

LED'İN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN OPTİK KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Erdem ÖZÜTÜRK

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

Geliş Tarihi : 25.03.2004

ÖZET

Bu çalışmada LED'in elektriksel karakteristiklerinin optik karakteristikleri üzerine olan etkileri incelenmektedir. Elektriksel karakteristiklerle optik karakteristikler arasındaki etkileşim, jonksiyonda ortaya çıkan ve jonksiyon sıcaklığının artmasına sebep olan ısı aracılığıyla oluşmaktadır. LED'in ışık şiddeti LED akımıyla doğru orantılı, jonksiyon sıcaklığıyla ise ters orantılıdır. LED akımının artırılması ışık şiddetini ve LED üzerinde harcanan gücü artırır. LED'in akım-güç ve akım-ani direnç değişimlerinin LED'in optik karakteristiği olan akım-ışık şiddeti karakteristiği üzerinde önemli rolü bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : LED, Elektriksel ve optik karakteristikler

AN INVESTIGATION ON THE EFFECTS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS ON OPTICAL CHARACTERISTICS OF LED

ABSTRACT

In this study, the effects of electrical characteristics on optical characteristics of LED have been investigated. These effects between them have been occurred via heat. LED radiant power is proportional with LED current and inverse proportional with junction temperature. Increasing the current of LED causes increasing radiant power and power dissipation of LED. The power-current and instantaneous resistance-current variations have important effect on the radiant power- current optical characteristic.

Key Words : LED, Electrical and optical characteristics

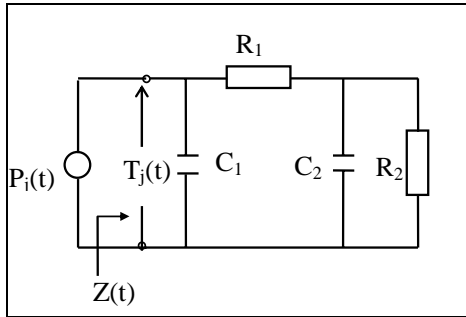
1. GİRİŞ

Birçok uygulamada LED'in verdiği ışığın mümkün olduğu kadar fazla olması istenir (Özütürk ve Karlık, 1998; Özütürk, 2003a). LED akımı arttıkça taşıyıcı birleşmeleri arttığından LED'in ışık şiddeti içinden akan akımla doğru orantılı olmaktadır (Hickman, 1995; Hickman, 1997). Ancak ışık şiddetini artırmak amacıyla akım arttırıldıkça LED üzerinde harcanan ve büyük bölümü ısıya dönüşen

güç de artmaktadır. Akım belli bir değer üstüne çıkarıldığında LED fazla ısınmakta ve jonksiyon sıcaklığı maksimum sınır değeri aştığında ise LED yanarak tahrip olabilmektedir. LED yanmasa bile jonksiyon sıcaklığı arttıkça ışık verimi azaldığından jonksiyon sıcaklığının artması istenmeyen bir durumdur. Demek oluyor ki akımın artması yani LED'e uygulanan elektriksel gücün artması bir yandan ışık şiddetini arttıracak etki yaparken diğer yandan jonksiyon sıcaklığını yükselttiğinden ışık şiddetini azaltacak bir etki yapmaktadır. Bu nedenle,

doğal olarak LED'in elektriksel karakteristikleri ile optik karakteristikleri birbirine bağlı olmaktadır.

Jonksiyonda açığa çıkan ısı güç buradan kılıfa, kılıftan da çevreye yayılarak uzaklaşır. Bu ısı gücün yayıldığı yol boyunca gördüğü ısı direnç ne kadar küçükse jonksiyon sıcaklığı çevre sıcaklığı üzerine o kadar daha az çıkacaktır. Ayrıca bu ısı dirençler yanında LED katmanlarından her birinin yapıldığı malzemenin ısıyı depolamasıyla ilgili bir ısı kapasitesi de söz konusu olacaktır. Şekil 1'de yaklaşık hesaplarda (Kuntman, 1994; Mohan et al., 2003) kullanılan LED'in ısı eşdeğer devresi görülmektedir. Isıl dirençler, ısı kapasitelerle birlikte, tıpkı elektrik devrelerinde olduğu gibi bir ısı eylemsizlik oluşturacaktır. Bu ısı eylemsizlik, LED'e uygulanan gücün zamanla değişmesi durumunda etkisini gösterecektir. LED'e uygulanan gücün darbeleri olması durumunda, jonksiyon sıcaklığının alacağı değer güç darbesinin genliğine ve güç darbesinin darbe süresi ile boşluk süresine bağlı olacaktır. Isıl eylemsizliğe nazaran yeterince kısa darbe sürelerinde yani jonksiyon sıcaklığı uygulanan güç darbesinin genliğine karşılık gelen sıcaklığa yükselmeden darbenin bittiği sürelerde ve darbe süresi boyunca artmış olan sıcaklığın çevreye verilebildiği yeterince uzun boşluk sürelerinde LED daha az ısınacaktır. Bu nedenle, darbeleri çalışmada LED'den daha fazla akım akıtmak yani daha yüksek ışık şiddetine sahip ışık darbeleri elde etmek mümkündür. Darbeleri çalışmada, LED'in optik karakteristikleri LED'e uygulanan elektriksel güç darbesinin genliği yanında ısı yapı gereği oluşan ısı zaman sabiti nedeniyle darbe süresi ile boşluk süresine de bağlı olmaktadır.



Şekil 1. LED'in ısı eşdeğer devresi.

Burada; R_1 jonksiyondan kılıfa kadar olan ısı direnç, R_2 kılıftan çevreye kadar olan ısı direnç, C_1 jonksiyondan kılıfa kadar olan bölgenin ısı kapasitesi, C_2 kılıf bölgesinin ısı kapasitesidir. $P_i(t)$ jonksiyonda açığa çıkan ısı güçtür. $T_j(t)$ jonksiyon sıcaklığının çevre sıcaklığının ne kadar üzerine çıktığını göstermektedir. $Z(t)$ jonksiyondan görülen ısı empedanstır.

Bu çalışmada LED'in akım-gerilim, akım-güç, akım-ani direnç gibi elektriksel karakteristiklerinin LED'in optik karakteristiklerinden biri olan akım-ışık şiddeti karakteristiğine olan etkisi incelenmektedir. Elektriksel karakteristiklerin optik karakteristiğine olan etkisi yüksek akımlarda değiştiği için bu çalışmada nominal akımı 100mA mertebelerinde olan GaAs LED'lerden, darbe süresi en fazla 18µs, boşluk süresi ise 6.76 ms olan 10A, 15A genliğine kadar yüksek akım darbeleri akıtılmaktadır. Bu çalışmada, LED'in ani direncinin ve dolayısıyla LED üzerinde harcanan gücün akımla değişiminin ışık şiddeti üzerindeki etkisinin ne şekilde ve ne miktarda olduğu incelenmiştir. Üzerinde inceleme yapılan ve pratik önem içeren sayısal değerlerin verilmiş olduğu LED'ler kolayca bulunabilen genel amaçlı LED'lerdir. İncelemede kızılötesi LED'lerin seçilmesinin nedeni, birçok uygulamada kızılötesi LED'lerin kullanılıyor olmasıdır. Diğer bir neden de, ölçme ortamında fon gürültüsünü oluşturan görünür ışıktan etkilenmemek içindir. Benzer incelemeler görünür ışık veren LED'ler için de yapılabilir. Bu durumda kullanılan fotodiyodun da görünür ışığa duyarlı bir fotodiyot olması gerekir. Elektriksel karakteristiklerin belirtilen optik karakteristik üzerine olan etkisi ısı yoluyla oluştuğu için, bir sonraki bölümde ilk olarak LED'in ısı karakteristikleri ve ısı yapısı ile ilgili kısa bir bilgi verilmesine gerek duyulmuştur.

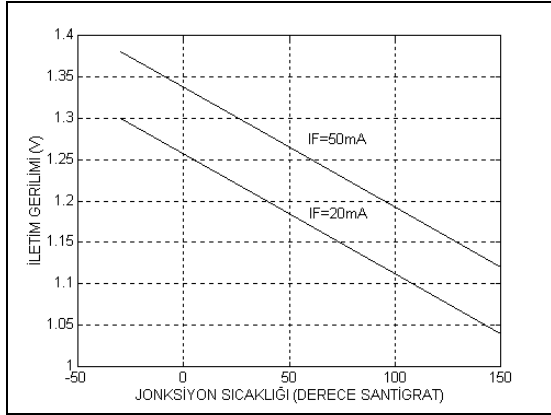
2. MATERYAL VE METOT

2. 1. LED'in Isıl Karakteristikleri

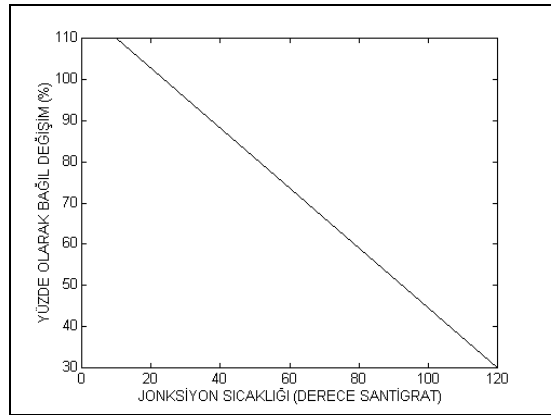
LED'in üzerindeki gerilim jonksiyon sıcaklığına bağlı olarak değişir. Şekil 2'de bir GaAs LED'in üzerindeki gerilim düşümünün jonksiyon sıcaklığına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Burada iletim yönünde sabit tutulan iki akım için elde edilmiş iki farklı değişim bulunmaktadır. Üstteki değişim iletim yönünde 50 mA akım akarken, alttaki değişim ise iletim yönünde 20mA akım akarken elde edilmiştir. Bu değişimlere göre, sıcaklık arttıkça LED üzerindeki gerilimin azaldığı görülmektedir.

LED'in ışık şiddeti jonksiyon sıcaklığına bağlıdır. Şekil 3'de LED'in jonksiyon sıcaklığına bağlı olarak ışık şiddetinin değişimi gösterilmektedir. Bu karakteristik elde edilirken LED'den 20 mA genliğinde ve darbe süresi 5µs, periyodu ise 2ms olan darbeleri bir akım akıtılmış ve LED'in bu darbeleri akıma karşı verdiği ışık darbesinin genliğinin jonksiyon sıcaklığına göre değişimi çizilmiştir. Bu değişimde ışık şiddetleri 25 °C jonksiyon sıcaklığında elde edilen ışık darbesinin genliğine

göre bağıl olarak verilmiştir. Şekilden, ışık şiddetinin jonksiyon sıcaklığıyla doğrusal olarak azaldığı görülmektedir. Veri sayfalarında ışık şiddetinin jonksiyon sıcaklığına göre değişimi bazen yukarıda yapıldığı gibi bir grafikte değil de ışık şiddetinin değişim miktarının (ΔP_o) bu değişimi oluşturan jonksiyon sıcaklığının değişim miktarına (ΔT_j) oranı ($\Delta P_o/\Delta T_j$) şeklinde verilebilmektedir. Örneğin bir GaAs LED için bu oran % 0.7/°C değerindedir.

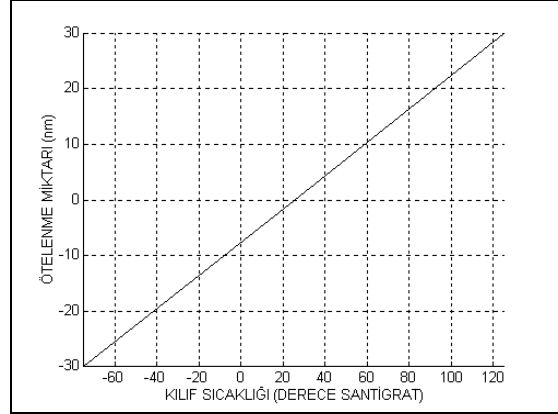


Şekil 2. LED'in iletim yönündeki gerilim düşümünün jonksiyon sıcaklığıyla değişimi (Philips Semiconductors Data Book, Part 8, September 1983).



Şekil 3. LED'in ışık şiddetinin jonksiyon sıcaklığına göre bağıl değişimi (Philips Semiconductors Data Book, Part 8, September 1983).

LED'in spektral karakteristiği de sıcaklığa bağlıdır ve sıcaklık arttıkça spektral karakteristik daha yüksek dalga boylarına doğru ötelenir. Şekil 4'te bir GaAs LED'in kılıf sıcaklığına göre spektral karakteristiğinin dalga boyu cinsinden ötelenme miktarı görülmektedir. Şekle bakıldığında 25 °C için öteleme miktarının sıfır alındığı görülmektedir. Kılıf sıcaklığı arttıkça spektral karakteristik daha yüksek dalga boylarına doğru ötelenmektedir.

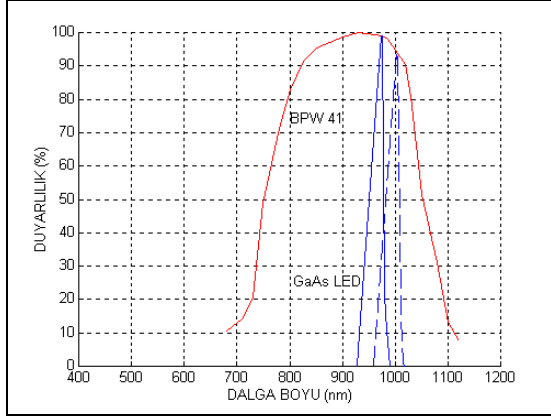


Şekil 4. Bir GaAs LED'in maksimum ışımaya yaptığı dalga boyunun kılıf sıcaklığına göre ötelenmesi (Texas Instruments, Optoelectronics and Image Sensors Data Book, 1990).

Bir LED'in verdiği ışık bir fotodedektör tarafından dedekte edilecekse, LED ile fotodedektörün spektral karakteristiklerinde bir uyum olması gerekir. Maksimum duyarlılık için LED'in verdiği ışığın maksimum olduğu dalgaboyu ile fotodedektörün duyarlılığının maksimum olduğu dalgaboyunun mümkün olduğu kadar birbirine yakın olması gerekir. LED ile fotodedektör arasında spektral uyum sağlansa bile, LED ısınıp spektral karakteristiği ötelendiğinde fotodedektörün spektral karakteristiğinde duyarlılığın maksimum olduğu dalgaboyundan uzaklaşabileceği için dedekte edilen ışık şiddetinde bir miktar zayıflatma oluşabilecektir. Böyle bir durum Şekil 5'te gösterilmiştir. Burada, fotodedektörde kızılötesi ışığı algılamak için kullanılan bir fotodiyodun (BPW 41) spektral duyarlılığı ile bir GaAs LED'in spektral karakteristiği birlikte görülmektedir (Bradbury, 1991). Kesikli çizgiyle çizilmiş olan değişim LED'in ısınmasından dolayı ötelenmiş olan spektral karakteristiği göstermektedir. Ötelenmiş bulunan spektral karakteristiğinin tepe değerinde BPW41 fotodiyodunun spektral tepkisinden dolayı 930nm'ye nazaran bir miktar zayıflatma ortaya çıktığı görülmektedir. Şekil 5'ten LED'in 100°C ısınması durumunda fotodiyodun spektral tepkisinden kaynaklanan sözkonusu zayıflatmanın %5'den daha az olduğu görülmektedir.

Bir LED'in jonksiyon sıcaklığına bağlı özelliklerinden biri de güvenilirlikleridir (beklenen çalışma ömrü). LED'in yanmaması için en kötü durumda jonksiyon sıcaklığının izin verilen maksimum sıcaklık değerini aşmaması gerekir. Çoğunlukla en yüksek jonksiyon sıcaklığı 125 °C'dır. Kötü bir ısıl tasarım, elemanı çok daha az güvenilir yapacaktır. Burada önemli bir nokta, yarı iletken elemanların 50 °C'ın üzerindeki her

10-15 °C'lik artış için arıza ihtimalinin 2 katına çıkacağıdır (Mohan et al., 2003). Yarıiletkenlerde ısı etkileri meydana gelen elektron delik çiftlerinin sayısının sıcaklıkla üstel olarak artması nedeniyle bir sıcaklık değerinden sonra diyot normal çalışma durumundan ayrılır (Leblebici, 2001).



Şekil 5. BPW 41 fotodiyodunun spektral duyarlılık eğrisi ve bir kızılötesi ışık veren (GaAs) LED'in spektral karakteristiği.

2. 2. LED'in Isıl Yapısı

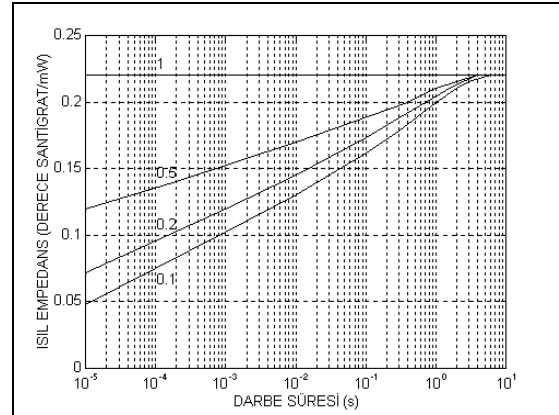
LED'e uygulanan elektriksel güç jonksiyonda ısı ve optik güç olarak ortaya çıkar. LED'in verimi düşüktür ve LED'e uygulanan elektriksel gücün ancak % 1 - % 5 kadarı optik güce (Bhattacharya, 1997), geriye kalan büyük bölümü ise ısıya dönüşür.

Şekil 6'da bir GaAs LED'in (CQY11C) jonksiyondan kılıfa kadar olan ısı empedansının LED'e uygulanmış olan darbeleri gücün darbe süresine göre değişimi verilmiştir. Burada darbe süresinin periyoda oranları (t_d / T) parametre alınmıştır ve 1, 0.5, 0.2 ve 0.1 parametre değerleri için dört farklı değişim gösterilmiştir. En üstteki (t_d / T)=1 doğrusu, LED'e zamanla değişmeyen bir DC gücün uygulanması durumunda görülen ısı dirence karşılık gelmektedir. Bu ısı direnç ısı empedansın alabileceği maksimum değerdir (söz konusu LED için jonksiyondan kılıfa kadar olan bu ısı direncin değeri 0.22 °C/mW'tır). Uygulanan gücün doğrusal değil de darbeleri olması durumunda LED'in gösterdiği ısı empedans t_d ve (t_d / T) oranı küçüldükçe azalmaktadır. Yani uygulanan güç sabit tutularak (t_d / T) oranı küçüldükçe LED daha az ısınacaktır. Ya da diğer bir deyişle (t_d / T) oranı küçüldükçe LED'e daha fazla güç uygulanabilecektir. LED'in verdiği ışığın şiddeti uygulanan elektriksel güç ile artmakta fakat jonksiyon sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Bu durumda ışık şiddetini fazla arttırmak ancak darbeleri çalışmada mümkün olmaktadır.

LED'e uygulanan güç $t = 0$ 'da başlayıp $t = t_2$ 'de biten dikdörtgen biçiminde bir darbe ise ($u(t)$ birim basamak fonksiyonu olmak üzere bu güç darbesi $P(t) = P_d [u(t)-u(t-t_2)]$ olarak ifade edilebilir) jonksiyon sıcaklığı ($T_j(t)$):

$$T_j(t) = P_d [Z(t) - Z(t-t_2)] + T_a \quad (1)$$

olur. Burada; P_d , LED'e uygulanan ve hemen hemen tamamı ısıya dönüşen (optik güç ihmal) güç darbelerinin genliği, T_a ise çevre sıcaklığını göstermektedir. $Z(t)$ jonksiyondan çevreye kadar olan ısı empedanstır ve jonksiyondan kılıfa kadar olan ısı empedansın kılıftan çevreye kadar olan ısı empedans kadar daha büyüktür (söz konusu LED için jonksiyondan çevreye kadar olan bu ısı empedansın en büyük değeri jonksiyondan çevreye kadar olan ısı dirence eşittir ve değeri 0.6 °C/mW'tır). Isıl empedansta yer alan t_2 süresi genellikle güç darbelerinin darbe süresi t_d 'ye eşit olmaktadır. Ancak darbe süresi içerisinde bu süreden küçük herhangi bir anda (t_x) jonksiyonun ulaştığı sıcaklığı bulmak mümkündür. Bunun için yukarıdaki ifadede $t_2 = t_x$ yapmak gerekmektedir.

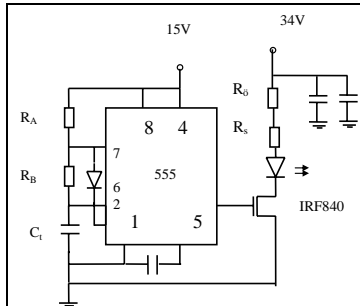


Şekil 6. Bir GaAs LED'in (CQY11C) jonksiyondan kılıfa kadar olan ısı empedansının LED'e uygulanmış olan darbeleri gücün darbe süresine göre değişimi (Philips Semiconductors Data Book, Part 8, September 1983).

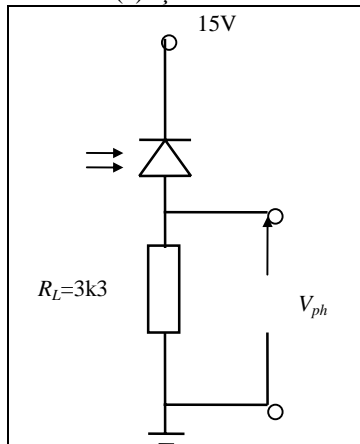
2. 3. Ölçme Devreleri

Yukarıda belirtilen LED'in elektriksel ve optik karakteristiklerini incelemek amacıyla kullanılan ölçme devresi Şekil 7'de gösterilmiştir. Devrede kullanılan osilatör 555 tüm devresiyle oluşturulmuş, (darbe süresi / boşluk süresi) oranı değiştirilebilir bir darbe osilatörüdür. R_A , R_B ve C_t değerleri değiştirilerek istenilen darbe ve boşluk süreleri elde edilmektedir.

LED'den darbeleri şeklinde akım akıtılabilmek için uygun bir anahtar devre elemanına ihtiyaç vardır (Wilson and Hawkes, 2000). Burada 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 dolmaktadır. 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 eğilme çok küçük olmaktadır. 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).



(a) Işık verici



(b) Fotodedektör

Şekil 7. Ölçme devresi.

Işık ile ilgili yapılan ölçmelerde doğrudan ışık şiddeti değil, bu ışık şiddetine karşılık gelen fotodedektör gerilimi ölçülmüştür. LED'in verdiği

ışığın ölçülmesi için fotodedektör olarak BPW41 fotodiyodu kullanılmıştır. Ölçmelerde kısa süreli ışık darbeleri söz konusu olduğu için ve doğruluk önemli olduğu için Şekil 7'de gösterilen fotoiletken modda çalışan basit devre kullanılmıştır (Watson, 1988).

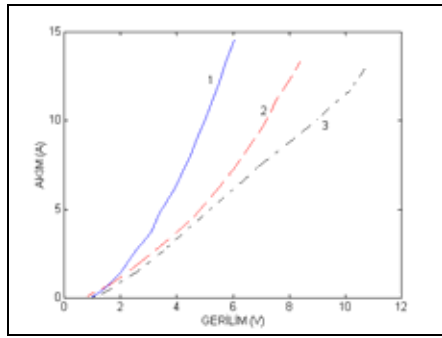
Akım darbesinin genliği, LED'e değişik değerlerde dirençleri seri bağlayarak değiştirilmiştir. Akım darbelerinin genliği 1 ohm'luk sabit ölçü direnci uçlarındaki gerilim farkı osiloskopa ölçülüp gerilim farkının direnç değerine bölünmesiyle bulunmuştur. Periyodik darbe işaretinin boşluk süresi darbe 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 ($(t_d/T) = 0$) düşünmek mümkündür. Akım ve gerilim değerlerinin ölçme anları darbenin anahtarlama sürelerinin dışında olan ve darbenin en büyük değerini (tepe değerini) aldığı anlardır (Özütürk, 2003b).

Şekil 8'de üç 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 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 8'deki LED'lerin kimlikleri şöyledir: 1 nolu LED LD 271 (Siemens), 2 nolu LED SLR 932 A (Sanyo), 3'nolu LED TLHRS 101 (TFK (ITT)). Kızılötesi ışık veren LED'lerin seçilmesinin nedeni ölçme ortamında yer alan ve fon gürültüsünü oluşturan ışığın genellikle görünür ışığın dalgaboylarında olmasıdır. Böylece fon gürültüsünden doğacak ölçme hatalarından kurtulmaktadır. Ayrıca kızılötesi LED'lerin seçilmesinin bir diğer nedeni de birçok uygulamada kızılötesi LED'lerin kullanılıyor olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, LED'lerin verdiği kızılötesi ışığı dedekte etmek için de maksimum spektral duyarlılığı kızılötesi ışık bölgesinde olan BPW 41 fotodiyodu seçilmiştir.

Yukarıda kimlikleri verilmiş olan üç farklı LED için darbe süresi parametre alınarak çizilmiş akım-ışık şiddeti karakteristikleri Şekil 9'da gösterilmiştir. (a) 1nolu, (b) 2'nolu, (c) 3'nolu LED için elde edilmiş olan değişimlerdir. Söz konusu şekil elde edilirken 18 μ s, 9 μ s, 6.5 μ s ve 3.5 μ s olmak üzere dört farklı darbe süresi parametre olarak alınmıştır. Yüksek akım değerlerinde 18 μ s'den daha uzun darbe sürelerinde LED'in yanma tehlikesi bulunduğundan daha uzun darbe sürelerine çıkılmamıştır. Şekilde

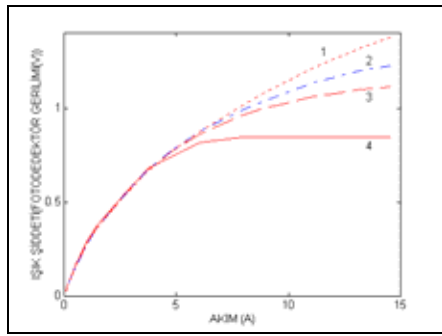
parametre olarak seçilen dört adet darbe süresine göre dört adet eğri görülmektedir. En üstteki eğri 3.5 μ s'lik darbe süresine aittir ve darbe süresi arttıkça eğriler daha düşük ışık şiddetlerinde değişim göstermektedirler. Darbe süresi arttıkça bu sürede LED daha çok ısınmakta ve ışık şiddeti sıcaklık arttıkça azaldığı için daha uzun darbe süresi sonunda ışık şiddeti daha düşük değerde olmaktadır.

LED'in yüksek akım değerlerinde ışık şiddetinin akımla değişimini elde etmek için Şekil 7'deki fotodetektör devresi ile osilatör devresi kullanılmıştır. LED'in ışık şiddetine karşılık düşen fotodetektör gerilimi ile LED akımı ve gerilimi birlikte darbelerin aynı bir anı için ölçülmüştür.

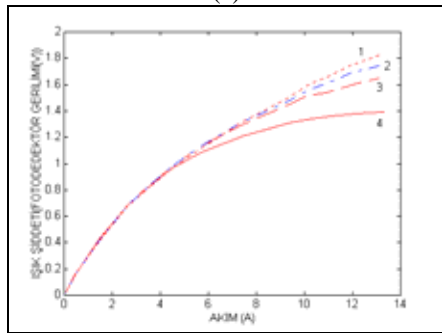


1. — LD 271; 2. - - - SLR 932;
3. . . . TLRS 101

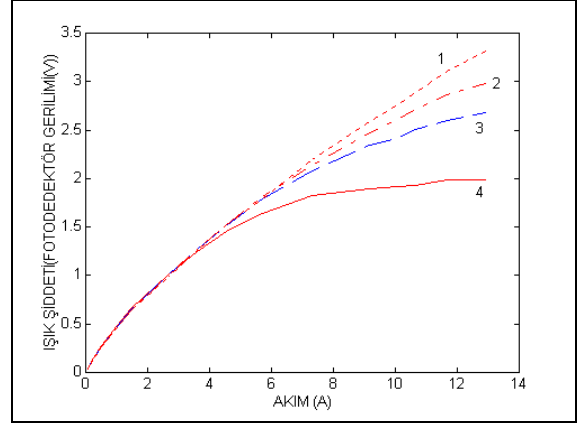
Şekil 8. Üç farklı LED'in gerilim-akım karakteristikleri.



(a)



(b)



1. 3.5 μ s; 2. - - - - 6.5 μ s; 3. - - - - 9 μ s; 4. — 18 μ s

(c)

Şekil 9. Şekil 8'de akım gerilim değişimleri verilmiş olan üç farklı GaAs LED'in dört farklı darbe süresi sonunda okunmuş olan ışık şiddetlerinin (fotodetektör gerilimlerinin) akım darbesinin genliğiyle olan değişimleri.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

LED ısındıkça geriliminin azaldığı Şekil 2'de gösterilmiştir. Ancak buradaki değişimin miktarı çok az olduğundan gerilimin ısı yoluyla değişiminin LED'in akımını, dolayısıyla da LED'in ışık şiddetini belirlemedeki etkisi ihmal edilebilir değerde kalmaktadır. LED akımını, büyük ölçüde anahtarlama devresinde akımın aktığı seri yol boyunca görülen dirençler belirlemektedir. Nitekim yüksek akım darbelerine karşılık oluşan LED gerilimi ölçülürken, gerilim darbesinin tepe değişiminin sabit kaldığı görülmüştür. Yani gerilim darbesinin darbe süresi boyunca artan ısınmadan dolayı oluşan söz konusu azalma ölçme hataları içerisinde gözlenememiştir.

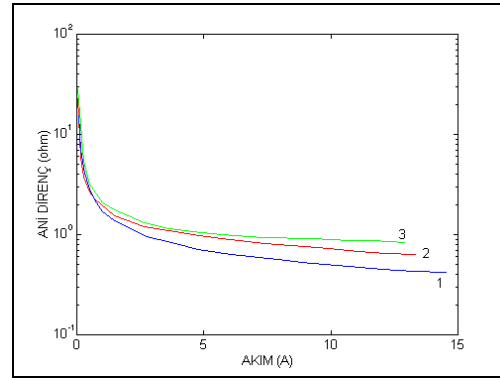
LED'e uygulanan elektriksel gücün jonksiyonda oluşturduğu ısı yoluyla etkilediği optik karakteristiklerden biri de spektral karakteristiktir. LED'e uygulanan ve büyük ölçüde ısıya dönüşerek jonksiyon sıcaklığının artmasına neden olan elektriksel güç arttıkça, spektral karakteristiğinin artan jonksiyon sıcaklığıyla nasıl ve ne miktarda öteleniği Şekil 4'de görülmektedir. Spektral karakteristiğinin bu şekilde ötelenmesi, üçüncü bölümde anlatılan ölçme yöntemine göre ölçülerek bulunmuş olan ışık şiddeti üzerinde bir miktar hataya sebebiyet vermektedir. Spektral karakteristiğinin sıcaklıkla ötelenmesi nedeniyle fotodiyodun spektral tepkisi değişmekte ve ışık şiddetinde maksimum tepkiye nazaran bir miktar

azalma oluşmaktadır. Şekil 5'e bakıldığında jonksiyon sıcaklığının 100 °C artması durumunda fotodiyodun spektral tepkisinden dolayı oluşan zayıflatmanın % 5 kadar olduğu görülmektedir. Jonksiyon sıcaklığının çevre sıcaklığının üzerine 100 °C'den fazla çıkmasına izin verilemeyeceğinden oluşan % 5'lik zayıflatma en kötü durumda oluşan maksimum zayıflatma olmaktadır. Bu değerde bir zayıflatma da diğer etkenlerle ışık şiddetinde oluşan zayıflatmanın yanında ihmal edilebilir mertebededir.

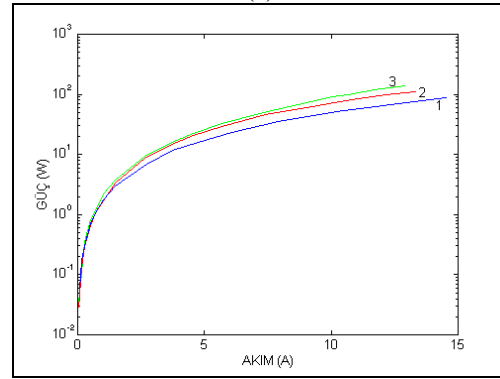
Eşitlik 1'den görüldüğü gibi jonksiyon sıcaklığının alacağı değer LED'in ısıl empedansı ile jonksiyonda harcanan yani uygulanan güç darbesinin genliğine ve darbe süresine bağlıdır. Şekil 6'dan görüldüğü gibi darbe süresinin jonksiyon sıcaklığına olan etkisi darbenin genliğine göre daha azdır. Örneğin $(t_d / T) = 0.1$ eğrisine göre darbe süresi 10^{-5} 's den 10^{-4} 's'ye çıkararak 10 kat arttığında jonksiyon sıcaklığının yaklaşık olarak 1mW güç için 0.05 °C'tan 0.025 °C artarak 0.075 °C'a çıktığı görülmektedir. Yani darbe süresi on kat artarken jonksiyon sıcaklığı % 50 oranında artmaktadır. Güç darbesinin genliğinin jonksiyon sıcaklığına etkisi ise genliğin değiştiği oranda olmaktadır.

LED'in ışık şiddeti LED akımı arttıkça artmakta fakat diğer yandan jonksiyon sıcaklığı da arttığından, akımın yani uygulanan gücün artmasıyla ışık şiddeti azalmaktadır. Bu nedenle LED'de harcanan gücün akımla değişimi önemli olmaktadır. LED akımının LED gerilimine üstel olarak bağlı olması nedeniyle LED'in değişik akımlarda göstereceği direnç farklı olacaktır. Şekil 10(a)'da, Şekil 8'deki ani akım-gerilim değişimi verilen LED'ler için ani direncin akıma göre değişimleri görülmektedir. Ani direnç, Şekil 8'deki LED üzerindeki gerilim darbesinin genliğinin akım darbesinin genliğine oranı alınarak bulunmuştur. Bu dirence ani direnç adı verilmesinin sebebi, LED'in herhangi bir şekilde yavaş olarak değişen bir işarete karşı belli bir anda gösterdiği dirence eşit değerde olması sebebiyledir

LED de bir pn jonksiyonu olduğundan ani akım-gerilim karakteristiği de bir diyodun eksponansiyel ifadeyle verilen akım-gerilim değişimine benzeyecektir. Düşük akım değerlerinde LED akımı LED gerilimiyle üstel olarak değiştiğinden LED'in ani direnci LED akımı arttıkça azalacaktır. Şekil 10 (a)'dan görülebileceği gibi ani direncin en küçük bir sınır değeri vardır. Bu en küçük direnç değeri büyük ölçüde gövde ve kontak dirençlerinden meydana gelmektedir (Boylestad and Nashelsky, 1992). Belli bir akımdan daha büyük akım değerinden sonra LED 'in gösterdiği ani direnç bu en küçük sınır değerinde sabit kalmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 10. (a) Şekil 8'de akım-gerilim değişiklikleri verilmiş olan üç farklı LED'in ani dirençlerinin akımla değişimleri. (b) Şekil 8'de akım-gerilim değişimleri verilmiş olan LED'lerin üzerinde harcanan gücün akımla değişimi.

LED'e uygulanan elektriksel güç LED'in gösterdiği direnç üzerinde harcanmaktadır. LED'den akan akımın zamanla darbe şeklinde değişim göstermesi durumunda ve darbe genliğinin I olması durumunda LED üzerinde harcanan elektriksel güç $P = r(I)I^2$ değerinde olur. Burada r ani direncin değeridir ve $r(I)$ şeklinde akımın bir fonksiyonudur. Şekil 10(a)'da 5A'e kadar olan LED akımları için r ani direncinin değerinin akımla azaldığı görülmektedir. $r(I)$ 'nin akımla azalması nedeniyle LED'de harcanan elektriksel güç belli bir akım sınırına kadar akımın karesinin arttığı oranda artmamaktadır. Belli bir akımdan sonraki yüksek akım değerlerinde ise LED'in ani direnci gövde ve kontak dirençleri toplamı değerinde (r_b) sabit kaldığından harcanan elektriksel güç de akımın karesinin (I^2 'nin) arttığı oranda artmaktadır ($P=r_b(I^2)$).

Şekil 10(b)'de yukarıda ani gerilim-akım ve ani direnç-akım değişimleri verilmiş olan LED'lerin üzerlerinde harcanan gücün akımla değişimi görülmektedir. Bu değişimler Şekil 8'deki değişimlerde görülen akım darbesinin genliği ile bu

akıma karşılık LED üzerinde oluşan gerilim darbesinin genliği çarpılarak bulunmuştur. Bu değişime bakıldığında, LED üzerinde harcanan gücün başlangıçta hızla arttığı fakat artış hızının akım arttıkça azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi, ani direncin başlangıçta akım arttıkça azalmasıdır. Ani direncin gövde ve kontak dirençlerine eşit olduğu akımdan sonra ise logaritmik eksende gösterilen gücün akımla sabit oranda arttığı görülmektedir. Bu bölgede harcanan güç akımın karesinin arttığı oranda artmaktadır.

Jonksiyon sıcaklığı güç darbesinin genliğinin değiştiği oranda, ışık şiddeti de jonksiyon sıcaklığının değiştiği oranda değişmektedir. Yani, LED'e uygulanan güç darbesinin genliği değiştiği oranda ışık şiddetini etkilemektedir. Bu nedenle LED'in ani direncinin ve LED üzerinde harcanan gücün akımla yukarıda bahsedildiği gibi değişmesi, ışık şiddetinin akımla olan değişimi üzerinde etkili olmaktadır. Akım arttıkça güç artışının belli bir akıma kadar azalan hızda artması, belli bir akıma kadar ışık şiddetinin azalma hızının akım arttıkça daha yavaş olmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle akım-ışık şiddetinin değişimi başlangıçta daha doğrusal olmaktadır. Şekil 9'da üç farklı LED için verilmiş olan akım ışık şiddeti değişimlerine bakıldığında bu olay görülmektedir. Burada LED'in ışık şiddeti üzerinde gövde ve kontak dirençlerinin değerlerinin önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Daha fazla ışık şiddeti elde edebilmek için LED'in gövde ve kontak dirençlerinin değeri mümkün olduğunca küçük olmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Bhattacharya, P. 1997. Semiconductor Optoelectronic Devices, 641s. Second Edition. Prentice-Hall, USA. p. 206-240.
- Boylestad, R. and Nashelsky, L. 1992. Electronic Devices and Circuit Theory, 916s. Fifth Edition. Prentice-Hall, USA., p.1-60.
- Bradbury, D. 1991. Shedding Light on Opto-
- Electronics. Electronics World + Wireless World, November 1991. 911-915.
- Hall, V. D. 1994. Mikroişlemciler ve Sayısal Sistemler, 887 s. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Eskişehir. s. 7.
- Hickman, I. 1995. Reflections on Opto-electronics. Electronics World + Wireless World, November 1995. 970-974.
- Hickman, I. 1997. A Look at Light. Electronics World, June 1997. 466-471.
- Kuntman, H. H. 1994. Endüstriyel Elektronik, 284 s. Birinci Basım. Sistem Yayıncılık, İstanbul. s. 166-170.
- Leblebici, D. 2001. Elektronik Elemanları. 189 s. Seç Yayın Dağıtım, İstanbul. s. 5-85.
- Mohan, N., Undeland, T. M. and Robbins, W. 2003. Güç Elektroniği, 874 s. Birinci Basım. Literatür Yayıncılık, İstanbul. s. 791-804.
- Özütürk, E. ve Karlık, S.E. 1998. "Kızılötesi Işınlarla Açık Optik Ortamda Bilgisayarlar Arası Veri İletimi", **Bursa 5. Bilgisayar - Haberleşme Sempozyumu**, 18-22 Kasım 1998, Bursa, 104-106.
- Özütürk, E. 2003a. Kızılötesi Optik MODEM, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, Bursa. 11-15.
- Özütürk, E. 2003b. Darbeli Akımlarda LED Akımının Ne Oranda Arttırılabileceğini Veren Bazı Bağlantıların Çok Yüksek Akımlarda Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, Bursa. 17-23.
- Watson, J. 1988. Optoelectronics. 153s. Van Nostrand Reinhold (U.K) Co. Ltd., U. K. p. 55 -78.
- Wilson, J. and Hawkes, J. F. B. 2000. Optoelektronik, 518 s. İkinci Baskı, Değişim Yayınları, Adapazarı. s.130-159.