belirlenebilmektedir. Bu değer, karakteristikleri birbirine yakın üstteki üç adet LED için yaklaşık olarak 1 ohm, karakteristiği en altta yer alan LED için yaklaşık olarak 0.7 ohm değerinde okunabilmektedir. 5A'lık akım değerinden sonra LED'in gösterdiği ani direnç yukarıda sözü edilen en küçük sınır değerinde sabit kalmaktadır. Dolayısı ile yaklaşık 5A'den sonra LED'in gerilim-akım karakteristiği eksponansiyel değil yaklaşık olarak doğrusal bir değişim (direnç karakteristiği) göstermektedir. LED'lerin sözkonusu büyük değerli bir akımdan sonraki bu davranışları Şekil 7'deki gibi modellenenbilir. Şekil 7'deki  $r_b$  direnci gövde ve temas dirençlerinin toplamından oluşmaktadır. LED'in gösterdiği ani direncin 5A ve daha büyük akım değerlerinde sabit ( $r_b$ )'değerini almaya başladığı LED gerilimleri Şekil 6'daki LED'ler için yaklaşık olarak 3.46V, 4.83V, 5.14V ve 4.52V olmaktadır. Şekil 7'deki ideal diyot LED'in iletim ve tıkama yönlerini karakterize etmektedir.

LED üzerinde harcanan elektriksel güç ısıya dönüştüğünden jonksiyon sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. LED'in ışık şiddeti LED'den akan akımla orantılı olarak artmaktadır. Işık şiddetini artırmak için darbeleri çalışmada (darbe/boşluk) oranı uygun seçilerek akımın değeri arttırılmaktadır. LED'in ani direnci  $r_b$  sınır değerine ulaşınca kadar LED üzerinde harcanan ısı güç akımın karesi ile orantılı olarak artmakta fakat orantı katsayısı  $r(I)$  direnci akım arttıkça azalmaktadır. Bu açıklamalara göre LED'in nominal akımı  $I_N$ 'de gösterdiği direnç ile  $I_d$  gibi daha yüksek bir akımda gösterdiği direncin eşit sayılabildiği akım değerleri için verilen Eşitlik 7 daha yüksek akımlara çıkıldıkça değişecektir (Musayev, 1997; Özütürk ve Karlık, 1998; Özütürk, 2000).  $I_d$  akımı  $I_N$  nominal akımının çok üstünde ise bu akımlarda LED'in göstereceği direnç değerleri oldukça farklı olacaktır.  $I_N$  nominal akımının jonksiyonda  $T$  boşluk süresince harcadığı enerji ile  $I_d$  akımının jonksiyonda harcadığı enerjiler eşitlenerek dirençlerin farklı olması etkisi görülebilir.

$$r_N (I_N)^2 T = r_d (I_d)^2 t_d \quad (8)$$

Yukarıdaki bağıntıda  $r_N$ ,  $I_N$  nominal doğru akımında görülen direnç,  $r_d$  ise  $I_d$  akımında görülen dirençtir.  $T$  periyot (ya da boşluk süresi),  $t_d$  ise darbe süresidir. Eşitlik 8'den  $I_d$  akımı çekilirse Eşitlik 9 elde edilir.

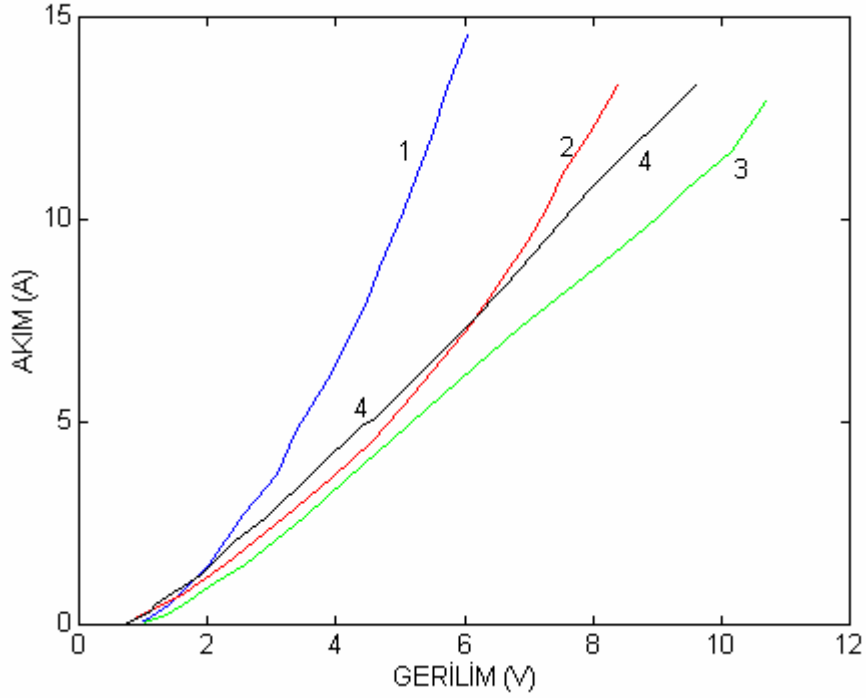
$$I_d = I_N \sqrt{\frac{T}{t_d}} \sqrt{\frac{r_N}{r_d}} \quad (9)$$

Elde edilen son bağıntı periyot ve darbe süresinin yanında ani direnç oranlarına bağlı olarak,  $I_d$  akımının  $I_N$  nominal akımına nazaran ne oranda büyük seçilebileceğini göstermektedir.  $r_d$  ani direnci  $r_b$  sınır değerinden daha küçük olamayacağı için  $(r_N / r_d)$ 'nin  $(r_N / r_b)$  değerinde bir en büyük değeri olacaktır.  $r_d = r_b$  değerinden sonra  $(r_N / r_d)$  değeri hemen hemen sabit kalacaktır. Direnç oranlarının etkisini sayısal olarak görebilmek için Şekil 6'daki 4'nolu LED için ölçülen değerlerden yararlanılacak olursa ( $I_N = 256$  mA'de  $r_N = 5.41$  ohm,  $I_d = 5.69$  A'de  $r_d = 0.996$  ohm'dur).

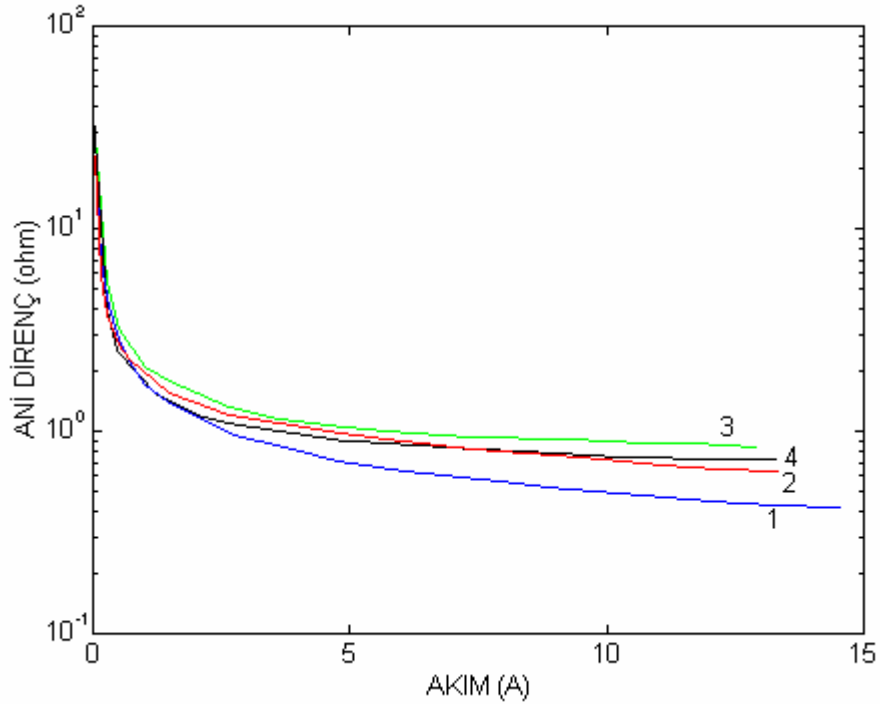


$$\sqrt{\frac{r_N}{r_d}} = \sqrt{\frac{5.41}{0.996}} \cong 2.33$$

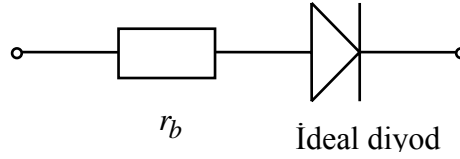
olmaktadır. Yani, bu örnekte direnç oranları göz önüne alındığında LED'den yaklaşık iki kat daha büyük akım akıtmanın mümkün olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. Dört farklı LED'in gerilim-akım karakteristikleri



Şekil 6. Dört farklı LED'in ani dirençlerinin akımla değişimi



Şekil 7. Çok yüksek akımlarda LED'in elektriksel modeli

## 2.4. LED'in Yüksek Akımlarda Işık Şiddetinin Akımla Değişimi

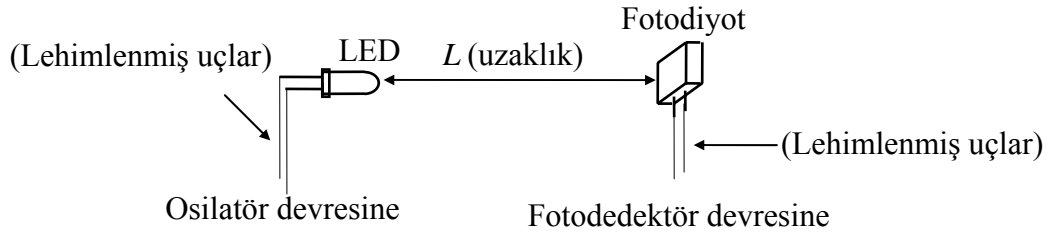
### 2.4.1. Akım-Işık Şiddeti Karakteristiği

Bu bölümde yüksek akım değerlerinde LED'in ışık şiddeti ile akımı arasındaki değişim incelenecektir. LED'in mili amperler değerindeki akımlarda verdiği ışık şiddeti akım ile hemen hemen doğrusal bir şekilde değişmektedir. Doğru akımla ya da darbeleri akım ile çalışmada da bu doğrusallık geçerlidir. Düşük değerli doğru akımlar ya da darbeleri çalışmada akım darbesinin genişliğinin düşük değerli olduğu durumlarda  $P$  ışık şiddeti ile  $I$  doğru akımı ya da akım darbesinin tepe değeri arasında  $P = k_p I$  şeklinde bir bağıntının geçerli olduğu söylenebilir (Popov vd., 1997; Hickman, 1995; Hickman, 1996; Bhattacharya, 1997).  $\delta$ =(darbe süresi/periyot) olmak üzere darbeleri çalışmada ( $\delta < 1$ ), LED'in doğru akımla ( $\delta = 1$ ) sürülmesine nazaran  $P = k_p I$  bağıntısındaki  $k_p$  değerinin arttığı söylenebilir. Aynı zamanda (darbe/periyot) oranı küçüldükçe  $k_p$ 'nin değeri artmaktadır, yani, aynı tepe akımı için  $\delta$  küçüldükçe daha fazla ışık şiddeti elde etme imkanı ortaya çıkmaktadır.

LED'in yüksek akım değerlerinde ışık şiddetinin akımla değişimini elde etmek için Şekil 4'deki fotodedektör devresi ile osilatör devresi kullanılmıştır. LED'in akımı, LED'e değişik değerlerde dirençleri seri bağlayarak değiştirilmiştir. LED akımı, her ölçme anında devrede sabit durumda bulunan ve nominal değeri 1 ohm olan direncin uçlarındaki gerilim farkı osiloskopa ölçülerek ve bu gerilim farkı direnç değerine bölünerek bulunmuştur. Akım darbelerinin süresi, akımın direnç, LED, MOSFET seri devresinde sıcaklıkla değişmediği bir değerde seçilmiştir. Periyodik darbe işaretinin boşluk süresi yine çok büyük bir değerde (6.76ms) bulunmaktadır. Pratik olarak akım darbelerini tekrarlanmayan tek darbe şeklinde düşünmek mümkündür. LED akımı ile ışık şiddeti değerleri darbelerin aynı bir anı için ölçülmüştür.

Işık şiddeti ile orantılı olan gerilim fotodiyot devresindeki fotodiyota seri bağlı 3.3 kohm değerindeki direncin uçlarından osiloskopa ölçülmüştür. Bu ölçmeler osiloskop ac kademesinde iken yapılmıştır. Fon gürültüsünün (ortamdaki ışığın) etkisinin olmaması için devre ışık geçirmeyen bir kutuyla örtülmüştür. LED, fotodiyota 9 cm kadar uzaklıkta fotodiyota bakacak şekilde lehimlenmiştir (Şekil 8). LED'in fotodiyot yüzeyinin normali doğrultusuyla yaptığı açı, LED'den akıtılan en büyük akımda oluşan ışık şiddetine karşılık okunan gerilimin tepe değerinin 1.5 V'u aşmayacak şekilde ayarlanmıştır. LED'in ve fotodiyodun konumları ölçme esnasında hep sabit tutulmuştur.

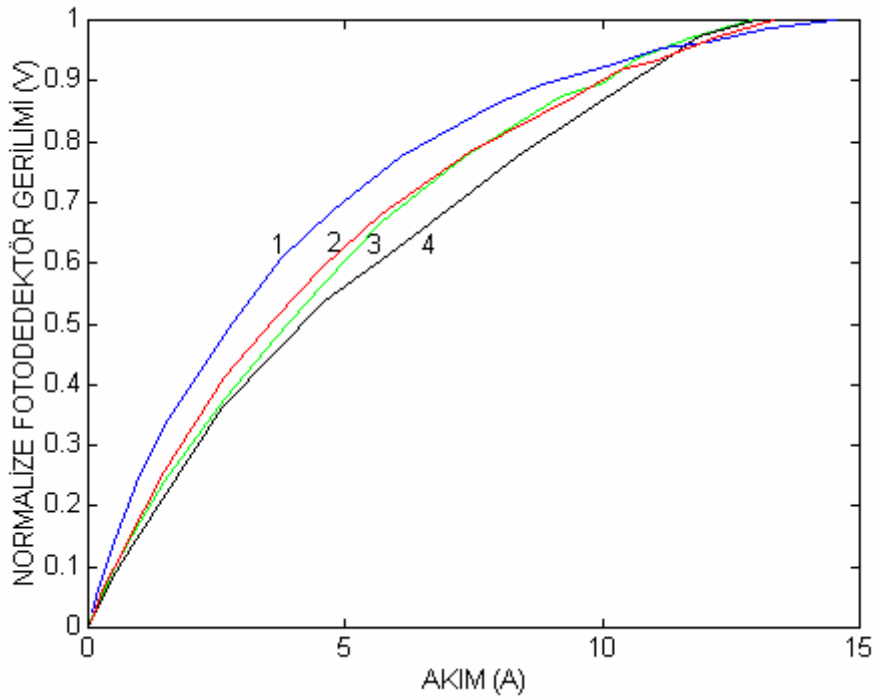
Şekil 9'da dört değişik LED'in akım ile normalize ışık şiddetine karşılık gelen normalize fotodiyot geriliminin değişimi görülmektedir. Grafikte görülen LED'lerden akan akımların darbe süresi  $9 \mu s$ 'dir. Şekil 9'daki grafikten akım arttıkça ışık şiddetinin artmakta olduğu ancak akım arttıkça "ışık şiddeti/akım= $k_p$ " oranının azalmakta olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Işık şiddeti-akım değişimi ölçme düzeneği blok şeması

### 2.4.2. Darbe Süresinin Etkisi

Akım darbesinin darbe süresinin akım-ışık şiddeti karakteristiğine etkisini belirlemek amacıyla bir önceki bölümde kullanılan osilatör ve fotodedektör devresi kullanılmıştır. Darbe süreleri parametre alınarak değişik darbe süreleri sonundaki bir LED'in akım-ışık şiddeti karakteristiklerinin çizilebilmesi için akım darbelerinin darbe süresi değiştirilmiştir. Bunun için 555 tüm devresinin ürettiği darbelerin darbe süresini belirleyen  $R_A$  direncinin değeri değiştirilmiştir.  $R_A$  direncini değiştirmek için bu dirence paralel dirençler bağlanmış ve böylece dört farklı direnç değeri oluşturulmuştur. Darbe süresi değiştirileceği zaman ilgili darbe süresini meydana getiren dirençler  $R_A$ 'ya paralel bağlanmıştır. Böylece 555 tüm devresinin darbe süresini belirleyen direncin devrede devamlı bulunan en büyük değeri (dolayısıyla darbe süresinin en büyük değeri)  $R_A$  direnci ile belirlenmektedir. Bu yolla darbe süresinin ayarlanması esnasında zamanlama direncinin bağlı olduğu uçlar arasında yüksek değerli bir direnç (uzun bir darbe süresi) oluşmaması sağlanmış ve LED'den çok yüksek değerli akımlar akıtılması sözkonusu olduğu için darbe süresinin istenmeden yüksek değerli olması sonucu LED'in tahrip olması önlenmiştir. Işık şiddetinin ölçümü ise bir önceki konuda anlatıldığı gibidir.



Şekil 9. Değişik LED'ler için normalize akım-ışık şiddeti değişimleri

Değişik darbe süreleri için ışık şiddeti değerleri fotodiyot devresinden okunurken darbe süresi, ölçümün yapıldığı an ile ışık darbesinin yükselmeye başladığı an arasında geçen süre olarak alınmıştır.

Bir LED için darbe süresi parametre alınarak çizilmiş akım-ışık şiddeti karakteristikleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Söz konusu şekil elde edilirken  $18\mu s$ ,  $9\mu s$ ,  $6.5\mu s$  ve  $3.5\mu s$  olmak üzere dört farklı darbe süresi parametre olarak alınmıştır. Yüksek akım değerlerinde  $18\mu s$ 'den daha uzun darbe sürelerinde LED'in yanma tehlikesi bulunduğundan daha uzun darbe sürelerine çıkılmamıştır. Şekilde parametre olarak seçilen dört adet darbe süresine göre dört adet eğri görülmektedir. En üstteki eğri  $3.5\mu s$ 'lik darbe süresine aittir ve darbe süresi arttıkça eğriler daha düşük ışık şiddetlerinde değişim göstermektedirler. Darbe süresi arttıkça bu sürede LED daha çok ısınmakta ve ışık şiddeti sıcaklık arttıkça azaldığı için daha uzun darbe süresi sonunda ışık şiddeti daha düşük değerde olmaktadır.

## 2.5. Yüksek Akımlarda Işıma Diyagramı

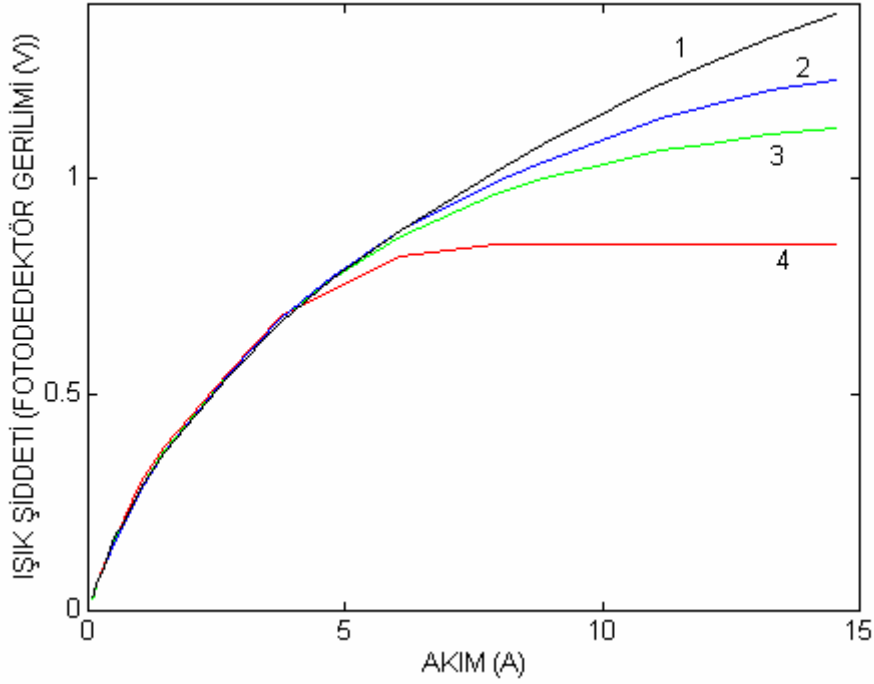
Burada yüksek akım değerlerinde ışımaya diyagramları çizilecek ve ışımaya diyagramlarında yüksek akım değerlerinde oluşabilecek değişiklikler incelenecektir.

Işıma diyagramlarının çizilmesi için kurulmuş olan ölçme düzeneği Şekil 11'de gösterilmiştir. Işıma diyagramı elde edilecek olan LED, şekilde gösterilen akrep diye adlandırılan açı gösterir ibrenin dönme merkezinde bulunmaktadır. Akrep fotodiyot yüzeyinin normali ile açı yapacak şekilde hareket ettiğinde LED de aynı açıyı yapacaktır. LED'in akrebin dönme hareketinin merkezinde bulunması ile ışığın LED'i terkettiği yüzey ile fotodiyot arasındaki mesafenin bütün açılarda sabit kalması sağlanmaktadır. Böylece ışık şiddetinde sadece açı değişikliği nedeniyle oluşacak olan değişim gözlenmiş olacaktır.

Fotodiyot devresi daha önce akım-ışık şiddeti değişimlerinin ölçülmesinde kullanılan devredir. Fotodiyot Şekil 11'deki gibi monte edilmiştir. LED ile fotodiyot yüzeyi arasındaki mesafe yaklaşık  $19\text{cm}$ 'dir. Fotodiyodun anodu ile toprak arasındaki direncin değeri  $3.3\text{ Kohm}$ 'dur. Ölçmeler esnasında fotodiyodun konumu ve LED ile olan uzaklığı daima sabit tutulmuştur.

Yukarıda açıklanan ölçme düzeni kullanılarak LED'den akıtılan değişik akım değerleri için ışımaya diyagramları çizilmiştir. Fotoalıcı ve LED'in konumları sabit tutularak sadece akım ve açı değiştirilmiştir. LED'den maksimum akım akıtılırken akrebin yaptığı açı değiştirilerek fotodiyodun anodundan okunan ve en büyük ışık şiddetine karşılık gelen gerilimin belli bir değerden küçük kalması sağlanmıştır. Böylece fotodiyot devresinden ölçülen gerilim değerlerinin fotodiyot devresinin doğrusallığı kanıtlanmış olan ölçme bölgesinde bulunması sağlanmıştır. LED'den maksimum akım akarken LED'in ölçme düzlemiyle yaptığı açı değiştirilerek fotodiyottan okunabilecek maksimum gerilim belirlendikten sonra tüm ölçmelerde LED'in bu konumu sabit tutulmuştur.

LED'in optik yapısı sebebi ile LED'in simetri eksenine doğrultusu ile ışık şiddetinin maksimum olduğu açı farklı olabilir. Bu nedenle LED'den akıtılacak akımın en büyük değerinde akrep dönme merkezinden dönce şekilde döndürülerek fotodiyot devresinden en büyük ışık şiddetinin okunduğu açı sıfır derece olarak alınmıştır. Işık şiddetinin maksimum olduğu açıyı sıfır almak için Şekil 11'de görüldüğü gibi akrep üzerine ilgili yere ibre görevi görecek olan bir çizgi çizilmiştir. Aynı LED ile yapılan değişik akım ve açılardaki ölçmeler için akrebin açı gösterir ucundaki çizgi ibre olarak kabul edilmiştir. Farklı bir LED için belirlenen ibrenin yeri farklı bir yerde olabilmektedir.

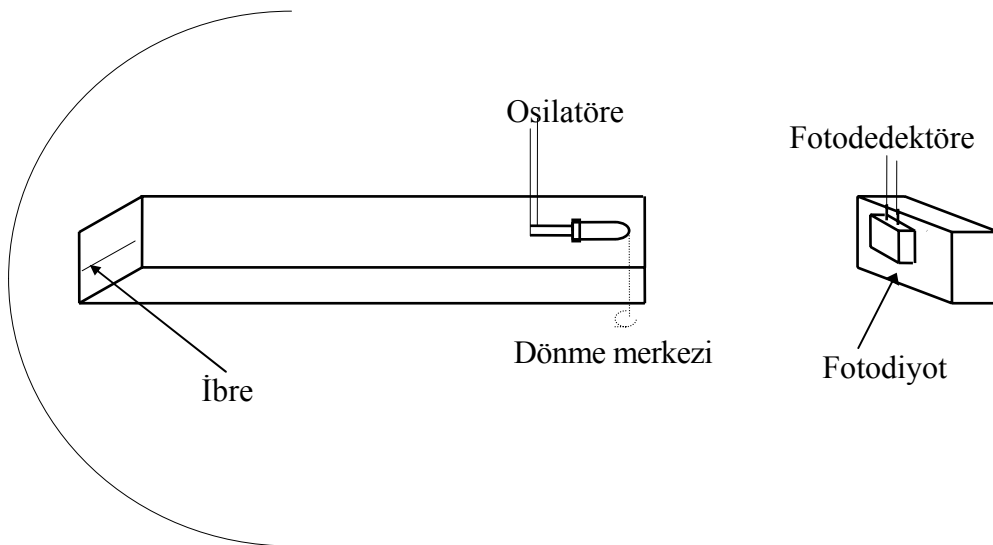


1. eğrinin darbe süresi 3.5  $\mu$ s, 2.eğrinin darbe süresi 6.5 $\mu$ s  
 3. eğrinin darbe süresi 9  $\mu$ s, 4.eğrinin darbe süresi 18  $\mu$ s

Şekil 10. Değişik darbe süreleri için LED'in akım-ışık şiddeti değişimleri

İşıma diyagramı çizilirken uygun sıklıkta açılar için fotodiyot devresinden ışık şiddetine karşılık düşen gerilimler ölçülmüştür. LED'den değişik akımlar akıtılarak yüksek akım değerlerinde ışıma diyagramında akıma bağlı bir değişiklik olup olmadığı incelenmiştir.

Şekil 12'de değişik akım değerleri için elde edilmiş ışıma diyagramları ve bu ışıma diyagramlarının aynı açılarda aldıkları ışık şiddeti değerlerinin birbirine oranının açı ile değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. LED'lerin değişik ışıma diyagramlarının aynı açılarda aldıkları değerler birbirine oranlanarak bu oranın açıya bağlı olarak değişip



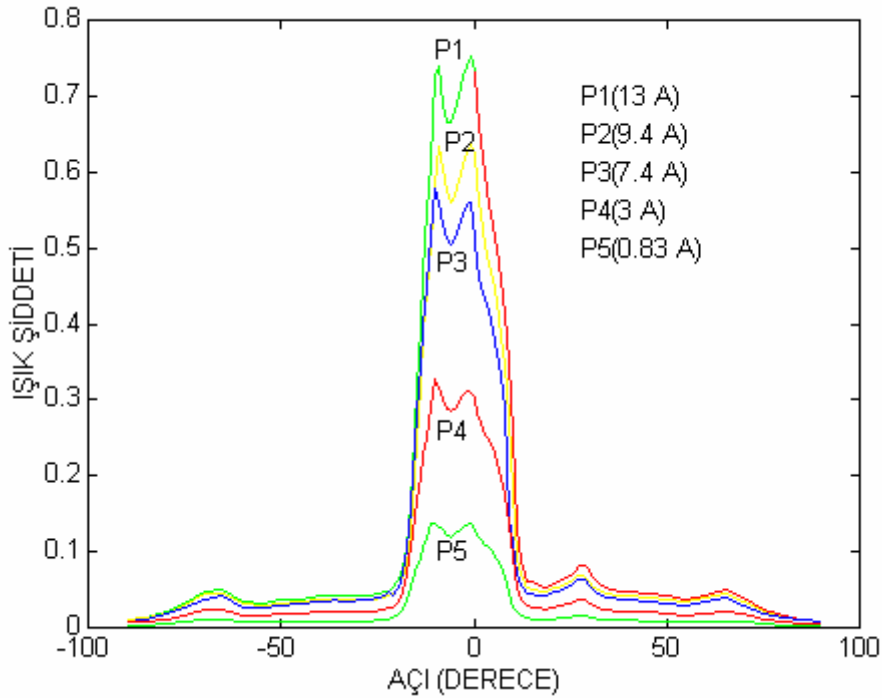
Şekil 11. Işıma diyagramlarının çizdirilmesi için ölçme düzeneği

değişmediği yani akım arttıkça ışınım diyagramında belli açılarda diğer açılara nazaran bir kazanç yada kayıp oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Şekil 12’de verilen ışınım diyagramları elde edilirken LED’den akan akımların darbe süreleri  $9 \mu s$  seçilmiştir

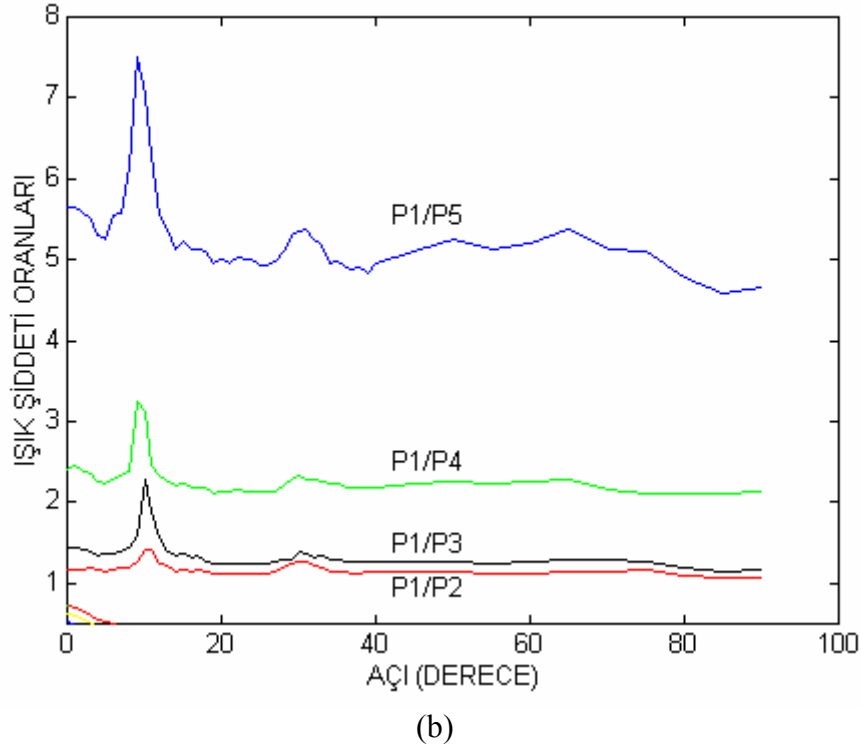
Değişik LED’ler için yapılan incelemelere göre, ışınım diyagramlarında çok hızlı değişimlerin olduğu açılarda ve ışık şiddetinin çok azaldığı büyük açı değerlerinde ölçme hatalarının arttığı gözönüne alınır ışınım diyagramları arasındaki oranın belli bir değerde sabit kaldığı söylenebilir. LED’den akan akımın değeri artırıldığında ışınım diyagramlarında her açı için aynı oranda bir ışık şiddeti artışı sözkonusudur. Akım değiştiğinde ışınım diyagramındaki seçicilikte bir değişiklik olmamaktadır.

Ancak akım artırıldığında ışık şiddetinin büyük değerler aldığı açılar arasında ışınım diyagramında küçük akımlarda bulunabilen farklılıklar da artmaktadır. Küçük akım değerlerinde ışınım diyagramındaki kazancın büyük olduğu açılarda farkedilemeyecek ölçüde bir çukurlaşma varsa bu çukurlaşmalar büyük akım değerlerinde daha belirgin olmaktadır. Büyük akımlarda belirginleşen ışınım diyagramındaki sözkonusu dalgalanmalar akımın değerine bağlı değildir. Yani ilgili açılarda da değişik akımlar için elde edilmiş ışınım diyagramları arasındaki oran belli değerde kaldığından sözkonusu çukurlaşmalar akım arttığı için ortaya çıkmamaktadır. Sadece küçük akımlarda ışınım diyagramında böyle bir dalgalanma varsa akım arttığında bu dalgalanma da diğer açılar için de geçerli olan oranda artmaktadır. Büyük akımlarda belirginleşen ışınım diyagramındaki bu dalgalanmalar LED’in optik yapısından kaynaklanmaktadır.

Elde edilen ışınım diyagramlarının çeşitli bölgelerinden kesitler alınır Şekil 13’de gösterildiği gibi değişik şiddete ışınlar meydana gelmektedir. LED’in sözkonusu yüksek akım değerlerinde kullanıldığı optoelektronik sistemler tasarlanırken bu durum hesaba katılmalıdır. Şekil 13’de gösterilen  $h_1$  ve  $h_2$ ’nin birbirine oranı ( $h_1/h_2$ ) LED’lerin tipine göre değişebilmektedir.



(a)

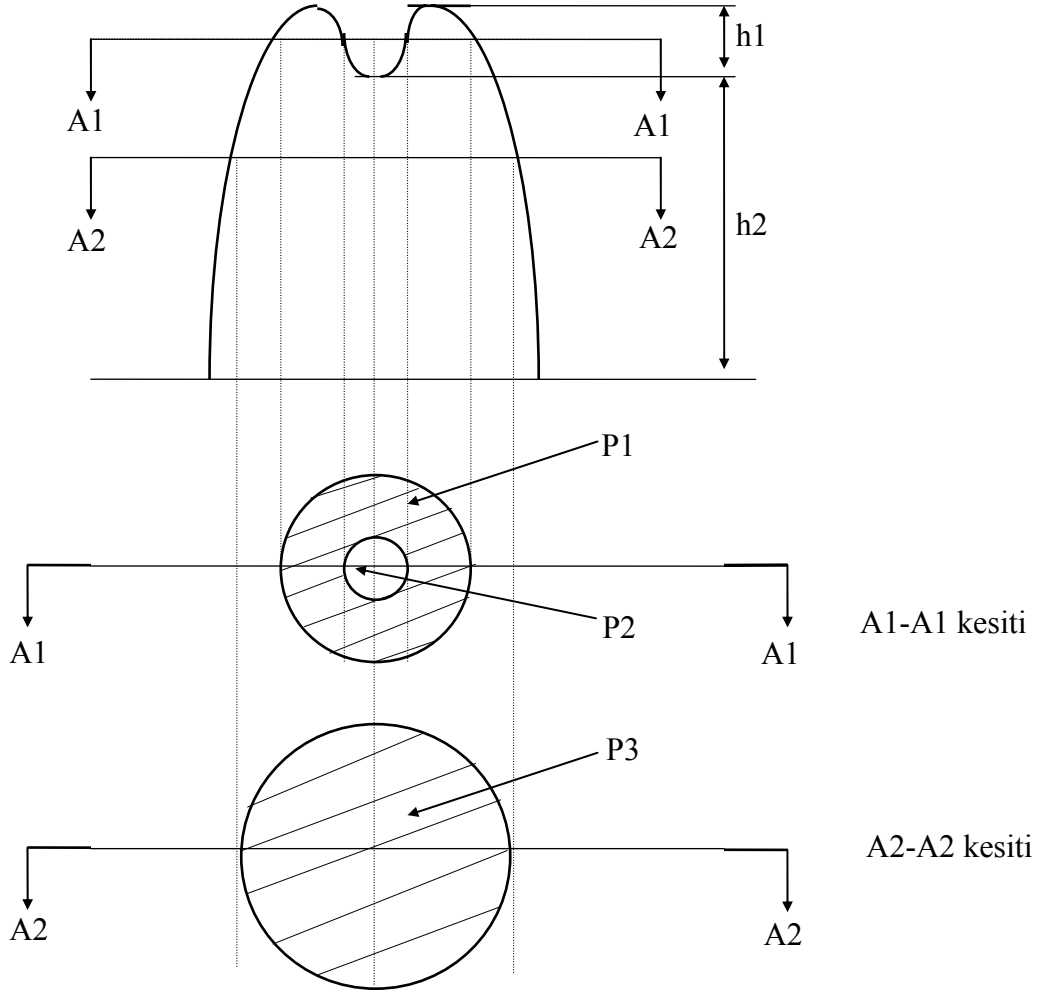


Şekil 12. (a) Değişik akımlar için ışım diyagramları, (b) Işık şiddeti oranları

### 3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada LED'lerin darbeli akımda aşırı akım değerleriyle sürülmeleri durumunda ortaya çıkan bazı özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerden biri LED'in elektriksel karakteristikleriyle ilgilidir. LED'in ani direncinin (akım darbesinin LED üzerinde oluşturduğu darbe şeklindeki gerilimin genliğinin akım darbesinin genliğine oranı) değişimi incelendiğinde belli değerdeki bir akımdan sonra LED'in temas ve gövde dirençleriyle belirlenen değerde bir direnç gibi davrandığı görülmüştür. Belli bir akımdan sonra LED'in akım ve gerilimi arasındaki bağıntı üssel değil, doğrusal olmaktadır. Ayrıca LED direncinin akım arttıkça düşmesi nedeniyle jonksiyonda harcanan ısı gücünün artış hızı da akım arttıkça azalmaktadır. LED'den akıtılabilecek akım darbesinin en büyük genliği belirlenirken bu etki de gözönünde bulundurulmalıdır. LED'in nominal doğru akımının ne kadar üzerinde akım darbesi akıtılabileceğini veren Eşitlik 7'nin, akım arttıkça LED'in gösterdiği ani direncin azalması nedeniyle değişeceği ve sözkonusu etkiyi içeren Eşitlik 9'un darbeli yüksek akımlarda kullanılabileceği gösterilmiştir.

Darbeli yüksek akımlarda LED'in ışık şiddetinin akımla değişimi tasarlanan ölçme devresi ve ölçme düzeneğiyle incelenmiştir. Bu değişimde, belli bir akımdan sonra LED'in ısınmasından dolayı oluşan ısı etkisi görülmektedir. LED ısındıkça ışık şiddeti düştüğünden, belli bir darbe süresine sahip akım darbesinin genliğinin belli bir değerinden sonra ışık şiddetinin akımla artış oranı belirgin bir şekilde azalmaktadır. Darbeli yüksek akım değerlerinde akım darbesinin genliği sabit tutulup darbe süresi arttırılırsa yine darbe süresi arttıkça LED daha çok ısındığından darbe sonunda oluşan ışık şiddetindeki düşme artmaktadır.



Şekil 13. Işıma diyagramından bazı kesitler

LED'in darbeleri yüksek akımlarda belirginleşen özelliklerinden biri de ışımaya diyagramlarında ortaya çıkmaktadır. Değişik genliklerdeki darbeleri için ışımaya diyagramları çizildiğinde akım arttıkça ışımaya diyagramlarında görülen çukurlaşma daha çok belirgin olmaktadır. Düşük genlikli akım darbeleri için çizilmiş ışımaya diyagramlarında ise bu çukurlaşma belirlenemeyecek kadar az olmaktadır. LED'in darbeleri yüksek akımlarla sürülmesi ile ilgili uygulamalarda ışımaya diyagramlarında yüksek akım değerlerinde ortaya çıkan bu özelliği dikkate alınmalıdır.

Yüksek ışık şiddeti elde etmek üzere LED'in darbeleri yüksek akımlarda kullanılmasının gerektiği uygulamalarda uygun bir LED seçmek için LED'in darbeleri yüksek akımlarda ne gibi özellikler gösterdiğinin bilinmesi gerekir. Öncelikle seçilen LED'in belli bir akım için verdiği ışık şiddetinin değeri fazla olmalıdır. Belli bir besleme gerilimi ve belli bir anahtarlama devresi ile LED'den daha fazla akım akıtılabilmek için LED'in yüksek akımlarda etkili olan gövde ve temas dirençlerinin değeri küçük olmalıdır. Aksi takdirde anahtarlama devresini besleyen gerilimin artırılması gerekir.

LED'in darbeleri yüksek akımlarda ısı yapısı da etkili olduğundan seçilecek olan LED'in birtakım ısı parametrelerinin de uygun olması gerekir. Jonksiyon sıcaklığının fazla yükselmemesi için özellikle jonksiyondan kılıfa kadar olan bölgenin ısı eylemsizliğinin yeterince fazla olması gerekmektedir. Jonksiyondan kılıfa kadar olan bölge ile kılıftan



çevreye kadar olan bölgenin ısı zaman sabitleri ne kadar büyük olursa LED o kadar daha az ısınacaktır.

Darbeli yüksek akımlarda kullanılmak üzere seçilmiş olan bir LED kullanılmadan önce bu LED'in yüksek akım değerlerinde ne gibi özellikler göstereceğinin bilinmesi gerekli olabilecektir. Bu takdirde istenen özelliklerin bulunması için gerekli ölçmeler yapılmalıdır. Bu amaçla burada verilen ölçme devreleri ile ilgili yöntem ve bağıntılardan yararlanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Bhattacharya P. (1997): "Semiconductor Optoelectronic Devices", USA, Prentice-Hall, p.206-230.
- Boylestad R., Nashelsky L. (1992): "Electronic Devices and Circuit Theory", USA, p.1-99.
- Davidov P. D. (1967): "Yarıiletken Elemanların Isıl Prensiplerinin Analizi ve Hesaplanması", Moskova, Energiya, s.5-140.
- Hall V. D. (1994): "Mikroişlemciler ve Sayısal Sistemler", Eskişehir, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, s.7.
- Hickman I. (1995): "Reflections on Optoelectronics", USA, Electronics World+Wireless World, p.970-974.
- Hickman I. (1997): "A Look at Light", USA, Electronics World+Wireless World, p.466-471.
- Kuntman H. H. (1994): "Endüstriyel Elektronik", İstanbul, Sistem Yayıncılık, s.166-178.
- Leblebici D. (1996): "Elektronik Devreleri", İstanbul, Seç Yayın Dağıtım, s.333-337.
- Musayev E. (1997): "Optoelektronik", Bursa, Uludağ Üniversitesi Basımevi, s.25.
- Özütürk E. (2000): "LED'lerin Aşırı Darbe Akımında Çalışmasının Teorik ve Pratik Araştırması", Bursa, Uludağ Üniversitesi (doktora tezi), s.1-163.
- Özütürk E.; Karlık S.E. (1998): "Kızılötesi Işımlarla Açık Optik Ortamda Bilgisayarlar Arası Veri İletimi", Bursa, Bursa 5. Bilgisayar-Haberleşme Sempozyumu, s.104-106.
- Popov A.A., Shertsnev V.V., Yakovlev Y.P., Baranov A.N., Alibret C. (1997): "Powerfull Mid-infrared Light Emitting Diodes for Pollution Monitoring", USA, Electronics Letters, p.86-87.
- Watson J. (1988): "Optoelectronics", U.K., Van Nostrand Reinhold, p. 55-78.