

## ATMALI YÜKSEK AKIMLARDA KULLANILAN LED SÜRÜCÜ DEVRELERİNİN İNCELENMESİ

*Erdem ÖZÜTÜRK\**

**Özet:** LED, atmalı yüksek akım çalışma modunda kısa süreli, yüksek genlikli akımlarla sürülmektedir. Bu çalışmada, LED'i atmalı yüksek akımlarla süren devrelerin araştırılması yapılmaktadır. Bu anlamda, LED'i sürmekte kullanılan kısa görev süreli ve uzun boşluk süreli atmalar üreten kararlı ikili tümdevreleri veya giriş ucundan uygun zamanda tetiklendiğinde çıkışında kısa süreli atma üreten tek kararlı ikili tümdevreleri gibi zamanlama tümdevreleri incelenmektedir. LED akımını anahtarlama için bir anahtarlama devresine ihtiyaç vardır. Anahtarlama devresinde kullanılan anahtarlama yarıiletken etkin elemanın akım kazancı ve doyma gerilimi gibi bazı özelliklerinin önemi ele alınmaktadır. Böyle kısa süreli, yüksek genlikli darbelerde önem kazanan çınlama olayı açıklanmaktadır. Işık şiddetini daha fazla arttırmak için seri ve paralel LED gruplarının nasıl kullanılabildiği gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Atma modunda akımlar, LED sürücü devreleri.

### The Investigation of LED Driving Circuits Used at Pulsed High Currents

**Abstract:** LED has been driven with the currents which have high amplitude and short pulse duration in pulsed high current operation mode. In this study, the investigation of the circuits which drive LED with pulsed high currents has been made. In this sense, the necessary timing integrated circuits which are used to drive LED such as astable multivibrators which generate pulses with short duty cycle and long space time and monostable multivibrators which generate short pulses when they are triggered from the input pin at a suitable time have been examined. A switching circuit is necessary to switch the LED current. The importance of some properties of switching active semiconductor device in the switching circuit such as current gain and saturation voltage has been specified. The ringing event which is important such as short pulses with high amplitudes has been explained. How the serial and parallel LED groups can be used to additional increasing the radiant power have been shown.

**Key Words:** Pulsed high currents, LED driving circuits.

## 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 atmalı çalışmada ve uygun [(atma süresi)/(periyot)] oranlarında mümkün olmaktadır. Atmalı çalışmada LED'in ısıl eylemsizliğinin etkili olduğu, yani LED sıcaklığının atmalı akımın genliğinin oluşturduğu ısıl güce karşı gelen sıcaklığa yükselmeden akımın kesildiği atma sürelerinde ve LED'in akım atması süresince edindiği ısının tamamını çevreye verebildiği boşluk sürelerinde LED'den nominal doğru akımının çok üzerinde genliğe sahip akım atmaları akıtılabilmektedir. Doğru akımda en büyük ışık şiddeti LED'in dayanabileceği doğru akım değerine bağlıdır. Kızılötesi LED'ler için doğru akımın

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

tipik değeri 5-400 mA'ler mertebesindedir. Buna karşılık uygun koşullarda LED'den 10A, 15A gibi kısa süreli akımlar akıtmak mümkün olabilmektedir.

LED sürücü devreleri LED'den kısa süreli yüksek genlikli akımlar akıtılabilmeli ve LED'den akan yüksek akım nedeniyle eklemde oluşan sıcaklığın ortama aktarılabilmesi yani LED'in soğuyabilmesi için gerekli boşluk süresini ayarlayabilmelidir. Bu amaçla atma-boşluk süresi ayarlanabilir kararsız ikili tümdevreleri yada atma üretileceği uygun anda tetiklenen tek kararlı ikili tümdevrelerinden yararlanılabilir. Ancak bu tümdevrelerin çıkışından sağlayabilecekleri akım sınırlıdır (örneğin 555 zamanlama tümdevresinin 3 numaralı çıkış ucundan verebileceği maksimum akım 200mA kadardır). LED'den akacak akımı amperler seviyesine çıkarabilmek için tümdevrenin çıkışına bağlanarak akım kazancı sağlayacak olan anahtarlama devresine ihtiyaç vardır. Bu anahtarlama devresinde yer alacak akım kontrol elemanının, girişine verilebilecek düşük akım değerleriyle çıkışındaki yüksek akımları kontrol edebilecek yüksek akım kazancına sahip olması gerekmektedir. Ayrıca akım kontrol elemanı söz konusu akımlarda ısınmamalı ve çıkışında yüksek akımlar akarken üzerinde oluşacak doyma gerilimi küçük olmalıdır. Burada yapılan incelemelerde zamanlama tümdevrelerinden 555 zamanlama tümdevresi kullanılarak oluşturulmuş kararsız ikili ve tek kararlı ikililer örnek olarak verilmekte, kullanılacak olan anahtarlama devresinin ve besleme devresinin özellikleri incelenmektedir. Anahtarlama devresinde yer alacak uygun yarıiletken anahtarlama elemanının seçimi için göz önüne alınması gerekli kriterler belirtilmektedir. Bunlar yapılırken ilgili devrelerin tasarımında önem taşıyan ve bazı hesaplamalar yapmak için yararlanılabilecek pratik değerleri içeren grafikler ve ölçme sonuçları verilmektedir. Yapılan incelemelere dayalı olarak önemli pratik sonuçlar elde edilmiştir.

Kısa süreli, yüksek genlikli darbelerde çınlama nedeniyle darbeli işaretin temiz bir şekilde elde edilememesi gibi bir sorun ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle çınlama olayının önlenmesi büyük önem taşımaktadır. Burada çınlama olayına önem verilmekte, nedenleri pratik değerler ele alınarak açıklanmakta, engellenmesi adına hangi önlemlerin alınması gerektiği ifade edilmektedir.

## **2. GEREÇ ve YÖNTEM**

### **2.1. LED'in Atmalı Yüksek Akımla Sürülmesi**

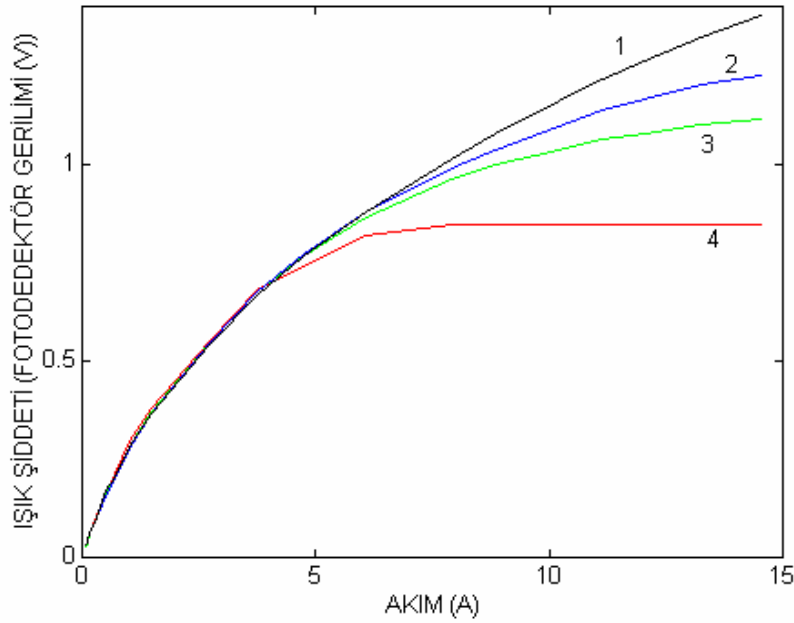
Atmalı çalışmada ışık şiddeti ile akım arasındaki değişimi görmek için genel amaçlı olarak kullanılan bir kızılötesi LED'den (LD 271 (Siemens)) değişik atma süresine ve değişik genliklere sahip akım atmaları akıtılarak bunlara karşılık elde edilen ışık şiddeti atmaları fotodedektör devresiyle incelenmiştir ve ilgili ışık atması sonundaki ışık şiddetinin akım atmasının genliğiyle olan değişimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Ölçmeler esnasında akım atmalarının boşluk süresi çok uzun seçilmiştir ve bunların tek atma (tekrarlanmayan) şeklinde kabul edilebilmeleri mümkündür. Burada görüldüğü gibi akım atmalarının genliği arttıkça ışık şiddeti artmaktadır ve atma süresi arttıkça özellikle belli bir akım değerinden sonra ışık şiddetindeki büyüme hızı azalmaktadır.

### **2.2. LED Sürücü Devreleri**

#### **2.2.1. Kararsız İkili**

LED'i atmalı akımla sürmek için tek kararlı ikili yada kararsız ikililer kullanılabilir. Şekil 2'de LED ışığını atmalı akımla modüle etmek için kullanılan osilatör (kararsız ikili) ve LED sürücü devresi ile LED'in verdiği ışığı algılamak üzere fotoiletken çalışma modunda kutuplanmış fotodiyotlu fotodedektör devresi görülmektedir. Devrede kullanılan osilatör 555

tümdevresiyle 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 (Pastacı, 1998).  $C_t$  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. Atmalı işaretin periyodu ise  $T = t_d + t_b$  süresine eşit olmaktadır.  $R_A$ ,  $R_B$  ve  $C_t$  değerleri değiştirilerek istenilen atma ve boşluk süreleri elde edilmektedir. Osilatörün ürettiği işaret 555 tümdevresinin 3 nolu ucundan verilmektedir.



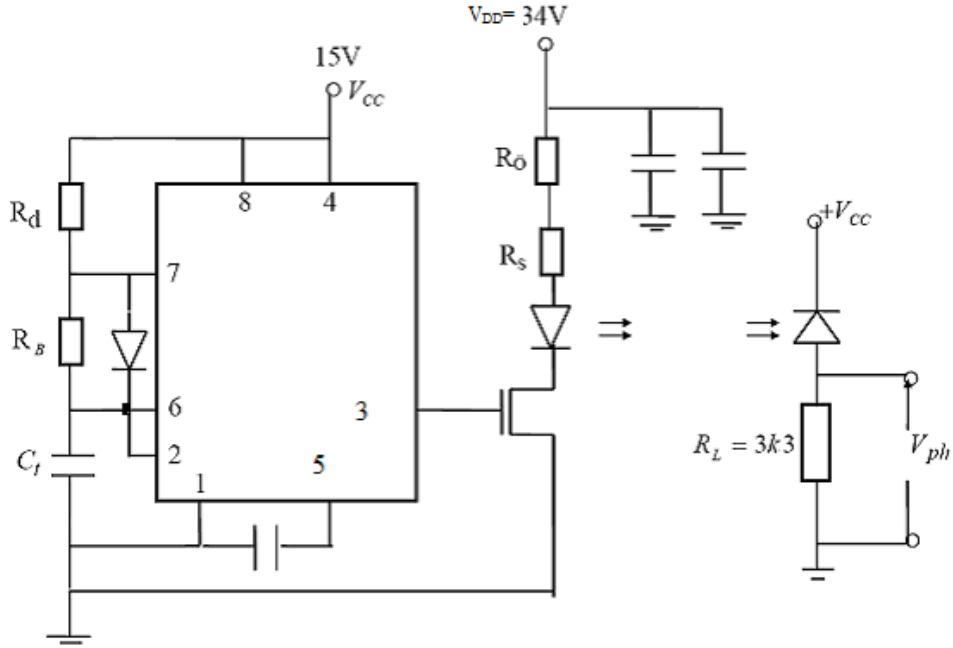
1. eğrinin darbe süresi  $3.5 \mu s$ , 2. eğrinin darbe süresi  $6.5 \mu s$   
3. eğrinin darbe süresi  $9 \mu s$ , 4. eğrinin darbe süresi  $18 \mu s$

### Şekil 1:

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

LED'den atmalı şekilde akım akıtılabilmek için uygun bir anahtar devre elemanına ihtiyaç vardır. Böyle bir eleman, LED'den kısa sürelerde 10A, 15A gibi yüksek değerlerde akım atmaları akıtılması gerektiğinden bu büyüklükteki bir akımı 555 tümdevresinin verebileceği akımla kontrol edebilecek yüksek akım kazancına sahip olmalıdır. 555 tümdevresi 3 numaralı çıkış ucundan 200mA kadar akım verebilmektedir (current sourcing). LED darbeli yüksek akımlarda çalışırken içinden genliği 10A, 15A gibi olabilen çok yüksek akım atmaları akıtılmaktadır. LED'den bu denli yüksek akımları akıtmak üzere LED'i sürece anahtarlama devresindeki anahtarlama elemanının akım kazancının  $h_{FE} = (15A/200mA) = 75$  mertebelerinde olması gerekir. Anahtar devre elemanı olarak BJT transistörünün seçilmesi düşünülebilir. Ancak bilindiği gibi BJT transistörünün akım kazancı kolektör doğru akımı arttıkça azalmaktadır. Şekil 3'te (Fairchild Semiconductor) TIP120 npn Darlington transistörünün akım kazancının kolektör doğru akımı ile değişimi görülmektedir. Şekle göre kolektör akımı yaklaşık 2A iken akım kazancı yaklaşık 4000 değerindeyken kolektör akımı 8A'e çıktığında

akım kazancı yaklaşık olarak 1500'e kadar düşmektedir. Akım kazancı yönünden yüksek akımlarda anahtarlama yapma üzere bir Darlington transistörü seçilebilse de yüksek akımlarda diğer bir sakınca ortaya çıkmaktadır. Bu sakınca, BJT transistörünün kolektör-emetör doyma geriliminin yüksek akımlarda hızla artmasıdır. Bu durum söz konusu aynı Darlington transistörü için Şekil 4'de (Fairchild Semiconductor) görülmektedir. Şekle göre 1A'e kadar kolektör-emetör doyma gerilimi 0.5V civarındayken 1A'den sonra hızla artmaktadır. Örneğin 8A'de 2V değerini almakta ve daha yüksek akımlar için hızla yükselmektedir. Bu durumda anahtarlama elemanı üzerinde yüksek akımlarda daha fazla gerilim düşümü oluşacağından yüksek akımlara çıkıldıkça daha fazla besleme gerilimine ihtiyaç olacaktır.



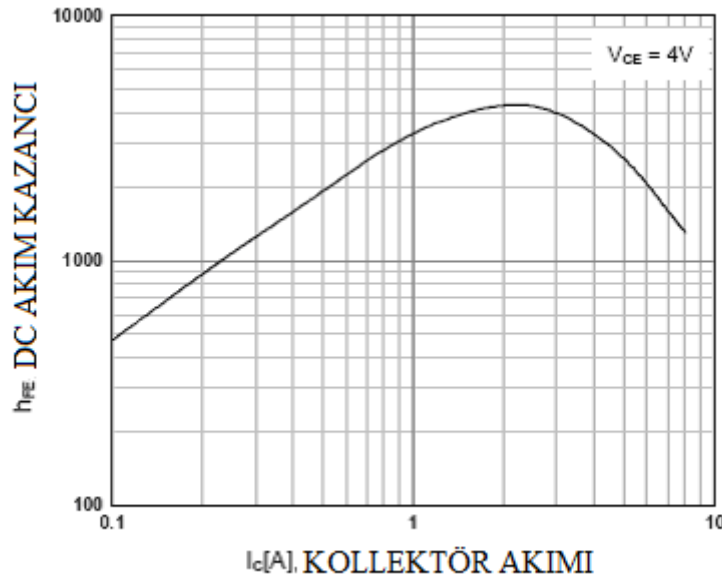
**Şekil 2:**

*Atma-boşluk süresi ayarlanabilir osilatör ve fotoiletken modunda kutuplanmış fotodedektör devresi.*

Yukarıda belirtilen özellikler dikkate alınarak anahtar elemanı olarak bir güç MOSFET'i (IRF840) seçilmiştir. Güç MOSFET'i atmalı yüksek akımlarda 555 tümdevresinin verebildiği akımla 15A genliğindeki akım atmalarını kontrol edebilecek şekilde anahtarlama sağlayabilmektedir. Darlington BJT transistörüne göre yüksek akımlarda güç MOSFET'inin doyma gerilimi daha büyük olabilmekte ancak Darlington BJT transistöründe olduğu gibi belli bir akımdan sonra doyma geriliminde aniden çok hızlı bir artış oluşmamaktadır. Şekil 5'te (Özütürk, 2000) IRF840 güç MOSFET'inin savak-kaynak doyma akımının akıma göre değişimi verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, 10.3A savak akımında doyma gerilimi 7.7V kadar olmaktadır. Şekil 5'teki savak akımı-doyma gerilimi karakteristiği MOSFET bir kızılötesi LED'i sürmekte iken elde edilmiştir. LED'in söz konusu yüksek atmalı akımlarda sürülmesi durumunda, atmalı akımın atma süresi ve boşluk süresi LED fazla ısınıp tahrip olacağı eklem sıcaklığı oluşmayacak şekilde uygun seçildiğinden LED'den çok daha güçlü olan yarıiletken anahtarlama elemanının ısınması söz konusu değildir. Bu şekilde yüksek güçlü anahtarlama elemanlarının sürekli yüksek güce maruz olmamaları sebebiyle ısınmadıklarından soğutucu kullanılarak soğutulmaları da gerekmemektedir.

Şekil 2'deki  $V_{DD}$  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. Atma süresince kondansatörlerden akım çekilmekte, boşluk süresinde ise kondansatörler besleme kaynağından sağlanan akımla dolmaktadırlar. Akım atmalarının atma 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 atma süresine göre çok büyüktür. Bu nedenle atma süresinin zaman sabitine oranı ile bulunabilecek eğilme çok küçük olmaktadır. Kondansatörlerden hızlı değişimlere sahip akım atmaları akitildiğinde atma 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).

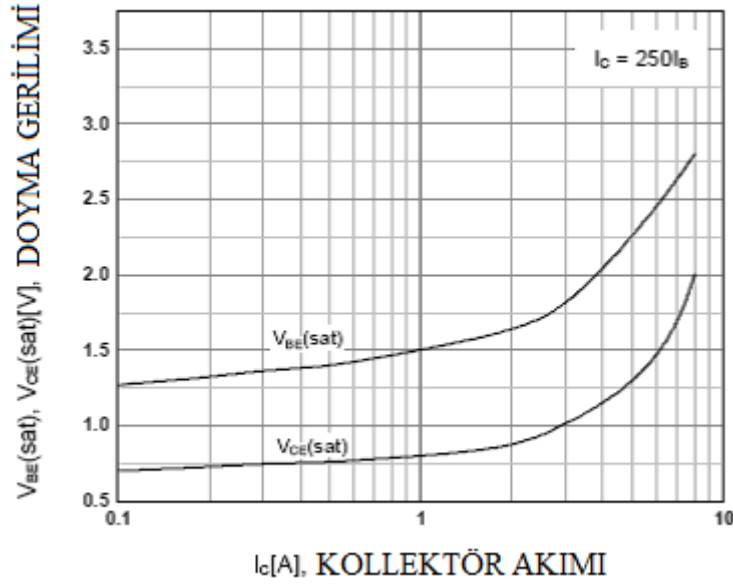


**Şekil 3:**

*TIP120 npn Darlington transistörünün akım kazancının kolektör doğru akımıyla değişimi (Fairchild Semiconductor data sheet, 2000).*

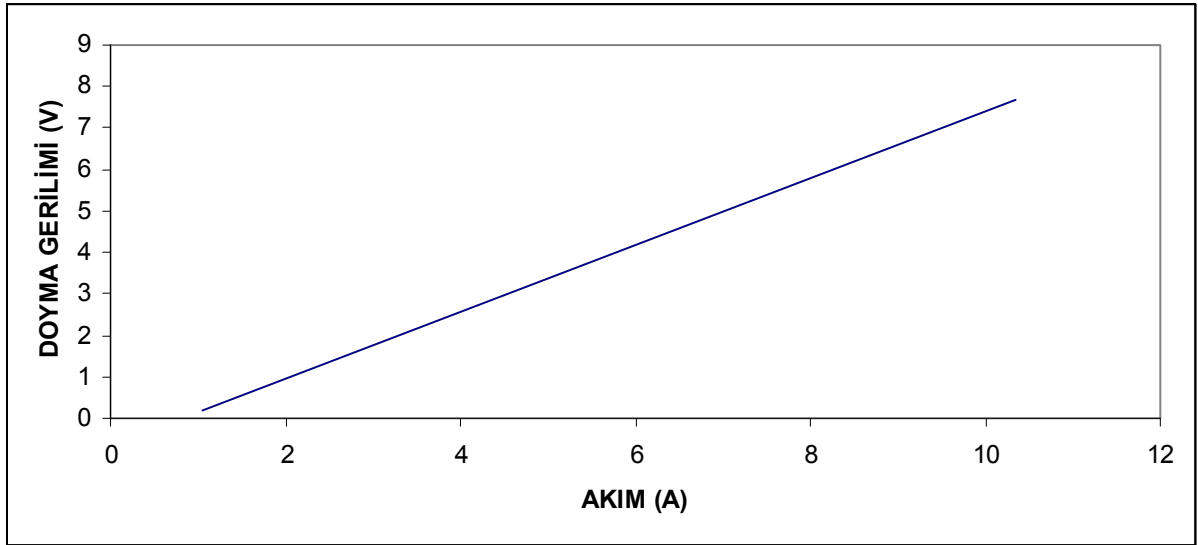
### 2.2.2. Tek Kararlı İkili

Verici devresinde kullanılan 555 zamanlama tümdevresiyle oluşturulmuş tek kararlı ikili devresi günümüzde en çok bilinen ve kullanılan bir devredir. Şekil 6'da 555 tümdevresiyle gerçekleştirilmiş tek kararlı devre ve seri LED grubunu süren anahtarlama devresi görülmektedir. Kondansatör üzerinden 2 numaralı tetikleme ucuna gelen yeterli genlikteki inen darbe tek atımlıyı tetikler ve 3 numaralı çıkış ucundaki gerilim seviyesi yüksek gerilim seviyesine çıkar. Tetikleme anından itibaren  $C_0$  kondansatörü  $R_0$  direnci üzerinden  $1,1R_0C_0$  süresince  $(2/3)V_{CC}$ 'ye kadar dolar (Pastacı, 1998). Bu süre boyunca çıkış ucundaki gerilim yüksek gerilim seviyesinde kalır. Bu tek atım periyodu süresidir. Bu sürenin sonunda 555 içerisindeki karşılaştırıcı devreler aracılığıyla konum değiştirerek çıkış alçak gerilim seviyesine düşer ve  $C_0$  kondansatörü 7 numaralı uç üzerinden boşalmaya başlar. Uygun çalışma için tetikleme atmasının süresi çıkış atmasından daha kısa olmalıdır.  $C_i$  üzerinden gelen kare dalgayı uygun tetikleme atması şekline getirmek için  $R_i$ ,  $C_i$  ve AA118 anahtarlama diyodundan oluşmuş devre kullanılmıştır. Uygun bir çalışma için  $R_iC_i \ll 1,1R_0C_0$  olmalıdır (Pastacı, 1998).



**Şekil 4:**

*TIP120 npn Darlington transistörünün baz-emetör ve kolektör-emetör doyma gerilimlerinin kolektör doğru akımıyla değişimi (Fairchild Semiconductor data sheet, 2000).*



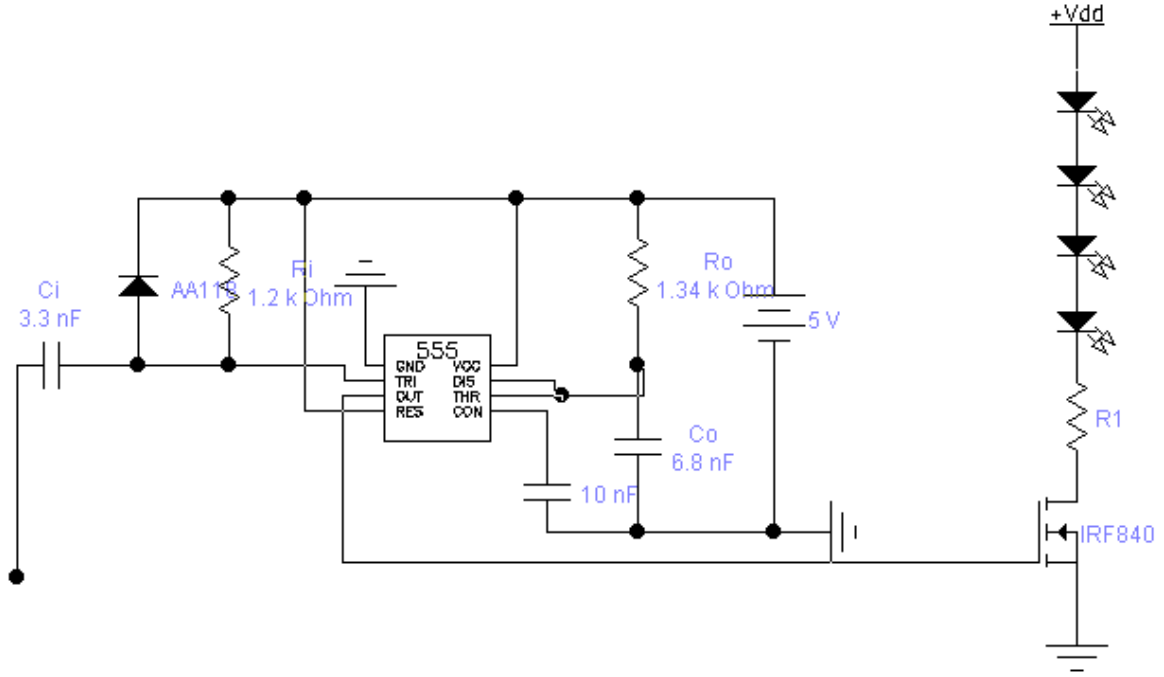
**Şekil 5:**

*IRF840 güç MOSFET'inin savak-kaynak doyma geriliminin savak akımıyla değişimi (Özütürk, 2000).*

### 2.3. Çınlama Olayı

Çınlama olayı şu şekilde açıklanabilir: Kondansatörün bağlantı uçları hızlı değişimlerde endüktans etkisi göstermektedir (yaklaşık olarak her 2.5cm uzunluk için 20 nH). Kondansatöre gelen bu endüktansla birlikte bir seri rezonans devresi oluşmaktadır. Bu seri rezonans devresinin bir rezonans frekansı bulunacaktır. Rezonans devresinin rezonans frekansının altında net reaktansı kapasitif iken, rezonans frekansının yukarısındaki frekanslarda net reaktans endüktiftir ve frekans arttıkça endüktiflik de artmaktadır. Bu endüktif reaktanstan dolayı hızlı değişimlerde kondansatörün kısa devre gibi davranma

özelliği azalmaktadır ve çınlama olayı ortaya çıkmaktadır. Çınlamayı önlemek için büyük kapasiteli bir kondansatöre küçük kapasiteli bir kondansatör paralel bir şekilde bağlanmaktadır.



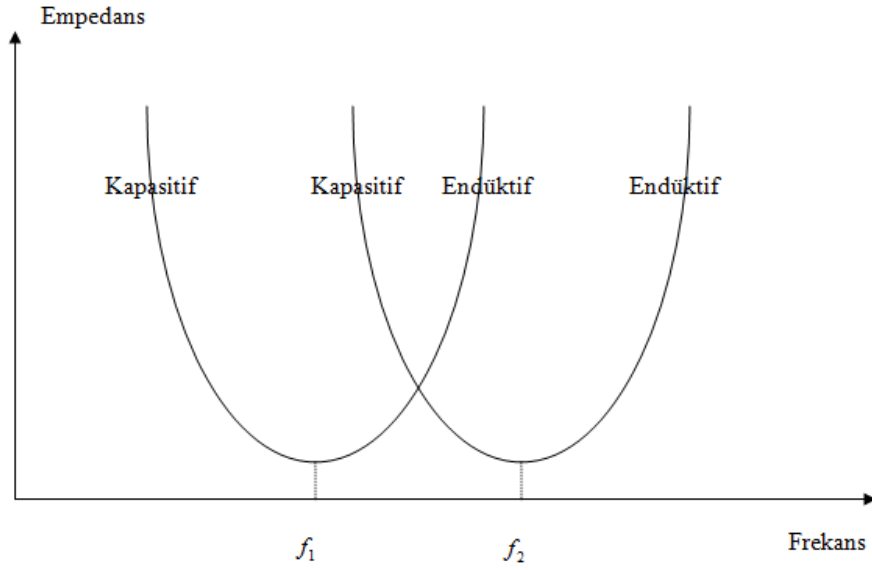
**Şekil 6:**

*Tek kararlı LED sürücü devresi.*

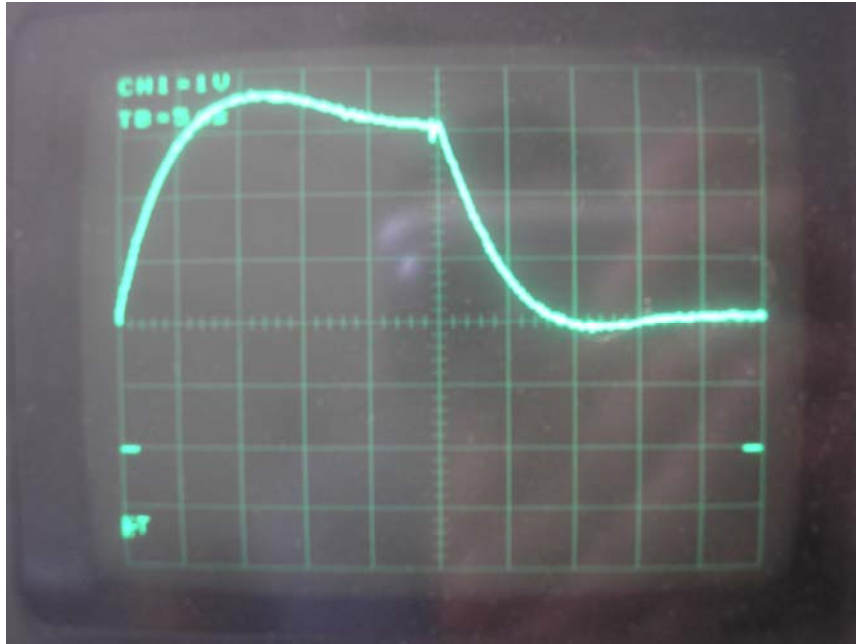
Her bir ucunun uzunluğu 25mm olan 100 $\mu$ F'lık bir kondansatörün rezonans frekansı, telin 25mm başına endüktansı 20nH alındığında (iki ucun toplam endüktansı 40nH)  $f_1 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$  ifadesinden yaklaşık olarak 80kHz bulunur. Bu frekansın yukarısında bu kondansatör bobin gibi davranacaktır. Uçları 25mm uzunluğunda 0.1  $\mu$ F'lık bir kondansatörün rezonans frekansı ise  $f_2 = 2.5$  MHz'dir. 0.1  $\mu$ F'lık bir kondansatör 2.5MHz'in altındaki frekanslarda bir kondansatör gibi davranacaktır (Hall, 1994). Yukarıda örnek olarak alınan iki farklı kapasitedeki kondansatörlerin paralel bağlanması durumunda empedansların frekansla değişimi açısından Şekil 7'deki (Özütürk, 2000) durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumda  $f_1$  ve  $f_2$  arasında kalan frekanslarda eşdeğer empedans 100 $\mu$ F'lık kondansatörden kaynaklanan endüktif reaktansla, 0.1  $\mu$ F'lık kondansatörün gösterdiği kapasitif reaktansın paralel eşdeğeri olacaktır. Eşdeğer empedans, paralel gelen empedansların her ikisinden de küçük olacağı için 100 $\mu$ F'lık kondansatörün bu frekanslarda gösterdiği endüktif özelliği azalmış olacaktır. Çınlama olayına yol açan kondansatör uçları ve devredeki bağlantı iletkenlerinden kaynaklanan endüktif reaktansı karşılamak için güç kaynağı uçlarına büyük ve küçük değerlerde birkaç kondansatör paralel bağlanmıştır.

Yukarıda açıklandığı şekilde çınlama olayı engellenmiş olan bir LED sürücü devresinde bulunan LED'den bir akım atması akıtıldıktan sonra, bu akım atmasına karşılık LED tarafından gönderilen ışık atması Şekil 2'deki ölçme devresinde gösterilmiş bulunan fotoiletken modunda çalışan bir fotodedektör tarafından tekrar elektriksel işarete çevrilmiştir. Fotodedektörde yer alan fotodiyodun anodundan ölçülmüş olan ve osiloskop ekranında gözlenen gerilim atması Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekilde yer alan osiloskop ekranının

fotoğrafından görüldüğü gibi, hızlı değişimli ve kısa süreli bu gerilim atmasında çınlama bulunmamaktadır.



**Şekil 7:**  
Empedansların frekansla değişimi (Özütürk, 2000).



**Şekil 8:**  
Fotodiyodun anodundan gözlenen gerilim atması.

#### 2.4. Paralel LED Grubu

Atmalı yüksek akım uygulamalarında akım atmasının genliği yüksek tutulduğundan LED'in tahrip olmaması için akım atmasının süresi kısa tutulmalıdır. Aynı şekilde LED'in kısa süreli de olsa yüksek genlikli akım atması süresince edindiği ısıyı soğuyarak ortama verebilmesi için LED'den akım akıtılmayan boşluk süresinin yeterince uzun olması

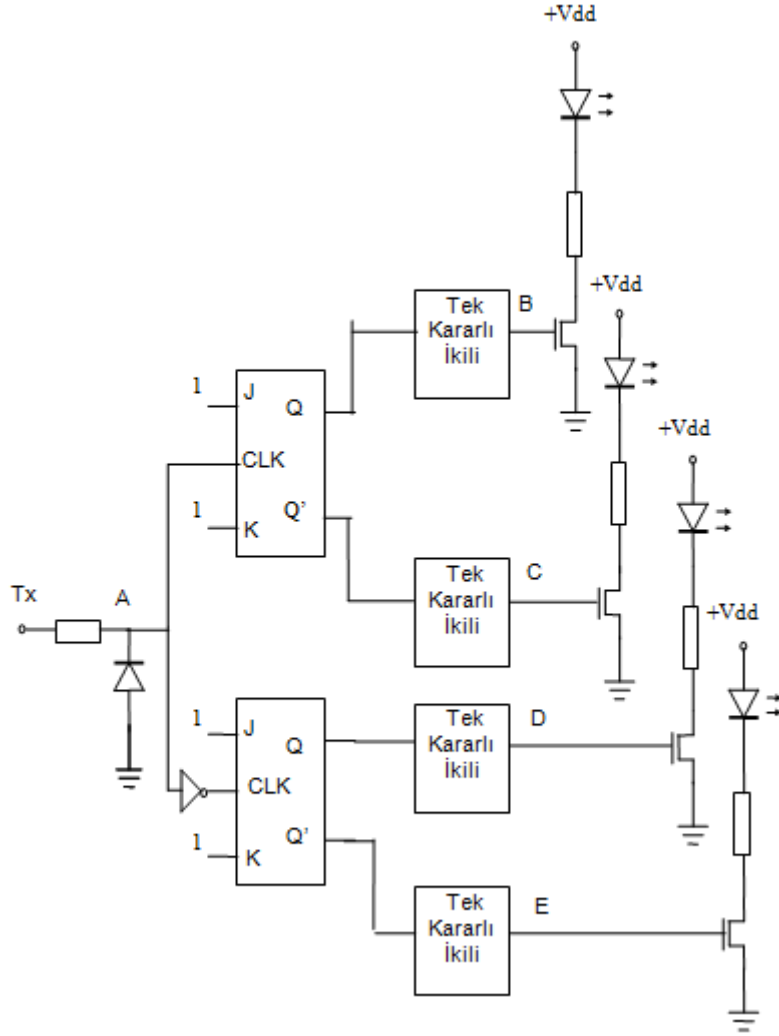


gerekmektedir. Aksi takdirde belli sayıdaki akım atmasından sonra LED'in eklem sıcaklığı LED'in tahrip olacağı sıcaklığa yükselir. Aynı zamanda sıcaklığın yükselmesi ışık şiddetinin düşmesine de neden olur. Bu nedenle bazı uygulamalarda kısa süreli ardışıl akım atmaları oluşturularak art arda gelen bu akım darbelerinin birden fazla LED tarafından sırayla paylaşılması sağlanır. Böyle bir durum için seri veri iletişimi uygulaması gösterilebilir. Aşağıda bilgisayarlar arası seri veri iletiminde kullanılan bir optik MODEM'in verici devresinin çalışması incelenerek paralel LED grubunun kullanıldığı bir uygulama örneği gösterilmiş olacaktır.

Yukarıda anlatıldığı şekilde LED'i uygun akım atmalarıyla sürebilmek için uygun modülasyon (ve demodülasyon) teknikleri oluşturulmalıdır. Bütün veri atması süresi boyunca LED'in sürülmesi ile LED'in akımını dolayısıyla vereceği ışığın şiddetini arttırmak mümkün olmamaktadır. Özellikle 110bps, 300bps gibi düşük veri hızlarında veri atmasının süresi epey uzun olduğundan tüm atma süresi boyunca LED'den akım akıtmak mümkün değildir. Kaldı ki çoğu durumda veri paketi içinde art arda veri atmaları peşi sıra gelmekte ve toplam atma süresi çok artmaktadır. Işık şiddetini arttırmak amacıyla, vericinin sürüldüğü bilgisayar atmaları, bilginin değişim anlarında ( birden sıfıra ve sıfırdan bire ) ve uygun sürede atma üreten bir tek kararlı ikili ile modüle edilebilir. Bu şekilde, bilgisayarın veri atmasının tamamında akım akıtacak yerde, küçük sürelerde akım akıtılarak yüksek akım değerlerine çıkılabilir.

Ayrıca, yüksek veri hızlarında verilerin hepsinin aynı LED'i sürmesi yerine, art arda gelen bilgi değişimlerinin birden fazla LED'i sırayla sürmeleri sağlanabilir. Böylece LED'lerin soğumaları için daha uzun boşluk süreleri oluşturulabilir. Burada, yüksek ışık şiddetleri elde etmek amacıyla oluşturulmuş olan modülasyon (ve demodülasyon) teknikleri ile LED'den atmalı yüksek akım akıtma yöntemlerini kullanan bir MODEM devresi kısaca ele alınacaktır.

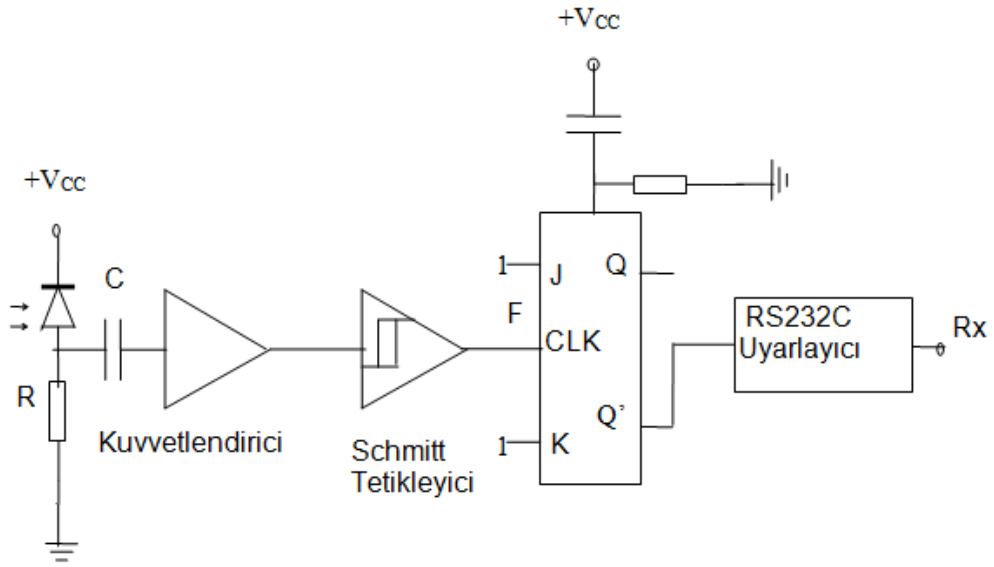
Şekil 9'da dört adet LED'i sürebilen verici devresinin blok şeması görülmektedir (Özütürk ve Karlık, 1998). RS 232 C seri biriminin Tx ucundan gelen ve işaret seviyesi -15 V, boşluk seviyesi +15 V (RS 232 C negatif lojik kullanır) olan atmalar girişteki direnç ve diyotla yaklaşık olarak sıfır seviyesinin üstü kalacak şekilde kırılarak tetiklenen ikili olarak çalışan JKFF'lere uygulanır. JKFF'lerin çıkışına bağlı tek kararlılardan her biri, her dört atmada bir tetiklenir ve çıkışlarındaki MOSFET'i uygun sürede doymada tutar. LED'e seri bağlı  $R_s$  direnci, akım sınırlayıcı direnç olup MOSFET doyma durumunda iken LED'ten akacak akımı belirler.



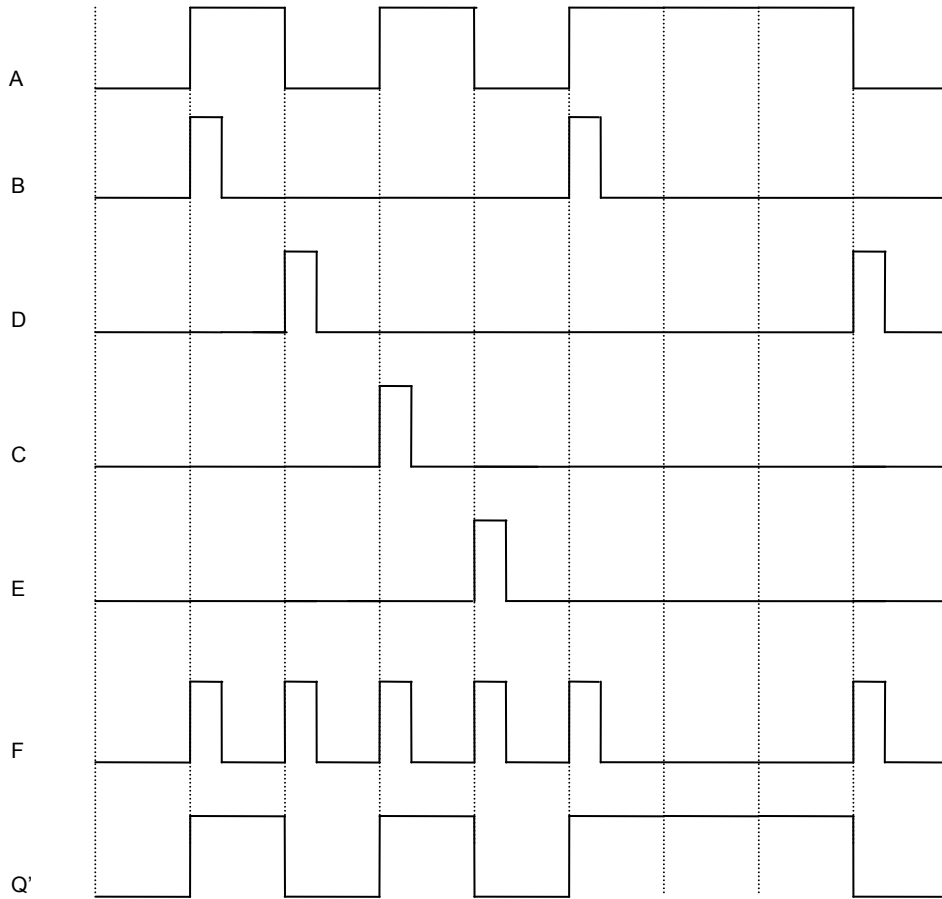
**Şekil 9:**  
Verici devresinin blok şeması.

Alıcı devresinin blok şeması Şekil 10'da görülmektedir (Özütürk ve Karlık, 1998). Devrenin daha yüksek frekanslarda çalışabilmesi için fotodiyot, fotoiletken moda bağlanmıştır (Özütürk, 2004). Fotodiyodun anodundan C kondansatörü üzerinden alınan gerilim atması kuvvetlendirildikten sonra atma şekillendiricisi olan Schmitt tetikleyiciye uygulanmaktadır. Buradan çıkan işaret ön yazmalı bir JKFF'den oluşmuş demodülatör devresinde demodüle edildikten sonra bir RS232C uyarlayıcıdan geçerek alıcı bilgisayarın Rx ucuna verilecek veri işareti biraz gecikme içerecek şekilde tekrar elde edilmiş olmaktadır. Alıcı ve verici devrelerinin bazı noktalarındaki işaretlerin değişimi Şekil 11'de gösterilmiştir. Burada verinin düşen ve inen kenarlarında tek kararlı devreler aracılığıyla oluşturulan kısa süreli ardışıl atmaların tek kararlı çıkışlarındaki ayrı LED sürücü devrelerinde yer alan paralel LED grupları tarafından belli bir sırayla nasıl paylaşıldıkları görülmektedir.

Bu şekilde kısa süreli atmaların üretildiği devrelerde çınlama olayının önem kazandığı yukarıda açıklanmış bulunmaktadır. Atma devrelerinin bulunduğu devreler baskılı devre üzerinde gerçekleştirilirken çınlamayı önlemek amacıyla beslemenin ulaştırıldığı yollar arasına büyük ve küçük değerli kondansatörleri paralel bağlamak gerekmektedir. Ayrıca baskılı devrede yer alan atmaların üretildiği veya atmaların işlendiği tümdevrelerin besleme uçlarının hemen girişine paralel şekilde küçük değerli bir kondansatör bağlamak gerektiği bilinmektedir.



**Şekil 10:**  
*Alıcı devresinin blok şeması.*



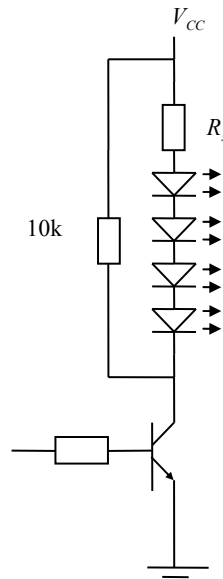
**Şekil 11:**  
*Bazı noktalardaki sayısal işaretler.*

## 2.5. Tek LED Yerine Seri LED Grubunun Kullanılması

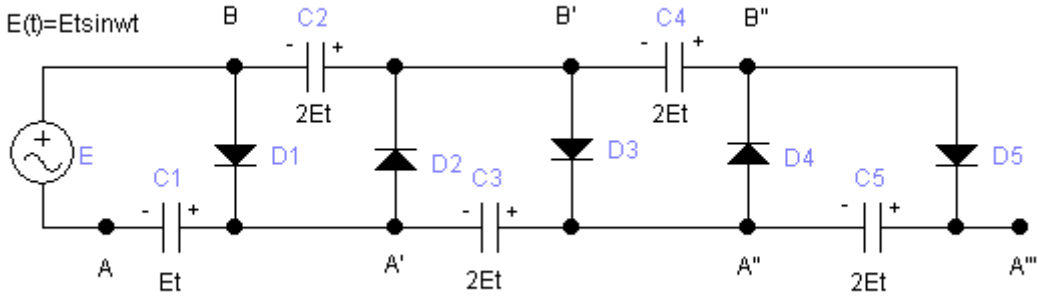
Alıcı uçtaki fotodiyot üzerindeki aydınlatma şiddetini daha da arttırabilmek için vericideki LED yerine birden fazla LED'in seri bağlanmasıyla oluşturulan seri LED grubu kullanılabilir. Şekil 12'de anahtar elemanı olarak transistorun kullanıldığı ve bir tek LED yerine dört adet LED'in sürüldüğü devre görülmektedir. Burada  $R_s$  akım sınırlayıcı dirençtir. Şekilde görülen 10 kohm değerindeki direnç transistorun kesime ve doymaya gidebilmesi için transistordan gerekli akımın akmasını sağlar. Bilindiği gibi LED, iletme geçtiği eşik gerilimine kadar çok yüksek direnç göstermektedir. Dört adet LED'in seri durumda eşik geriliminden önce gösterdikleri direnç tek adet LED'in bulunmasına nazaran çok daha yüksektir. LED'ler üzerindeki gerilim eşik gerilimine gelinceye kadar transistorun doymaya girmesi için gerekli akım 10 kohm değerindeki dirençten akar. LED'ler iletme geçtiklerinde ise gösterdikleri direnç yüksek akım değerlerinde birkaç ohm değerinde olduğundan 10 kohm değerindeki paralel direnç açık devre etkisi gösterecek değerdedir ve sanki devrede yokmuş gibi düşünülebilir (Hickman, 1995).

## 2.6. Gerilim Çoğaltıcı Devre

LED akımı, anahtarlama devresi iletme geçtiği anda besleme kaynağının süzme kapasitesi ve çınlama olayını önlemek için anahtarlama devresinin besleme uçlarının hemen yanına bağlanmış olan büyük ve küçük değerli kondansatörlerden çekilmektedir. Akımın aktığı atma süresince kondansatörlerden akım çekilmekte, boşluk süresinde ise kondansatörler besleme kaynağı tarafından doldurulmaktadır. Akımın aktığı anahtarlama devresinin seri yolu üzerindeki toplam seri direnç ve akan akımın büyüklüğü nedeniyle LED'den yüksek genlikte akım akıtmak için besleme geriliminin büyük değerli olması gerekmektedir. Besleme gerilimi değerini arttırmak için diyot ve kondansatörlerin uygun bağlanmasıyla oluşturulan gerilim çoğaltıcı devreler kullanılabilir. Bir gerilim çoğaltıcı devre (gerilim mültiplikatörü) örneği Şekil 13'te görülmektedir. Devredeki kondansatörleri arka arkaya (kaskad halinde) doldurarak, teorik olarak herhangi bir  $nE_t$  doğru gerilimi elde edilebilir. Şekildeki AA' arasında  $E_t$ , AA'' arasında  $3E_t$ , BB' arasında  $2E_t$ , BB'' arasında  $4E_t$ , AA''' arasında  $5E_t$  gerilimi elde edilir (Saya, 1979).



**Şekil 12:**  
Seri LED sayısının arttırılması.



Şekil 13:

Kaskad gerilim çoğaltıcı (gerilim multiplikatorü)(Saya, 1979).

## 2.7. Verilen Pratik Değerlere Bağlı Örnek Bir Hesaplama

Kondansatörlerden çekilen yüksek genlikli akımlar kısa süreli de olsalar akımın aktığı atma süresince kondansatör yükünü boşalttığından atma süresi boyunca kondansatör geriliminin zamanla giderek azalmasından dolayı bir atma üstü eğilmesine neden olur. Akımın aktığı atma anında besleme geriliminin azalmasından dolayı oluşan söz konusu atma üstü gerilimindeki eğilmenin ( $\delta$ ) az olması için paralel eşdeğer toplam kapasite ( $C_T$ ) ile akımın aktığı yol boyunca görülen eşdeğer seri toplam direncin ( $R_T$ ) çarpımından oluşan zaman sabitinin ( $R_T C_T$ ) atma süresine ( $t_d$ ) nazaran çok büyük olması gerekmektedir. Eğilmenin değeri  $\delta = \Delta V_{CC} / V_{CC} = t_d / (R_T C_T)$  bağıntısıyla belirlenir. Bu bağıntıda  $V_{CC}$  besleme geriliminin değeri,  $\Delta V_{CC}$  ise  $t_d$  atma süresi sonunda  $V_{CC}$  değerinden olan düşme miktarıdır. Sayısal olarak büyüklükleri görebilmek için belli bir orandaki eğilme için anahtarlama devresinin besleme uçlarına bağlanması gereken toplam paralel kapasitenin hesaplandığı aşağıdaki örnek ele alınabilir. Şekil 2'deki anahtarlama devresinde besleme gerilimi  $V_{CC} = 34V$  olsun. LED'den akıtılması istenen akım atmasının genliğinin  $I_d = 10A$ , atma süresinin  $t_d = 10\mu s$  olması istensin ve kabul edilebilir eğilme %1 olarak seçilsin. LED'in 5A'den daha büyük akımlar için gösterdiği direnç gövde ve kontak dirençlerinden ibaret olduğundan bu direncin değeri yaklaşık olarak  $r_b = 1ohm$  seçilebilir. Güç MOSFET'inin 10A'de üzerinde oluşan atma gerilimi Şekil 5'teki grafikten yaklaşık olarak  $V_{DS(sat)} = 7V$  okunur. Buna göre seri toplam direnç  $V_{CC} / I_d = 34V / 10A = 3.4ohm$  ve bağlanması gereken toplam akım sınırlayıcı direnç  $R_{ST} = (V_{CC} - V_{DS(sat)} - r_b I_d) / I_d = (34V - 7V - (1ohm \times 10A)) / 10A = 1.7ohm$  olarak hesaplanır ( $R_{ST} = R_S + R_O$ ). %1 eğilme için bağlanması gereken toplam paralel kapasite  $C_T = t_d / R_T \delta = 10\mu s / (3.4ohm \times \%1) = 294\mu F$  bulunur. Bu durumda atma süresi sonunda 34V'luk besleme gerilimi %1 oranında yani 0.34V düşecek ve atma süresi sonundaki besleme gerilimi  $34V - 0.34V = 33.66V$  değerine kadar azalacaktır.

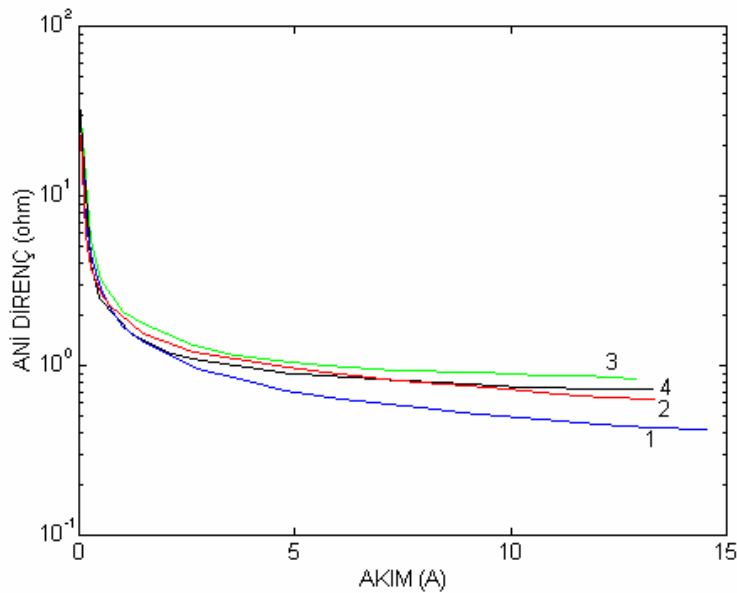
## 3. TARTIŞMA ve SONUÇ

Seri LED grubundaki LED sayısı arttıkça LED'lerin gösterecekleri toplam direnç arttığından tek bir LED'in kullanılmasına nazaran seri yol boyunca akan akımın aynısını akıtmak için daha fazla besleme gerilimine ihtiyaç duyulacaktır. LED'in göstereceği elektriksel direnç içinden akan akıma bağlıdır. LED akımı LED gerilimiyle üssel olarak arttığı için LED'in göstereceği direnç (LED geriliminin LED akımına oranı) akım arttıkça azalacaktır. Dolayısıyla daha yüksek akımlarda LED daha düşük direnç göstereceğinden yüksek akımlarda gerekli besleme gerilimi daha fazla artmamaktadır. LED'in gösterdiği direnç akım arttıkça belli bir değere kadar azalabilmektedir. LED'in göstereceği direnç gövde ve kontak dirençleri toplamından daha küçük olamamaktadır. Daha küçük besleme gerilimi

kullanmak ve daha fazla ışık şiddeti elde etmek amacıyla LED akımı arttırılacaksa, gövde ve kontak dirençlerinden oluşan sınır direnç değerinin görüldüğü akıma kadar LED akımını arttırmak daha uygun olacaktır. Aşağıdaki açıklamalarda piyasada bulunan genel amaçlı kızılötesi LED'ler için minimum LED direncinin ve bu direncin oluşmaya başladığı akım sınırının nasıl belirlendiği ve hangi ortalama değerlere sahip oldukları görülmektedir.

Şekil 14'te, dört farklı kızılötesi ışık veren LED'in, atma şeklinde akıtılan değişik genlikteki akımlar için akımın tepe değeri ile anot-katot geriliminin tepe değeri osiloskopa belirlendikten sonra gerilim değerlerinin akım değerlerine oranı alınarak bulunan ani dirençlerinin akıma göre değişimleri görülmektedir (Özütürk, 2006). Ölçülen akım ve gerilimlerin tepe değerleri atma 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. LED'de bir pn eklemi 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. Şekil 14'ten görülebileceği gibi ani direncin en küçük bir sınır değeri vardır. Bu en küçük direnç değeri büyük ölçüde gövde ve temas dirençlerinden meydana gelmektedir. Şekil 14'teki 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'in gösterdiği ani direncin 5A ve daha büyük akım değerlerinde sabit değerini almaya başladığı LED gerilimleri Şekil 14'teki LED'ler için yaklaşık olarak 3.46V, 4.83V, 5.14V ve 4.52V olmaktadır.

Buraya kadar yapılan açıklamalardan anlaşıldığı gibi LED'ler ortalama olarak 5A değerine yakın akımlarda en küçük direnç değerini göstermektedirler. Dolayısıyla besleme gerilimini daha fazla arttırmamak için mümkünse LED'lerden 5A'e kadar akım atmaları akıtılmalıdır. Aynı zamanda MOSFET'ler ve güç MOSFET'leri daha küçük doyma gerilimleri gösterdiklerinden daha küçük besleme gerilimleri için transistörün yerine tercih edilmeleri büyük önem taşımaktadır.



**Şekil 14:**  
Dört farklı LED'in ani dirençlerinin akımla değişimi (Özütürk, 2000).

Bilindiği gibi LED'den yüksek genlikli akım atmaları aktıkça atma süresi boyunca LED'in eklem sıcaklığı artmaktadır. LED ısındıkça aynı akım için üzerindeki iletim gerilimi azalmaktadır. Yani LED ısındıkça akıma karşı gösterdiği direnç azalmaktadır. Böyle bir durumda anahtarlama devresinin gösterdiği toplam seri direnç azaldığından LED akımı artacak bu da LED'in ısındıkça düşen ışık şiddetindeki azalma miktarını azaltacak yönde etki yapacaktır. Bazı uygulamalarda LED'in sabit akımla (akım kaynağıyla) sürülmesi gerekmektedir. Bunun için anahtarlama devresinin toplam seri direncinin büyük tutulması gerekir. Toplam seri direnç LED'in ısınmasından dolayı göstereceği direnç değişikliği yanında ne kadar büyük olursa LED'in ısınması LED akımını o kadar daha az etkileyecektir. Bu nedenle toplam seri direncin yüksek tutulması yüksek akım genliklerinde besleme geriliminin daha yüksek olmasını gerektirir. Amaç aynı zamanda ışık şiddetini arttırmaksa toplam seri direnci arttırmak için akımın aktığı seri kola direnç eklemektense LED ekleyerek seri LED sayısının artırılması yoluna gidilebilir. Aynı zamanda, böyle bir durumda, doyma gerilimi daha küçük olan MOSFET kullanılmaktansa gösterdiği direnç daha yüksek olan transistör kullanılabilir. Ancak burada, transistörün doyma geriliminin belli bir akımdan sonra çok yüksek hızla arttığını dikkate almak gerekmektedir.

## 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 Bağlılıkların Çok Yüksek Akımlarda Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 8(1), 17-24.
8. Özütürk, E. (2004). Fotodiyodun Anahtarlama Sürelerinin Darbeli Yüksek Işık Şiddetleri İçin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2), 221-226.
9. Özütürk, E. (2006). LED'in Elektriksel Karakteristiklerinin Optik Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(3), 389-396.
10. Pastacı, H. (1998). Elektronik Devreler, İstanbul.
11. Saya, T. (1979). Elektronik (Ders Notları), İ.T.Ü., İstanbul.
12. Fairchild Semiconductor (2000). TIP 120/121/122 Data Sheet.

Makale 18.01.2011 tarihinde alınmış, 24.11.2011 tarihinde düzeltilmiş, 18.04.2012 tarihinde kabul edilmiştir.

