

G-LED UYGULAMALARI İÇİN GÜÇ KATSAYISI DÜZELTİCİLİ TEK KATLI AC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN İNCELEMESİ

Hasan Yılmaz¹

Ahmet M. Hava²

¹Bahar Aydınlatma
Demirhenderek cad. No: 20 Siteler, Ankara
Hasan@baharaydinlatma.com.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, Balgat, 06531 Ankara
hava@metu.edu.tr

Öz- Bu bildiriye, G-LED uygulamalarında kullanılan geleneksel tip AC/DC sürücü devreleri özetlenmiş ve modern güç katsayısı düzelticili (GKD'li) AC/DC dönüştürücüler değerlendirilmiştir. Günümüzde kullanılmaya başlanan ve geleneksel tip dönüştürücülere göre üstünlükleri olan, tek katlı GKD'li devreler özetlenip, araştırmalar sonucu, benzerlerine göre farklılıkları olan ve verim, maliyet, başarımlar gibi üstünlükleriyle öne çıkan tek-katlı özel devre yapıları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu tek katlı devreler; kısmi-aktif, flyback ve SEPIC GKD dönüştürücüleridir. İncelemede devrelerin temel çalışma ilkeleri, temel özellikleri ve prototip uygulamaları anlatılacaktır. Uygulama örnekleri üzerinden devreler arasında boyut, eleman sayısı, verimlilik, toplam harmonik bozulma, değerleri karşılaştırıp değerlendirilecektir.

Anahtar sözcükler- AC/DC dönüştürücü, güç katsayısı, harmonik, güç kalitesi, verim, flyback, SEPIC, GKD, Tek-katlı devre yapıları, LED, G-LED, güç kaynağı.

I. GİRİŞ

Elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir bölümünü genel, endüstriyel ve ev olarak gruplandırılan aydınlatma araçları kapsar. Yapılan araştırmalara göre dünya genelinde, aydınlatmada kullanılan enerjinin toplam elektrik enerjisine oranı % 18 olarak verilmektedir. Elektrik enerji kaynaklarındaki sınırlılık ve artan tüketim nedeniyle aydınlatma sistemlerinde de diğer enerji sistemlerindeki gibi verimlilik gittikçe önem kazanmaktadır. Verimin artması iki farklı araştırmanın sonucudur: ışık kaynaklarındaki gelişmeler ve ışık kaynaklarını sürme devrelerindeki gelişmeler.

Işık kaynağı olarak günümüzde; akkor lambalar, halojen lambalar, flüoresan lambalar ve cıva buharlı lambalar yaygınca kullanılır. Işık kaynakları aynı tip içerisinde renk sıcaklıklarına göre sıralandırılır, farklı tip kıyaslamasında ise fayda katsayısı [ışık akısı/güç(lm/W)] ile kıyaslanır. Örneğin geleneksel ışık kaynağı olan akkor lamba için %2, flüoresan lambalar için bu değer %8 dir.

Onlarca yıldır işaret imleci olarak kullanılan LED (light emitting diode), özellikle son 5-10 yıldaki yarı iletken malzemeler ve üretim teknolojisindeki gelişmeler sonucu yeni bir ışık kaynağı olarak kullanılmaya başlanmakta ve yukarıda özetlenen geleneksel aydınlatma aygıtlarına rakip olmaktadır. Teknolojisi yayılmakta, alandaki araştırmalar hızlanıp genişlemekte, yeni ürünler üretilip, aydınlatma

sektöründe pazar payı hızla büyümektedir. Aydınlatmada uygulamalara göre farklı tiplerde LED üretimi yapılmaya başlanmıştır; yüksek-parlaklıklı LED, güç LED (G-LED), 2-bacaklı, 4-bacaklı, yüzey monte yüksek-parlaklıklı LED. Bu alanda mihenk taşı özelliğinde ticari ürünler yakın zamanda piyasaya sürülmüştür. 2009'da 1000 mA[1] ve 126 lm/W LED özellikli G-LED piyasaya sürülmüştür, 2010 yılında 3000 mA[2] ile sürülebilen G-LED bunu takip etmiştir. G-LED ile birlikte LED teknolojisi, diğer ışık kaynakları ile kıyaslanabilir bir ürüne dönüşmüş ve birçok çeşit aydınlatma armatüründe kullanılır hale gelmiştir. G-LED, flüoresan lambalar gibi cıva içermemesi, yüksek fayda katsayısı (%30), yüksek ışık geri verimleri (Color rendering index, CRI: %80) ve baskı devre kart üzerine uygulanabilir olması ile diğer ışık kaynaklarına göre daha verimli bir ışık kaynağı olmaktadır.

G-LED uygulamalarında tipik çalışma akımı 250 mA ile 700 mA ve çalışma gerilimi 2,5 V ile 4V arasında değişir. G-LED ışık çıktısı uygulanan akım ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla, yaygın olarak G-LED'ler şebekeden beslenen ve çıkışında akımı aydınlatma gereksinimine bağlı olarak denetleyen (uygulamanın gerektirdiği sabit akımla süren) sürücü devreler gerektirir. Her elektronik eleman gibi G-LED'in de, tüketilen gücü ısı olarak yayması gerekir. Tipik olarak 70.000 saatlik ömrü olan G-LED fazla ısınma durumunda çok daha kısa bir süre içerisinde özelliğini kaybeder. Bu şekilde ışık çıktısı %5 seviyelerine kadar düşer ve bir süre sonra kısa devre olur. G-LED uygulamasının doğru ve uzun ömürlü olması için uygun soğutucu tasarımı yapılmalıdır. Özetle G-LED'lerin akım kaynağından sürülmesi ve iyi soğutulması gerekir.



Şek. 1 G-LED güç kaynağı

Aydınlatma uygulamalarında ve G-LED özelinde, besleme kaynağı şebekeden sağlanır. Kaliteli güç tüketimi için, kullanılan güç kaynaklarının şebekeden gerilimle aynı fazda ve temiz sinüs dalga akım

çekmesi, böylece yüksek güç katsayısı ve düşük akım toplam harmonik bozulması ile çalışması gerekir. Aydınlatma ürünlerinde giriş güç kalitesi itibarıyla kullanılacak güç kaynakları için IEC-61000-3-2 standardı tanımlanmıştır ve aydınlatmada kullanılacak güç kaynaklarının 25 W üstü uygulamalarda Sınıf-C, altı uygulamalarda ise Sınıf-D standartlarına uygun olarak üretilmeleri gerekmektedir [3].

Seri veya paralel olarak bağlantı yapılan G-LED ile üretilen farklı tip aydınlatma armatürleri; genel aydınlatma, teknik aydınlatma, çevre aydınlatma ve bina cephe aydınlatma uygulamalarında kullanılır. Uygulamadaki çeşitlilik sebebiyle farklı güçlerde güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Güç elektroniği alanındaki gelişmeler ve özel üretilen tümeleşik devreler ile daha düşük boyutta, daha az devre elemanı ile standartlara uygun güç kaynakları geliştirilmekte ve üretilmektedir.

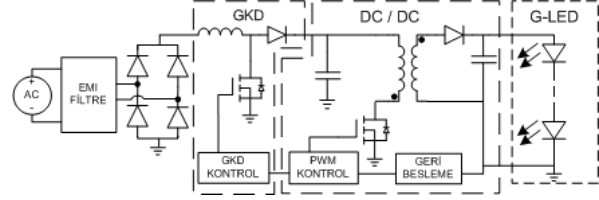
Bu bildiride G-LED uygulamalarında uygulanan güç elektroniği devreleri arasında yapılan araştırma sonucunda, ekonomi ve bakımından öne çıkan tek katlı güç katsayısı düzeltici (GKD) devrelerin çalışma ilkeleri gözden geçirilecek ve başarımları niteliksel olarak değerlendirilecektir. Bildiride sözü geçen devrelerin ayrıntılı niceliksel analizi tamamlayıcı ikinci bir bildiride incelenecektir. Ancak bu bildiride kavramların anlatımı için konuya kaynak bildirilerden, özellikle deneysel boyutta çalışmaları olan yayınlardan dalga biçimleri referans gösterilerek olduğu gibi kullanılacaktır.

II. GELENEKSEL GKD AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

AC/DC güç dönüştürücüleri, AC şebeke gerilimini, yükün gerilim ve akım karakteristiğine göre DC gerilime dönüştürür. Giriş güç katsayısı, etkin gücün, şebekeden çekilen görünür güce oranı olarak tanımlanır. Diyotlu doğrultucu yüklerde, özellikle süreksiz darbe akım dalga şekli olan uygulamalarda güç katsayısı değeri düşer. Güç kaynaklarında, güç katsayısı düzeltme geleneksel olarak aktif GKD devreleri ile gerçekleştirilir. İki kattan oluşan AC/DC dönüştürücü yapısında [4],[5]; ilk kat GKD devresidir, ikinci kat ise G-LED uygulamasına göre ayarlanan ve çıkışında sabit akım veren ve ayrı bir aktif eleman ile kontrol edilen DC/DC dönüştürücü yapısıdır (Şekil 1). Bu GKD devresi, devre yapısı olarak gerilim yükseltici (boost) dönüştürücüdür. Köprü diyot ile DC gerilime dönüştürülen şebeke gerilimi, aktif bir eleman ile kontrol edilerek, 400 V sabit gerilim olarak yükseltilir ve yükten çekilen akıma göre giriş akımının, şebeke gerilimi dalga şeklini takip etmesi sağlanır ve bu şekilde yüksek güç katsayısı elde edilir.

İkinci kat olan DC/DC dönüştürücüde G-LED uygulamaları için yüke sabit-akım verilmelidir. Bu devrelerde genellikle flyback DC/DC dönüştürücü yapısı kullanılır. Akım denetimi için farklı teknikler

kullanılmaktadır [6],[7]; bunlar akım tepe noktası sınırlama, histerezis kontrol ve ortalama akım kontrolüdür. LED üreticileri akım üzerindeki kırırtının %5-20 arası değerden az olmasını tavsiye etmektedir (ışık çıktısında değişim olmaması için), bu yüzden akım denetiminde bu doğruluğun sağlanması gerekir ve sözü edilen akım denetim yöntemleri uygulamada bu gereksinimi başarılı biçimde karşılamaktadır.

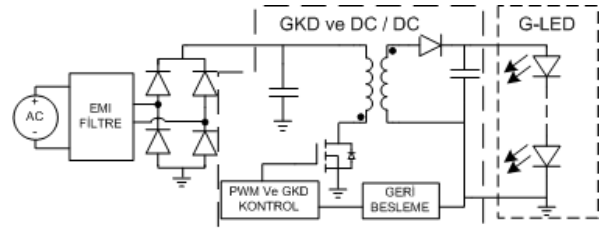


Şek. 2 Geleneksel iki katlı GKD AC/DC G-LED dönüştürücüsü

İki-katlı güç dönüştürücüsü şebeke tarafında yüksek güç kalitesi sağlamaktadır. Fakat iki ayrı katta kullanılan iki farklı devre ile boyut ve maliyet fazla, denetim karmaşık, enerji verimi de sınırlı olur. Fiyatın önemli olduğu düşük güç uygulamalarında bu devre yapısı pek kabul görmemektedir. Uygulamada geleneksel olarak girişi diyotlu doğrultucu olan iki katlı dönüştürücü kullanılmakta (en ekonomik çözüm olduğundan), dolayısıyla giriş güç kalitesi kötü olmaktadır. Ancak hem ekonomik hem yüksek başarımlı GKD dönüştürücülerin geliştirilmesi ile uygulamaların da değişmesi beklenmektedir.

III. MODERN TEK KATLI AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE GKD

Modern uygulamalarda; GKD devresi ve DC/DC katmanı bütünleştirilir, devre tek anahtar ile kontrol edilir ve bu devre yapıları tek-katlı AC/DC dönüştürücü olarak adlandırılır. (Şek.3). Basit ve az elemanlı devre elde edilir. Ancak denetim zorlaşır, zira devrede güç akışı geleneksel GKD yapısından farklıdır. Geleneksel GKD devrelerinde giriş anlık gücü sabit değilken, çıkış anlık gücü sabittir ve aradaki fark DC bara kondansatöründe 100 Hz kırırtı gerilimi oluşturur. Tek katlı yapıda bağlaşımı ayrıştırıcı nitelikteki kondansatör bulunmadığından güçler arasındaki dengesizlik tek anahtarla denetlenir.



Şek. 3 Modern tek katlı AC/DC G-LED dönüştürücüsü

Belirli uygulama zorluklarına rağmen; GKD tek katlı dönüştürücüler, iki katlı dönüştürücülere göre; fiyat, boyut ve uygulama açısından avantajlıdır. Son dönemde geliştirilen özel tip tümleşik devre elemanları ile tek-katlı GKD AC/DC dönüştürücüler yaygın olarak kullanılmaya başlamaktadır [8].

Bu bildiride incelenen tek katlı devreler şunlardır; tek-katlı kısmi aktif GKD AC/DC dönüştürücü, tek-katlı flyback GKD AC/DC dönüştürücü, tek-katlı SEPIC GKD AC/DC dönüştürücüsü.

IV. TEK KATLI GKD DEVRE ÇALIŞMA ŞEKİLLERİ

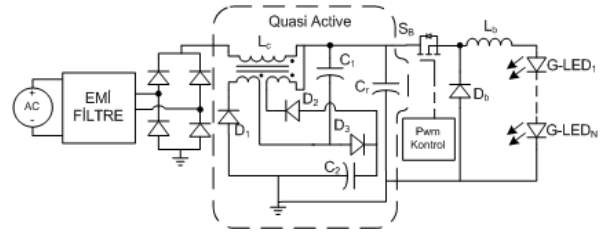
Üç devre yapısı da tek-kat ile standartlara uygun güç-katsayısı ve AC/DC güç dönüşümü sağlamakta, G-LED uygulamalarına göre uygun çıkış vermektedir.

A. Kısmi Aktif GKD Devresi[9],[10]

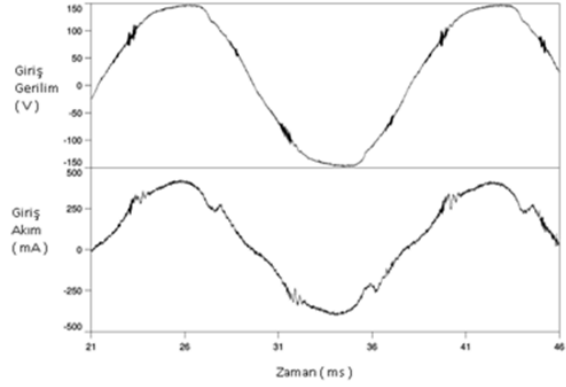
Tek-katlı kısmi-aktif GKD devresinde, GKD bölümü için pasif elemanlar kullanılmış, akım kontrollü ve kesintili kipli (discontinuous mode,DCM) bir DC/DC dönüştürücü kullanılarak (buck, buck-boost, forward, flyback) G-LED için uygun AC/DC güç kaynağı yapısı kurulmuştur. Devrenin üstünlüğü pasif elemanlar kullanılarak GKD sağlanması, basit ve güvenilir bir devre ile yüksek verim sağlanmasıdır. Ayrıca girişte aktif GKD anahtarı ve bunun stresleri (kayıp ve EMI gürültü) ortadan kalkmış olur. Devre çalışmasında iki kip bulunması (doğrudan besleme kipi ve bağlaşımlı yükseltici kipi) giriş çıkış güç dengelemesini kolaylaştırır.

Şebeke geriliminin depo kondansatörleri (C_1, C_2) üzerindeki toplam gerilimden yüksek olduğu durum doğrudan besleme kipi; bağlaşımlı bobin (coupled-inductor, L_c) üzerinden akan akım sayesinde manyetik alanda enerji depolanır, C_1, C_2 ve tınlaşım kondansatörü (resonant capacitor, C_r) şarj edilir ve gerilimleri artar. Bu şekilde yük doğrudan şebekeden beslenir. Şebeke geriliminin C_1, C_2 kondansatör gerilimlerinden düşük olduğu hal ise bağlaşımlı yükseltme kipi. Bu kipte yük C_r üzerinden güç çekerken, C_1, C_2 hem yükü besler hem de L_2, L_3 bağlaşımlı bobinlerinde enerji depolar. Yük kesildiğinde, C_r gerilimi hızla yükselir ve $C_1 + C_2$ ye eşit olduğunda L_2, L_3 kesilir ve L_1 üzerinden C_1, C_2 doldurulur. GKD bölümünün çıkışında kesintili bir güç dönüştürücüsü olan buck (indirici) dönüştürücü ile uygulama yapılmıştır. Pasif devre elemanları ve vadi doldurma diyotları ile giriş akımının şebeke gerilimini takip etmesi başarılı bir şekilde sağlanmıştır [9].

Prototipi [9]'da raporlanan 110 V giriş gerilimli devre, on adet seri bağlı G-LED'i beslemekte ve 30 W çıkış gücü vermektedir. Tam yükte %88.05 verim, 0.99 güç katsayısı ve %9.32 akım THD'si (Şek. 5) sağlanmıştır. Böylece, ekonomik, basit ve yüksek enerji verimli ve güç kaliteli bir devre elde edilmiştir.



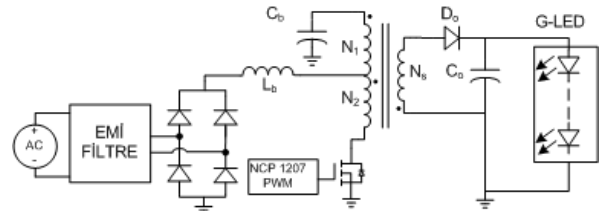
Şek. 4 Kısmi aktif GKD devresi [9]



Şek. 5 Kısmi – aktif GKD devresi dalga şekilleri (giriş gerilimi: üst; giriş akımı: alt) [9]

B. Tek katlı GKD Flyback Devresi [11]

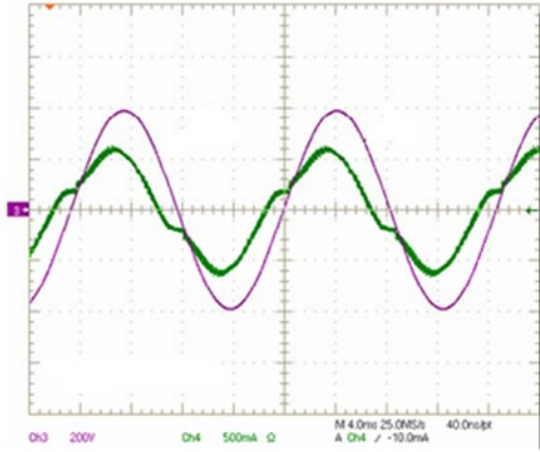
Flyback uygulaması bilindiği gibi birkaç 100 W altında güç kaynaklarında en çok kullanılan devre yapısıdır; evrensel girişe göre tasarım yapılabilmesi, kolay denetlenebilmesi, yalıtım sağlanabilmesi ve ucuz bir çözüm oluşturması sebebiyle tercih edilmektedir. Devrenin çalışma ilkesi basittir; anahtar iletimdeyken trafoda enerji depolanır, anahtar kesimdeyken depolanan enerji çıkışa aktarılır. Devre kesintili iletim kipi (DCM) veya sürekli iletim kipi (CCM) den birinde çalıştırılabilir. DCM kipi trafonun enerjisini tamamen boşaltması ve diyotta ters akım etkisinin olmaması bakımından tercih edilir. GKD flyback devresinde de standart flyback yapısı korunmuştur, fakat devreye birkaç uyarılama yapılarak (Şekil 6) ve farklı bir kontrol yapısı kullanılarak yüksek güç katsayısı elde edilmiştir. Devre elemanları yükseltme bobini (L_b), depo kondansatörü (C_b), tümleşik devre (NCP1207[12]; “Serbest frekanslı Rezonans benzeri Akım Kontrollü PWM kontrolörü”), ve diğer flyback dönüştürücü elemanlarıdır.



Şek. 6 Tek katlı GKD Flyback AC/DC dönüştürücü [11]

Devrenin GKD katında, yükseltme bobini kullanılır ve DCM çalıştırılır. DC/DC katı ise uygun özellikte tümleşik devre kullanılarak DCM/CCM sınırında çalıştırılır. DCM kipinde çalışan yükseltme bobini ile girişten çekilen akım sinüs dalga şekline yakın bir şekilde oluşur ve giriş-akım harmonik değerleri düşer. Bununla birlikte depo kondansatörü (C_b) üzerindeki gerilim kontrol edilemez ve yüksek gerilim değerlerinde (220 Vac) zarar verebilecek seviyelere ulaşabilir, buna çözüm olarak yükseltme bobininin, trafonun birincil sargı bölümünde belirli bir noktaya bağlantı yapılmıştır. Bu bağlantı noktası ve yükseltme-bobininin değeri devrenin doğru çalışması için uygun şekilde seçilmelidir.

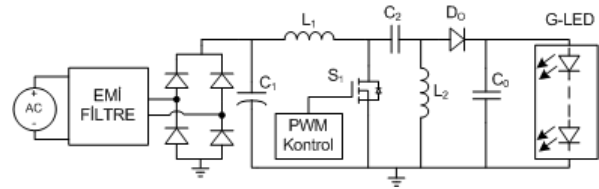
Prototipi [11]'de raporlanan 220V giriş gerilimine sahip devrede yük olarak yedi seri-bağlı ve dört paralel hattan oluşan 89W güç tüketen G-LED kullanılmıştır. Devrenin; GK, THD, verim ve C_b kondansatör gerilim değerleri; 0,95, 12,72%, 90,39% ve 362 V olarak ölçülmüştür (Şek. 7).



Şek. 7 Tek katlı GKD Flyback AC/DC dönüştürücüsü dalga şekilleri (giriş gerilimi: mor; giriş akımı: yeşil) [11]

C. Tek katlı Sepic Dönüştürücü Devresi [13]

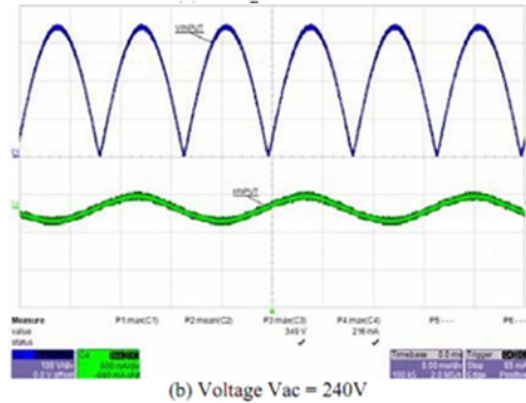
SEPIC devre yapısının gerilim yükseltme ve alçaltma özelliği vardır; farklı çıkış akımları için çok yüksek güç katsayısı sağlaması, geniş giriş ve geniş çıkış gerilim aralığı uygulamalarında rahatça kullanılabilmesi ile avantajlı bir devre yapısıdır, fakat diğer incelenen devrelere göre düşük verimlidir. Şekil 8'deki devrede SEPIC devre yapısı korunmuştur. Özel bir tümleşik devre (ISL6745[14]) kullanılarak ve uygun değerlikli malzeme seçimi ile standartlara uygun ve G-LED sürülmesinde kullanılacak devre elde edilmiştir. Devrenin aynı zamanda ışık kısma özelliğini de içermesi ile G-LED uygulaması odaklı bir devre yapısı oluşturulmuştur.



Şek. 8 Tek katlı SEPIC dönüştürücü devresi [13]

Devre elemanlarından; C_1 kondansatörünün değeri düşüktür; bu şekilde doğrultulmuş AC gerilim, düzgün bir şekilde takip edilebilmektedir. C_1 ve C_2 üzerindeki gerilim eşit varsayılarak tasarım yapılmaktadır. Eğer bu gerilimler arasında farklılık olursa devre de dengesizlikler oluşur.

DCM çalışacak şekilde tasarlanan devre, üç hal içerisinde incelenir. İlk olarak aktif anahtar iletime geçtiğinde bobinler üzerinde enerji depolanır ve yük çıkış kondansatörü üzerinden beslenir. Anahtar kesime gittiği zaman, çıkış diyotu iletime geçer ve bobinler üzerindeki enerji çıkışa aktarılır ve yük girişten beslenir. Son olarak DCM kipinin özelliği olarak kısa bir süre ölü zaman oluşur ve iki anahtarında kapalı olduğu bu zaman dilimi boyunca C_1, C_2, L_1, L_2 devre elemanları arasında tınlama devresi oluşturulur.



Şek. 9 Tek katlı SEPIC GKD'nin dalga şekilleri [13] (doğrultulmuş giriş gerilimi: mavi; giriş akımı: yeşil)

Prototipi [13]'de raporlanan 220V giriş gerilimine sahip devrede yük olarak yirmi bir seri-bağlı G-LED kullanılmıştır. LED yük akımı 0 ile 400 mA arasında değiştirilebilir, bu şekilde en yüksek güç 40 Watt olabilir. Devrenin; GK, verim değerleri; 0,98, 80% olarak ölçülmüştür (Şek. 7). Uygulamada farklı akım değerlerine (farklı yük) göre yapılan ölçümlerde yüksek güç katsayısı elde edilmiştir, bununla birlikte farklı giriş geriliminde yapılan analizlerde de yüksek güç katsayısı değerleri ölçülmüştür fakat devre verimi diğer devrelere göre düşüktür, aynı zamanda anahtar üzerinde yüksek gerilimde anahtarlar oluşmaktadır. Bu devre yapısı ile standartlara uygun ve G-LED yükü için kullanılabilir bir devre oluşturulmuştur.

V. TEK KATLI GKD DEVRE KIYASLAMA

Kısmi-aktif GKD devresi; yüksek gerilim bölümünde anahtarlar veya kontrol ihtiyacı olmaması, DC/DC bölümünde herhangi bir kesintili devre yapısının kullanılabilmesi, GKD bölümünde pasif elemanlar kullanıp, yüksek güç katsayısı, yüksek verim ve güvenilirlik sağlaması ile üstün bir devre yapısıdır. Fakat diğer devreler arasında en fazla devre elemanını içermesi ve yüklemeye değişen başarımla yönüyle dezavantajlı bir devredir. Kısmi-aktif devre verimliliğin önemli olduğu uygulamalarda kullanılabilir, aynı zamanda herhangi bir DC/DC dönüştürücünün öncesinde uygulanabilmesi itibarıyla avantajlıdır.

Flyback devresinin yalıtım sağlaması ve az devre elemanı kullanılması, dolayısıyla ucuz bir çözüm olması yönüyle diğer devrelere göre avantajlıdır. Yük performansı başarılıdır ve ikincil tarafta her hangi bir kontrol ihtiyacı olmadan G-LED'i başarılı bir şekilde sürmesiyle iyi bir çözüm olmaktadır. Devrenin çalıştırılması için uygun bir tümleşik devre kullanılması şarttır ve evrensel giriş gerilimine uygun değildir. Alçak ve yüksek gerilim için farklı değerlerde yükseltme bobini kullanılması gerekmektedir. Bu sorunun çözümü için [15]'te değeri kontrol sistemi ile ayarlanabilen bobinin kullanımı önerilmiştir.

SEPIC devresi, geniş giriş gerilimine göre tasarım yapılabilmesi, yüksek güç katsayısı sağlaması ve uygulamanın, güncel uygulamalara benzemesi yönüyle avantajlıdır. Bununla birlikte bu devre yapısında da özel bir tümleşik devre kullanılması gerekmektedir. SEPIC devresi, diğer devrelere göre uygulama odaklı bir devredir, ışık kısılabile özelliği ve geniş giriş geriliminde kullanılabilmesiyle doğrudan olarak uygulanabilecek bir çözümdür.

VI. SONUÇ

G-LED üretim ve kullanım amacı, aydınlatma alanında daha verimli enerji tüketimi ve aydınlatma armatürlerinin üretim sisteminin kolaylaştırılmasıdır. Bununla birlikte G-LED için kullanılan güç elektroniği devresinin de enerji verimliliği, şebeke güç kalitesi, ekonomiklik ve uygulanabilirlik bakımından tamamlayıcı olması gerekir. Tek katlı AC/DC güç elektroniği dönüştürücü devrelerinden, enerji verimliliği ve güç kalitesi bakımından öne çıkan; kısmi-aktif, flyback ve SEPIC devreleri ve bunların uygulamaları incelenmiş ve G-LED yüküne uygunluğu değerlendirilmiştir. Kısmi-aktif uygulama birçok üründe kullanılan DC/DC G-LED sürme devresinin önünde farklı bir tasarım gerektirmeden kullanılabilir. Flyback devresi ise yük değişiminin önemli olduğu ve ucuz maliyetli çözümün şart olduğu (özellikle düşük güç) uygulamalarda kullanılabilir. SEPIC devresi ise geniş giriş gerilimi aralığında çalışmanın gerekli olduğu, verimliliğin ise çok öncelikli olmadığı durumlarda kullanılabilir.

İncelenen tek katlı GKD AC/DC dönüştürücü devreleri, G-LED uygulamaları için iyi bir çözüm olmaktadır. Bu devrelerin tasarımı ve başarımlarının geliştirilmesi çalışmalarını dünya genelinde devam ettirmektedir.

REFERANSLAR

- [1] www.philipslumileds.com/products/luxeon-rebel/luxeon-rebel-white.
- [2] <http://www.cree.com/products/qlamp.asp>.
- [3] Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), International Standard IEC 61000-3-2, 2001.
- [4] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A review of single-phase improved power quality AC-DC converters" *IEEE Trans. Indus. Electron.*, vol. 50, no. 5, pp. 962-981, October 2003.
- [5] Zhongming Ye; Greenfeld, F.; Zhixiang Liang, A topology study of single-phase offline AC/DC converters for high brightness white LED lighting with power factor pre-regulation and brightness dimmable, IECON 2008, Nov. 2008, pp 1961 – 1967.
- [6] B. Ackermann, V. Schulz, C. Martiny, A. Hilgers, X. Zhu, "Control of LEDs" IAS Conference, 2006. 41th IAS Annual Meeting. Conf. Rec. of the 2006 IEEE Oct. 2006.
- [7] Heinz van der Broeck, et al., "Power driver topologies and control schemes for LEDs", IEEE APEC 2007, Feb. 2007, pp. 1319-1325.
- [8] C. Qiao and K. M. Smedley, "A topology survey of single-stage power factor corrector with a boost type input-current-shaper," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 16, no. 3, pp. 360–368, May 2001.
- [9] K. Zhou, J. G. Zhang, and S. Yuvarajan, "Quasi-active power factor correction circuit for HB LEDdriver," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 3, pp. 1410 - 1415, May 2008.
- [10] D. F. Weng, "Quasi-active power factor correction circuit for switching power supply," U.S. Patent #6 909 622, Jun. 2005.
- [11] Y. Hu, L. Huber and M. M. Jovanovic, "Single-stage flyback power-factor-correction front-end for HB LED application," *Proc. of IAS 2009*, Oct. 2009.
- [12] ON Semiconductor, "90 W, universal input, single stage, PFC converter," [www.onsemi.com/pub_link/Collateral/ AND8124-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AND8124-D.PDF), Dec. 2003.
- [13] Z. Ye, F. Greenfeld, and Z. Liang, Design considerations of a high power factor SEPIC converter for high brightness LED applications, , *Power Electronics Specialists Conference 2008*, June 2008, pp 2657-2663 J.
- [14] Intersil, "White LED Driver Circuits for Off-line Applications using Standard PWM controllers" www.intersil.com/data/an/an1387.pdf, Feb. 2009.
- [15] Y. Hu, L. Huber and M. M. Jovanovic, "Universal-Input Single-Stage PFC Flyback with Variable Boost Inductance for High-Brightness LED Applications," *APEC 2010*.