
LED'İN DARBELİ YÜKSEK AKIMLARDA BAZI KARAKTERİSTİKLERİNİ ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE ÖLÇMENİN DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ

*Erdem ÖZÜTÜRK**

Özet: Bu çalışmada uygun ölçme devreleri kullanılarak, LED'in darbeli yüksek akımlarda bazı karakteristiklerini ölçme yöntemleri araştırılmaktadır. Ölçülen büyüklüklerde hata oranının yeterince küçük olması gerekmektedir. Ölçme bölgesinde ölçme devreleri doğrusal ölçme yapmalıdır. Ölçme sonucu karakteristiklerde gözlenen değişiklik ölçme düzeninde oluşan başka bir etkiden dolayı oluşmamalı, ölçülmek istenen büyüklükteki değişimden kaynaklanmış olması gerekmektedir. Burada açıklanan ölçme yöntemlerinde düşük bir hatayla doğru ölçme yapıldığı ispatlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: LED karakteristikleri, ölçme yöntemleri, ölçme hataları.

Measuring Some Characteristics of LED at Pulsed High Currents and the Determination of the Accuracy of Measurement

Abstract: In this study, measuring some characteristics of LED at pulsed high currents using suitable measuring circuits have been investigated. The error rate of measured magnitudes must be low enough. Measuring circuits must measure linearly in the measuring range. The changes observed on the characteristics which handled as result of measurement must not be occurred by other effects originated from measuring circuit, but must be originated from the changes of measuring magnitude which are requested to be measured. It has been proved that the correct measure with low error rate has been made in the measuring methods which are explained here.

Key Words: LED characteristics, measuring methods, measuring errors.

1. GİRİŞ

LED'in ışık şiddeti içinden akan akımın değeri arttıkça artmaktadır. Dolayısıyla LED'den daha fazla ışık elde etmek için LED'den akan akımın artırılması gerekmektedir (Özütürk ve Karlık, 1998), (Özütürk, 2000), (Özütürk, 2002), (Özütürk, 2003), (Özütürk, 2006), (Hickman, 1995), (Bradbury, 1991). 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 çalışmada ve uygun [(darbe süresi)/(periyot)] oranlarında mümkün olmaktadır. Darbeli çalışmada LED'in ısıl eylemsizliğinin etkili olduğu, yani LED sıcaklığının darbeli akımın genliğinin oluşturduğu ısıl güce karşı gelen sıcaklığa yükselmeden akımın kesildiği darbe sürelerinde ve LED'in akım darbesi süresince edindiği ısının tamamını çevreye verebildiği boşluk sürelerinde LED'den nominal doğru akımının çok üzerinde genliğe

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa
İletişim Yazarı: E. Özütürk (ozuturk@uludag.edu.tr)

sahip akım darbeleri akıtılabilmektedir. Doğru akımda en büyük ışık şiddeti LED'in dayanabileceği doğru akım değerine bağlıdır. Kızılötesi LED'ler için doğru akımın tipik değeri 5-400 mA'ler mertebesindedir. Buna karşılık uygun koşullarda LED'den 10A, 15A gibi kısa süreli akımlar akıtmak mümkün olabilmektedir.

Ölçme devreleri LED'den kısa süreli yüksek genlikli akımlar akıtılabilmeli ve LED'den akan yüksek akım nedeniyle jonksiyonda oluşan sıcaklığın ortama aktarılabilmesi yani LED'in soğuyabilmesi için gerekli boşluk süresini ayarlayabilmelidir. Ölçme devresinde yer alan devre elemanları düşük toleranslı olmalı ve ölçme esnasında söz konusu darbeli yüksek akımlarda ısınarak bilinen değerlerini fazla değiştirmemelidirler. Ölçme sonucu ölçülen büyüklükteki değişiklik sadece ölçülmesi istenen değişiklik olmalı, hataya sebebiyet veren ölçme devresinden kaynaklanan başka bir etkiden dolayı oluşmamalıdır. Ölçme değer aralığı içerisindeki ölçme bölgesinde ölçme devreleri doğrusal ölçme yapmalıdır. Kullanılacak ölçme yöntemleri bütün bunları sağlamasının yanında ölçmenin doğruluğunu da ispatlayabilmelidir. Bu çalışmada buna göre uygun ölçme yöntemleri ortaya konulmaktadır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

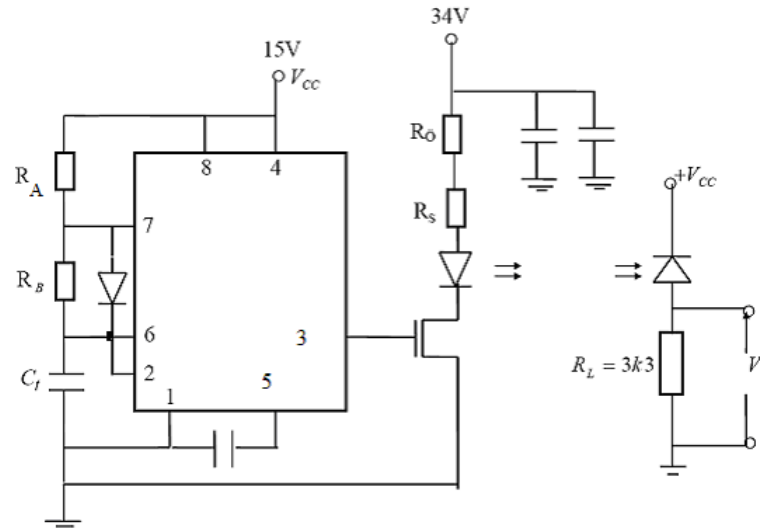
2.1. Ölçme Devreleri

Şekil 1'de LED ışığını darbeli akımla modüle etmek için kullanılan osilatör ve LED sürücü devresi ile LED'in verdiği ışığı algılamak üzere fotoiletken çalışma modunda kutuplanmış fotodiyotlu fotodetektör devresi görülmektedir. Devrede kullanılan osilatör 555 tümdevresiyle oluşturulmuş, [(darbe süresi)/(boşluk süresi)] oranı değiştirilebilir bir darbe osilatördür. 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 tümdevresinin 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. Darbeli 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 darbeli 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 tümdevresinin verebileceği akımla kontrol edebilecek yüksek akım kazancına sahip olmalıdır. Ayrıca iletim anında üzerinde oluşan doyma gerilimi küçük olmalıdır. Doyma geriliminin yüksek değerde 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 34V 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 çekilebilmektedir. 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 besleme geriliminin zamanla azalması ile oluşan eğilme çok küçük olmaktadır. Kondansatörlerden hızlı değişimlere sahip akım darbeleri akıtıldığında darbe değişimlerinde çınlama olayı ortaya çıkabilmektedir. Çınlama 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 fotodetektör gerilimi ölçülmüştür. LED'in bir akım için verdiği ışık şiddeti bilindiği takdirde aynı akım için LED'in verdiği ışığın kullanılan fotodetektörde 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 fotodetektör gerilimi ölçülmüş ve ilgili açıklamalar buna göre yapılmıştır. Böylece yüksek akımlarda ve kısa sürelerde fotodetektör gerilimi ile ışık şiddeti arasındaki dönüştürme katsayısı belirlenirken ilaveten oluşacak hatadan kaçınılmıştır.

LED'in verdiği ışığın ölçülmesi için fotodetektör olarak fotodiyot kullanılmıştır. Ölçmelerde kısa süreli ışık darbeleri söz konusu olduğu için ve doğrusallık önemli olduğu için Şekil 1'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 fotodetektörden ölçülen V_{ph} gerilimi arasındaki değişim doğrusal olmamaktadır. Bunlardan başka detektör 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.



Şekil 1:

Darbe-boşluk süresi ayarlanabilir osilatör ve fotoiletken modunda kutuplanmış fotodetektör devresi.

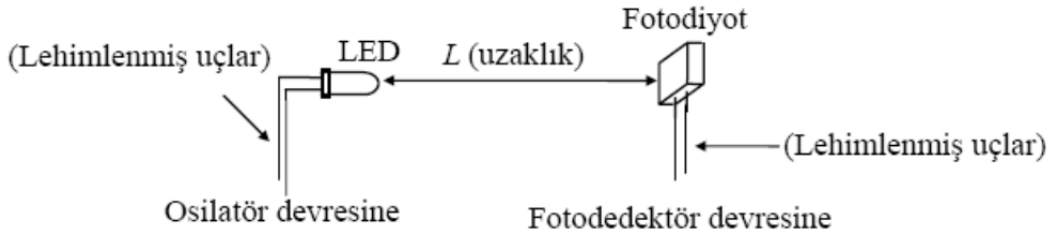
2.2. Fotodetektör Devresinin Doğrusallığı

Işık ölçmelerinde, fotodiyoda çarpan ışık ile fotodiyotlu devreden ölçülen elektriksel büyüklük arasındaki değişim doğrusal olmalıdır. Şekil 1'de gösterilen ölçmelerde kullanılan devrede ölçülen elektriksel büyüklük R_L direnci uçlarındaki gerilimdir. Fotodiyottan alınan elektriksel güç fotodiyoda çarpan optik gücün karesiyle orantılıdır. Bu nedenle R_L uçlarındaki gerilim de fotodiyoda çarpan ışık şiddetiyle orantılıdır.

Ölçmelerde kullanılan fotodetektör devresinde $V_{CC}=15V$ ve $R_L=3.3k\Omega$ seçilmiştir. Bu şartlar altında V gerilimi ile LED'in ışık şiddeti arasındaki değişimin doğrusal olduğu aşağıda yapılan açıklamalardan görülecektir.

Düşük akımlarda LED'in akımı ile verdiği ışık şiddeti arasında değişimin çok büyük ölçüde doğrusal olduğu bilinmektedir. Eğer fotodiyot devresi de doğrusal bir değişim gösteriyorsa R_L uçlarından ölçülen gerilim ile LED akımı değişimi doğrusal olacaktır. Fotodiyoda çarpan ışığın şiddeti ile R_L uçlarından ölçülen gerilimin değişimini belirlemek üzere aşağıdaki deney yapılmıştır.

Ölçmelerde Şekil 1'de gösterilen osilatör ile LED'den yayılan ışığın şiddetini ölçmek üzere fotodetektör devresi kullanılmıştır. Ölçme düzeneği blok şeması Şekil 2'de görülmektedir. LED (TLHRS 101 TFK(ITT)) ile fotodiyot arasındaki mesafe 2cm alınmıştır. LED'den 18µs darbe süresinde fakat değişik genlikteki akım darbeleri akıtılarak R_L üzerinde oluşan gerilim darbelerinin genlikleri ölçülmüştür. LED'den akan akımın değeri belirlenirken $R_\phi=1.026\ \Omega$ 'luk direncin uçlarında ölçülen gerilimlerin farkı alınmıştır. LED ile fotodiyot bir plaket üzerine Şekil 2'deki gibi birbirine bakacak şekilde lehimlenmiştir ve ölçmeler esnasında LED'in ve fotodiyodun konumları değiştirilmemiştir. Fotodiyoda dik bakacak şekilde yerleştirilmiş olan LED'in açısı ile fotodiyotla olan mesafesi sabit tutulmuştur.



Şekil 2:

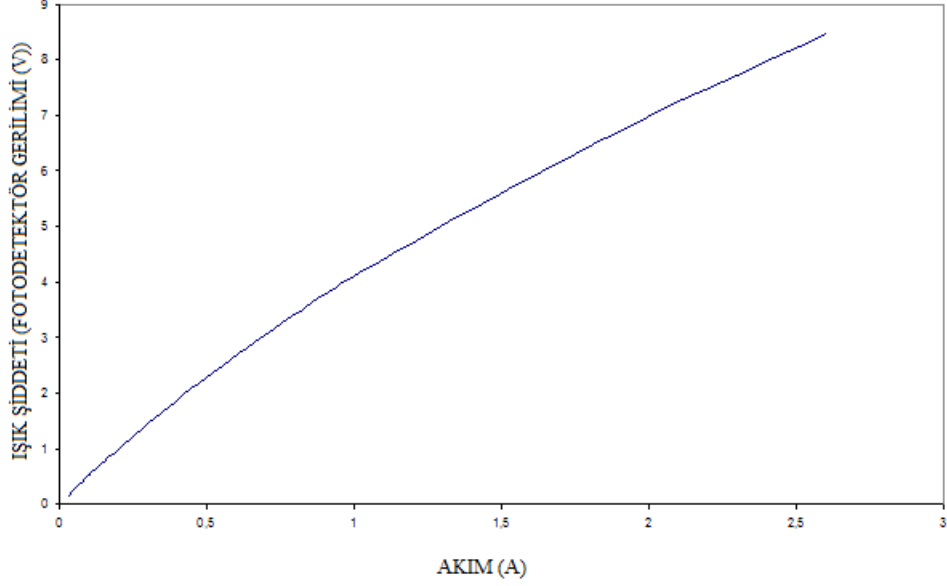
Işık şiddeti-akım değişimini ölçülme düzeneğinde LED ile fotodiyodun yerleşim şekli.

Şekil 3'deki grafik yaklaşık sıfırdan 2.5A'e kadar olan LED akımlarına karşılık R_L üzerinde okunan gerilimlerin değişimini göstermektedir. Şekil 3'deki grafikten 1.6V'luk gerilime kadar olan değişimin daha doğrusal olduğu görülmektedir. 0-1.6V arasındaki değişim Şekil 4'de tekrar çizilmiştir. Buradan R_L üzerinde 1.6V'a kadar olan gerilimlerin, bu gerilimleri oluşturan ışık şiddetleriyle doğrusal değiştiği görülmektedir. Son iki grafikte R_L üzerinde okunan gerilimler düşey eksenlerde ışık şiddeti olarak gösterilmiştir.

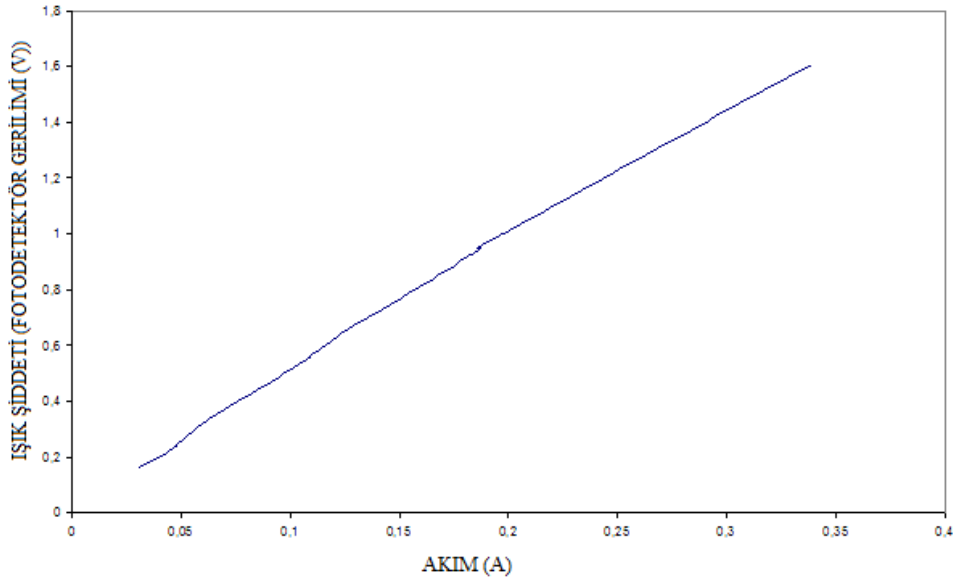
LED'den akan daha büyük akımlar için de belirtilen doğrusallığın geçerli olduğunun kabul edilebilmesi için bundan sonraki diğer ölçmelerde de fotodetektör devresinde bir değişiklik yapılmamıştır. Ayrıca Şekil 4'deki grafiğin doğrusallığının geçerli olabilmesi için LED'lerden verilecek en büyük ışık şiddetlerinde bile R_L üzerindeki gerilimin çoğunlukla 1.6V'u aşmaması sağlanacaktır. Bunun için LED'in ışık şiddetinin uzaklığın karesiyle orantılı olarak azaldığı kuralından yararlanılacaktır. Örneğin, aynı LED'in fotodiyottan olan uzaklığı 4 katına (8cm) çıkarıldığında R_L üzerindeki önceki uzaklıkta ölçülen bir gerilimin aynı değerini oluşturacak LED akımı 16 katına çıkacaktır. LED ile fotodiyot arasındaki uzaklığın arttırılmasıyla oluşturulan bu ölçek değişikliği sayesinde LED'den akıtılacak daha büyük akımlar için de fotodetektörün doğrusallığı geçerli olacaktır.

Bundan sonra yapılmış olan ışık şiddeti ölçmelerinde, LED ile fotodiyot arasındaki uzaklık, ispatlanan fotodetektör doğrusallığının geçerli olduğu uzaklık olan 8.5cm alınmıştır. Bu mesafe korunarak çoğu ölçmelerde R_L 'de oluşacak maksimum gerilim 1.6V'u aşmayacak şekilde LED'in açısı az miktarda değiştirilmiştir. LED'in ışımaya diyagramlarından da görüleceği

gibi, LED'in ışık şiddeti LED'in fotodiyot yüzeyinin normali ile yaptığı açı ile değişmektedir. Yani LED'in değişik doğrultularda verdiği ışığın şiddeti değişmektedir.



Şekil 3:
Fotodetektörün doğrusallığı.



Şekil 4:
Fotodetektörün doğrusallığı.

2.3. Akım-Işık Şiddeti Karakteristiği

Bu bölümde yüksek akım değerlerinde LED'in ışık şiddeti ile akımı arasındaki değişimi incelemek için gerekli ölçmeleri yapmak üzere oluşturulan ölçme yöntemleri ele alınacak ve ölçme düzeneği ve ölçme yönteminden kaynaklanan hatalar açıklanacaktır.

LED'in mili amperler değerindeki akımlarda verdiği ışık şiddeti akım ile hemen hemen doğrusal bir şekilde değişmektedir. Küçük değerli doğru akımla ya da darbeli akım ile çalışmada da bu doğrusallık geçerlidir. Düşük değerli doğru akımlar ya da darbeli çalışmada akım darbesinin genliğinin 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. Darbeli çalışmada, LED'in doğru akımla sürülmesine nazaran $P=k_p I$ bağıntısındaki k_p değerinin arttığı bilinmektedir. Aynı zamanda darbe/periyo t oranı küçüldükçe yine k_p 'nin değeri artmaktadır, yani, aynı tepe akımı için darbe/periyo t oranı küçüldükçe daha fazla ışık şiddeti elde etme olanağı ortaya çıkmaktadır.

LED'in yüksek akım değerlerinde ışık şiddetinin akımla değişimini elde etmek için Şekil 1'deki fotodetektör devresi ile osilatör devresi kullanılmıştır. LED akımı ve LED gerilimi osiloskop aracılığıyla ölçülmüştür. LED gerilimi LED uçlarına osiloskop probu bağlamak suretiyle doğrudan ölçülmüştür. LED akımı ise nominal değeri 1ohm olan R_o ölçü direnci uçlarındaki gerilim farkının ölçülüp bu gerilim farkının ölçü direnci değerine bölünmesiyle dolaylı olarak hesaplanmıştır. Akım darbelerinin süresi, akımın direnç, LED, MOSFET seri devresinde sıcaklıkla değişmediği bir değerde seçilmiştir. Periyodik darbe işaretinin boşluk süresi çok büyük bir değerde (6.76ms) bulunmaktadır. Pratik olarak akım darbelerini tekrarlanmayan (tek darbe) şeklinde düşünmek mümkündür. Nominal değeri 1ohm olan R_o direncinin uçlarındaki gerilimlerin farkı dolayısı ile bu gerilimler farkından bulunacak olan akım değerinin okunma anı ile bu akıma karşılık gelen ışık şiddetinin okunduğu an aynıdır. Yani LED akımı ile ışık şiddeti değerleri darbelerin aynı bir anı için ölçülmüştür.

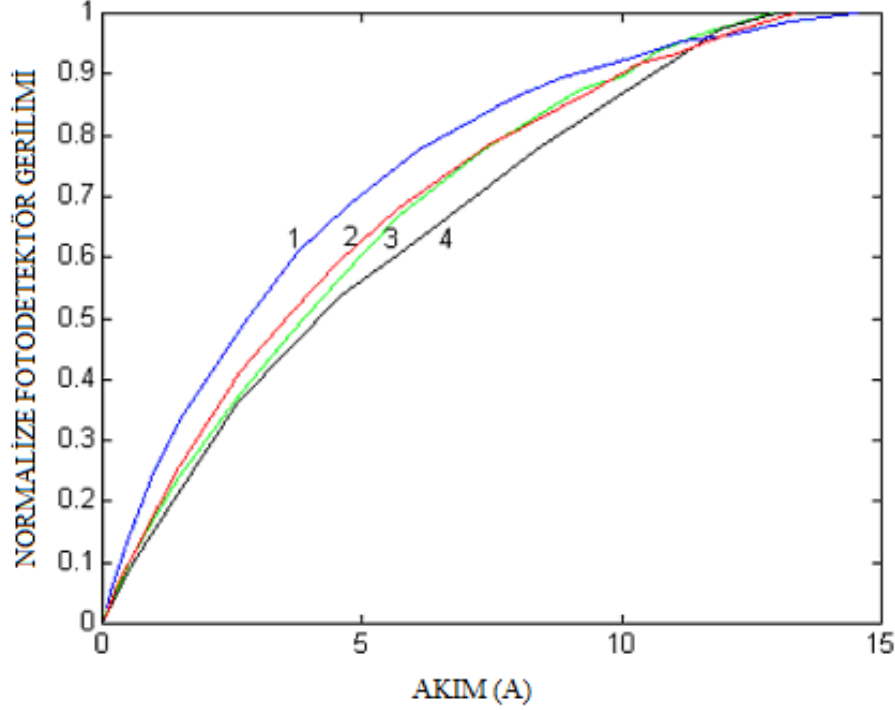
Işık şiddeti ile orantılı olan gerilim fotodiyot devresindeki fotodiyoda seri bağlı $R_L=3.3kohm$ değerindeki direncin uçlarından osiloskolla ölçülmüştür. Bu ölçmeler osiloskop ac kademesinde iken yapılmıştır. Ortamda fon gürültüsünü oluşturan gün ışığı gibi şiddeti çok yavaş değişen ışık ac kademesinde devreye seri olarak giren kapasite ile süzölmüş olmaktadır. LED, fotodiyoda 8.5cm kadar uzaklıkta fotodiyoda bakacak şekilde lehimlenmiştir. LED'in fotodiyot yüzeyinin normali doğrultusuyla yaptığı açı, LED'den akıtılan en büyük akımda oluşan ışık şiddetine karşılık okunan gerilimin tepe değeri fotodetektörün doğrusal ölçme bölgesinde kalınacak şekilde ayarlanmıştır. LED'in ve fotodiyodun konumları ölçme esnasında hep sabit tutulmuştur.

Şekil 5'de dört değişik LED'in akım ile normalize ışık şiddetine karşılık gelen normalize fotodiyot geriliminin değişimi görölmektedir. Grafikte görölen LED'lerden akan akımların darbe süresi $9\mu s$ 'dir. Şekildeki grafikten akım arttıkça ışık şiddetinin artmakta olduğu ancak akım arttıkça "ışık şiddeti/akım= k_p " oranının azalmakta olduğu görölmektedir.

2.4. Darbe Süresinin Etkisi

Akım darbesinin darbe süresinin akım-ışık şiddeti karakteristiğine etkisini belirlemek amacıyla bir önceki bölümde kullanılan osilatör ve fotodetektör 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 tümdevresinin 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 tümdevresinin 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 söz konusu olduğu için darbe süresinin istenmeden yüksek değerli olması sonucu LED'in tahrip olması önlenmiştir. Işık şiddetinin ölçümü ise bir önceki konuda anlatıldığı gibidir.

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.



Şekil 5:

4 değişik kızılötesi ışık veren LED için normalize edilmiş fotodetektör geriliminin darbe akımı genliği ile değişimi.

LED'lerin kimlikleri şöyledir: 1 nolu LED LD 271 (Siemens), 2 nolu LED SLR 932 A (Sanyo), 3 ve 4 nolu LED'ler TLHRS 101 (TFK (ITT)).

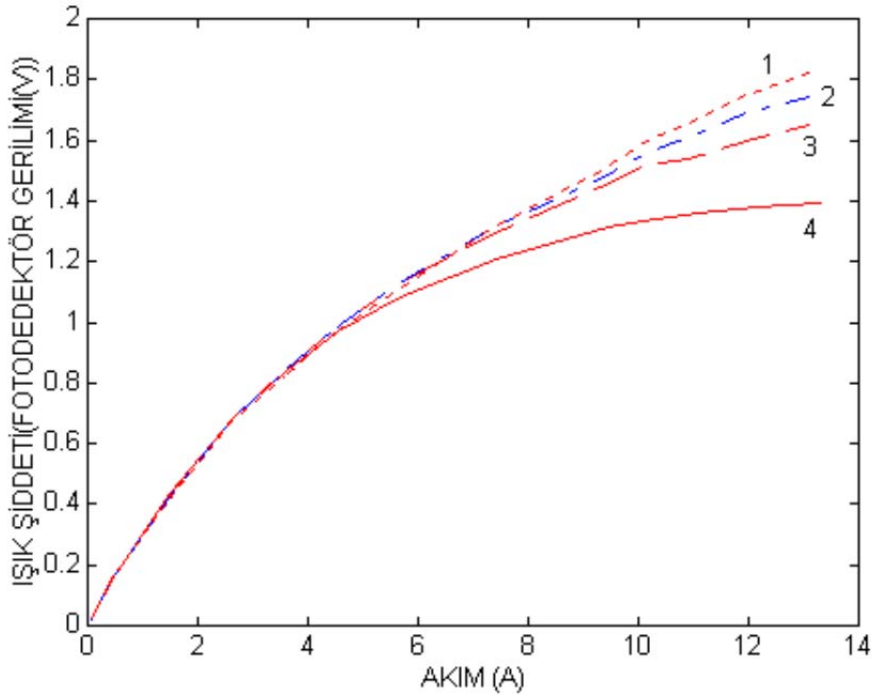
Bir LED için darbe süresi parametre alınarak çizilmiş akım-ışık şiddeti karakteristikleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Söz konusu şekil elde edilirken $18\mu s$, $9\mu s$, $6.5\mu s$ ve $3.5\mu s$ olmak üzere dört farklı darbe süresi parametre olarak alınmıştır. Yüksek akım değerlerinde $18\mu s$ 'den 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 değerdedir.

Darbe süresi arttıkça ışık şiddetindeki düşmenin LED'in ısınmasından kaynaklandığının ispatı aşağıda yapılacaktır.

2.5. Işık Darbesinin Darbe Üstü Eğilmesi

Şekil 7 ve Şekil 8'de üç farklı kızılötesi ışık veren LED için fotodiyodun anodundan gözlenen ışık darbelerinin değişimleri görülmektedir. Bu ışık değişimlerine yol açan belli genlikteki akım darbelerinin süreleri $18\mu s$ 'dir. Üç farklı LED için ilgili tüm değişimler elde edilirken LED akımlarında darbe üstü eğilmesinin olup olmadığı incelenmiştir. Üç farklı ışık

darbesi değişimi için LED'lerden akan akım darbesinin genliği R_{ϕ} ölçü direncinin her iki ucundaki gerilimler ölçülüp, gerilim farkının ölçü direnci değerine bölünmesiyle bulunmuştur. Ayrıca R_{ϕ} ölçü direncinin her iki ucundaki gerilimler osiloskopla incelenerek bu gerilimlerin darbe üstünün başlangıcındaki ve $18\mu s$ sonundaki gerilim değerleri ölçülerek darbe üstü eğilmesi bulunmuştur. Şekil 7(a)'da ışık darbesi değişimi görülen LED'den (TLHRS 101 (TFK(ITT))) akan akım darbesinin genliği bulunurken R_{ϕ} ölçü direncinin besleme kaynağına bağlı ucundaki gerilim darbesinin darbe üstü başlangıcındaki değeri $-900mV$, $18\mu s$ 'deki değeri $-1.27V$ (şöz konusu gerilimler bir referansa göre azaldığından, referansa göre bu azalmayı belirtmek üzere gerilimler negatif işaretli olmaktadır) olmaktadır. R_{ϕ} ölçü direncinin diğer ucundaki darbe üstünün başlangıç anındaki ve $18\mu s$ anındaki değeri sırasıyla $-12.1V$ ve $-13.6V$ olarak ölçülmüştür. Darbe üstündeki darbe sonunda oluşan düşme miktarını ve darbe üstü eğilmesini daha doğru bir şekilde belirlemek için akımı sağlayan kondansatörler (besleme) üzerindeki gerilim $0.2V$ gibi bir düşük kademedeki ölçülmüştür. Şekil 9'da bu değişim görülmektedir. Burada görüldüğü gibi darbe sonunda darbe üstü geriliminin düşme miktarı yaklaşık olarak $0.4V$ 'dur. R_{ϕ} ölçü direncinin her iki ucundan ölçülen gerilim değerlerinden yararlanarak akım darbesinin genliği $(12.1-0.9)/R_{\phi}=10.92A$ olarak hesap edilebilir (burada $R_{\phi}=1.026$ ohm'dur). Bu akımdaki eğilme yaklaşık olarak besleme gerilimindeki eğilmeye eşit olacaktır. Besleme gerilimi $34V$ olarak ölçüldüğünden akım darbesindeki eğilme $0.4V/34V=\%1.176$ olacaktır. Akım darbesindeki eğilmenin bir kısmı akımın aktığı LED, direnç ve güç MOSFET'i seri devresindeki elemanların ısınması nedeniyle bu elemanların ısıya bağlı elektriksel değerlerinin değişmesinden oluşmaktadır.

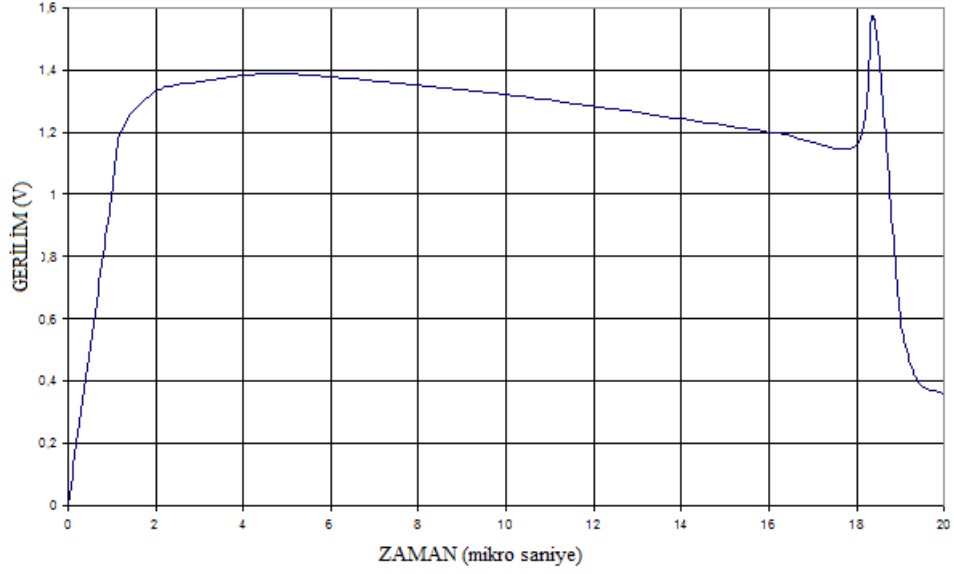


1. eğrinin darbe süresi $3.5 \mu s$, 2. eğrinin darbe süresi $6.5 \mu s$
 3. eğrinin darbe süresi $9 \mu s$, 4. eğrinin darbe süresi $18 \mu s$

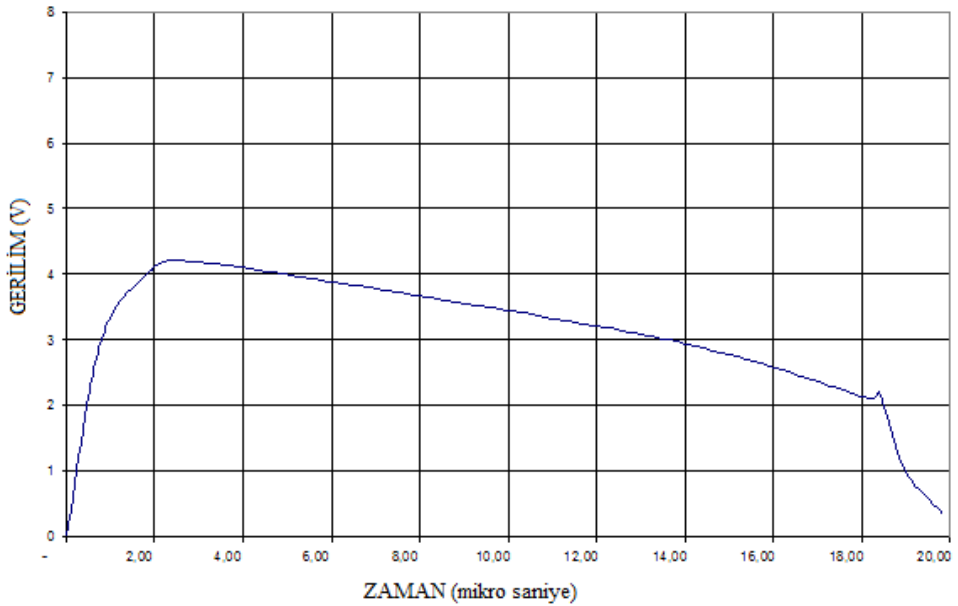
Şekil 6:

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

Devrede kullanılan karbon dirençlerin sıcaklık katsayısı her ($^{\circ}C$) sıcaklık başına milyonda -300 'dür ($-300\text{ppm}/^{\circ}C$) ve LED geriliminin sıcaklık değişimi yaklaşık $-0.002V/^{\circ}C$ 'dir. Bunlar sıcaklık arttıkça akımı arttıracak şekilde etki ederler. LED'in en fazla ısındığı durumda LED sıcaklığının $100^{\circ}C$ artıp jonksiyon sıcaklığının kritik sıcaklık değeri olan $125^{\circ}C$ 'ye ($100^{\circ}C + 25^{\circ}C$ (oda sıcaklığı)) çıkması durumunda LED gerilimi de



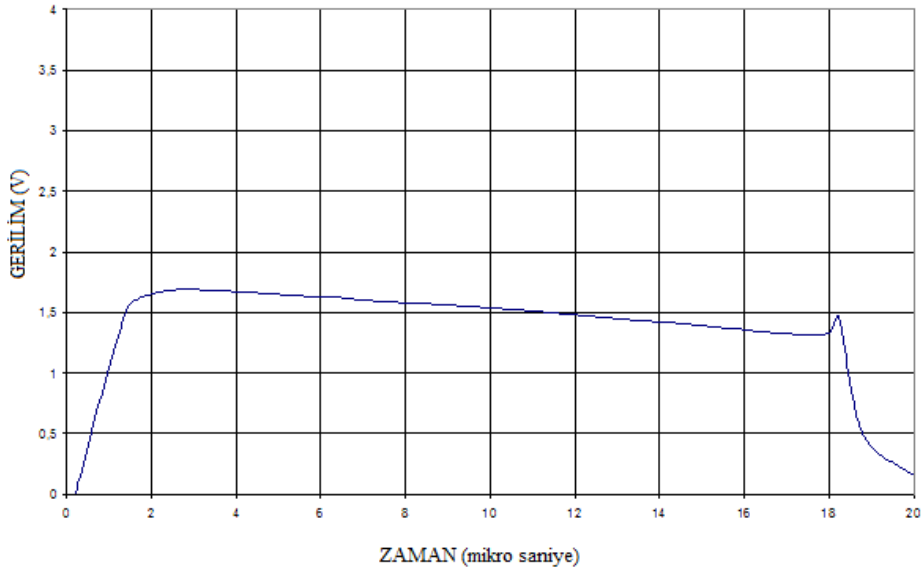
(a)



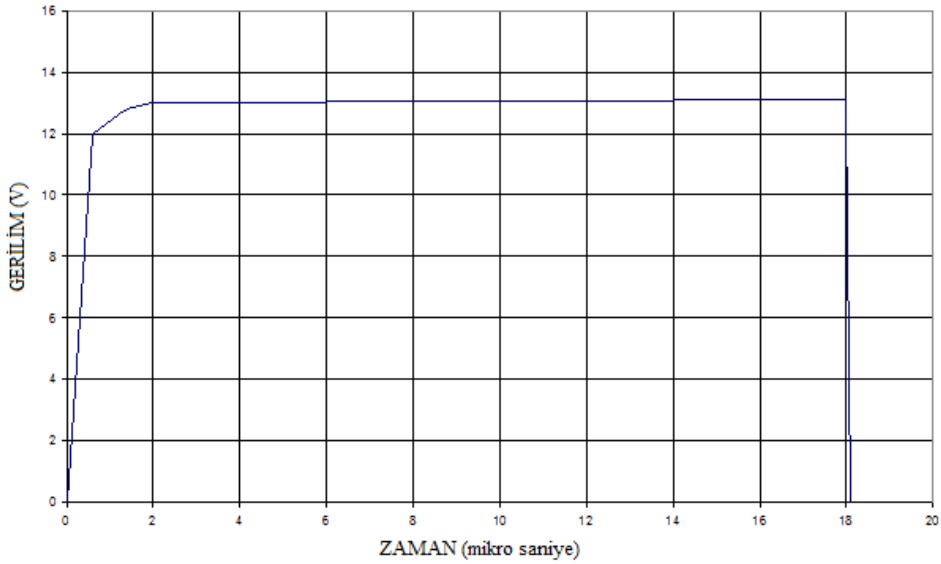
(b)

Şekil 7:
İki farklı TLHRS 101 kimlikli LED'in ışık darbesi değişimleri.

$100^{\circ}C \times (0.002V/^{\circ}C) = 0.2V$ azalacaktır. Besleme gerilimi 34V olduğundan LED geriliminin 0.2V azalmasının akım üzerindeki etkisi $0.2/34= \%0.6$ 'dır. Kullanılan karbon film dirençlerinin ısıl eylemsizlikleri nedeniyle ilgili darbe sürelerinde sıcaklıkları fazla yükselmese de $100^{\circ}C$ ısınmış olmaları durumunda bile dirençlerin değeri $300 ppm/^{\circ}C \times 100^{\circ}C = 30000 ppm = \%3$ azalacaktır. Nominal akım değeri 8A olan güç MOSFET'inin ise hiç ısınmadığı kabul edilebilir. Bir diğer neden ise seri devreden akan akımın gördüğü toplam direnç (R_T) ile akımın çekildiği besleme kondansatörlerinin toplam kapasiteleri (C_T) tarafından belirlenen $R_T C_T$ zaman sabiti ve darbe süresine bağlı olan kondansatör (besleme) geriliminin darbe süresince azalmasıdır.



(a)

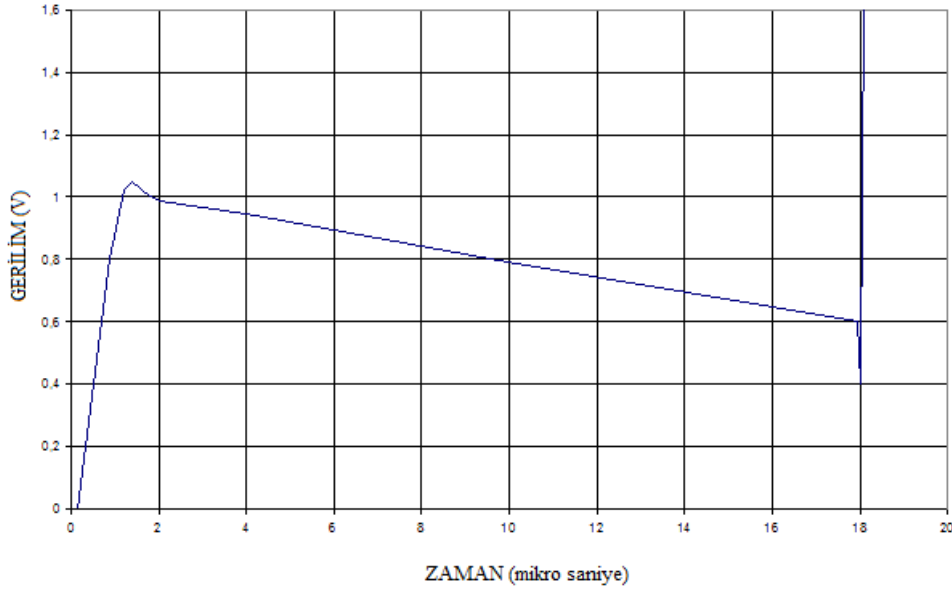


(b)

Şekil 8:

(a) SLR 932 A kimlikli LED'in ışık darbesi. (b) Akım darbesi değişimi.

Işık darbesinde görülen eğilmenin bir kısmı fotodiyodun spektral karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 10'da bir GaAs LED'in spektral karakteristiğinin sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi spektral karakteristik sıcaklık arttıkça sağa doğru ötelemektedir. Şekil 11'de ölçmelerde kullanılan BPW41 fotodiyodunun spektral karakteristiği ile GaAs LED'in spektral karakteristiği birlikte gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi fotodiyodun en büyük tepkisi GaAs LED'in spektrumunun en büyük değerini aldığı 930nm'de olmaktadır. Şekil 10'da GaAs LED'in spektral karakteristiğinin $100^{\circ}C$ 'lık sıcaklık artışında 30nm sağa doğru ötelendiği ve tepe değerinin olduğu dalga boyunun $(930+30)nm=960nm$ olduğu görülmektedir. Bu şekilde ötelenmiş olan spektral karakteristik Şekil 11'de kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekilde kesikli çizgilerle gösterilmiş bulunan spektral karakteristiğinin tepe değerinde BPW41 fotodiyodunun spektral tepkisinden dolayı 930nm'ye nazaran bir miktar zayıflama ortaya çıktığı görülmektedir. Şekil 11'den LED'in $100^{\circ}C$ ısınması durumunda fotodiyodun spektral tepkisinden kaynaklanan söz konusu zayıflamanın %5'den daha az olduğu görülmektedir.

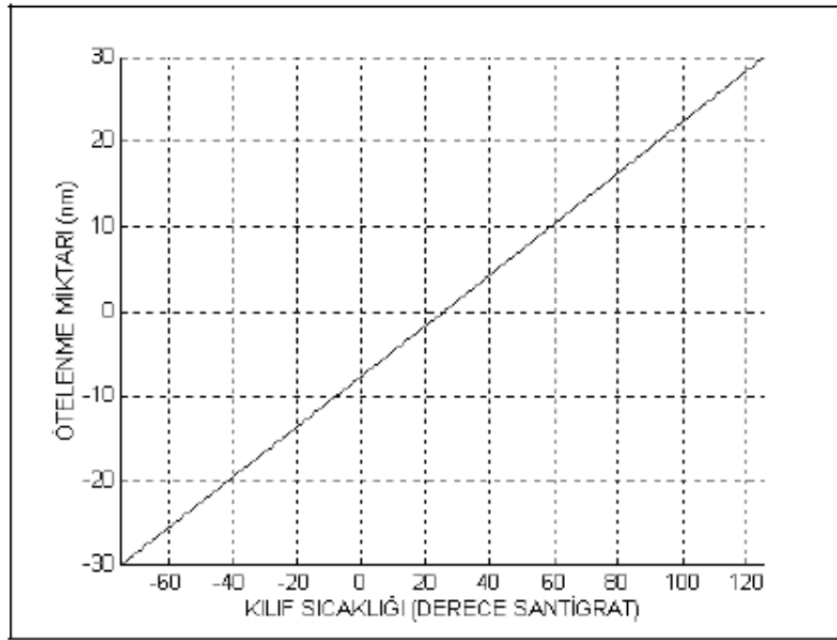


Şekil 9:
Devrenin besleme gerilimindeki eğilme.

Şekil 9'dan yararlanarak hesaplanan besleme geriliminden dolayı akımda meydana gelebilecek eğilme %1.176 olan akım akarken LED'in verdiği ışığın değişimi Şekil 7.(a)'da görülmektedir. Burada ışık darbesinin tepe değeri akım darbesinin başlangıcından yaklaşık 4µs sonra oluşmaktadır ve değeri 1.38V'tur. Akım darbesinin başlangıcından 18 µs sonraki ışık şiddetinin oluşturduğu gerilim 1.16V olarak ölçülmüştür. Bu değerlere göre ışık darbesindeki darbe sonunda oluşan düşme miktarı $1.38-1.16=0.22V$ ve eğilme $0.22/1.38=\%16$ 'dır. Yukarıda ışık şiddeti üzerinde etkileri açıklanan ısıyla direnç ve LED gerilimindeki düşme, fotodiyodun spektral cevabından dolayı oluşan zayıflama ve besleme gerilimindeki düşme nedeniyle oluşabilecek eğilme %16'lık eğilmenin yanında ihmal edilebilir.

Işık darbesindeki söz konusu eğilmenin fotodetektörün ısınmasından kaynaklanması mümkün değildir. Fotodiyot devresinin ışık darbesi üzerinde kayda değer bir eğilme meydana getirmeyeceğini kanıtlayabilmek için LED akımı ışık darbesinde bir eğilme meydana gelmeyecek bir değere düşürülmüş fakat eğilmenin kaydedildiği ışık şiddetini elde edebilmek

için LED ile fotodiyot arasındaki uzaklık azaltılmış ve LED'in fotodiyot yüzeyinin normali ile yaptığı açı değiştirilmiştir. Şekil 12.(a)'da ışık darbesi ile bunu meydana getiren akım darbesindeki değişim görülmektedir. Işık darbesinin genliği 5V'dan biraz daha büyüktür. LED'den akan akımın genliği 2.5A kadardır ve akım darbesindeki eğilme %0.37 değerindedir. LED'den aynı akım akıtılarak fakat LED'in fotodiyot yüzeyinin normali ile yaptığı açı değiştirilerek elde edilmiş diğer bir ışık darbesi Şekil 12.(b)'de görülmektedir. Buradaki ışık darbesinin genliği 3.60V'dur. Şekil 12'de görülen ışık darbelerinin genlikleri %30 eğilmenin görüldüğü ışık darbesinin genliğinden daha büyük veya ona yakın değerde oldukları halde bunlarda kayda değer bir eğilme bulunmamaktadır. Bu durum daha küçük genlikteki ışık darbeleri için de geçerlidir.



Şekil 10:

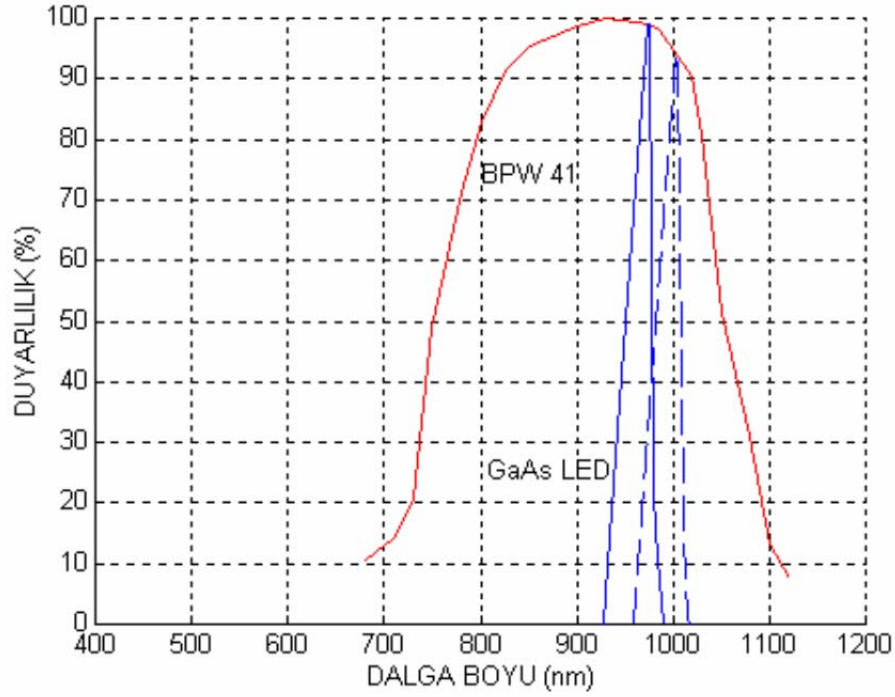
Bir GaAs LED'in maksimum ışımaya yaptığı dalga boyunun kılıf sıcaklığına göre ötelenmesi (Texas Instruments, Optoelectronics and Image Sensors Data Book, 1990).

Şekil 7.(b)'deki LED (TLHRS 101 (TFK(ITT)) ve Şekil 8'deki LED (SLR 932A (SANYO))'ler için gösterilen ışık darbelerini meydana getiren akım darbelerinin genlikleri ve bu akımlar akarken besleme gerilimindeki eğilmeler sırasıyla Şekil 7.(b)'deki darbe için 12.5A, %2, Şekil 8.(a)'daki darbe için 13.2A, %0.3'tür. Şekil 8.(b)'de ise aynı şeklin (a)'daki değişiminde görülen ışık darbesini meydana getiren LED'den akan akım darbesinin değişimi görülmektedir. Bunlara karşılık gelen ışık darbelerindeki darbe üstü eğilmeleri, tepe değerleri ile 18 μ s sonundaki değerlerin farkı alınıp tepe değerine bölünerek bulunmuştur. Bunlar sırasıyla Şekil 7.(b)'deki değişimde %50, Şekil 8.(a)'daki değişimde %23 değerlerindedir. Buradaki bütün ışık darbelerinin tepe değerleri 5V'dan küçük tutulmuştur. Bunun nedeni daha önce fotodiyodun anodundan ölçülen ve darbe üstü eğilmesi görülmeyen ışık darbesi genliğinin 5V olmasıdır. Bu sayede ışık darbesinde görülen eğilmelerin fotodiyot devresinden kaynaklanmadığı söylenebilmektedir.

Şekil 13'teki değişimler, Şekil 6'da değişik darbe süreleri için akım-ışık şiddeti karakteristiği verilmiş olan LED için dört farklı genlikte akım darbesine karşılık ışık darbelerinin darbe üstü değişimleri görülmektedir. Buradaki akım darbelerinin darbe süresi 18 μ s'dir. Darbe üstü değişimleri, dört farklı akım darbesi için, ışık darbelerinin tepe değerlerini

aldığı andan itibaren darbe sonuna (18 μ s) kadar belli zaman aralıklarıyla osiloskopa ölçülmüş olan değerlere göre çizilmişlerdir.

Şekil 13'te akım arttıkça darbe sonunda oluşan tepe değerine göre olan düşme miktarının arttığı görülmektedir. Akım azalıp belli bir sınır değere gelindiğinde ilgili darbe süresince olan eğilme fark edilmez bir değere düşmektedir. Işık darbesinde eğilmenin fark edilmez olduğu 18 μ s süreli akım darbesinin genliği söz konusu olan LED için 4.4A'dır. Bu 4.4A'lık akım değeri aynı zamanda Şekil 6'da 18 μ s'lik darbenin akım ışık şiddeti değişimlerinin farklılaşmaya başladığı ayrılmaya değeridir.



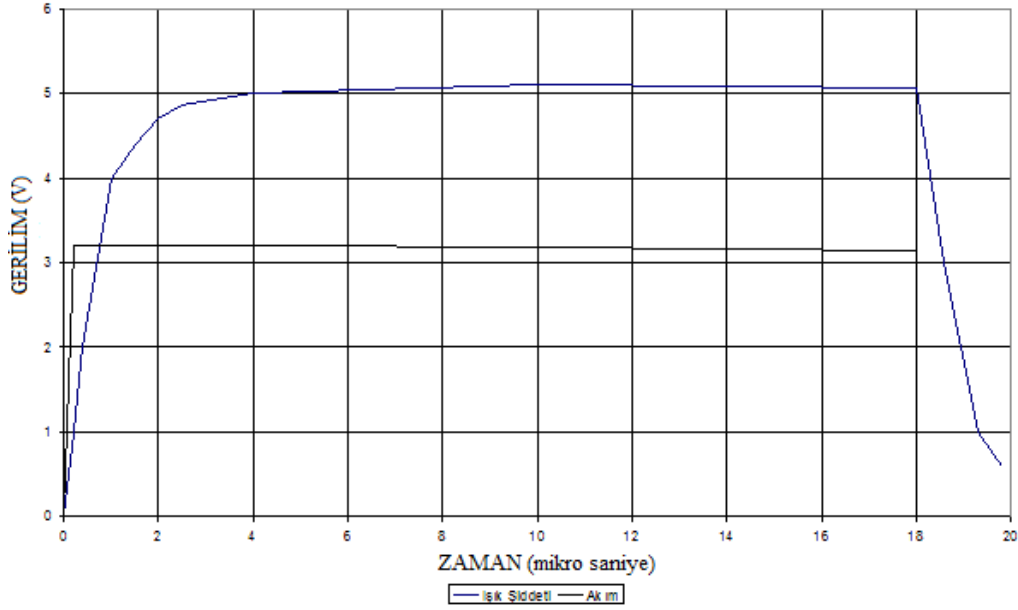
Şekil 11:

Bir kızılötesi LED ile kızılötesi ışığı dedekte etmek için kullanılan BPW 41 fotodiyodunun spektral karakteristikleri ve fotodiyottan kaynaklanan zayıflatma. Kesikli çizgi ile gösterilmiş bulunan değişim ısınmadan dolayı LED'in ötelenmiş olan spektral karakteristiğini göstermektedir.

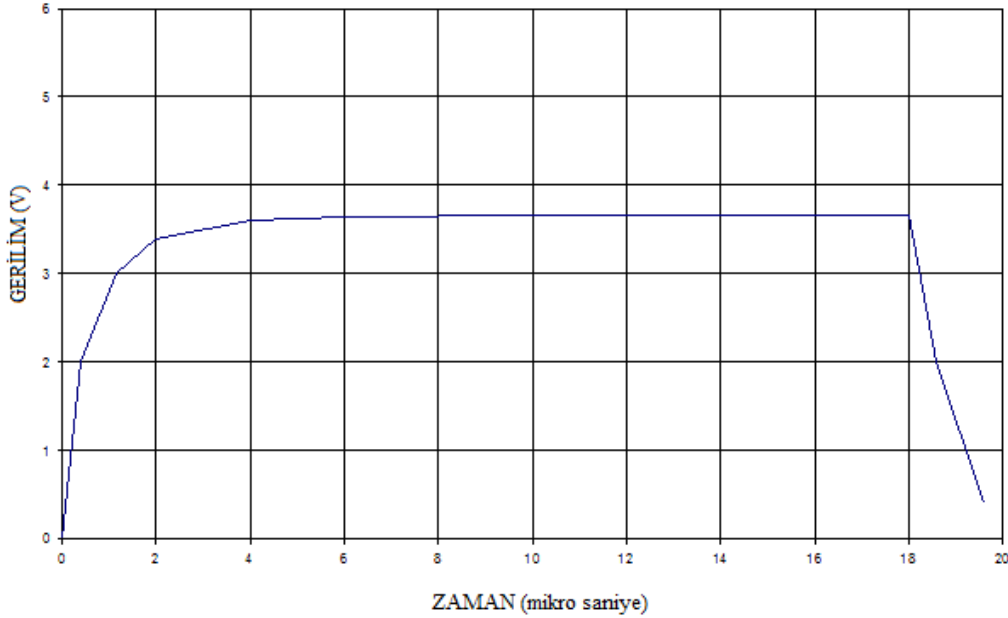
Şekil 13'teki gibi belli genliklerdeki akım darbeleri için elde edilmiş olan ışık darbelerindeki değişim ile Şekil 6'daki, belli sürelerde, değişik genliklerdeki akım darbeleri için elde edilmiş olan akım-ışık şiddeti değişimleri karşılaştırıldığında şöyle bir durum ortaya çıkmaktadır: Boşluk süresi LED'in soğuyabilmesi için gerekli süreden daha fazla olduğu için, 18 μ s süreli darbenin anahtarlama süreleri (yükselme süresi) dışındaki anlarda ölçülen ışık şiddeti ile bu ölçmelerin yapıldığı anlardaki süreye eşit darbe süresine sahip akım darbelerinin darbe sonunda oluşan ışık şiddetleri aynı olmaktadır. Örneğin Şekil 13'teki 18 μ s süreli 10.31A ve 7.39A genliklerindeki akım darbeleri için verilen darbe üstü değişimlerinin 18 μ s, 9 μ s, 6.5 μ s ve 3.5 μ s'lerde aldığı değerler ile Şekil 6'da aynı darbe sürelerinde ve aynı akımlardaki ışık şiddetleri aşağıda gösterileceği gibi ölçme hataları içerisinde yaklaşık eşit çıkmaktadır.

Işık şiddetine karşılık gelen gerilimlerdeki mutlak hata 0.01V alınabilmektedir. Akım değerlerindeki mutlak hata ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

LED'den akan akım, akım ölçme direnci olan R_o direncinin iki ucundaki gerilimlerin tepe değerlerinin farkı alınarak ve bu farkın $R_o=0.984 \pm 0.002\text{ohm}$ değerine bölünmesiyle bulunmuştur. 10.31A genliğindeki LED akımı bulunurken R_o direnci uçlarında ölçülen gerilim farkı $V = (10.1 \mp 0.16)V$ 'dur. Buna göre 10.31A'lık akımdaki mutlak hata aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

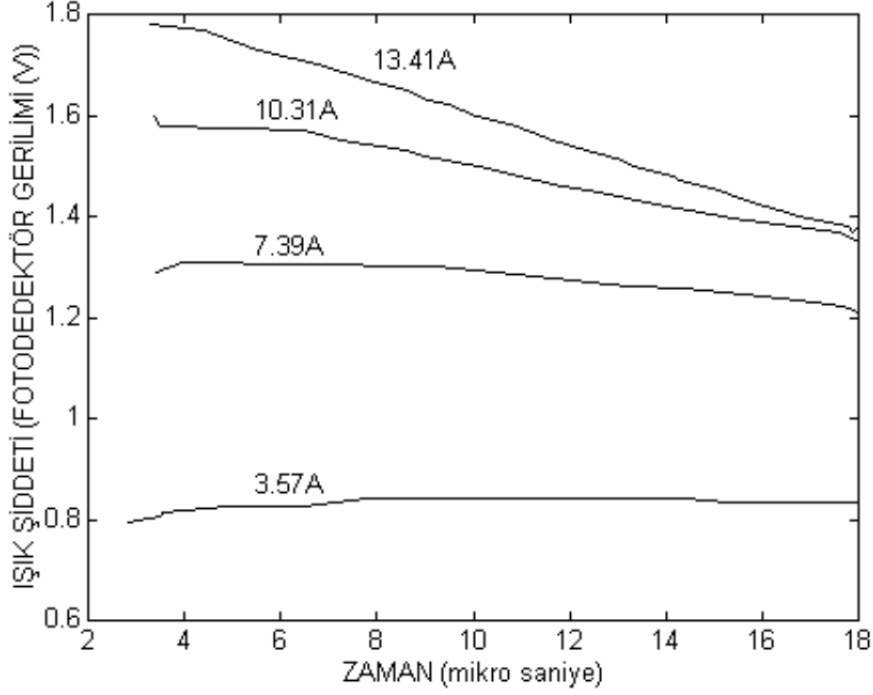


(a)



(b)

Şekil 12:
Büyük genlikli ışık darbeleri.



Şekil 13:
Farklı akımlar için ışık darbelerinin darbe üstü değişimleri.

$$I = V / R_{\delta}$$

$$\Delta I = \left| \frac{\partial I}{\partial V} \Delta V \right| + \left| \frac{\partial I}{\partial R_{\delta}} \Delta R_{\delta} \right|$$

$$\Delta I = \frac{\Delta V}{R_{\delta}} + \frac{V \Delta R_{\delta}}{(R_{\delta})^2} \quad (1)$$

$$\Delta I = \frac{0.16}{0.984} + \frac{(10.1)0.002}{(0.984)^2}$$

$$\Delta I = 0.162 + 0.021 = 0.183 A$$

Aynı şekilde 7.39A'lik akımdaki mutlak hata bu akımı veren R_{δ} uçlarındaki $V = 7.27V$ gerilim farkının $R_{\delta} = 0.984 \pm 0.002$ ohm değerine bölünmesiyle bulunmaktadır. Bu akımdaki mutlak hata da;

$$\Delta I = \frac{0.16}{0.984} + \frac{(7.27)0.002}{(0.984)^2} \quad (2)$$

$$\Delta I = 0.162 + 0.015 = 0.177 A$$

olarak hesaplanır.

Şekil 13'te genliği $(10.31 \mp 0.183)A$ olan akım darbesinin 18 μs , 9 μs , 6.5 μs ve 3.5 μs anlarında ölçülen ışık genlikleri sırasıyla 1.35V, 1.52V, 1.57V ve 1.58V'dur. Şekil 6'da aynı süreler için okunan ışık genlikleri aynı sırayla 1.34V, 1.51V, 1.56V ve 1.59V'dur. $(7.39 \mp 0.177)A$ 'lık akım darbesi için Şekil 13'te yine aynı süreler için okunan ışık genlikleri sırasıyla 1.21V, 1.29V, 1.31V, 1.30V iken Şekil 6'da bu genlikler sırasıyla 1.21V, 1.29V, 1.30V ve 1.30V olarak okunmaktadır.

Burada ölçülen akım-ışık şiddeti değişimlerinde ortam sıcaklığının etkisini de belirtmek gerekmektedir. Ölçmelerin yapıldığı süre boyunca değişik anlarda ortam sıcaklığı bir termometre aracılığıyla ölçülmüş ve sıcaklığın yaklaşık $1^{\circ}C - 2^{\circ}C$ 'den fazla değişmediği bir ortamda ölçmeler yapılmıştır. Bilindiği gibi sıcaklık arttıkça ışık şiddeti düşmektedir. Sıcaklık artışı ister LED'in bulunduğu ortamın sıcaklığının yükselmesi ister LED'den akıtılan akım darbesinin LED eklemeni ısıtmasından kaynaklansın sıcaklık arttıkça ışık şiddeti azalmaktadır. Ancak ortam sıcaklığı çok yavaş değiştiğinden, bu sıcaklığın değişmesi LED'e uygulanan akım darbesine karşılık oluşan ışık darbesinin darbe üstü eğilmesine bir etkisi olmamaktadır.

3. SONUÇ

Burada yapılan çalışmada özellikle darbeli yüksek akımlarda akım-ışık şiddeti karakteristiğinin düşük bir hatayla nasıl ölçülebileceğini gösteren ölçme yöntemi ele alınmış ve bu yöntemle gerçekleştirilen ölçmenin belli bir hata oranıyla doğru olduğunun ispatı yapılmıştır. LED, darbeli yüksek akımlarda akımın genliği arttıkça daha çok ısınmakta ve eklem sıcaklığının artması ışık şiddetini azaltacak etki yaptığından, akım darbesinin genliği arttıkça ışık şiddetinin artış hızı azalmaktadır. Akım darbesinin darbe süresi arttıkça da aynı durum, yani ışık şiddetinin azalması söz konusudur. LED'in verdiği ışığın şiddeti LED akımıyla değiştiği için, ölçme devresinde LED akımı üzerinde etkili olan devre elemanlarının akımı değiştirme yönündeki etkisi LED'in ışık şiddetini de değiştirme yönünde etki oluşturacaktır. LED akımı üzerinde etkili olan büyüklüklerin akımı ne kadar etkiledikleri, yapılan bazı ölçmeler ve bu ölçmelere dayanan basit hesaplamalarla gösterilmiştir ve buradan doğacak hatanın küçük değerlerde kaldığı ortaya konulmuştur.

Osiloskopla yapılan basit ölçmelere dayanması yöntemin en önemli özelliğini oluşturmaktadır. Burada yapılan ölçmelerde kullanılan osiloskop 100MHz hızında dijital bir osiloskoptur. Bir osiloskopla yapılan ölçmede oluşacak hata ölçme kademesine bağlı olarak bellidir. Belli hata oranıyla ölçülmüş büyüklüklerden türetilerek bulunan bazı büyüklüklerdeki toplam ölçme hatası artmaktadır. Buna rağmen temel büyüklüklerin ölçülmesinde ortaya çıkan toplam hata makul ölçüler içerisinde kalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Bradbury, D. (1991) Shedding Light on Opto-electronics, Electronics World + Wireless World, 911-915.
2. Hall, V. D. (1994) Mikroişlemciler ve Sayısal Sistemler, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Eskişehir.
3. Hickman, I. (1995) Reflections on Opto-electronics, Electronics World + Wireless World, 970-974.
4. Özütürk, E. ve Karlık, S. E. (1998) Kızılötesi Işınlara Açık Optik Ortamda Bilgisayarlar Arası Veri İletimi, Bursa 5. Bilgisayar-Haberleşme Sempozyumu, 104.
5. Özütürk, E. (2000) LED'lerin Aşırı Darbe Akımında Çalışmasının Teorik ve Pratik Araştırması, Doktora Tezi, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

6. Özütürk, E. (2002) LED'lerin Aşırı Darbe Akımında Bazı Davranışlarının İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(1), 19-35.
7. Özütürk, E. (2003) Darbeli Akımlarda LED Akımının Ne Oranda Arttırılabileceğini Veren Bazı Bağlıntıların Çok Yüksek Akımlarda Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 8(1), 17-24.
8. Özütürk, E. (2006) LED'in Elektriksel Karakteristiklerinin Optik Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(3), 389-396.
9. Texas Instruments. (1990) Optoelectronics and Image Sensors Data Book.

Makale 18.01.2011 tarihinde alınmış, 29.07.2012 tarihinde düzeltilmiş, 01.08.2012 tarihinde kabul edilmiştir.

