

YARIİLETKEN IŞIN VERİCİLERİN BAĞLANTI ŞEKİLLERİ VE BESLEME ÇEŞİTLERİ

*Eldar MUSAYEV**

Özet: Makalede yarıiletken ışın vericilerin bağlantı şekilleri ve besleme çeşitleri ele alınmıştır. LED'lerin birbirleri ile bağlantıları, teknolojik (bir kılıf içerisinde birkaç kristalin yerleşimi) ve ayrı elemanların birbirleri ile seri, paralel ve seri-paralel (karışık) bağlanması olmak üzere çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Makalede gösterilmiştir ki, LED'lerin birbiri ile belli bir şekilde bağlanmasının amacı ışın gücünü artırmak, farklı spektrumlu ışın vericiler elde etmek, ışın vericinin aydınlatığı alanı artırmak ve çalışma güvenliğini artırmaktır.

Çalışmada LED'lerin besleme çeşitleri de incelenmiştir. Tespit edilmiştir ki DC, darbeli, multiplikatif ve fonksiyonel besleme çeşitleri mevcuttur. Bu besleme çeşitleri incelenmiş ve analizi için gerekli denklemler elde edilmiştir. Yarıiletken ışın vericilerin besleme kaynağına bağlama metotları (uygulama metotları) ve çeşitleri açıklanmıştır. Doğrudan besleme kaynağına bağlama metodu, gerilim yükseltici ve gerilim düşürücüler ile besleme metodu, önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerine boşaltma metodu ve balast kondansatörlü besleme metotları açıklanmıştır. Her bir metodun avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yarıiletken Işın Vericiler, LED'ler, Spektrum, Bağlantı Şekilleri, Besleme Çeşitleri ve Uygulamaları.

Connection and Supply Types of Semiconductor Light Emitters

Abstract: In this paper, connection and supply types of the semiconductor light emitters are investigated. Connection of LEDs with each other can be achieved in various forms such as connection of technological devices (two or more crystals placed in a package) or discrete devices in series, parallel and series-parallel (mixed). It's shown in the paper that the purpose of connection of LEDs with each other is incrementing the light power, creating LEDs with different spectra, incrementing the area illuminated by the LED and incrementing the operational security.

Supply types of light emitters are also investigated in his study. Supply types have DC, pulsed, multiplicative and functional forms. These supply types are investigated and required equations are given for analysis of the supply circuits. Methods and types of connection of light emitters to power supply are described. The method of direct connection to power supply, the method of supplying with voltage step-up and voltage step-down circuits, the method of discharging the pre-charged capacitor over the LED and the method of supplying with ballast capacitors are described. The advantages, the disadvantages and the application areas of each method are given.

Key Words: Semiconductor Light Emitters, LEDs, Spectrum, Connection Types, Supply Types and Supply Applications.

1. GİRİŞ

Günümüzde üretilen yarıiletken ışın vericiler (LED'ler, UVLED'ler, IR ışın vericiler, yarıiletken lazerler) optik spektrumun morötesi bölgesinden başlayarak kızılötesi bölgesine kadar olan bölgeyi kapsamaktadır (0,4µm - 5µm) [1-6]. Bu çalışmada ileriki bölümlerde yarıiletken ışın vericiler yerine LED'ler denilecektir. LED'ler monokromatiğe yakın (kvazimonokromatik) spektruma sahiptirler, ebatları küçüktür ve yüksek anahtarlama frekanslarına sahiptirler. Yarıiletken ışın vericilerin en önemli avantajlarından biri akım ile ışın şiddetinin modüle edilebilmesidir. Genelde LED üzerinden akan akım ile ışın şiddetinin değişimi lineerdir [6]. LED'lerin sık kullanılmasının nedeni bu tip avantajlarıdır. Yarıiletken ışın vericiler farklı optik özelliklere sahip olmakla birlikte elektriksel özellikleri aynıdır [1-6]. Bu nedenle biri için yapılan analiz diğeri için de geçerlidir.

LED'li bir sistem tasarlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar bağlantı şeklinin ve besleme çeşidinin düzgün seçilmesidir. Bu çalışmanın amacı LED'lerin bağlantı şekillerinin ve besleme çeşitlerinin incelenmesi ve LED'lerin kullanımını kolaylaştıran bir mühendislik analizinin verilmesidir.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa.

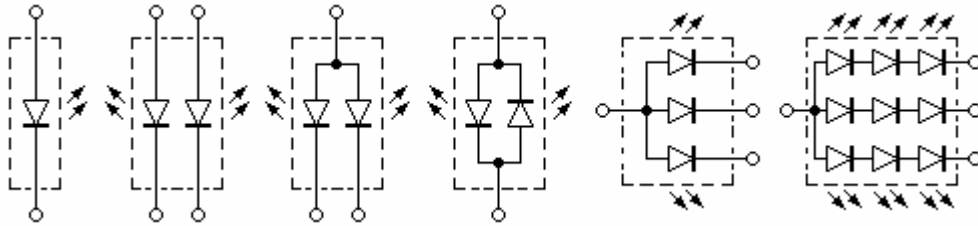
Literatürde [5,6,7,11,20,22,25,27] bu konular dağınık şekilde ele alınmıştır. Kaynak araştırması göstermektedir ki kapsamlı analiz için gerekli bilgiler içeren bir materyale ihtiyaç vardır.

2. YARIİLETKEN IŞIN VERİCİLERİN BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

Ayrık LED'lerin birbirleri ile belli bir şekilde bağlanmasının amacı,

1. Işın gücünün artırılması
2. Işın veren yüzeyin alanının artırılması
3. Farklı spektrumlu ışın verici oluşturulması
4. Güvenliğin artırılmasıdır (güvenli çalışmanın sağlanması).

Ayrık ışın vericilerin birbiri ile bağlantı şekilleri (şemaları) iki yöntemle gerçekleştirilebilir. Birincisi teknoloji yöntemidir. Bu yöntemde LED kristalleri bir kılıf içerisine yerleştirilir, dışarıdan değiştirilemez. Sadece uygun şekilde sürülebilirler. Örnek olarak iki ve üç renkli LED'ler verilebilir. LED kristallerinin bağlantı şekilleri ortak anotlu, ortak katotlu, zıt yönde paralel ve karışık olabilir. Şekil 1'de bu bağlantı şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 1:

Bir kılıf içerisinde yerleştirilmiş LED kristallerinin bağlantı şekilleri.

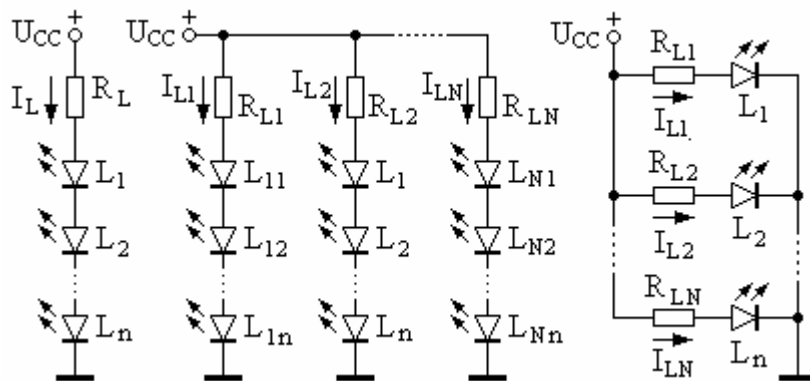
Burada a; tek kristalli LED, b; çift kristalli iki renkli bağımsız LED, c; çift kristalli ortak anotlu iki renkli LED, d; çift kristalli, zıt yönde paralel bağlanmış iki renkli LED, e; üç kristalli üç renkli ortak anotlu LED, f; çok kristalli üç renkli karışık bağlantılı LED'dir.

İkinci yöntem ayrık LED'leri birbirleri ile bağlama yöntemidir. Burada üç bağlantı şekli söz konusudur: seri, paralel ve seri-paralel (karışık).

Şekil 2'de ayrık LED'lerin birbirleri ile bağlantı şekilleri gösterilmiştir. Şekil 2a'da seri, 2b'de paralel ve 2c'de de seri-paralel bağlantı şekli gösterilmiştir.

Bu iki yöntem yukarıda sıralanan dört amaçtan herhangi birine ya da birkaçına ulaşmak için kullanılabilir. İki renkli LED'le, her biri bağımsız sürüldüğünde iki farklı renk ve ortak çalıştırıldığında üçüncü bir renk elde edilebilir. Üç LED'li veya üç kristalli bağlantı şeklinde ise üç temel renk (Kırmızı, Yeşil, Mavi), ara renkler ve beyaz renk elde edilebilir.

Çok LED'li bağlantı şekli ile ışın veren yüzey artırılır, istenen renk elde edilebilir ve güvenli çalışma sağlanır.



Şekil 2:

Ayrık LED'lerin birbirleri ile bağlantı şekilleri.

Seri bağlantı şeklinde LED'ler üzerinden akan akım,

$$I_L = \frac{U_{CC} - (U_{L1} + U_{L2} + \dots + U_{Ln})}{R_L} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada U_{CC} ; besleme gerilimi, R_L ; akım belirleyici direnç, $U_{L1}, U_{L2}, \dots, U_{Ln}$; LED'lerin eşik gerilimleridir. Seri bağlantı şekli için besleme geriliminin değeri,

$$U_{CC} > (U_{L1} + U_{L2} + \dots + U_{Ln}) \quad (2)$$

şeklinde olmalıdır. LED'lerin eşik gerilimleri (iletim yönündeki gerilim) birbirine eşit ise ($U_{L1}=U_{L2}=\dots=U_{Ln}$) besleme gerilimi,

$$U_{CC} > nU_L \quad (3)$$

şeklinde olur. Burada n : seri bağlanmış LED sayısıdır.

Seri bağlantı şeklinin avantajları: LED'ler aynı akımla beslenmektedir. Toplam ışın gücü $P_{L\Sigma} = nP_L = nK_L I_{Ln}$ şeklindedir. Burada seri bağlanmış LED'lerin güçleri eşit ($P_{L1}=P_{L2}=\dots=P_{Ln}$) kabul edilmiştir. K_L ; akımı ışına çevirme katsayısıdır. Seri bağlı LED sayısı artınca besleme gerilimi de artmaktadır. Besleme gerilimi nU_L değerine ne kadar yaklaşırsa akım belirleyici direnç üzerindeki kayıplar o kadar azalır.

$$P_{RL} = I_L^2 R_L \quad (4)$$

Ancak besleme geriliminin nU_L değerine yaklaşması besleme geriliminin kalitesine daha fazla bağlı olması demektir ve LED'lerden akan akım besleme geriliminin üzerinde meydana gelen salınımlardan etkilenmeye başlar. Dolayısıyla besleme gerilimlerinin daha kararlı olması gerekir.

Seri bağlantı şeklinin dezavantajı, çalışma güvenliğinin düşük olmasıdır. Çünkü seri bağlı LED'lerden herhangi biri bozulur ise LED'lerin tamamı çalışmaz.

Paralel bağlı LED'lerde ise her bir LED üzerinden farklı akımlar akmaktadır. Beslemeden çekilen toplam akım,

$$I_{CC} = I_{L1} + I_{L2} + \dots + I_{Ln} \quad (5)$$

Burada $I_{L1}, I_{L2}, \dots, I_{Ln}$; her paralel koldan akan akımlar, N ; paralel kol sayısıdır. $I_{L1}=I_{L2}=\dots=I_{Ln}$ olursa toplam ışın gücü $P_{\Sigma} = NP_L$ olur. Burada $P_{L1}=P_{L2}=\dots=P_{Ln}$ her koldaki LED'in ışın şiddetidir.

Paralel bağlantının avantajı LED'lerin birbirinden bağımsız beslenmesi ve LED'lerden herhangi biri bozulursa diğerlerinin çalışmaya devam etmesidir. Dezavantajı ise beslemeden fazla akım çekilmesidir. Düşük besleme gerilimlerinde ve LED sayısı az olduğunda paralel bağlantı kullanmak daha avantajlıdır.

Seri-paralel (karışık) bağlantı şekli seri ve paralel bağlantı şekillerine göre daha avantajlıdır. Karışık bağlantı şekli seri ve paralel bağlantı şekillerinin avantajlarını içerir.

3. LED'LERİN BESLEME ÇEŞİTLERİ

Besleme çeşitleri, DC (sürekli akım besleme çeşidi), darbeli, multiplikatif ve fonksiyonel besleme çeşidi olmak üzere dört çeşittir.

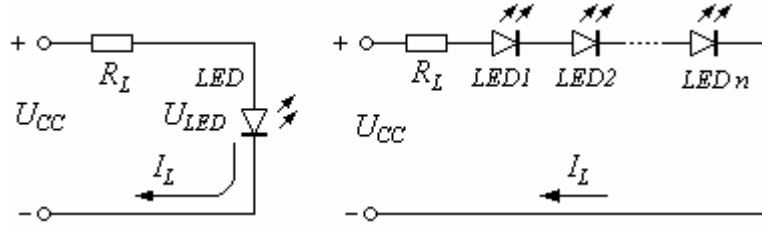
DC besleme çeşidinde LED üzerinden akan akım,

$$I_L = \frac{U_{CC} - U_L}{R_L} \quad (6)$$

şeklinde olur. Bu akımın değeri, besleme gerilimine, LED'in eşik gerilimine ve akım sınırlayıcı dirence bağlıdır. LED sayısı birden fazla ise bu durumda LED'lerden akan akım,

$$I_L = \frac{U_{CC} - (U_{L1} + U_{L2} + \dots + U_{Ln})}{R_L} \quad (7)$$

şeklinde olur. Şekil 3a'da tek LED'i, Şekil 3b'de ise seri bağlanmış LED'leri DC akımla besleyen devreler gösterilmiştir.



Şekil 3:
DC besleme çeşidi.

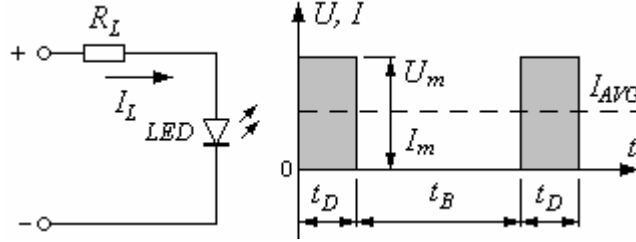
DC besleme çeşidi, genelde optokuplörlerde, sensörlerde, indikatörlerde ve yerel aydınlatma sistemlerinde kullanılmaktadır [5,6,20,28].

DC besleme çeşidini gerçekleştiren devrelerin analizi akım belirleyici direncin değerinin bulunmasına yöneliktir. Burada besleme gerilimi oldukça düşük seçilmelidir. Çünkü besleme geriliminin değeri ne kadar küçük ise akım belirleyici direncin değeri de o kadar küçük olur. Dolayısıyla akım belirleyici direnç üzerindeki kayıplar azaltılmış olur.

$$P_{RL} = I_L^2 R_L = \left(\frac{U_{CC} - U_L}{R_L} \right)^2 R_L \quad (8)$$

Günümüzde üretilen görünür ışık veren LED'lerin DC akımları 20mA civarındadır. Kızılötesi LED'lerin ise 100mA ile 350mA arasındadır.

İkinci besleme çeşidi darbeli beslemedir [6,7,9-17,21,22,27]. Şekil 4'te darbeli besleme çeşidini açıklayan zaman diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4:
Darbeli besleme çeşidinde ait zaman diyagramları.

Burada R_L ; akım belirleyici direnç, I_L ; LED akımı, U_m ; darbenin maksimum genliği, I_m ; maksimum akım, I_{AVG} ; ortalama akım, t_D ; darbe süresi, t_B ; boşluk süresidir.

Darbeli besleme çeşidinde LED üzerinden belli süreli darbeli akım akıtılmaktadır. Burada LED'e uygulanan darbeli gerilimin maksimum değeri $U_m > U_L$ olmalıdır. Bu durumda ortalama akım [5,7],

$$I_{AVG} = I_m \frac{t_D}{t_D + t_B} \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Eğer ortalama akım ileri yöndeki nominal akımın değerine eşit olursa ($I_{AVG} = I_N$), LED üzerinden akıtılabilecek darbeli akımın maksimum değeri,

$$I_m = I_N \frac{t_D + t_B}{t_D} \quad (10)$$

olur. Burada da analiz devrede yer alan akım belirleyici direncin değerinin bulunmasına dayanmaktadır.

$$R_L = \frac{U_m - U_L}{I_m} \quad (11)$$

Darbeli akımın maksimum değeri, aşağıdaki şart geçerli olacak şekilde seçilmelidir.

$$\frac{U_m - U_L}{R_L} \leq I_N \frac{t_D + t_B}{t_D} \quad (12)$$

Bu denklemlerde darbe süresi sistemde kullanılan fotoalıcının zaman sabiti (τ_{PD}) ile sınırlıdır.

Darbe süresi genelde $t_D = 3\tau_{PD}$ şeklinde seçilir [6].

Seri bağlanmış LED'lerin darbeleri modda çalışması durumunda akım belirleyici direncin değeri,

$$R_L = \frac{U_m - (U_{L1} + U_{L2} + \dots + U_{Ln})}{I_m} = \frac{U_{CC} - nU_L}{I_m} \quad (13)$$

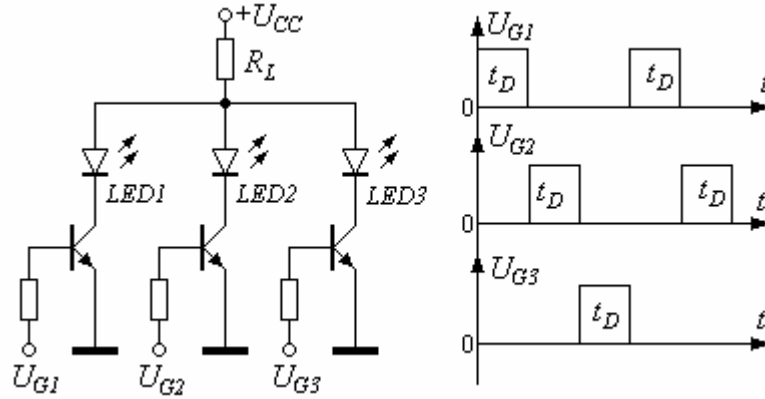
şeklinde bulunabilir. Burada $U_m \approx U_{CC}$ olduğu kabul edilmiştir.

Darbeleri besleme çeşidinde LED üzerinden çok kısa süreli darbeler akıtılabilir ve sonuçta LED'in ışın gücü P_{LD} istenilen seviyeye çıkartılabilir.

$$P = K_L I_F \frac{t_D + t_B}{t_D} \quad (14)$$

LED'in ileri yöndeki akımı (I_F) onlarca mA ise darbeleri akımda LED üzerinden onlarca amper akım akıtılabilir. Darbeleri modda beslemeden çekilen ortalama akım azaltılır. Bu da pille beslenen devreler için önemli bir avantajdır.

Multiplikatif besleme çeşidi darbeleri besleme çeşidinin bir türüdür ve genelde grup şeklinde bağlanmış LED'lerin beslenmesi için kullanılır. Şekil 5'de multiplikatif besleme çeşidinin devre şeması ve çalışmasını açıklayan zaman diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 5:

Multiplikatif besleme çeşidinin devre şeması ve çalışmasını açıklayan zaman diyagramları.

Burada U_{G1} , U_{G2} , U_{G3} transistörlü anahtarları kontrol eden darbelerdir. LED'ler üzerinden akan akımlar da aynı şekildedir. $t_A = 2t_D$ olup boşluk süresidir. LED sayısı üç olduğu durumda her bir LED üzerinden akan ortalama akım,

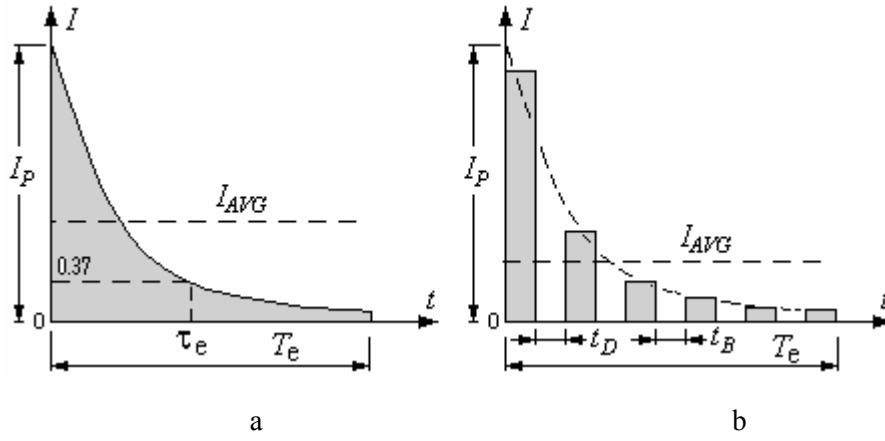
$$I_{AVG} = \frac{U_m - (U_{L1} + U_{L2} + \dots + U_{Ln})}{R_L} \frac{t_D}{t_D + t_B} = I_m \frac{t_D}{t_D + 2t_D} = \frac{1}{3} \frac{U_m - nU_L}{R_L} \quad (15)$$

şeklinde bulunabilir. LED sayısı N olursa boşluk süresi $t_A = (N-1)t_D$ olur ve ortalama akım,

$$I_{AVG} = I_m \frac{t_D}{t_D + (N-1)t_D} = \frac{1}{N} \frac{U_m - nU_L}{R_L} \quad (16)$$

şeklinde bulunabilir. Bu tip besleme çeşidinin avantajı birkaç LED için sadece bir tane akım belirleyici direnç kullanılmasıdır.

Fonksiyonel besleme çeşidinde LED üzerinden kare darbelerden farklı olarak fonksiyonel akım akıtılır. Fonksiyonel akımın şekli eksponansiyel, üstel, testere dişi, vb. şekillerde olabilir [6]. Genelde eksponansiyel şekilde değişen akımlar kullanılır. Şekil 6'da ekponansiyel darbeler ile fonksiyonel besleme çeşidini açıklayan zaman diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 6:
Fonksiyonel besleme çeşidini açıklayan zaman diyagramları.

Burada a'da kesintisiz eksponansiyel, b'de ayrıklaştırılmış eksponansiyel şekilleri gösterilmiştir. τ_e ; eksponansiyel işaretin zaman sabiti, I_p ; eksponansiyel işaretin maksimumu, T_e ; eksponansiyelin süresidir. Bu durumda LED üzerinden akıtılabilecek akımın I_{me} maksimum değeri,

$$I_{me} = I_N \frac{T_e / \tau_e}{1 - \exp(-T_e / \tau_e)} \quad (17)$$

şeklinde bulunabilir.

Kesitli (diskretize edilmiş) eksponansiyel besleme çeşidi için akımın I_{med} maksimum değeri [37],

$$I_{med} = I_N \frac{t_D + t_B}{t_D} \frac{T_e / \tau_e}{1 - \exp(-T_e / \tau_e)} \quad (18)$$

şeklindedir.

Fonksiyonel besleme çeşidi çeşitli dönüştürücülerde (sensörlerde) ve ölçüm sistemlerinde kullanılabilir.

4. YARIİLETKEN IŞIN VERİCİLERİN BESLEME KAYNAĞINA BAĞLANMA METOTLARI VE ÇEŞİTLERİ

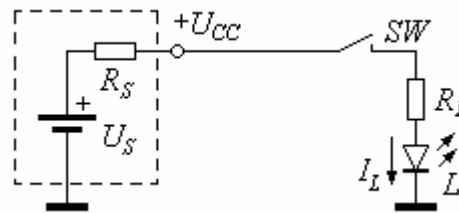
Yapılan araştırmalar göstermektedir ki, LED'lerin besleme kaynağına bağlama metotları birkaç çeşit olabilir. Bunlar:

- Besleme kaynağına doğrudan bağlama metodu
- İndüktanslı gerilim yükseltici veya gerilim düşürücü devreler kullanarak gerçekleştirilen bağlama metodu
- Önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerine boşaltma metodu
- Balast kondansatörlü bağlama metodu

Her bir metodun kendine has kullanım alanı, avantajları ve dezavantajları vardır. Bu metotları inceleyelim.

4.1. Besleme kaynağına doğrudan bağlama metodu

Şekil 4.1'de besleme kaynağına doğrudan bağlama metodunu açıklayan şema gösterilmiştir.

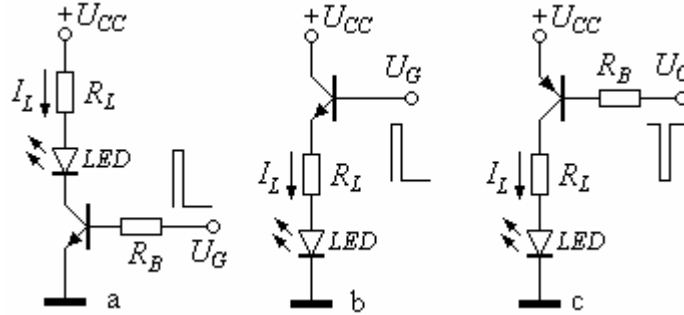


Şekil 4.1:
LED'in besleme kaynağına doğrudan bağlanması.

Burada U_S ; besleme kaynağının gerilimi, R_S ; besleme kaynağının iç direnci, SW ; anahtardır (elekttronik anahtarın iç direncini dikkate almıyoruz). Anahtar kapatılınca LED üzerinden akan akım,

$$I_L = \frac{U_S - U_L}{R_S + R_L} \quad (19)$$

şeklinde olur. Akım belirleyici direncin değeri besleme kaynağının iç direncine göre çok küçük ise LED'den akan akımı, kaynağın iç direnci belirler. Yani akıtılan akımın değeri besleme kaynağının iç direnci ile sınırlanmış olur. Besleme kaynağına direkt bağlama metodunun geçerli olması için $U_{CC} > U_L$ olmalıdır. Yani düşük gerilimli besleme kaynaklarına uygulanamaz. Bu metodun yüksek değerli besleme gerilimlerinde kullanılabilmesi için akım belirleyici direncin değeri yüksek seçilmelidir. Bu da direnç üzerindeki kayıpların artmasına neden olur ($P_{R_L} = I_L^2 R_L$). Bu metodu gerçekleştirmek için bipolar tranzistörlü veya MOSFET'li anahtarlar kullanılabilir. Şekil 4.2'de birkaç örnek devre gösterilmiştir.



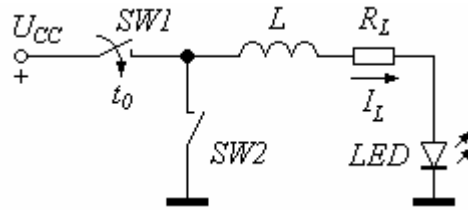
Şekil 4.2:

Besleme kaynağına doğrudan bağlama metodunun uygulama örnekleri.

Besleme kaynağına doğrudan bağlama metodunda besleme çeşidi DC veya darbeleri olabilir. Bu metod düşük akımlarda geçerlidir.

4.2. İndüktanslı Gerilim Yükseltici veya Gerilim Düşürücü Devreler Kullanarak Gerçekleştirilen Besleme Metodu

LED'lerin eşik gerilimleri olduğundan, küçük gerilimli besleme kaynaklarına bağlanamazlar. LED üzerinden bir akım akması için besleme geriliminin LED'in eşik geriliminden büyük ($U_{CC} > U_L$) olması gerekir. LED'ler seri bağlı ise $U_{CC} > nU_L$ olmalıdır. Yani bu durumda gerilimin yükseltilmesi gerekir. Besleme gerilimi yüksek olursa gerilimin düşürülmesi gerekir. Gerilimin yükseltilmesi ve düşürülmesi anahtarlamalı indüktanslı yöntemler ile gerçekleştirilir [7,8,15,17-19]. İndüktans içeren devreler için üç farklı çalışma modu vardır [15,19,22,23,25]. Bu üç farklı çalışma modunu açıklamak için Şekil 4.3'de gösterilen devreden yararlanalım.



Şekil 4.3.

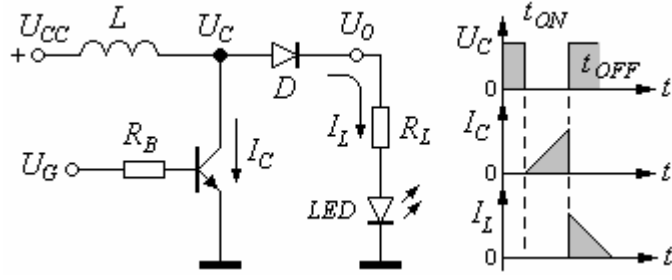
Yarıiletken ışın vericinin bobinli devreye uygulanması.

Birinci çalışma modunda $SW1$ anahtarı kısa süreli kapatılır, $SW2$ anahtarı açılır. LED üzerinde akan akım zorunlu akımdır. Burada bobin bir direnç gibi çalışmaktadır.

İkinci çalışma modunda $SW1$ anahtarı açılır, $SW2$ kapatılır. Bu durumda LED üzerinden akan akım bobinin nüvesinde depolanan enerji ile belirlenir.

Üçüncü çalışma modunda ise LED üzerinden hem zorunlu akım hem de nüvede depolanan akım akar.

İkinci durumu açıklayan devre şeması ve zaman diyagramları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4:
Nüve üzerinde depolanan enerji ile akım oluşturma.

Burada L ; bobin, U_C ; transistörün kolektör uçundaki gerilim, U_O ; çıkış gerilimi, I_C ; kolektör akımı, t_{ON} - t_{OFF} ; anahtar tranzistörün iletimde ve kesimde bulunma süreleridir. $U_C \approx U_{CC}$ kabul edersek bu devre için,

$$(U_{CC} - U_O)t_{OFF} + U_{CC}t_{ON} = 0 \quad (20)$$

şeklinde yazabiliriz. Çıkış ve giriş gerilimleri oranı,

$$\frac{U_O}{U_{CC}} = \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}} = \frac{1}{1-D} \quad (21)$$

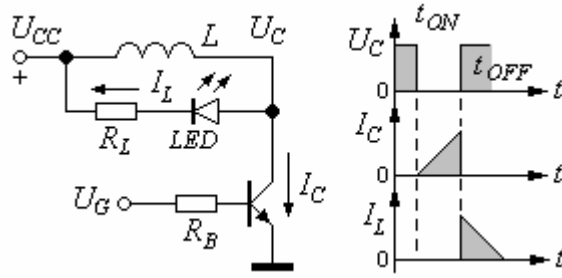
şeklinde yazılabilir. Bu denklemden çıkış gerilimi,

$$U_O = U_{CC} \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}} = \frac{U_{CC}}{1-D} \quad (22)$$

olarak bulunur.

Bu çalışma modunda gerilim yükseltilmesi işlemi gerçekleştirilir. Çünkü besleme gerilimi çıkış geriliminden küçüktür ($U_{CC} < U_O$). Bu yöntem besleme geriliminin küçük olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

Benzer şekilde bobin nüvesinde depolanan enerjinin LED üzerine boşaltılması LED'in bobin ile paralel bağlanması ile gerçekleştirilebilir. Şekil 4.5'te bu yöntemi gerçekleştiren devre şeması ve çalışmasını açıklayan zaman diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4.5:
LED'in bobine paralel bağlanması ve zaman diyagramları

Bobinin uçlarındaki gerilim U_{LK} ,

$$U_{LK} = U_{CC} \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}} = \frac{U_{CC}}{1-D} \quad (23)$$

şeklinde dir. Kolektör akımı ile LED akımının oranı,

$$\frac{I_L}{I_C} = \frac{1-D}{D} \quad (24)$$

olur. Buradan LED üzerinden akan akım,

$$I_L = \frac{DU_{CC} - U_L}{(1-D)R_L} \quad (25)$$

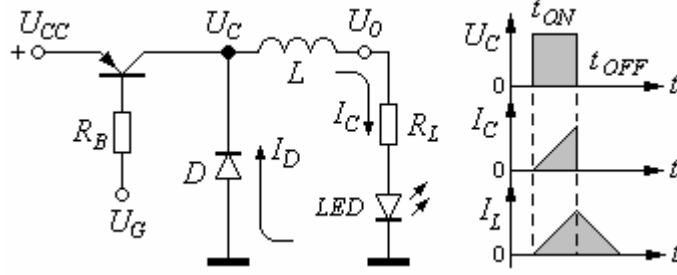
şeklinde bulunabilir.

Bobin üzerinden akan akımın yükselmesinin ve düşmesinin eksponensiyel şekilde olduğu dikkate alınarak LED üzerinden akan akımın ortalama değeri,

$$I_{AVG} = \int_0^{t_D} I_{\max} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{L/R}\right) \right] dt = I_{\max} \left[t_D - \frac{L}{R} \exp\left(-\frac{t}{L/R}\right) - 1 \right] \quad (26)$$

şeklinde bulunabilir. Burada $\tau_L = L/R$ olup bobinin zaman sabitidir. L ; bobinin endüktansdır.

Üçüncü durumda LED üzerinden hem zorunlu hem de bobin üzerinde depolanan enerji ile oluşan akımlar akmaktadır. Şekil 4.6'da bu durumu ifade eden devre şeması ve zaman diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4.6:

Zorunlu ve depolanan akımlarla besleme modu ve zaman diyagramları.

Burada I_D ; diyot üzerinden akan akımdır. Bu durumda LED üzerinden iki akım akmaktadır.

$$I_L = I_C + I_D \quad (27)$$

Bobinin uçlarındaki gerilim ise

$$U_{LK} = U_C - U_O = L \frac{di}{dt} \quad (28)$$

şeklinde olur. Buradan akım değeri aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$di = \int_0^{t_{ON}} (U_C - U_O) dt + \int_{t_{ON}}^{t_{ON}+t_{OFF}} (U_{LK} - U_O) dt \quad (29)$$

Enerjinin korunumu ilkesine göre,

$$(U_C - U_O)t_{ON} - U_O t_{OFF} = 0 \quad (30)$$

Giriş ve çıkış gerilimleri oranı ise,

$$\frac{U_O}{U_C} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \quad (31)$$

olur. Buradan hareketle çıkış gerilimi,

$$U_O = U_{CC} \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = U_{CC} D \quad (32)$$

olarak bulunur. Burada $D = t_{ON}/(t_{ON} + t_{OFF})$ şeklindedir. Akım belirleyici direncin değeri ise önceden belirlenen LED akımına göre hesaplanabilir:

$$R_L = U_{CC} \frac{U_O}{I_L} = \frac{U_{CC} D}{I_L} \quad (33)$$

Burada $D = t_{ON}/(t_{ON} + t_{OFF})$ değeri birden küçüktür. Dolayısıyla çıkış gerilimi besleme geriliminden küçük olur ($U_O < U_{CC}$). Yani bu yöntem gerilimin düşürülmesini sağlar. Üçüncü yöntem LED'lerin yüksek besleme gerilimlerine bağlanması için kullanılır. Sonuçta üçüncü yöntem akım belirleyici direnç üzerindeki kayıpları azaltır.

İkinci durum için bir örnek inceleyelim. LED'in eşik gerilimi, $U_L=2V$, LED'den akıtılmak istenen akım $0,02A$ olsun. Bu LED'i $3V$ 'luk ve $12V$ 'luk besleme gerilimlerine bağlayalım ve akım belirleyici direnç üzerindeki kayıpları bulalım. $U_{CC}=12V$ için kayıplar,

$$P_{RL} = I_L^2 \frac{U_{CC} - U_L}{I_L} = 0.0004 A \frac{12V - 2V}{0.02 A} = 0.2W \quad (34)$$

olur. $U_{CC}=3V$ için ise kayıplar,

$$P_{RL} = I_L^2 \frac{U_{CC} - U_L}{I_L} = 0.0004 A \frac{3V - 2V}{0.02 A} = 0.02W \quad (35)$$

Sonuçlardan da görüldüğü gibi aynı LED akımında $3V$ 'luk besleme geriliminde kayıplar daha azdır. Anahtarlama devrelerinde kayıplar çok azdır. Çünkü bu tip devrelerin verimi %99'dur. Bu yöntemin dezavantajı anahtarlama anında gürültü oluşmasıdır.

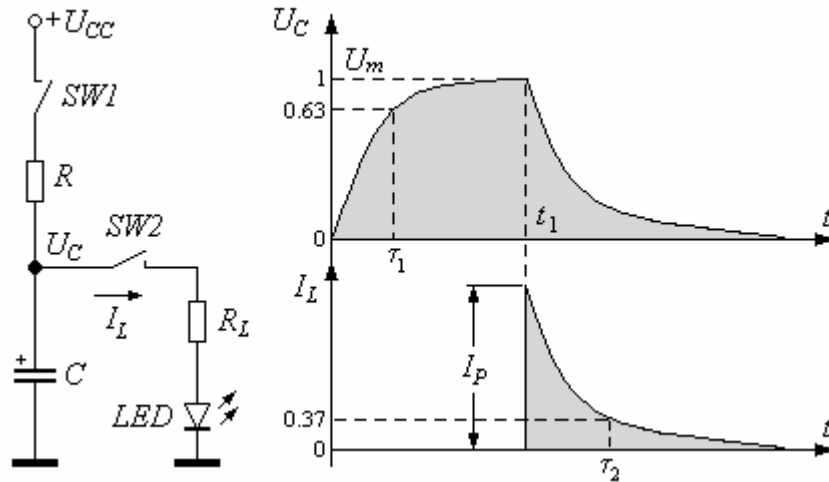
4.3. Önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerinden boşaltma metodu

Yukarıda incelenen metotlar genelde düşük akımlarda geçerlidir. Ancak LED ile yayılan ışının şiddetini arttırmak için büyük darbeli akımlara ihtiyaç vardır. Kısa süreli yüksek güçlü darbeli ışınlar elde etmek için önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerinden boşaltma metodu kullanılmaktadır [10,14,17,23,24,26,27]. Şekil 4.7'de bu metodu açıklayan basitleştirilmiş devre şeması ve zaman diyagramları gösterilmiştir.

Başlangıçta $SW1$ anahtarı kapalı, $SW2$ anahtarı ise açıktır. Kondansatör R direnci üzerinden dolmaya başlar ve $t_1 = 3\tau_1$ süre geçtikten sonra kondansatör dolmuştur. Kondansatör üzerindeki gerilim,

$$U_C = U_m \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right] = U_m \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right] \quad (36)$$

şeklinde olur. Burada $\tau = RC$ kondansatörün dolma zaman sabiti, U_C ; kondansatör üzerinde depolanan gerilim olup $U_C \approx U_{CC}$ 'dir. R ; kondansatörün dolmasını sağlayan direnç, C ; kondansatördür. t_1 anında $SW1$ açılır, $SW2$ kapatılır. Anahtarlama hızı (frekansı) artınca kondansatörün iç direnci azalır.



Şekil 4.7:

Önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerinden boşaltma metodu ve zaman diyagramları.

Bu durumda LED, R_L üzerinden kondansatöre bağlanmış durumdadır. $SW2$ 'nin direncini ihmal edersek, LED üzerinden akan akım,

$$I_L = \frac{U_C - U_L}{R_L} \exp\left(-\frac{t}{R_L C}\right) \quad (37)$$

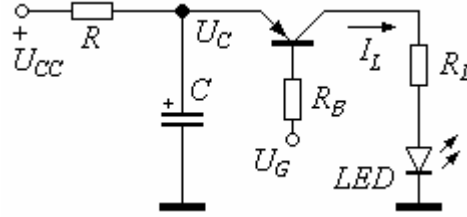
şeklinde olur. Burada $\tau_2 = R_L C$ kondansatörün boşalma zaman sabitidir.

Büyük darbeli akımların elde edilebilmesi için doğal olarak besleme geriliminin (U_{CC}) değerini arttırmak gerekir. Besleme geriliminin değeri artınca LED'in eşik gerilimi besleme geriliminin ($U_{CC} \gg U_L$) yanında ihmal edilebilecek seviyede kalır. Bu durumda LED üzerinden akan akım,

$$I_L = \frac{U_{CC}}{R_L} \exp\left(-\frac{t}{R_L C}\right) \quad (38)$$

şeklinde olur.

Bu metodu gerçekleştirebilmek için gerekli özelliklerde darbeler üreten bir osilatöre, 100V ile 200V arasında bir besleme kaynağına, RC devresine ve bir elektronik anahtara ihtiyaç vardır. Anahtar olarak avalans veya MOS tranzistörler kullanılabilir. Şekil 4.8'de bipolar tranzistörlü bir devre örneği gösterilmiştir.



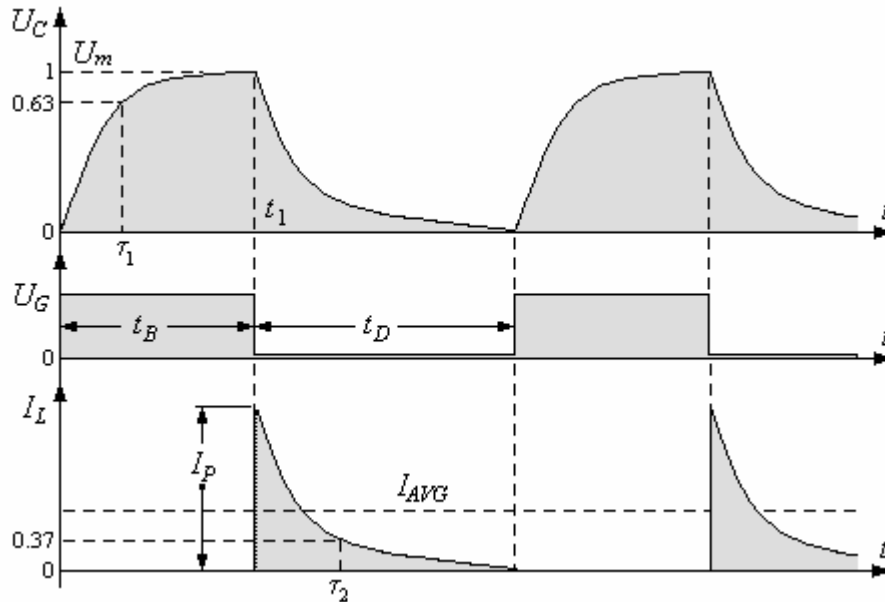
Şekil 4.8:
Önceden doldurulmuş kondansatörün LED üzerine boşaltılması metodu gerçekleştiren devre şeması

Doldurma direncinin (R) değeri yüksek, akım belirleyici direncin (R_L) değeri ise küçük seçilir. Tranzistör iletimde iken LED üzerinden akan akım kondansatör üzerinde depolanan gerilim ile belirlenir. Tranzistörün anahtarlama şekline göre iki çeşit anahtarlama modu vardır.

Birincisinde kondansatörde depolanan akımın tamamı LED üzerinden boşaltılır. LED'in devrede bulunma süresi, $t_D \geq 3\tau_2$ 'dir.

İkincisinde ise LED üzerinden sadece belli bir süre içinde akım geçirilir, kondansatör tam olarak boşalmaz. LED'in devrede bulunma süresi $t_D < 3\tau_2$ 'dir.

Birinci durumu inceleyelim. Şekil 4.9'da birinci durumu açıklayan zaman diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4.9:
LED'in devrede bulunma süresi $t_D \geq 3\tau_2$ olduğu durum için zaman diyagramları.

Bu durumda LED üzerinden akan akım,

$$I_L = C \frac{dU_C}{dt} = -\frac{U_{CC} - (U_L + U_{CE(SAT)})}{R_L} \left[\exp\left(-\frac{t}{R_L C}\right) \right] \quad (39)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $U_{CE(sat)}$; tranzistörün doyma gerilimidir. $\tau_2 = R_L C$, $t_D = R_L C$, $t_B = 3RC$ olarak kabul edersek, LED üzerinden akan ortalama akım,

$$I_{AVG} = \frac{1}{T} \int_0^T I_L dt = \frac{U_{CC} - (U_L + U_{CE(SAT)})}{R_L} \frac{R_L C}{t_D + t_B} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_D}{R_L C}\right) \right] \approx 0.317 \frac{U_{CC}}{R_L} \frac{t_D}{t_D + t_B} \quad (40)$$

şeklinde bulunabilir. Devrenin çalışma frekansı aşağıdaki denklemden bulunabilir.

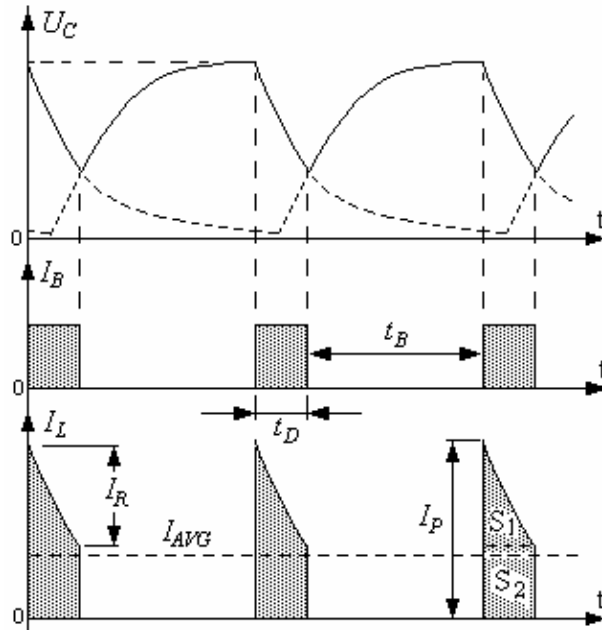
$$f_T = \frac{I}{3C(R_L + R)} \quad (41)$$

Son denklemden görüldüğü gibi şarj direncinin değeri R ne kadar büyük ise çalışma frekansı o kadar küçük olur. Besleme kaynağının iç direncinin etkisini azaltmak için şarj direncinin değeri oldukça büyük seçilir. LED üzerinden akıtılan kısa süreli darbeleri akımın değerinin büyük olması için akım belirleyici direncin değeri oldukça küçük seçilir. Böylece $R \gg R_L$ kabul edebiliriz ve $R_L \approx 0$ alabiliriz. Böylece çalışma frekansı tamamen şarj direncinin değerine bağlı olur.

$$f_T = \frac{I}{3RC} \quad (42)$$

Bu anahtarlama modunun dezavantajı LED üzerinden akan akımın kare şeklinde olmamasıdır. Bu nedenle fotoalıcıda elde edilen foto işaret değişik görüntülere sahiptir [29].

İkinci durumu inceleyelim. Şekil 4.10'da bu anahtarlama modunu açıklayan zaman diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4.10.

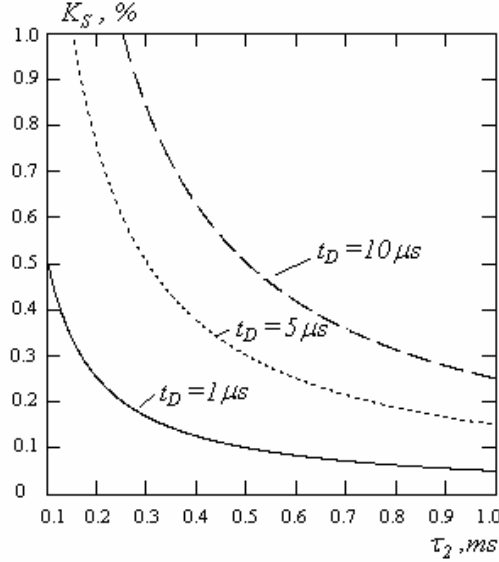
LED'in devrede bulunma süresi $t_D < 3\tau_2$ olduğu durum için zaman diyagramları.

Burada S_1 ; darbenin kare olmayan bölgesinin alanı, S_2 ; darbenin kare olan bölgesinin alanı, I_B ; sürücü akım, I_R ; LED üzerinden akan akımın kare olmayan bölgesinin genliğidir.

Bu durumda LED üzerinden akan darbeleri akım iki bölgeden (kare olan ve kare olmayan bölgeler) oluşmaktadır. LED ile oluşturulan darbeleri ışınlar fotoalıcı ile algılanır ve darbenin üst kısmında bozulmalar olur. Besleme devresinin optimal seçilmesi için bu iki alanın oranına ihtiyaç vardır. Bu S_1 ve S_2 alanlarının yüzde olarak oranı,

$$K_S = \frac{S_1}{S_2} \cdot 100 = \frac{\int_0^{t_D} I_L dt - t_D(I_p - I_R)}{\int_0^{t_D} I_L dt} \cdot 100 = 1 - \frac{t_D \exp\left(-\frac{t_D}{R_L C}\right)}{R_L C \left[1 - \exp\left(-\frac{t_D}{R_L C}\right)\right]} \cdot 100 \quad (43)$$

şeklinde bulunabilir. Şekil 4.11’de çeşitli darbe süreleri için $K_S=f(t_2)$ grafiği gösterilmiştir. bu grafikten de görüldüğü gibi darbe süresi ne kadar az olursa darbenin üst bölgesindeki bozulma o kadar az olur. Bu durum için LED üzerinden akıtılan darbeleri akımın ortalama değeri,



Şekil 4.11.
Çeşitli darbe süreleri için $K_S=f(t_2)$ grafiği.

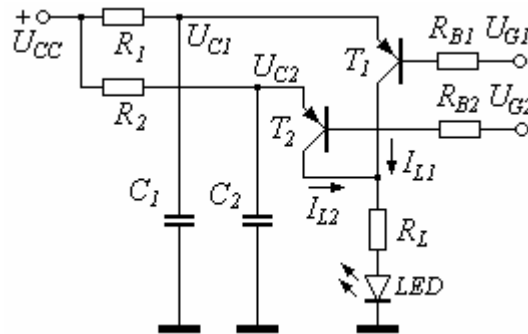
$$I_{AVG} = \frac{I}{T} \int_0^{t_D} I_L dt = \frac{U_{CC} - (U_L + U_{CE(SAT)})}{R_L} \frac{R_L C}{t_D + t_B} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_D}{R_L C}\right)\right] \quad (44)$$

şeklinde bulunabilir. Akımın maksimum değeri ise,

$$I_m = I_N \frac{t_D + t_B}{R_L C} \frac{I}{\left[1 - \exp\left(-t_D/R_L C\right)\right]} \quad (45)$$

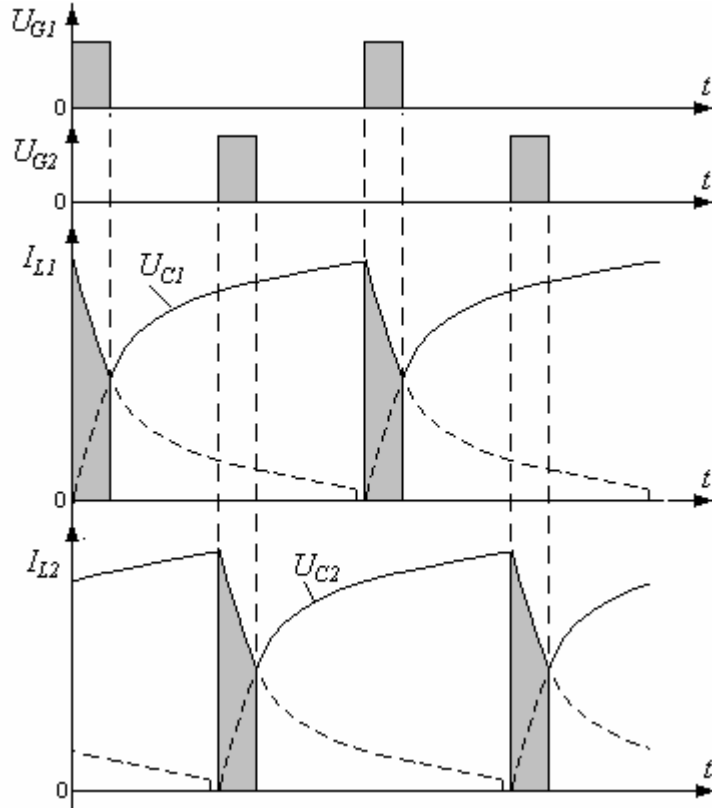
şeklinde olur.

Son denklemden yararlanarak darbeleri akımın istenen darbe süresi için besleme devresini oluşturan elemanların değerleri bulunabilir. Önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerine boşaltma yönteminin en önemli dezavantajı çalışma frekansının düşük olmasıdır. Çalışma frekansını arttırmak için çok kondansatörlü devre kullanılabilir. Şekil 4.12’de örnek olarak iki kondansatörlü devre gösterilmiştir.



Şekil 4.12.
İki kondansatörlü devre.

Burada R_1, R_2 ; şarj dirençleri, U_{C_1}, U_{C_2} ; birinci ve ikinci kondansatör üzerindeki gerilimlerdir ($U_1=U_2$). Burada iki bağımsız C_1 ve C_2 kondansatörü vardır. Bu kondansatörler bağımsız R_1 ve R_2 dirençleri üzerinden şarj olmaktadır ve T_1, T_2 anahtarları ile belli bir aralıkla LED üzerinden boşalmaktadırlar. Şekil 4.13'te iki kondansatörlü devrenin çalışmasını açıklayan zaman diyagramları gösterilmiştir.



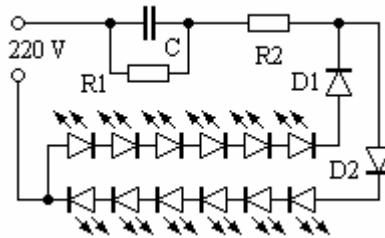
Şekil 4.13.

İki kondansatörlü devrenin çalışmasını açıklayan zaman diyagramları.

Bu durumda çalışma frekansı tek kondansatörlü devreye göre iki kat artar. Kondansatör sayısı artırılarak çalışma frekansı istenilen seviye çıkartılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri devrede kullanılan kondansatörlerin aynı özelliklere sahip olmasıdır. Önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerine boşaltma yöntemi kullanılarak 150A'e yakın darbeli akımlar elde edilebilir [26]. Anahtar elemanı olarak ZTX415 tipi bit transistor kullanılabilir [8].

4.4. Balast kondansatörlü besleme çeşidi

Besleme kaynağının geriliminin kalitesinin çok yüksek olması ve devrenin basit olması isteniyorsa balast kondansatörlü metot kullanılabilir [30]. Şekil 4.14'te balast kondansatörlü devrenin şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.14.

Balast kondansatörlü besleme çeşidi.

Burada C ; balast kondansatörü, R_1 ; deşarj direnci, R_2 ; akım sınırlayıcı direnç, D_1 ve D_2 ; doğrultucu diyotlardır. Kondansatörün kapasitesi istenilen akıma ve seri bağlanmış LED sayısına göre hesaplanabilir. Devrede n adet seri bağlanmış LED var ise kondansatör üzerindeki gerilim,

$$U_C = U_{220} - nU_{LED} \quad (46)$$

şeklinde dir. Burada U_{220} ; şebeke gerilimidir. Devreden akan akım belli ise kondansatör üzerinde düşen gerilim,

$$U_C = I_L \frac{1}{2\pi f C} \quad (47)$$

şeklinde olur. Burada $X_C = 1/2\pi f C$ olup kondansatörün reaktansdır. Böylece (46) ve (47) denklemlerinden hareketle balast kondansatörünün değeri bulunabilir.

$$(U_{220} - nU_{LED}) = I_L \frac{1}{2\pi f C} \quad C = \frac{I_L}{2\pi f (U_{220} - nU_{LED})} \quad (48)$$

Örneğin $U_{220}=220V$, $f=50kHz$, $I_L=0,02A$, ve $n=5$ ise balast kondansatörünün değeri, (48) eşitliği ile $304nF$ olarak bulunur. Standart değerlerden $330nF$ kullanabiliriz. Kondansatörün maksimum çalışma gerilimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$U_K = U_{220} \sqrt{2} = 220V \cdot \sqrt{2} = 311V \quad (49)$$

Böylece 400V'luk kondansatör seçebiliriz. Balast kondansatörü devre dışı olduğunda boşaltmak için kondansatöre paralel olarak $R=1M\Omega$ luk bir direnç bağlanır.

Bu yöntemin dezavantajı devre elemanlarının şebeke geriliminin etkisi altında olmasıdır.

5. SONUÇLAR

Makalenin amacı yarıiletken ışın vericilerin bağlantı şekillerinin ve besleme çeşitlerinin araştırılması, incelenmesi, mühendislik çalışmaları için gerekli analizin geliştirilmesidir.

Yarıiletken ışın vericilerin bağlantı şekilleri ve besleme çeşitleri incelenmiştir. Yarıiletken ışın vericilerin birbirleri ile belli bir şekilde bağlanmasının amacı ışın gücünün artırılması, ışın veren yüzeyin alanının artırılması, farklı spektrumlu ışın verici oluşturulması, güvenli çalışmanın sağlanmasıdır. Araştırmalar göstermektedir ki bağlantı şekilleri teknoloji ve ayırık elemanların birbirleri ile bağlanması yöntemleri ile gerçekleştirilir. Teknoloji ve ayırık elemanlarla olabilecek bağlantı şekilleri gösterilmiştir. Bağlantı şekillerinin avantajları ve dezavantajları gösterilmiştir.

Yarıiletken ışın vericilerin besleme çeşitleri ele alınmıştır ve DC, darbeli, multiplikatif ve fonksiyonel besleme çeşitleri mevcuttur. Her bir besleme çeşidini açıklayan devreler ve zaman diyagramları verilmiştir. Her bir besleme çeşidinin uygulanması için gerekli denklemler ve pratik bilgiler verilmiş, uygulama alanları verilmiştir.

Yarıiletken ışın vericilerin besleme kaynağına bağlanma metotları incelenmiştir. Doğrudan besleme kaynağına bağlama, gerilim yükseltici veya gerilim düşürücü ile bağlama, önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerine boşaltılması ile bağlama ve balast kondansatörü ile bağlama metotlarının olduğu gösterilmiştir. Her bir metodun avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları gösterilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Bergh, A. A., Dean, P. J., "Light Emitting Diodes", Clarendon, Oxford, 1976, 506p.
2. Coldren, L.A., Corzine, S.W., "Diode lasers and photonic integrated circuits", Wiley, New York, 1995. p.110.
3. Klingshiru, C.F., "Semiconductor optics", Springer, Berlin, 1995, p. 184.
4. Siemens, Photodetectors and IR Emitters, Data Book 1994/95, p. 171.
5. Endel Uiga Optoelectronics Prentice Hall, New Jersey Columbus, Ohio, 1995, p. 102.
6. Musayev E., "Optoelektronik Devreler ve Sistemler", Birsen Yayınevi İstanbul, 1999, 285s.
7. ZXSC100 Single Cell DC-DC Converter LED Driving Applications. App. Note 33, Issue 1, January 2001.
8. ZTX415 Avalanche Mode Transistor, App. Note 8, Issue 2 January 1996, www.zetex.com
9. A compact high Current Driver fot semiconductor diode Lasers, Suitable for Laser Radar (LADR) Applications, www.winbmdo.com
10. Ari Kilpela, Jula Kostamovaara. A Laser Puslar for TOF Laser radar. University of Oulu, Electronics Laboratory, Finland, 2004, 17p.
11. LED Driver Applications for Portable Products. Application Engineer M.Calvert AN-23 Microsemi Integrated Products., 2000, p.1-12.

12. 1060 nm Indium Gallium Arsenide Infrared Surface Emitters for Pulsed or Continuous DC Operation. EGG Canada Ltd., Optoelectronics Division, January 1, 1991 p.1-4.
13. Luxeon Star. Basic Driver Circuits for Evaluating Luxeon LEDs. Application Notes, 2004. Electrical Drive Information Luxeon Emitter, App. Notes AB11L.
14. 3A White LED Camera Flash Driver. App. Note MP 1517, Monolithic Power Systems, 27, 2003 pp.1-5, www.monolithicpower.com
15. LED Switching Driver Cuts Current Drag to 3 mA. ID4607, August 7, 2000, www.elecdesign.com
16. Single - Cell Current - Regulated 2 Transistor LED Driver. pp.1-7, <http://tyapo.trypod.com>
17. Togatov V. V., Gnatyuk P. A., and Rezinkin D. G., A High-Frequency Discharge Unit for Pumping Systems of Semiconductor Lasers, Instruments and Experimental Techniques, Vol. 46, No. 5, 2003, pp. 667-671.
18. Step Up Power Switch Supply: Ideal Boost Converter, www.ee.uts.edu.au/~venkat
19. DC-DC Converter Basics, www.powerdesigners.com
20. Musayev E., "Optokuplörler ve Uygulamaları", Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000, 202s.
21. Musayev E., Karlik S. K., "A novel liquid level detection method and its implementation", Sensors and Actuators : A, ELSEVIER, Vol.109, Issues 1-2, December 2003, pp. 21-24.
22. Linear Technology Corporation, LT1932, Constant-Current DC/DC LED Driver in ThinSOT, July 2001, pp. 1-16, www.linear.com
23. Keith Curtis, Buck Configuration High-Power LED Driver, AN874, Microchip Technology Inc, 2003, pp.1-16.
24. Compact Backlight LED Boost Driver, Publication Order Number: NCP5007/D September, 2003 - Rev. 1, pp. 1-22, <http://onsemi.com>
25. Serial LED Driver with Current-Regulated, Step-Up DC/DC Converter, FAN5606, 2003, pp.1-16, www.fairchildsemi.com
26. 150 Amp Pulsed Current Source Operation Manual, Directed Energy, Inc. Pcx-150a, Doc. 9100-0212 R4, 2001, pp. 1-32, www.directedenergy.com
27. Switched-Capacitor Voltage Converters, Maxim Integrated Products, 1994, pp.1-10, www.maxim-ic.com
28. Musayev E., "New Application of Optoelectronic systems that Open Optical channel", Uludag University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, Volume 8, No 1, Bursa, pp.1-9.
29. Вашны Е. "Динамика измерительных цепей", М., «Энергия», 1969, 288 с.
30. Дорофеев М. Бестрансформаторный источник питания с гасящим конденсатором. - Радио, 1995, No. 2, с. 36- 37.