



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTMELİ GÜÇ LED SÜRÜCÜ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Yusuf GÜRBÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

Haziran-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Yusuf GÜRBÜZ

26 / 06 / 2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTMELİ GÜÇ LED SÜRÜCÜ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Yusuf GÜRBÜZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan AKKAYA

2012, 99 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Ramazan AKKAYA
Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Yrd. Doç. Dr. A. Afşin KULAKSIZ

Günümüzde güç LED'leri, geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre uzun ömür, dayanıklılık ve yüksek verimleri nedeni ile aydınlatma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Güç LED'leri yüksek değerde akım çektiklerinden, özel sürücü devrelerine ihtiyaç duyarlar. Bu özel sürücü devreleri, girişlerinde şebekeden harmonikli akımlar çeken ve güç faktörünü düşüren AC-DC dönüştürücülere sahiptir. Bu dönüştürücüler yerine aktif PFC'li AC-DC dönüştürücüler kullanılarak şebekenin güç faktörü 1'e yaklaştırılır ve şebekeden harmonik içeriği azaltılmış sinüs'e yakın akımlar çekilerek güç kalitesi düzeltilebilir.

Bu çalışmada, güç faktörü düzeltmeli doğrultucu ile şebekeden çekilen harmonikli akımların harmonik içeriğini azaltan ve giriş güç faktörünü düzelterek güç LED'lerini süren boost dönüştürücülü harici ve flyback dönüştürücülü dahili PFC'li iki farklı devre tasarlanmış ve pratik olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki devre PSpice ortamında simüle edilmiş, simülasyon ve deneysel sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Dahili PFC'li güç LED sürme devresinin harici PFC'li devreye göre çalışılan güç seviyesi için daha düşük harmonik ve daha yüksek güç faktörü sağladığı ve her iki devrenin EN 61000-3-2 C sınıfı standardını karşıladığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Boost, Buck, EN 61000-3-2, Flyback, Güç LED Sürücü, PFC, Güç Faktörü, PSpice.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND REALIZATION OF POWER LED DRIVER WITH POWER FACTOR CORRECTION

Yusuf GÜRBÜZ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELCUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan AKKAYA

2012, 99 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Ramazan AKKAYA
Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Assist. Prof. Dr. A. Afşin KULAKSIZ

Nowadays power LEDs are commonly used in lighting sector because of their advantages like durability, long life time and high efficiency comparing to traditional light sources. Since power LEDs draw high current, they need special driver circuits. These special driver circuits have AC-DC converters which decrease the power factor and draw currents with harmonics from AC mains. These problems can be eliminated by using AC-DC converter which includes active PFC and thus, power LED driver circuit draws a current which has nearly pure sinusoidal waveform from AC mains and power factor is improved.

In this study, two different active PFC circuit topologies have been designed and realized. One of them contains an external PFC with boost converter and the other one contains an internal PFC with flyback converter. They drive the power LEDs by decreasing the current harmonic contents and correcting the input power factor. Both of the circuits are simulated with PSpice and it has been seen that simulation and experimental results were in agreement. For the same power level (20W), lower harmonics and higher power factor is obtained with power LED driver which has internal PFC circuit compared to the external PFC. Both of the circuits meet the EN 61000-3-2 class C standard.

Keywords: Boost, Buck, EN 61000-3-2, Flyback, Power LED Driver, PFC, Power Factor, PSpice

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bilgilerini, yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ramazan AKKAYA' ya ve beni her zaman destekleyen bana yardımlarını esirgemeyen aileme ve eşim Sıddıka GÜRBÜZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf GÜRBÜZ

KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. LED'LER **11**

3.1. LED'lerin Tarihi Gelişimi 11
3.2. LED'lerin Karakteristik Yapıları 13
3.2.1. Akım-gerilim karakteristiği 13
3.2.2. Verim-zaman karakteristiği 13
3.2.3. Akım-ışık şiddeti karakteristiği 14
3.2.4. Sıcaklık-ışık şiddeti karakteristiği 14
3.3. LED'lerde Işığın Dalga Boyu ve Işık Sıcaklığı 15
3.3.1. Dalga boyu 15
3.3.2. Işık sıcaklığı 16
3.4. LED'lerin Kullanım Alanları 17
3.5. Diğer Aydınlatma Teknolojileri 18
3.5.1. Akkor lambalar 18
3.5.2. Akkor halojen lambalar 19
3.5.3. Flüoresan lambalar 20
3.6. Diğer Aydınlatma Teknolojileri ile LED'lerin Karşılaştırılması 20
3.6.1. Ömür 21
3.6.2. Verimlilik 22
3.6.3. Renk 23
3.6.4. Boyut 23
3.6.5. Açma-kapama zamanı 23
3.6.6. Karartma (Dimm) 23
3.6.7. Soğuk ışık 23
3.6.8. Darbelere karşı dayanım 24
3.6.9. Sağlıklı ışık kaynağı 24
3.6.10. Yüksek kurulum maliyeti 25
3.6.11. Gövde sıcaklığı 25
3.6.12. Sürme devresi gereksinimi 25

4. GÜÇ LED'LERİ VE SÜRME DEVRELERİ 26

4.1. Güç LED'leri 26
4.2. Güç LED Sürücüleri 27
4.2.1. Direnç İle Sınırlama Yöntemi 29
4.2.2. Doğrusal Kontrol Yöntemleri 30
4.2.3. Anahtarlamalı kontrol yöntemleri 30

5. GÜÇ FAKTÖRÜNÜN DÜZELTİLMESİ 51

5.1. Güç Faktörü 51
5.2. Harmonik Standartları 55
5.3. Boost Dönüştürücü ile Güç Faktörünün Düzeltilmesi 56
5.3.1. Kritik iletim modunda güç faktörü düzeltme işlemi 58
5.4. Flyback Dönüştürücü ile Güç Faktörünün Düzeltilmesi 60

6. GERÇEKLEŞTİRİLEN GÜÇ LED SÜRÜCÜ DEVRELERİ 67

6.1. Harici PFC'li Güç LED Sürme Devresi 67
6.1.1. PFC devresi 68
6.1.2. Güç LED sürme devresi 69
6.2. Dahili PFC'li LED Sürme Devresi 70
6.3. Devrelerin PSpice Modelleri 72
6.4. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar 73
6.5. Harici ve Dahili PFC'li Güç LED Sürücü Devrelerinin Karşılaştırılması 78

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79

7.1. Sonuçlar 79
7.2. Öneriler 80

KAYNAKLAR 81

EKLER 87

ÖZGEÇMİŞ 89

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

i_L	: Bobin Akımı (A)
i_C	: Kondansatör Akımı (A)
v_L	: Bobin Gerilimi (V)
v_C	: Kondansatör Gerilimi (V)
v_X	: Diyot Gerilimi (V)
V_0	: Çıkış Gerilimi (V)
V_S	: Giriş Gerilimi (V)
N	: Sarım Sayısı
I_f	: LED Akımı (A)
V_f	: LED Gerilimi (V)
λ	: Işığın Dalga Boyu (nm)
f	: Frekans (Hz)
E	: Işık Akısı Yoğunluğu (lx)
I	: Işık Şiddeti (cd)
Ω	: Ohm (ohm)
Φ	: Işık Akısı (lm)
η	: Işık Verimi $(\mathrm{l}m/W)$

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
CCT	: Correlated Color Temperature (Korelasyon Renk Sıcaklığı)
CRI	: Color Rendering Index (Renk Dönüşüm İndeksi)
CFL	: Compact Fluorescent Lamp (Kompakt Flüoresan Lamba)
CrM	: Critical Conduction Mode (Kritik İletim Modu)
CCM	: Continuous Conduction Mode (Sürekli İletim Modu)
DCM	: Discontinuous Conduction Mode (Kesintili İletim Modu)
EMI	: Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LCD	: Liquid Crytal Display (Sıvı Kristal Ekran)
PI	: Proportional Integral (Oransal İntegral)
PF	: Power Factor (Güç Faktörü)
PFC	: Power Factor Correction (Güç Faktörü Düzeltme)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
THD	: Total Harmonic Distortion (Toplam Harmonik Bozulma)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
RGB	: Red-Green-Blue (Kırmızı-Yeşil-Mavi)
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör)

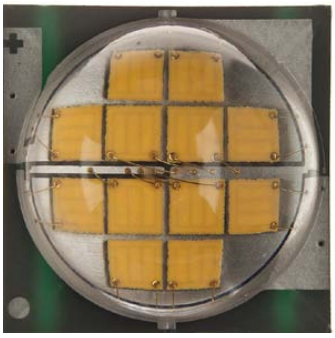
1. GİRİŞ

Dünyada gittikçe artan enerji tüketimi, enerji kaynaklarının daralmasına ve maliyetlerinin artmasına sebep olmuştur. Enerji ihtiyacının % 62'sini ithal etmek zorunda olan ve fosil yakıt kullanarak elektrik enerjisine dönüşüm sağlayan santrallerin toplam veriminin % 30 olduğu ülkemizde enerjinin verimli kullanımının önemi açıkça görülmektedir. (EİE, 2012). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2009 yılında elektrik enerjisinin %44.9'u sanayide, %25'i konutlarda, %15.9'u ticarethanelerde, %4.5'i resmi dairelerde, %2.5'i sokak aydınlatmasında, %2.3'ü tarımsal sulamada ve %4.9'u da diğer amaçlar için kullanılmıştır. Aydınlatmada kullanılan enerjinin payı toplam enerji kullanımına göre azımsanmayacak kadar büyüktür. Dünya genelinde, aydınlatmada kullanılan enerjinin toplam elektrik enerjisine oranı %18 olarak verilmektedir. Tüketimin artması ve elektrik enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle diğer enerji sistemlerinde olduğu gibi aydınlatma sistemlerindeki verim de gittikçe önem kazanmaktadır (Yılmaz, 2010).

Aydınlatmada enerji tasarrufu, görsel konfordan ödün vermeden, gerekli en az aydınlık şiddetinin sağlanması ile elde edilir. Bunun için öncelikle düşük verimli ışık kaynakları yerine yüksek verimli ışık kaynakları kullanılmalıdır. Örneğin klasik bir ampulü az enerji kullanan bir ampulle değiştirmek enerji tüketimini % 80 civarında azaltabilmektedir (Anonim, 2012). Fiyatı en ucuz ampulü seçmek, uzun dönemde para tasarrufu sağlamaz. Çünkü lambanın kullanım ömrü boyunca aydınlatma enerjisi maliyeti, kendisinin alış maliyetinden on kat daha fazla olacaktır. Bu nedenle enerji verimli lambalar başlangıçta pahalıya mal olurken, düşük faturalar ile yatırım kısa sürede kendini amorti eder (EİE, 2012). Türkiye'de 25,698,113 mesken, 3,953,738 ticarethane, 235,598 sanayi tesisi ve 168,333 resmi daire ve 188,281 aydınlatma abonesi vardır. 30 milyon verimsiz lambanın verimli lamba ile değiştirildiği senaryoda yaklaşık 2,4 milyar kWh yıllık enerji tasarrufu ve 1,2 milyar ton CO_2 salınımının engelleneceği hesaplanmaktadır (TEVEM, 2010).

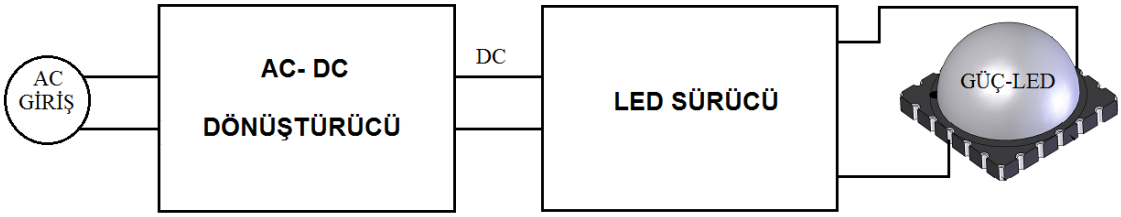
Aydınlatma sistemlerinin yüksek enerji kullanımlarından doğan maliyetlerini düşürmek için alternatif aydınlatma sistemleri üzerinde çalışılmaya başlanmış ve klasik aydınlatma sistemlerine göre düşük enerji tüketimi, uzun ömür, sağlamlık, küçük boyut, yoğun ışık yayma, karartma yapılabilme, dayanıklılık ve güvenilirlik gibi

avantajlara sahip olan LED armatürler insanların kullanımına sunulmuştur. Son 10 yıldır yarı iletken malzemeler ve üretim teknolojisindeki gelişmelerle birlikte LED'in veriminin ve parlaklığının artmasından dolayı yeni nesil ışık kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. LED teknolojisi her geçen gün daha da ilerlemekte ve yeni ürünler üretilip, aydınlatma sektöründe pazar payı hızla büyümektedir. Dünya çapında yeni nesil LED pazarı 2009'da 5.6 milyar dolar iken, 2010'da %93 oranında artış göstererek 10.8 milyar dolara yükselmiştir. Yeni nesil LED'lerin 2015 yılına kadar pazar payının 18 milyar dolar seviyesine ulaşması beklenmektedir (Shum, 2011). Yeni nesil LED'ler kullanım alanlarına ve üretici firmalara göre, Power LED (güç LED), High Power LED (yüksek güçlü LED), High Brightness LED (yüksek parlak LED) ve Ultra High Brightness LED (çok yüksek parlak LED) olarak da adlandırılmaktadırlar. Yeni nesil LED'lerin güç LED'leri diye adlandırılmasının nedenlerinden birisi de standart LED'lere göre yüksek akımlarla sürülmeleridir. Örneğin Şekil 1.1'de görülen Cree firmasının $99lm/W$ etkinliğe sahip XLAMP MTG serisi beyaz LED'i 4000mA ile sürülebilmektedir (Cree, 2012).



Şekil 1.1. Cree XLamp MTG

Güç LED'lerinin yüksek değerde akımlarla sürülmelerinden dolayı jonksiyon sıcaklıkları önemli miktarda yükselir. Jonksiyon sıcaklığının izin verilen en büyük sıcaklık değerini aşmaması gerekir. GaAs LED'lerde bu sınır 125^0C kadardır. Sıcaklık arttıkça güç LED'in verebildiği ışık şiddeti azaldığından daha fazla ışık şiddetinin elde edilebilmesi için jonksiyon sıcaklığının düşük değerlerde kalması gerekir (Özütürk, 2002). Jonksiyon sıcaklığının artması, güç LED'ini verimli kılan en önemli özelliğin ortadan kalkmasına ve ömrünün de azalmasına neden olacaktır. Güç LED'lerinin jonksiyon sıcaklıkları akım ile doğru orantılıdır. Bu nedenle güç LED'leri akım sınırlamalı güç kaynakları ile sürülmelidirler. Şekil 1.2'de temel bir güç LED sürme devresi prensip şeması görülmektedir.



Şekil 1.2. Güç LED sürme devresi prensip şeması

Çıkış durumuna göre güç LED'lerini sürmek için kullanılan çeşitli anahtarlamalı dönüştürücüler mevcuttur. Ancak geleneksel anahtarlamalı dönüştürücüler yüksek güç faktörü sağlayamazlar. Genellikle hat gerilimi ve hat akımı arasında bir faz farkı vardır ve hat akımında harmonik bozulma mevcuttur (Ye ve ark., 2008). Bunun anlamı besleme kaynağının gücünün terminal ekipmanlar tarafından tam verimle kullanılamaması demektir. Bu nedenle son yıllarda LED'li aydınlatmalarda güç faktörü düzeltme (PFC) tekniği geliştirilmiştir (Chern ve ark., 2010). Aydınlatma sistemlerinde kullanılacak güç kaynakları için EN/IEC 61000-3-2 standardı tanımlanmıştır ve $25W$ üstü uygulamalarda Sınıf-C, altı uygulamalarda ise Sınıf-D standartlarına uygun olarak üretilmeleri gerekmektedir (Yılmaz, 2010). Avrupa Birliği ülkelerinde, PFC'siz güç LED sürücüler, EN 61000-3-2 standartlarına uymadığından kullanılmamaktadır (Basu, 2004; Yurtseven ve ark., 2011).

Avrupa da, şebekeye bağlanan her hangi bir cihaz, kanunen EN-61000-3-2 standardında verilen giriş hat akımı harmonik sınır değerlerini sağlamak zorundadır. Bu standarda göre giriş akım harmoniklerinin sınırlanması yeterli olduğundan birim güç faktörünün sağlanması gerekli değildir. Bununla birlikte, standarttaki birçok değişiklikler ile standardı anlamak, standarda uygun PFC tekniklerini değerlendirmek ve toplam maliyet ile performansı optimize etmek önemlidir (EPSMA, 2010; Sebastián, 2003).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, iki farklı güç faktörü düzeltmeli güç LED sürücü devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 1'de verimli enerji kullanımının gerekliliği, güç LED'leri ve güç LED sürme devrelerine genel bir giriş yapılmıştır.

Bölüm 2'de güç LED'leri, güç LED'i sürme devreleri ve güç faktörü düzeltme devreleri tasarımı konusunda daha önce yapılan bilimsel çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bölüm 3'te LED'lerin tarihsel gelişimi, güç LED'lerinin önemi ve güç LED'lerinin diğer aydınlatma kaynakları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Bölüm 4’te güç LED sürme devrelerinden lineer güç LED sürme devresi, anahtarlamalı güç LED sürme devresi anlatılmıştır.

Bölüm 5’de güç faktörü ve güç faktörü düzeltme prensipleri anlatılmıştır.

Bölüm 6’da 2 farklı güç faktörü düzeltmeli güç LED sürme devresinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Gerçekleştirilen devrelerin şemaları ve çalışma prensipleri ayrıntılı olarak açıklanarak, deneysel ve simülasyon sonuçları verilmiştir.

Bölüm 7’de bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve konuyla ilgili çalışma yapmak isteyebilecek araştırmacılar için öneriler yer almaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Musayev (2005) tarafından yapılan çalışmada, LED'lerin birbirleri ile bağlantıları, teknolojik (bir kılıf içerisinde birkaç kristalin yerleşimi) ve ayrık elemanların birbirleri ile seri, paralel ve seri-paralel bağlantı olmak üzere çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir olduğunu göstermiştir. LED'lerin besleme kaynağına bağlama metotlarını ve çeşitlerini açıklamıştır. Doğrudan besleme kaynağına bağlama metodu, gerilim yükseltici ve gerilim düşürücüler ile besleme metodu, önceden doldurulmuş kondansatörü LED üzerine boşaltma metodu ve balast kondansatörlü besleme metotlarını açıklamıştır.

Bay ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada, Sinirsel bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak anahtarlamalı güç kaynağının güç faktörü düzeltmesi sunulmuştur. Anahtarlamalı güç kaynağının, güç faktörü düzeltme biriminde ortalama akım denetim tekniği, gerilim düşüren dönüştürücü biriminde akım mod denetim tekniği kullanılmıştır. Kıyaslama yapmak için, önerilen anahtarlamalı güç kaynağı aynı zamanda geleneksel oransal integral (PI) denetleyici kullanılarak da denetlenmiştir. Bu iki denetleyicinin başarımı bilgisayar benzetimleri ile karşılaştırılmış ve sinirsel bulanık mantık denetleyicili anahtarlamalı güç kaynağının, PI denetleyicili anahtarlamalı güç kaynağına göre daha hızlı dinamik cevaba sahip olduğu ve daha iyi bir güç faktörü düzeltmesi yaptığını göstermişlerdir.

Aslan ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada, yükseltici tip bir AC-DC dönüştürücünün kayma mod kontrollü güç faktörü düzeltimi benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bunun için kayma mod kontrol temel prensibi verilerek, AC-DC dönüştürücü anahtarlama elemanının durumuna göre sürekli durum analizi ile dinamik davranışı incelenmiştir. Bu incelemede, akım ile gerilim arasındaki güç faktörü ilişkileri verildikten sonra yükseltici tip AC-DC dönüştürücünün kayma mod kontrollü güç faktörü düzeltimi için ifadelerini türetmişlerdir. MATLAB paket programı kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarını vermişlerdir. Benzetimi, değişik indüktans ve yük değerleri için yaparak, bu parametrelerdeki değişimlerin etkisini incelemişlerdir. Karşılaştırma amacıyla kayma mod kontrolör bir PI kontrolörle değiştirip sonuçları incelemiş ve kayma mod kontrolörlü sistemin cevabının PI kontrolöre göre daha iyi olduğunu benzetim sonuçlarıyla göstermişlerdir.

Ünal (2006) tarafından yapılan çalışmada, yaygın olarak kullanılan güç katsayısı düzeltmeli tek faz tam köprü diyotlu doğrultucuların güç kalitesi özelliklerini incelemek için eğitim test seti tasarlamış ve gerekli test düzeneklerini geliştirmiştir. Eğitim amaçlı olarak da kullanılabilecek bu sistem tek fazlı diyotlu doğrultucular için aktif ve pasif çözümleri içermektedir. Pasif çözümler olarak DC tarafa yerleştirilen endüktans filtre ile tuzak filtre yöntemlerini incelemiş ve kullanmıştır. Aktif yöntem olarak tek anahtarlı gerilim yükseltici dönüştürücü devresini kullanmıştır. Yapılan bütün uygulamalar için teorik ve bilgisayar benzetimine dayanan analizleri, donanımsal olarak gerçekleştirmiş ve üzerinde ölçümler alınabilecek seviyeye getirmiştir. Aktif güç katsayısı düzeltici devresinde çeşitli denetim yöntemlerini uygulamış ve karşılaştırmıştır.

Winder (2008) tarafından yapılan çalışmada, LED'lerin karakteristikleri, uygulama alanları, eşdeğer devresi, LED sürme yöntemlerinden, lineer güç kaynakları ile LED sürme ve anahtarlamalı güç kaynakları ile LED sürme yöntemleri incelenmiştir. Anahtarlamalı LED sürme yöntemleri olan buck, boost ve buck-boost temelli LED sürme yöntemleri, LED sürme devrelerinde güç faktörü düzeltme yöntemleri ve flyback dönüştürücüler incelenerek uygulama devre örnekleri anlatılmıştır.

Sevindirici (2008) tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olmayan yüklerin ve dönüştürücülerin, giriş güç faktörü ve toplam harmonik bozulma üzerindeki etkileri incelenmiş ve AC sistemlerin güç kalitesini iyileştirmede, güç faktörü düzeltme tekniklerinin kullanımı araştırılmıştır. Bu araştırmada, 200 Watt'lık yükü besleyen ve sürekli iletim kipinde çalışan akım kontrollü tek fazlı yükselten ön regülatör devresi kullanılmıştır. Önerilen denetleme yönteminin MATLAB/Simulink programında benzetimi ve UC3854N ticari tümleşik devresi kullanılarak 210 watt'lık uygulama devresi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar benzetim sonuçlarını doğrulamış ve önerilen devrenin giriş güç faktörü ve giriş akımının toplam harmonik bozulmasını nasıl iyileştirdiği gösterilmiştir.

Leung ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, güç tasarruflu LED akım sezme devresi ile bir yüksek güçlü LED sürücüsü önerilmiştir. Aydınlatma uygulamaları için bugünlerde yüksek güçlü LED'ler 350 mA'de sürülmekte ve LED akım regülâsyonunda geri bildirim sağlamak için bir algılayıcı direnç kullanılmaktadır. Bu metot, çıkış koluna bir IR düşümü ekler ve güç verimini sınırlar, çünkü LED akımı yüksek olduğundan artarak devam eder. Leung ve ark. önermiş oldukları bu devrede hiçbir algılayıcı direnç kullanmamıştır. Fakat sürücünün kondansatör çıkışından LED akım bilgisini çıkararak var olan en verimli tasarımdan 90 kez daha az enerji kullanan

bir LED akım algılama devresini tasarlamışlardır. Tasarlanan algılama devresi kapasitor çıkış gerilimini farklılaştırarak ve maksimumda sadece 420 mikroW'lık güç kullanarak LED akımını algılar. Ölçüm sonuçları makul bir algılama hassasiyeti ve hat-yük regülasyonunu doğrulamıştır. Maksimum enerji verimi %92 olarak ölçülmüştür. Önerilen LED akım algılama devresinin güç tüketimi, LED akımına orantılı olarak artmadığından devre, gelecekte LED akımının artarak devam edeceği zamanda özellikle faydalı olacaktır.

Dupuis ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, LED'lerin tarihsel gelişimini ve LED'lerin performanslarını ele almışlardır. Çalışmalarında yarı iletken teknolojisinin olmadığı zamanlardaki LED'ler ile ilgili çalışmalardan, yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak LED'ler ile ilgili yapılan çalışmalar karşılaştırılarak LED'lerdeki gelişmelerden, boyutlarının küçülmesi, verimlerinin artması ve güçlerinin artması hakkında geniş çaplı araştırmalar yapmışlardır. İleri teknolojik gelişmelerle birlikte LED'lerin katkı malzemelerinin değişmesiyle farklı renklerde LED'lerin üretilmesinden, bu katkı maddelerinden ilk uygulanan ve günümüzde uygulanan katkı maddelerinden bahsetmişlerdir. Katı hal aydınlatma için ileri LED tasarımlarıyla, LED paketlerinden ve bunların genel aydınlatma, görüntüleme gibi yerlerde kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Kaya (2008) tarafından yapılan çalışmada, iki aşamalı bir AC-DC-DC güç dönüştürücüsü tasarlamış ve üretmiştir. Güç dönüştürücüsünün AC-DC giriş katı iki fazlı karmaşık yapılı yükseltici topolojisi ile inşa edilmiş ve ortalama akım denetleme yöntemini uygulamıştır. Çıkış katı ise sıfır gerilimde anahtarlama yapan faz kaymalı tam köprü DC-DC güç dönüştürücüsünden oluşmaktadır. Giriş katının denetimini, sürekli akım iletim kipinde karmaşık yapıda güç çarpanı doğrultucusu denetimi yapabilen ve piyasaya yeni sürülmüş ticari bir tümleşik devre ile sağlamıştır. Çıkış katını, kullanıma hazır bulunan sıfır gerilimde anahtarlama yapan faz kaymalı tam köprü DC-DC dönüştürücünün ilk örnek donanımını kullanarak oluşturmuştur. Tüm sistemin bilgisayar ortamında Ansoft firmasının Simplorer simülasyon paket programı ile simülasyonunu yaparak laboratuar deney sonuçlarıyla doğrulamıştır.

Ye ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, ön regülasyonlu güç faktörü ve ayarlanabilir parlaklık özelliğine sahip yüksek parlak beyaz LED aydınlatması için tek fazlı off-line AC-DC dönüştürücüler ile ilgili bir topoloji çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çevrim dışı uygulamalarda yüksek güç faktörü ve düşük harmonikler birincil öneme sahiptir. Boost dönüştürücüler, SEPIC dönüştürücüler, flyback dönüştürücüler ve yarı

köprü dönüştürücülerini kapsayan LED aydınlatma uygulamaları için güç faktörü ön regülâsyonu ile tek aşamalı off-line AC-DC güç dönüştürücülerini denemişlerdir. Sepic dönüştürücünün en iyi güç faktörü düzeltme performansına sahip olduğunu fakat verimliliğinin diğer çözüm yolları ile kıyaslanamayacağını, flyback dönüştürücünün düşük güç faktörlü off-line uygulamalar için en yaygın olarak kullanılan topoloji olduğunu, orta ölçekli uygulamalar için simetrik ve asimetrik yarı köprü dönüştürücülerin yüksek verim ve en iyi güç faktörü için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Tutak (2009) tarafından yapılan çalışmada, 21'' LCD arka aydınlatmasının güç kartını, sürücü kartını ve LED kartını, tasarlayarak analizini gerçekleştirmiştir. Güç kartının tasarımında kolay uygulanması nedeniyle alçaltıcı DC-DC dönüştürücü kullanarak, MOSFET'in sürülmesinde kullanılan PWM sinyalini PIC16F877 mikro denetleyicisi ile gerçekleştirmiştir. En önemli nokta ise LED'leri süren entegreler (TLC5941) üzerinde fazla gerilim oluştuğunda açığa çıkan ısıdır. Bu ısıyı önlemek için mikro denetleyici ile sürücü entegre üzerinde fazla gerilim oluşmasını engellemiştir. Sürücü entegre, akım değerinin ve LED'lerdeki parlaklığın ayarlanması için kontrol sinyallerine ihtiyaç duyduğundan bu sinyalleri başka bir PIC 16F877 ile üretmiştir. Bu çalışmada simülasyonlarını Proteus/ISIS 7'de yaparak, uygulama yazılımı PIC Basic Pro'dan hex dosyalarına çevirmiştir. Sistemin baskı devrelerini ise Proteus/ARES 7 ile çizmiştir.

Tuladhar (2009) tarafından yapılan çalışmada, LED sürme devreleri incelenerek OrCAD PSpice devre simülasyon programı kullanılarak anahtarlama frekansı 20kHz-35kHz arasında olan yüksek verimli rezonans güç LED sürme devresinin simülasyonunu yapmıştır. Simülasyon sonuçları, güç LED sürme devresinin veriminin önemli ölçüde olduğunu (%90 seviyede) göstermiştir.

Bang (2009) tarafından yapılan çalışmada, LED karakteristik yapısı, özellikleri, biçimleri, LED seçme yöntemleri ve LED sürme akımına göre LED sürme yöntemlerini anlatmıştır. LED sürme yöntemlerinden, sabit akım kaynağı ile LED sürme yönteminden, kapasitif boost dönüştürücüler, indüktif boost dönüştürücüler, ters çevirmeyen buck-boost dönüştürücülerden ve buck-boost dönüştürücülerden bahsetmiştir. LED akımı 0.6A olan sürücün verimi %87 ve LED akımı 1.2A olan sürücünün veriminin %83 olduğunu uygulama devresi ile göstermiştir.

Mineiro ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, Güç faktörü düzeltmeli düşük maliyetli ZVS güç LED sürücüsü tasarlamışlardır. Tasarlanan dönüştürücü, güç

faktörünü ve köprü doğrultucunun iletim açısını arttıran DC-hat kapasitesini düşüren bir dizi rezonans yarım köprü doğrultucudur. Rezonans işleminden dolayı LED dizileri ve onun ZVS-CV ile çalışması yoluyla ortalama akımı stabilize etmek için bir akım sensörüne ihtiyaç yoktur. Kontrol tasarımının ve dönüştürücünün basitleştirilmesi, bileşen sayısını ve maliyeti azaltmıştır. Tasarlanan güç faktörü düzeltmeli düşük maliyetli ZVS güç LED sürücünün, matematiksel analizlerini simule ederek laboratuar deneyleri ile karşılaştırmışlardır. LED imalat toleransları ve aşırı sıcaklık değişimlerinin hemen hemen LED dizisinin ortalama akımında etkisinin olmadığını ve bu dönüştürücünün, iki aşamalı yaklaşımının pahalı olan yerlerde, düşük maliyetli uygulamalar için uygun olduğunu ortaya koymuşlardır.

Lu ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, 110W yüksek güç LED Sokak lambası için TEA1750 üçüncü nesil yeşil anahtarlamalı güç kaynağı kontrolörü, yüksek güçlü LED sürücü devresi tasarımı için kullanmıştır. Devre 90V-280V AC giriş ve yaklaşık 80V-1.37A DC çıkış sürücü yeteneğine sahiptir. Aynı zamanda, güç faktörü düzeltme avantajları, yarı-rezonans ve vadi algılama, aşırı gerilim koruması, aşırı sıcaklık, aşırı akım koruma ve giriş düşük gerilim koruması vardır. Normal çalışma koşulları altında, tasarlanan devrenin verimi % 85 ‘den fazla ve güç faktörü ise 0.94 ‘in üzerindedir.

Song ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, aktif soğutmalı armatür tabanlı LED’ler için hiyerarşik yaşam tahmin modeli üzerine çalışmışlardır. Armatür tabanlı aktif soğutmalı LED’lerin yaşam süresi sadece LED’lerin jonksiyon sıcaklığına değil ayrıca aktif soğutma sistemlerinin güvenirliğine de bağlıdır. 100W’lık bir ampule eşdeğer aydınlatmaya sahip armatür tabanlı aktif soğutmalı bir LED’in ömrünü değerlendirmek için yeni bir hiyerarşik model önermişlerdir. Armatürlerin ömürlerini belirleyen aktif soğutma aletlerinin zamana bağlı performanslarını düşüren mekanizmalarının etkilerini de tartışmışlardır ve sonuç olarak; PoF modellerin, katı hal aydınlatma sistemlerinin ömürlerini tahmin etmek için ciddi olarak gerekli olduğunu, katı hal aydınlatma sistemlerinin güvenirliğinin değerlendirilmesi için LED’leri, optik bileşenleri, elektronik sürücüleri ve termal yöntemlerin gerekli olduğunu, LED performansının ve ömrünün jonksiyon sıcaklığından çok fazla etkilendiğini ve aktif soğutma, kompakt boyut ve yüksek verimli soğutma fırsatı verirken güvenilirlik sorununu ortaya çıkardığını, önerilen hiyerarşik model genel olduğundan ve onun konsepti alternatif aktif soğutmalı yaklaşımlı armatürlerin analizleri için kabul edilebileceğini savunmuşlardır.

Kim ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, yakın zamanda, beyaz ışık yayan diyota (LED) ışık kaynakları için ve bir LCD arka plan aydınlatmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Seri-Paralel bağlı LED'ler bir akım kaynağı ile sürülmelidirler, çünkü onların ileri gerilim değişimleri, ileri akım değerlerinin artmasına bağlı olarak parlaklıkları ile değiştiğinden çalışmada, sabit akım sağlayan yüksek güç faktörü düzeltmeli izoleli yarım köprü asimetrik rezonans DC-DC dönüştürücünün bilgisayar ortamında simülasyonunu yaparak sonuçlarını incelemişlerdir.

Lamar ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, standart pik akım modu entegre kontrollerine dayalı güç faktörü düzeltme ile düşük maliyetli yüksek parlaklı bir LED sürücüsü önerilmiştir. LED'leri sürmede kullanılan güç faktörü düzeltme için yeni bir kontrol stratejisini sunmaktadır. Bu kontrol stratejisi son derece basit ve geleneksel PFC kontrollerine nazaran karışıklığı ve maliyetini azaltan standart bir pik akım modu entegre kontrolleri kullanımına dayanmaktadır. Aslında bu metot toplam harmonik bozulmayı azaltmak için yüksek karmaşıklığı devreye sokmadan flyback dönüştürücü ailesine ait PFC'ye karşılık bir devir kontrol (OCC)'un alternatif bir uygulamasıdır. Bu durumda, lineer bir çözüm yerine basit bir katsayı düzeltme rampası kullanarak sinüsoidal bir giriş akımı oluşturulması önerilen bir çözümdür. Bu çalışmada, Düşük güçlü bir AC-DC LED sürücüsünü tasarlamak için bu basit kontrolü, tek aşamalı bir PFC'ye uygulayarak bu sürücünün deneysel bir prototipi geliştirmişlerdir ve sonuç olarak farklı çalışma noktalarındaki giriş akımının nominal olan çalışma noktalarına nazaran biraz bozulmaya uğradığını göstermişlerdir.

Arik ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, yüksek lümen tabanlı LED armatür teknolojilerin geliştirilmesi üzerine odaklanmışlardır. Yeni ürünlerin tasarımı geliştirilirken, güvenilir veri eksikliği LED tabanlı ürünlerin erken başarısız olma riskini ortaya çıkarabilir. Yapılan çalışmada armatürün güvenirliği kanıtlanmamış fakat sistem düzeyinde modellemelere devam edilmektedir. Aktif soğutma, yüksek lümen, kompakt, güvenilirlik ve düşük maliyetli katı hal aydınlatma armatürlerini elde etmek için gereklidir. Bu armatürlerin geliştirilmesi süresince, LED aydınlatma sistemlerinin termal performanstan dolayı ciddi manada sınırlı olacağını, aktif termal yönetiminin yüksek lümen uygulamaları için gerekli olacağını, sentetik jet tabanlı soğutmanın yeni bir termal çözüm sağlayacağını, optik tasarım bileşenlerinin tesir kayıplarına önemli ölçüde katkı sağlayacağını, elektronik sürücülerin etkinlik ve maliyet açısından önemli sorunlar ortaya çıkaracağını, LED tabanlı aydınlatma sistemlerinin güvenirliğini tahmin etmek için saptanmış modellerin olmadığını, gözlemlemişlerdir.

3. LED'LER

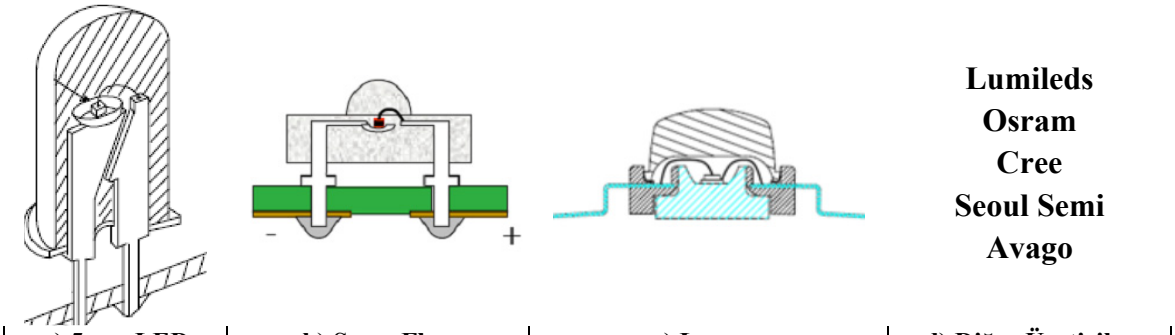
LED, kelime olarak Light Emiting Diode (Işık Yayan Diyot)'un baş harflerinden oluşmaktadır. LED, p-tipi ve n-tipi yarı iletkenler olarak adlandırılan işlemden geçirilmiş maddenin iki elementinden oluşur. LED'ler, aslında bir yarı-iletken diyot olmakla birlikte normal diyotlardan farklı olarak p-n jonksiyon bölgelerinde yaydıkları fotonlar aracılığı ile ışık verirler (Dupuis ve Krames, 2008). LED'ler diğer diyot türlerinin çoğuna benzerler ancak LED'in görünebilir olmasına ya da IR enerjisinin içinden geçmesine izin veren saydam bir ambalajı vardır. Farklı maddelerin bileşimi ışık rengini belirler ve böylece ışığın rengi üretilir (Anonim, 2011).

LED'ler katı hal aygıtlar oldukları için küçük, dayanıklı ve aynı zamanda diğer kaynaklardan daha uzun lamba ömrü sağlarlar. Ortalama 100.000 saat/ömrü vardır (Arik ve ark., 2010). Yüksek ısı yaymadıkları, kırılma olasılıkları bulunmadığı için düşük aktivasyon enerjili patlayıcı sıvıların ve gazların bulunduğu yerlerde kullanılacak için en iyi çözümdür (Anonim, 2011).

Aydınlatmada son yıllarda en çok üzerinde durulan teknoloji LED teknolojisidir. Bunların kullanıldığı ürünleri tasarlamak ve kullanım alanlarını genişletmek aydınlatma firmalarının en önemli konusu durumundadır. Bilim adamları, sağlık sorunlarına yol açmayan, çevre dostu ve estetik ampullere ulaşmak için yoğun çaba harcamaya devam etmektedir.

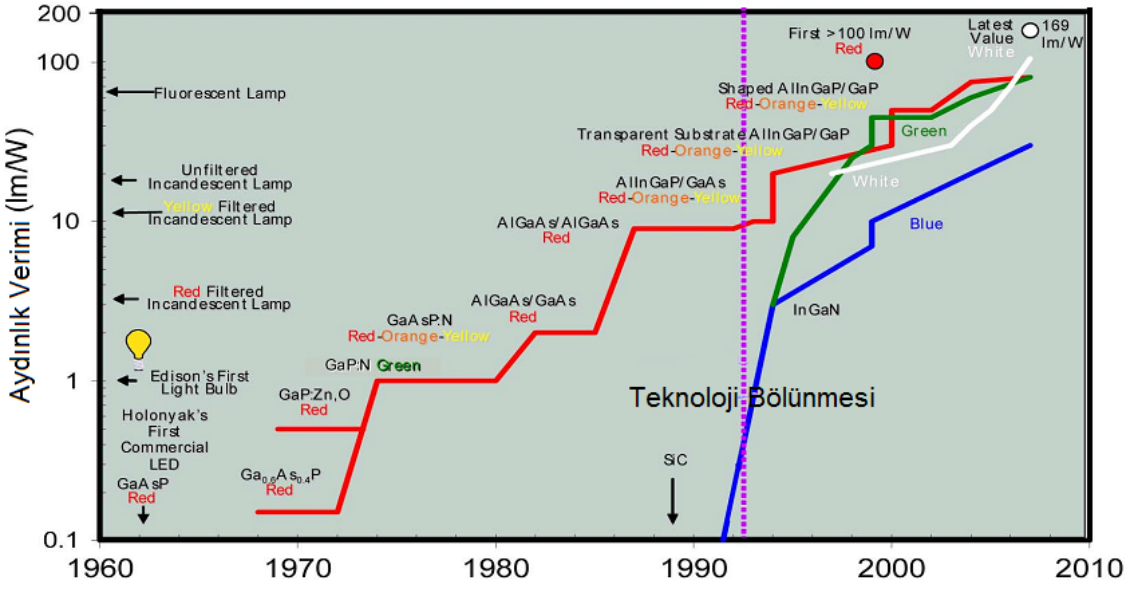
3.1. LED'lerin Tarihi Gelişimi

İlk görünür LED 1962'de Nick Holonyak tarafından icat edilmiştir (Arik ve ark., 2002). İcat edilen bu LED, düşük verimli $(2lm/W)$ GaAsp kırmızı LED'dir (Dupuis ve Krames, 2008). İlk üretilen kırmızı LED'ler sinyal ve göstergelerde kullanıldı. 1972'de Siemens Semiconductor Division tarafından (Bugün Osram Optosemiconductor olarak faaliyetini sürdürüyor) ilk radyal kılıf LED'ler üretildi. 80'lerin sonu ve 90'ların başında iki büyük aşama kaydedildi; kırmızı LED'lere ilave olarak sarı, yeşil, mavi ve beyaz LED'ler geliştirildi ve ışık verimlilikleri arttırıldı (Anonim, 2011). Şekil 3.1'de LED'lerin tarihi gelişimi görülmektedir.



Şekil 3.1. LED'lerin tarihi gelişimi (Richardson, 2007).

LED'lerin ışık çeşitliliği Şekil 3.2'de görüldüğü gibi 1962 Holonyak'ın ilk ticari III-V alaşımı GaAsp kırmızı LED'ler ile başlar. Yüksek güçlü beyaz ışıklı LED'in araştırılması ve geliştirilmesi LED'lerin aydınlatma alanında da kullanılmasını sağladı. Şimdilerde beyaz LED'lerin laboratuar verimi (küçük boyutlu chiplerin) diğer geleneksel ışık kaynaklarının tümünün verimini geçti (Dupuis ve Krames, 2008). Günümüzdeki LED'ler morötesi ve kızılötesi dalga boyları arasında kalan görülebilir bölge boyunca uzanan yüksek parıltılı renklerde olabilmektedir (Menteşeoğlu, 2011). Bu katı-hal aydınlatma aygıtları son 10 yıldır veriminin ve parlaklığının artmasından dolayı ilgi çekmektedir (Arik ve ark., 2002).

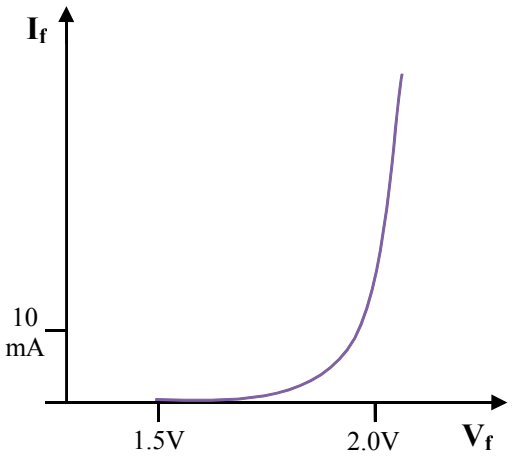


Şekil 3.2. LED'lerin ışık çeşitliliği

3.2. LED'lerin Karakteristik Yapıları

3.2.1. Akım-gerilim karakteristiği

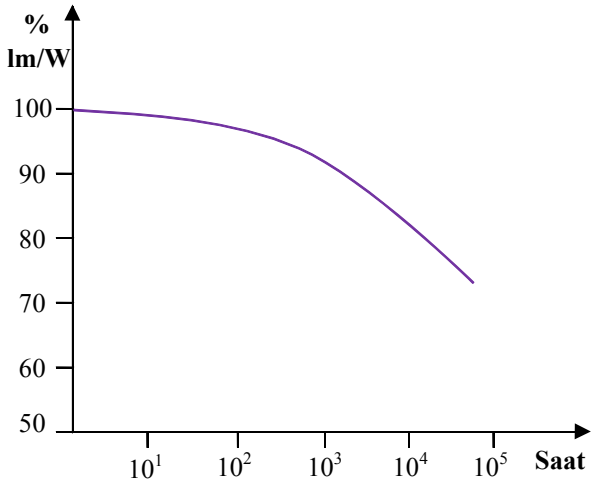
Farklı maddelerden elde edilen yarı iletken elemanların çeşitli akım-gerilim karakteristikleri mevcuttur. Şekil 3.3'de LED'in akım-gerilim karakteristiği görülmektedir. LED'ler ortalama olarak 10 mA ve 1.5 V değerlerinden itibaren iletime geçerek ışık yaymaya başlarlar (Akbulut, 2010).



Şekil 3.3. LED'in akım gerilim karakteristiği

3.2.2. Verim-zaman karakteristiği

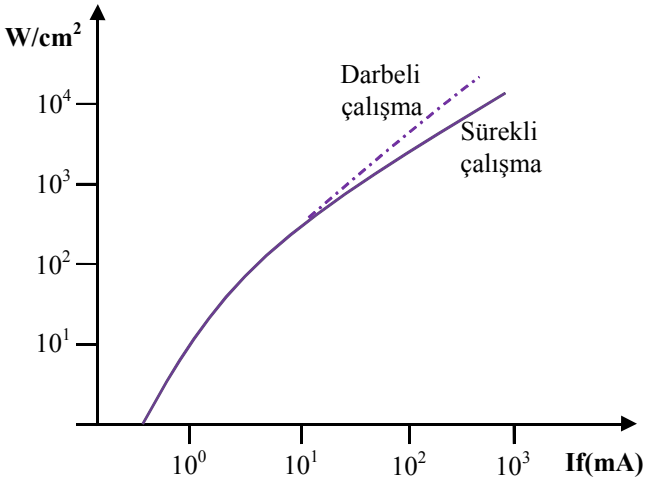
LED'lerin verimi lm/W olarak ifade edilmektedir. LED'in verimi zamanla orantılı olarak düşer. Bu verim normal verimin yarısına düştüğünde diyot artık ömrünü tamamlamıştır. Bir LED'in ortalama ömrü 100.000 saattir. Şekil 3.4'de LED'in veriminin, normal şartlarda ($I_f = 100mA$, $T_{ortam} = 25^0 C$) zamana göre değişim eğrisi verilmiştir. Bu tip değerlendirmede, verimin düşme miktarı direk verim değeri olarak değil de, normal verim oranı olarak alınmaktadır (Akbulut, 2010).



Şekil 3.4. LED'in verim zaman karakteristiği

3.2.3. Akım-ışık şiddeti karakteristiği

LED'in yaydığı ışık şiddeti, içinden geçen akım ile doğru orantılı olarak artar. Ancak bu artış; Şekil 3.5'de görüldüğü gibi akımın belirli bir değerine kadar doğrusaldır. Daha sonra bükülür. Eğer diyota verilen akım, eşik değeri adı verilen doğrusallığın bozulduğu noktayı aşarsa, diyot aşırı ısınarak bozulur (Akbulut, 2010; Musayev, 2005).

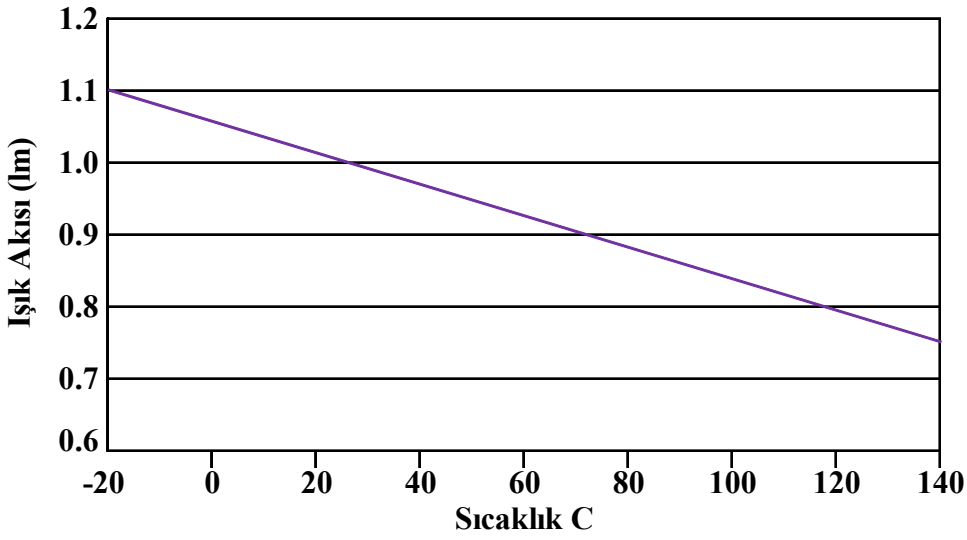


Şekil 3.5. LED'in akım-ışık şiddeti karakteristiği

3.2.4. Sıcaklık-ışık şiddeti karakteristiği

LED'lerin içinden geçen akım sabit olmasına rağmen, diyotların karakteristik özelliklerinden dolayı artan ortam sıcaklığı ile etkinlik faktörleri düşmektedir. Bu düşüş

LED'lerin yapıldığı malzeme türüne göre her bir derece için %0.3 ile %0.7 arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Akbulut, 2010; Menteşeoğlu, 2011). Şekil 3.6'da LED'in ışık akısının sıcaklıkla nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 3.6. LED'in sıcaklıkla ışık akısı değişim grafiği

LED'in ürettiği ışık çıktısının mümkün olduğu kadar yüksek olması istenir. Jonksiyon sıcaklığı LED'in ışık akısı ve ışıksal etkinliği ile yakından ilgili olup jonksiyon sıcaklığı arttıkça bağıl ışık çıktısı azalır (Narendran, 2005).

3.3. LED'lerde Işığın Dalga Boyu ve Işık Sıcaklığı

3.3.1. Dalga boyu

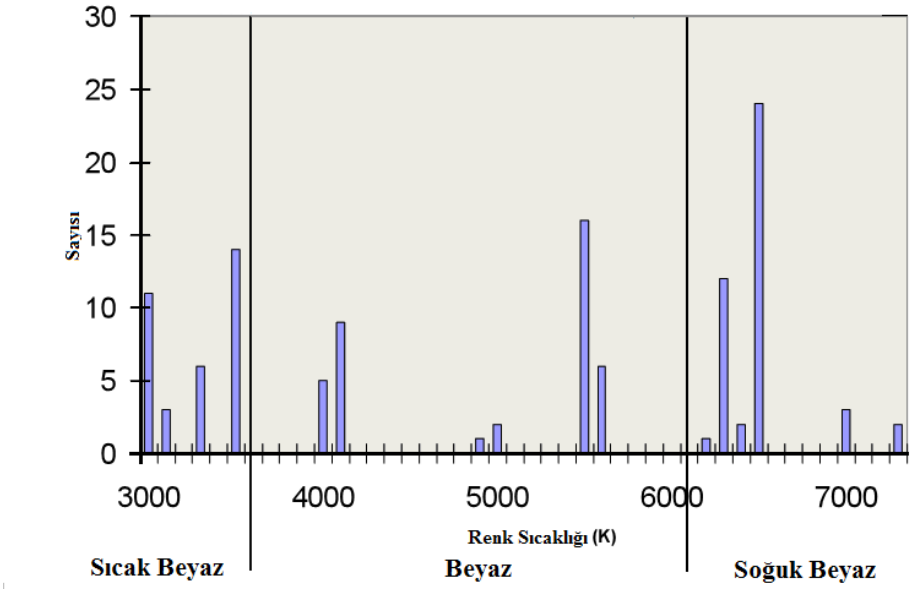
Metrenin milyarda birine eşit olan nanometre (nm), ışığın dalga boyunu ölçmekte kullanılan uzunluk birimidir. Işık elektromanyetik bir dalgadır. Işığın özellikleri, radyo dalgalarından gamma ışınlarına kadar gidebilen, elektromanyetik dalganın boyuna göre değişir. $380nm-780nm$ arasında değişen dalgalar aracılığıyla taşınan enerji, retinadaki alıcıları uyararak, renk uyarıları üretir. CIE (Commission Internationale de Eclairage) $380nm-780nm$ arasındaki dalga boylarını "görülebilir" olarak belirlemiştir (Anonymous, 2011; Perry, 2010). Çizelge 3.1'de renklerin dalga boylarının hangi aralıklarda olduğu ve bir LED'in kullanılacak malzemelerin cinsine göre hangi renkte ışık verebileceği görülmektedir (Taniyasu ve ark., 2006).

Çizelge 3.1. LED renklerinin dalga boyları ve kullanılan malzemeler

	Renk	Dalga Boyu(nm)	Gerilim(V)	Kullanılan Malzeme
	Kızıl ötesi	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	GaAs, AlGaAs
	Kırmızı	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP
	Turuncu	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	GaAsP, AlGaInP, GaP
	Sarı	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	GaAsP, AlGaInP, GaP
	Yeşil	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$	InGaN / GaN, GaP, AlGaInP, AlGaP
	Mavi	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	ZnSe, InGaN, SiC
	Mor	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	InGaN
	Mor Ötesi	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	AlN(210 nm), AlGaN, AlGaInN
	Beyaz	Geniş spektrum	$\Delta V = 3.5$	Sarı fosfor ile mavi/UV

3.3.2. Işık sıcaklığı

Renk kalitesi iki ölçü birimi CCT(Correlated Color Temparature) ve CRI (Color-Rending Index) ile ifade edilir. Teorik olarak renk sıcaklığı, siyah bir kütlenin belirli bir renkte ışık vermesi için ısıtılması gereken sıcaklıktır. Birimi Kelvin(K)'dır. Örneğin akkor filamanlı ve halojen lamba 2500-3200K CCT'ye sahip iken günışığı 5000-6500K CCT'ye sahiptir. Renk sıcaklığı insan psikolojisi üzerinde etkilidir. Aydınlatılacak yerin özelliklerine ve işlevine göre uygun renk sıcaklığı seçilmelidir. Özel bir ışık kaynağı altında renklerin nasıl göründüğünü tanımlayan ölçü birimine CRI denir. Tipik bir flouresan lamba 82 CRI'ya sahiptir (Arik ve ark., 2010). Beyaz güç LED'lerin renk sıcaklıkları 3200K-9000K arasında değişmektedir. Beyaz güç LED renkleri Şekil 3.7'de verilmiştir. 3200K-3300K arası sıcak beyaz, 3500K-4500K arası doğal beyaz, 5500K-6500K arası saf beyaz veya gün ışığı ve 6500K-9000K arası ise soğuk beyaz olarak adlandırılmaktadır (Perry, 2010).



Şekil 3.7. Beyaz güç LED'lerin renk sıcaklığı değişimleri

3.4. LED'lerin Kullanım Alanları

LED teknolojisi artık iç aydınlatma, sokak, cadde, park ve bahçelerin aydınlatılmasının yanı sıra Çizelge 3.2 ve Şekil 3.8'de görüldüğü gibi daha bir çok alanda kullanılmaktadır. LED'ler, dekoratif olarak outdoor (Dış mekan), indoor (İç mekan) uygulamalarında ve sanayinin her alanında kullanılabilir. LED aydınlatmasının neredeyse tüm renkleri kapsamasıyla bu fotoelektrik malzeme pek çok görüntüleme ve aydınlatma uygulamaları ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Ye ve ark., 2008).

Çizelge 3.2. LED aydınlatma uygulama alanları(Perry, 2010; Anonymous, 2010; Anonymous, 2009)

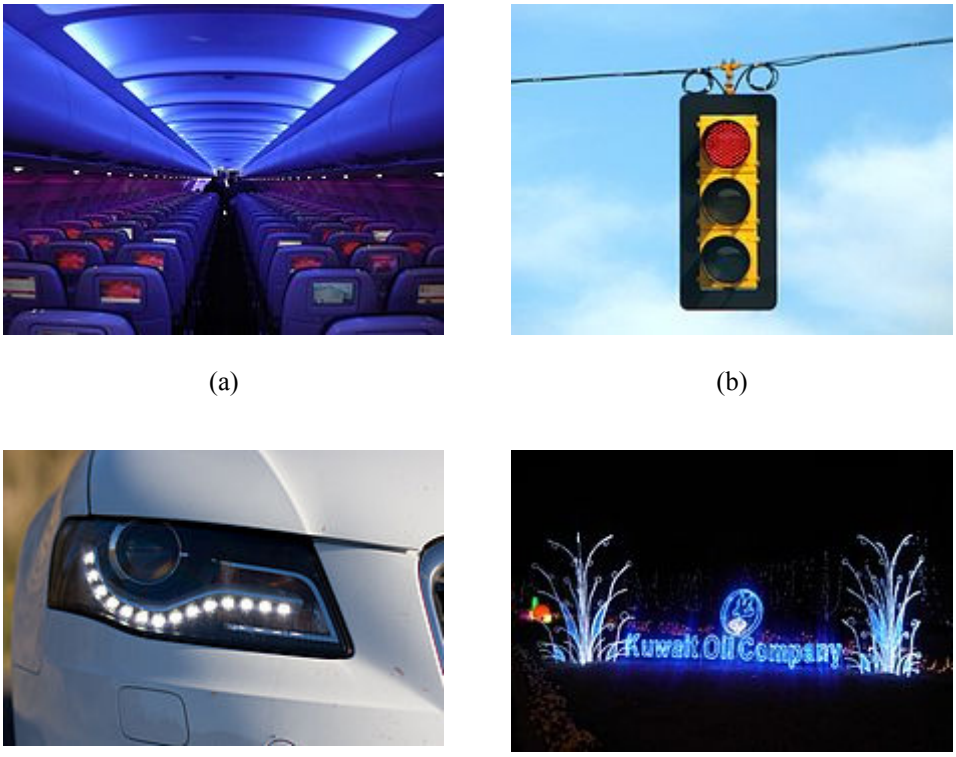
Genel Aydınlatma
- Ev Aydınlatmaları
- İş Yeri Aydınlatmaları
- Endüstriyel Aydınlatma
- Mimari Aydınlatmalar
- Sokak Aydınlatmaları
- Güvenlik Aydınlatmaları
- Eğlence Mekânları
- Reklamcılık
- Trafik Lambaları
- Medikal

Otomotiv
- İç Aydınlatma
- Navigasyon Sistemleri
- Gösterge Panelleri
- Dış Aydınlatma
- Ön Farlar
- Sinyaller
- Arka Park Lambaları

Tüketici Elektroniği
- Televizyonlar
- Video Araçları
- Mobil Cihazlar
- Kamera Flaşlarında
- Oyuncaklar
- Güvenlik Ekipmanları

Arka Plan Aydınlatma
- Diz Üstü Bilgisayarlar
- Netbook'lar
- LCD'ler
- PDA'lar
- Cep Telefonları
- Dijital Kameralar

İşaret Lambaları
- Yol Trafik Lambaları
- Polis Sirenleri
- Ambulans Sirenleri



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 3.8. LED'lerin kullanım alanları a) uçak kabinlerinde b) trafik lambalarında c) araba aksesuarlarında d) renkli ışıklandırmalarda

Son zamanlarda LED lambalar bahçe işlerinde ve çevre düzenlemelerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. LED lambalardan yayılan ışığın dalga boyu özellikle bitkilerin klorofil emisyonunu tam karşılayacak düzeydedir. Bitkiye ışık verildiğinde bitkide gelişme etkin bir şekilde artmaktadır. Görünen ışığın kırmızı ve mavi dalga boyları fotosentez için kullanılmaktadır (Anonim, 2011).

3.5. Diğer Aydınlatma Teknolojileri

3.5.1. Akkor lambalar

Işık elde etme biçimi ısıl ışıma olan akkor lambada, tungsten telden geçen elektrik akımı teli ısıtarak akkor duruma getirir ve telin ısınmaya başlamasıyla elektrik enerjisi ışınım enerjisine dönüşür. Bu lambaların yaydıkları ışınımların çok büyük bir bölümü ısı, küçük bir bölümü görünür ışınımlardır. Bu nedenle, verimleri çok düşüktür (EİE, 2012).



Şekil 3.9. Akkor filamanlı lamba

3.5.2. Akkor halojen lambalar

Akkor halojen lamba, akkor lambanın atmosferindeki gaz karışımının değiştirilmesi (halojen eklenmesi) ile oluşturulmuş bir ısıl ışık kaynağıdır. Bu tür lambaların atmosferinde kullanılan halojen moleküllerinin tungsten telini yenilemeleri nedeniyle, tel sıcaklığı artabilmektedir. Bunun sonucunda da, aynı güçteki akkor lambaya göre, hem ışık verimi hem de renk sıcaklığı biraz yükseltilebilmektedir (EİE, 2012). Akkor ampullere oranla yaklaşık %20 daha fazla ışık verebilmektedir. Akkor halojen lambaların cam tüplerinde kararma oluşmadığı için ışık şiddeti zamanla sabit kalır. Bu lambalar, fotokopi makinelerinde, tarayıcılarda, taşıtlarda ve projektörler de kullanılmaktadır (Kale, 2010).



Şekil 3.10. Akkor halojen lamba

3.5.3. Flüoresan lambalar

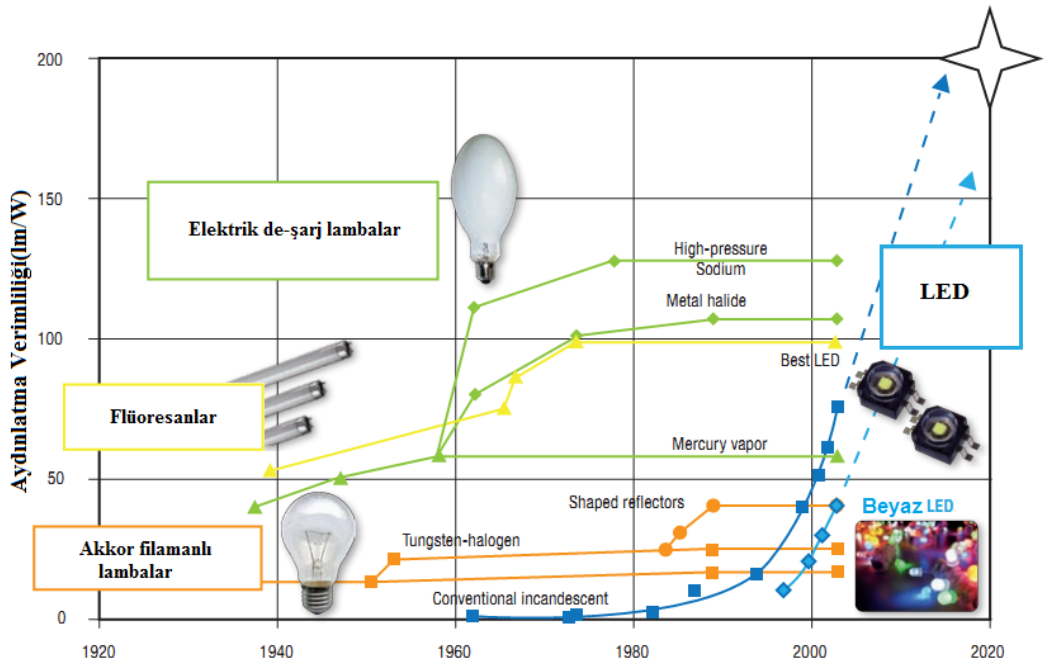
Flüoresan lambalar cıva ve argon gazı ile doludurlar. Balasttan güç alan lambanın ucundaki elektrotlar gazı iyonize etmek için elektrik deşarjı meydana getirirler. Cıva atomları normal enerji seviyesine geri dönerken ultraviyole fotonlar yayarlar. Lambanın fosfor kaplaması fotonları ve flüoresanları absorbe eder ve görünür ışık üretilir. Flüoresan lambaların verimi temelde lamba gücü arttıkça artmaktadır. Ancak, aynı güçteki lambalar ele alındığında, verim değişimi doğrudan doğruya flüor ışıl tozun yapısına bağlı olmaktadır (EİE, 2012). Flüoresan lambalarda bulunan elektronik ve manyetik balastlar daha yüksek hat kayıplarına yol açan şekil bozulması veya faz atlaması nedeniyle düşük güç faktörüne sahiptirler. Güç faktörünü düzeltmek için balastlarla birlikte güç faktörü düzeltme devreleri kullanılmalıdır.



Şekil 3.11. Flüoresan lamba

3.6. Diğer Aydınlatma Teknolojileri ile LED'lerin Karşılaştırılması

LED ışık kaynakları, geleneksel aydınlatma kaynaklarıyla karşılaştırıldığın da son derece uzun ömürlü, yüksek dayanıklılık ve düşük enerji kullanımı gibi önemli avantajlara sahiptirler. Şekil 3.12'den de görüldüğü gibi LED'li aydınlatmalar avantajlarından dolayı diğer aydınlatma kaynaklarının önüne geçmiş bulunmaktadır (Anonymous, 2009).



Şekil 3.12. Aydınlatma gelişimi.

2010 itibariyle birçok LED lamba, sıradan evlerde yoğun flüoresan lambaların yerine kullanılmaya başlanmıştır (Lonsdale, 2010).

3.6.1. Ömür

LED'ler çok uzun ömürlüdürler. Fazla sıcaklığa maruz kalmadıkları sürece 50.000-100.000 saat kullanım ömürlerine sahiptirler (Peck ve ark, 2011). Bir akkor filamanlı lambanın ömrü 1.000-2.000 saat ve flüoresan lambanın ömrü 4.000-15.000 saat arasında değişmektedir. Çizelge 3.3'de bazı aydınlatma aygıtlarının lamba kullanım ömürleri saat olarak verilmiştir (Anonymous, 2009).

Çizelge 3.3. Lamba çeşitleri ve ömürleri

Lamba Türleri	Lamba Ömrü (Saat)
Tungsten lamba	1.000
Tungsten halojen lamba	2.000-4.000
Yüksek basınçlı cıva buharlı lamba	6.000-8.000
Flüoresan lamba	4.000-15.000
Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba	10.000-15.000
Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba	12.000-20.000
LED lamba	50.000-100.000

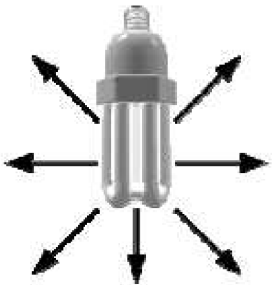
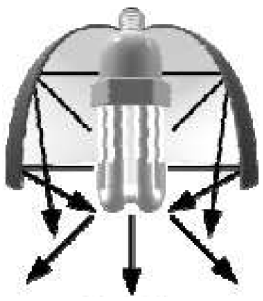
3.6.2. Verimlilik

LED'ler akkor filamanlı lambalardan Watt başına daha fazla ışık yayarlar. LED'lerin verimliliği flüoresan ampulleri veya tüplerinin aksine, şekil ve boyutuna göre etkilenmez. Çizelge 3.4'de LED'ler ile diğer aydınlatma kaynaklarının verimleri verilmiştir (Song ve ark., 2010).

Çizelge 3.4. LED ile diğer aydınlatma kaynaklarının karşılaştırılması

Aydınlatma Tipi	Aydınlık verimi (lm/W)	Güç verimi (%)
Tungsten lamba	12.6-17.5	1.9-2.6
Flüoresan lamba	45-60	6.6-8.5
Halojen lamba	16-25	2.3-3.6
Xenon ark lamba	50-55	7.3-8
Ultra yüksek performanslı lamba	58-65	7.5-9
LED	55-60	10

LED'li lambalarda verim $150 lm/W$ değerini aşmış durumdadır. Işık verimliliğinin hesabında armatürden kaynaklanan kayıplar, kullanılan kaynağın tek yönlü veya çok yönlü olması da önemli bir yer tutar. Şekil 3.13'de CFL ve LED'li lambaların ışık kullanım etkinliği açısından karşılaştırılması görülmektedir (Erol, 2011).

Işık Kaynağı	Işık Verimliliği	Kullanım Katsayısı	Lamba Verimliliği
CFL	 65 lm/W	 %54	35 lm/W
LED	 58 lm/W	 %77	44 lm/W

Şekil 3.13. CFL ve LED'li lambanı karşılaştırılması

3.6.3. Renk

LED'lerin diğer aydınlatma kaynaklarına göre önemli bir farkı ise onların renk üretme yetenekleridir. Milyonlarca renk üretilmesine olanak tanımaktadır. Mevcut lamba teknolojileri, LED'lerin sağladığı büyük tasarım sayısı ve görüntü olanaklarıyla rekabet edemezler. LED'ler doğal bir ışık üretirler. LED'ler geleneksel aydınlatma metotlarının ihtiyaç duyduğu renk filtrelerine ihtiyaç duymazlar (Moreno, 2007).

3.6.4. Boyut

LED'ler çok küçük boyutlarda olabilir ($2mm^2$'den daha küçük) ve baskı devreleri üzerine kolaylıkla monte edilebilir. LED'lerin boyutunun küçük olmasından dolayı kompakt aydınlatma imkânı sağlayarak diğer aydınlatma kaynaklarına göre onları avantajlı kılmaktadır.

3.6.5. Açma-kapama zamanı

LED'ler çok hızlı yanıp sönerler. Tipik bir kırmızı LED gösterge bir mikro saniyenin altında tam parlaklığa ulaşabilir. İletişim aygıtlarında kullanılan LED'ler daha hızlı tepki süresine sahip olabilirler.

3.6.6. Karartma (Dimm)

LED'lerin parlaklıkları, darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile veya akım ayarı ile çok kolay bir şekilde ayarlanabilir. LED'lerin parlaklıklarının ayarlanabilmesi onları avantajlı kılan özelliklerden biridir. Çünkü RGB (Red-Green-Blue) LED'lerin parlaklıkları ayarlanarak ara renklerin üretilmesi sağlanır ve milyonlarca renk üretimi gerçekleştirilmiş olur. Beyaz aydınlatma da LED'lerle karartma yapılarak ortam ışığı loş hale getirebilir (Narra ve Zinger, 2004).

3.6.7. Soğuk ışık

Birçok ışık kaynağının aksine LED'ler kumaşlara veya hassas cisimlere zarar verebilecek IR şeklinde çok az ısı yayarlar. LED'in fazla ısısı tabanın üzerinden yayılır.

Mevcut ampuller insan gözünün fark edemeyeceği kızılötesi ışınlar yaymaktadır. Bunun sonucunda göremediğimiz bir dalga boyu ile aydınlatma yaparak verilen enerjinin çoğu ısı enerjisi şeklinde harcanır. Bu enerji şekli belli bir amaca hitap etmediğinden işe yaramaz. LED'lerde ise dalga boyunu kontrol edebilme olanağı olduğundan içerikleri kontrol edilerek hangi dalga boyunda olacağı ayarlanabilmektedir (Perdahçı, 2009).

3.6.8. Darbelere karşı dayanım

Katı hal aygıt olan LED'ler, flüoresan ve akkor filamanlı lambanın aksine dışarıdan gelen darbelere dayanıklıdır. LED'lerin katı hal aygıtlar olması onları diğer klasik aydınlatma araçlarına göre daha dayanıklı ve uzun ömürlü yapmaktadır. Bu katı hal aygıtları bütünüyle şoka ve titreşime dayanıklı olurlarken ortada ne paramparça olacak bir cam ne de kırılacak bir flaman vardır (Durak, 2009).

3.6.9. Sağlıklı ışık kaynağı

LED armatürler, flüoresan armatürlerin ve tasarruf lambalarının içermiş olduğu cıva ve fosfor gibi insan sağlığına zararlı ağır metaller içermezler. Cıva ve fosfor ağır metallerdir. Bu ağır metaller kanserojen etki yaparlar. Cıvanın ve fosforun vücutta farklı etkileri de vardır. Cıva, buharlaşarak havaya karışır ve beyin tümörleri ile sinir sisteminde tahribata yol açar. Fosfor toz halinde bulunduğu için solunum yoluyla akciğerlere girerek akciğerde kansere sebep olabilir (Akar ve Şahin, 2012).

Tasarruflu ampuller klasik ampullere göre çok daha fazla elektromanyetik enerji yayarlar. Tasarruflu ampulün yaydığı radyasyon 20 santimetrelik alan içinde 10-15 birim arasında değişmektedir, klasik ampullerde ise bu oran sıfır birimdir. Bu ampullerden yayılan elektromanyetik alanlar, bedenimizde elektrik sinyallerinin taşındığı sinirler üzerinde akımlar meydana getirmekte ve sinirleri uyararak, kasları etkilemektedir. Bu da kişide yorgunluk, sinirlilik oluşturabilmektedir (Çerezci, 2012).

LED armatürler bu ağır metalleri içermediğinden sağlık açısından diğer tasarruflu aydınlatma armatürlerinden daha iyidirler.

3.6.10. Yüksek kurulum maliyeti

LED'lerin halen çoğu geleneksel aydınlatma teknolojilerine kıyasla lümen başına fiyatları pahalıdır. Ek olarak sürücü devrelere ve güç kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. LED'lerin ilk kurulum maliyetleri diğer aydınlatma kaynaklarına göre yüksek olsa da yukarıda saymış olduğumuz özelliklerinden ve uzun süre kullanımda diğer aydınlatma kaynaklarına göre kıyaslandığında toplam maliyetlerinin çok daha düşük olması, kurulum maliyetinin yüksek olması dezavantajını ortadan kaldırmaktadır.

3.6.11. Gövde sıcaklığı

LED'lerin büyük ölçüde performansı işletme ortam sıcaklığına bağlıdır. Yüksek ortam sıcaklığında aşırı akımla sürülen LED'ler aşırı ısınabilirler ve başarısız olabilirler. LED'lerin uzun ömürlü olmaları onları avantajlı kıldığından sıcaklık onların ömrünü olumsuz etkileyecektir. Gövde sıcaklığı LED'in ışık akısı ve ışıksal etkinliği ile yakından ilgili olup gövde sıcaklığı artıkça bağıl ışık çıktısı azalır (Narendran, 2005). Gövde sıcaklığının artması engellenmediği takdirde LED tarafından yayılan aşırı ısı, normal hizmet ömründen önce LED'in bozulmasına neden olacaktır.

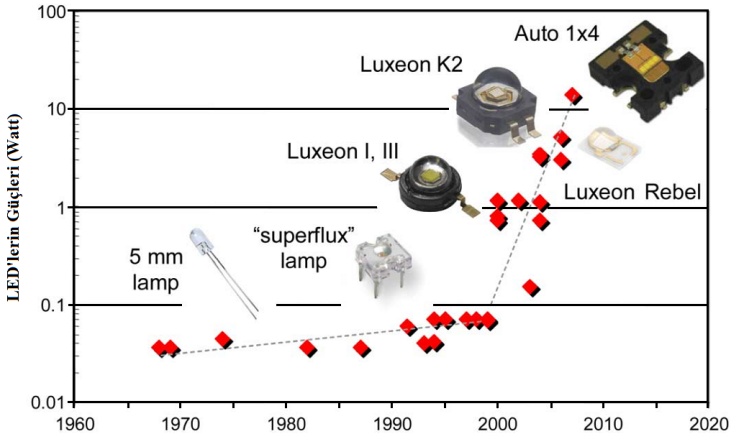
3.6.12. Sürme devresi gereksinimi

LED'ler akkor filamanlı lambaların aksine sadece DC gerilim polaritesi ile çalıştıklarından ve akım sınırlanmasına ihtiyaç duyulduğundan sürme devreleri ile sürülmek zorundadır.

4. GÜÇ LED'LERİ VE SÜRME DEVRELERİ

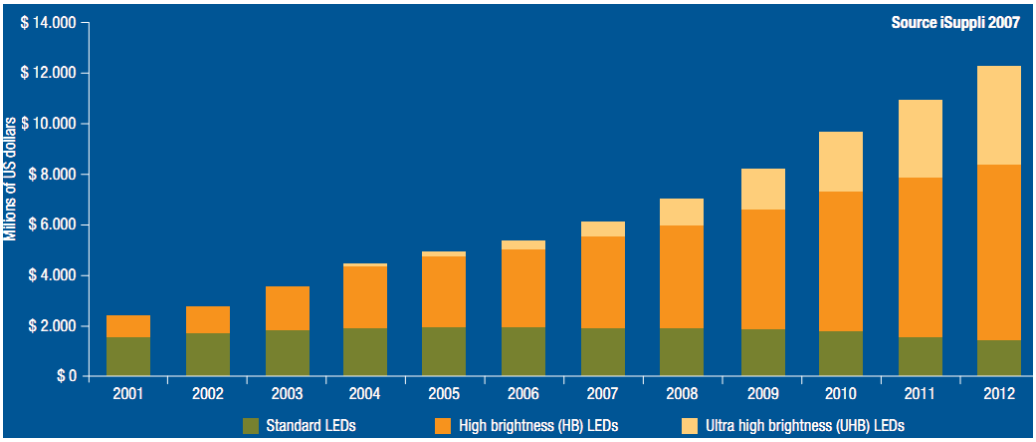
4.1. Güç LED'leri

Son yıllarda LED'lerin güçlerinin ve verimlerinin artmasından dolayı LED'ler Power LED (Güç LED)'leri ve standart LED'ler diye gruplandırılmaktadır. Güç LED'leri High Power LED (yüksek güçlü LED), High Brightness LED (yüksek parlak LED) ve Ultra High Brightness LED (çok yüksek parlak LED) olarak da adlandırılmaktadırlar. Şekil 4.1'de, güç LED'lerin yıllara göre güç seviyelerindeki artış miktarları verilmiştir (Dupuis ve Krames, 2008).



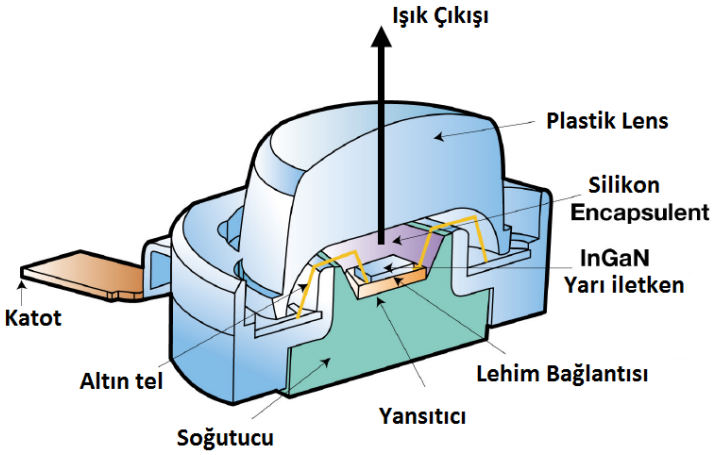
Şekil 4.1. LED teknolojisinin güç kullanım gelişimi

Güç LED'lerinin standart LED'lere göre parlaklığının ve gücünün artmasından dolayı son on yılda ticari payları da arttı ve hızla artmaya devam ediyor. Şekil 4.2'de yıllara göre LED'lerin ticari payları görülmektedir (Anonymous, 2009).



Şekil 4.2. LED'lerin (standart LED, yüksek parlak LED, çok yüksek parlak LED) ticari payları

Son yıllarda güç LED'lerinin çalışmasında ve üretiminde meydana gelen olağanüstü gelişmeler büyük ilgi çekmektedir. İç ve dış verimlilik, fosfor değişimi, silikon materyaller ve paketleme teknolojisinin gelişmesi ile güç LED'lerinin parlaklık verimlilikleri $100lm/W$ 'dan daha fazla artmıştır. Şekil 4.3'de bir güç LED'inin fiziksel yapısı verilmiştir (Richardson, 2007).



Şekil 4.3. Güç LED'inin fiziksek yapısı

Güç LED'lerinin performansı akkor filamanlı lamba, flüoresan lamba, yüksek basınçlı sodyum lambalarla rekabet edebilir. Bu nedenle LED'lerin küçük boyut, uzun ömür, düşük güç tüketimi ve yüksek güvenirlilik gibi gelişmiş karakteristikleri ile güç LED'leri dördüncü aydınlatma kaynağı olacaktır (Tingzhang ve ark., 2010; Liu ve ark., 2009; Steigerwald ve ark., 2002). En sık kullanılan güç LED'ini 350mA ile sürülen güç LED'leridir ve LED üreticileri daha yüksek çıkış akımına sahip güç LED'leri üzerinde sürekli çalışmaktadır. Böylece daha geniş aydınlatma uygulama alanları sağlanmış olacaktır. Günümüzde ticari güç LED'i 1.5A gibi yüksek akımla sürülebilmektedir (Leung ve ark., 2008).

4.2. Güç LED Sürücüleri

Standart düşük güçlü LED (3mm ve 5mm LED)'ler genelde 20mA akımla çalışmakta olup bu LED'lerin beslenmesinde sabit gerilim sağlayan besleme kaynakları kullanılmaktadır. Genellikle bu tür LED'ler 12V sabit gerilim veren güç kaynakları ile beslenmektedir (Winder, 2008).

Güç LED'lerinin beslemesinde sabit akımlı besleme kaynakları kullanılmaktadır. Güç LED'leri üretici firmaları, ürünlerinin beslenmesinde mutlaka sabit akımlı güç kaynaklarının kullanılmasını istemektedirler. Çünkü akım sınırlaması olmazsa güç LED'leri yapıları itibari ile fazla akım çekeceklerinden ısınacaklardır. Bu da LED'leri avantajlı kılan kullanım ömürlerinin azalmasına neden olacaktır (Winder, 2008).

Güç LED'lerinin güçleri genelde $1W, 3W, 5W$ iken son zamanlarda bu değerler tek modülde $100W$ değerini geçmiş durumdadır. Örneğin Şekil 4.4'de verilen Bridgelux firmasının 115 lm/W etkinliğe sahip BXRA-56C9000-J-00 serisi soğuk beyaz LED'i 5000mA akım ve 30.4V gerilim ile sürülebilmektedir (Bridgelux, 2012).

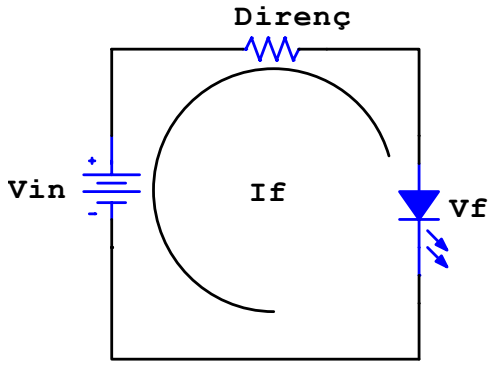


Şekil 4.4. Bridgelux BXRA-56C9000-J-00 soğuk beyaz LED

LED'li aydınlatmadaki rekabet artık güç LED'lerinde çok çeşitliliğini doğurmuştur ve her firmanın güç LED'lerinin sürme akım ve gerilim değerleri güç LED modüllerinin güçlerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin Sharp firmasının üretmiş olduğu $25W$ 'lık doğal beyaz güç LED modülünün test akımı 700mA ve test gerilimi 37V'dur. Seçilen güç LED'lerinin çekeceği akıma göre sabit akım sağlayan güç LED sürücüsü ile beslenmesi gerekmektedir. Güç LED sürücülerin verimi çok önemlidir. Yani güç LED'i kullanılarak yapılmak istenen tasarruf verimsiz ve kalitesiz bir güç LED sürücüsü ile sağlanamaz. Özellikle tasarruf amacıyla kullanılan sıcak ve soğuk beyaz Güç LED'li aydınlatmalarda sürücünün verimi çok önemlidir (Anonim, 2011). Bu amaçla çok sayıda güç LED sürücü yöntem ve devresi geliştirilmiştir.

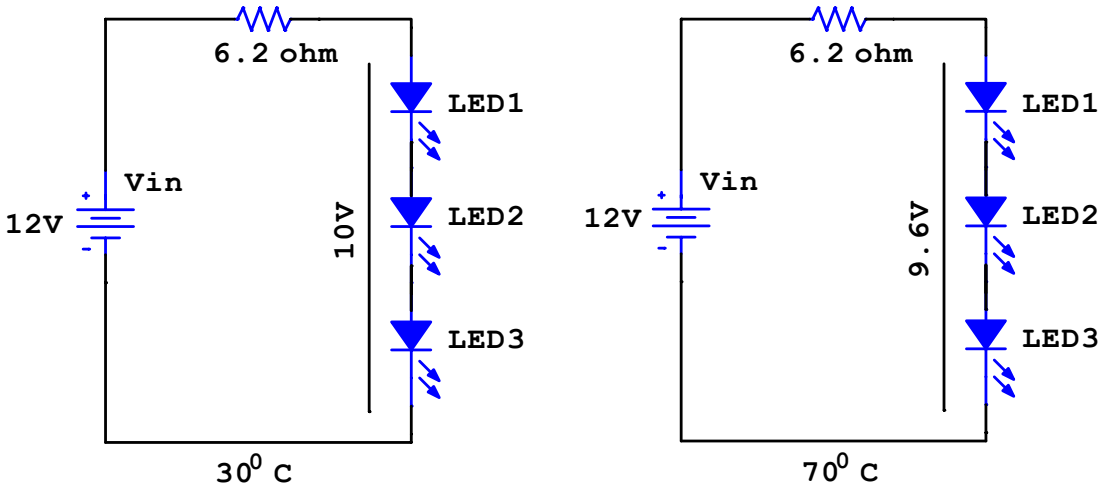
4.2.1. Direnç İle Sınırlama Yöntemi

Bu yöntem daha çok küçük güçlü LED'lerin sürülmesinde kullanılmaktadır. Basit, ucuz bir yöntemdir fakat güç kayıpları fazladır, akım tam sabit değildir, LED'in parlaklığı değişkendir. Bu tip bir sürücünün devre şeması Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Direnç ile LED akımının sınırlanması

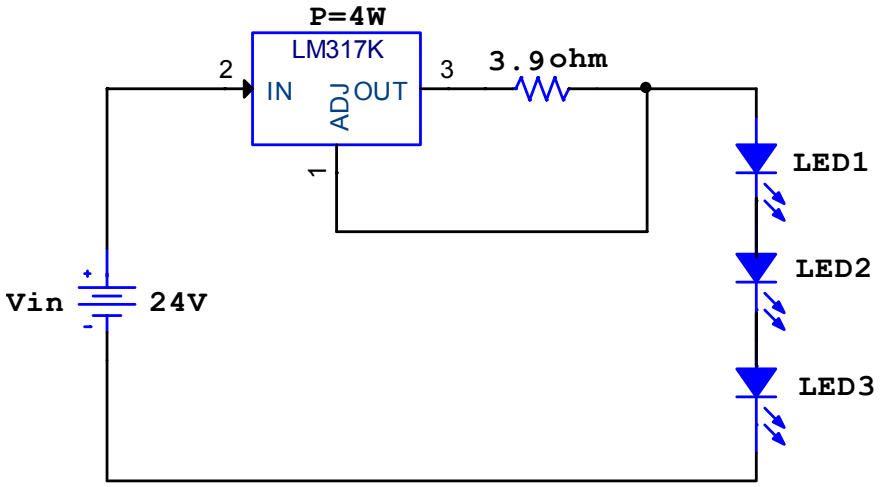
Şekil 4.6'daki basit sürücü devresi göz önüne alınırsa, devrede 12V'luk sabit bir gerilim kaynağına, 3 adet $1W$'lık güç LED'i (ileri yön gerilimi 3.32V) ve akımı sınırlamak için de 6.2Ω direnç seri olarak bağlanır. Devreye ilk enerji verildiğinde LED'lerden 0,32A akım geçer. Zaman geçtikçe LED'ler ısınmaya başlar ve sıcaklık 70 dereceye ulaştığında LED'lerin ileri yön gerilimi 3.32V'tan 3.2V'a düşer. Bu durumda direnç üzerine daha fazla gerilim düşeceğinden devreden geçen akım artar. LED akımı 0,38 A düzeyine çıkar. Akımın artışı LED'in daha çok ısınmasına ve bir süre sonra da LED'in bozulmasına neden olabilir.



Şekil 4.6. Direnç ile 3 adet güç LED sürme

4.2.2. Doğrusal Kontrol Yöntemleri

Bu yöntem basit ve direnç ile sınırlama yöntemine göre daha güvenli akım sınırlaması yapabilir. Bu yöntem ile 3 adet güç LED'i kolayca sürülebilir. Şekil 4.7'de basit bir LED sürme devresi görülmektedir.



Şekil 4.7. LM317 ile güç LED sürücü devresi

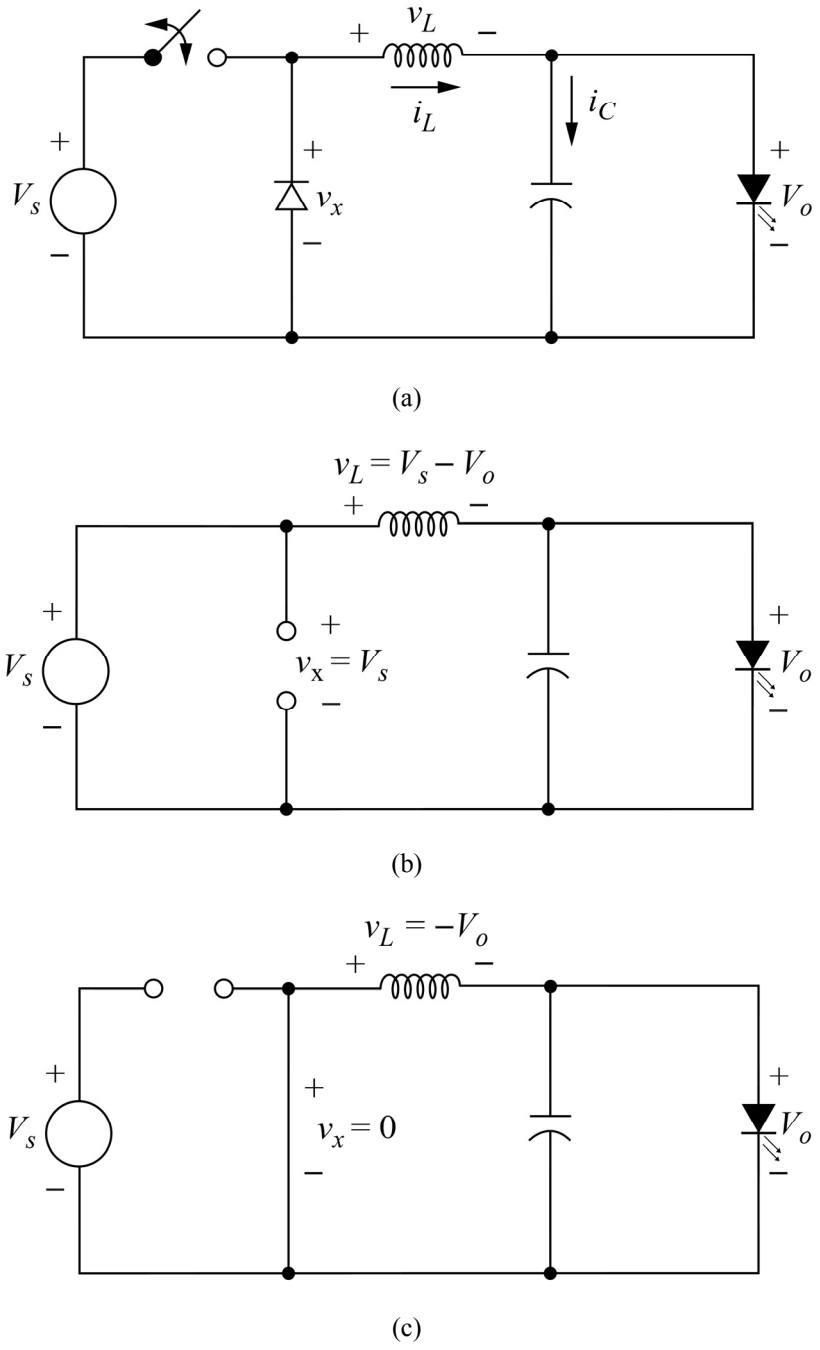
Bu devrede güç LED'lerinin gövde sıcaklığı yükselse bile akım değişmez. Böylece güç LED'inin sıcaklıktan olumsuz etkilenmesi önlenmiş olur. Doğrusal kontrol yöntemiyle güç LED sürmede gerilim regülâtörü entegresinin aşırı ısınması bu devrenin dezavantajıdır. Giriş geriliminin 24V olması durumunda regülâtörde harcanan güç $4W$ olur. 3 adet $1W$'lık güç LED'i sürüldüğünde meydana gelen $4W$'lık bir kayıp çok büyük olduğundan devrenin verimi çok düşüktür (Erol, 2008; Winder, 2008; Tutak, 2009).

4.2.3. Anahtarlamalı kontrol yöntemleri

4.2.3.1. Buck dönüştürücü

En yaygın kullanılan anahtarlamalı dönüştürücü buck tipidir. DC giriş gerilimini daha düşük seviyede aynı polaritede bir gerilime çevirir. Devre yapısı basit ve tasarımı kolaydır (Yu ve Yang, 2009). Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi buck dönüştürücünün kullandığı anahtar, giriş geriliminin bobin ile olan bağlantısını açıp kapatır. Şekil

4.8.b'de anahtarın kapalı konumda ve şekil 4.8.c'de ise anahtarın açık konumda olduğu devre şemaları gösterilmiştir (Hart, 2010).

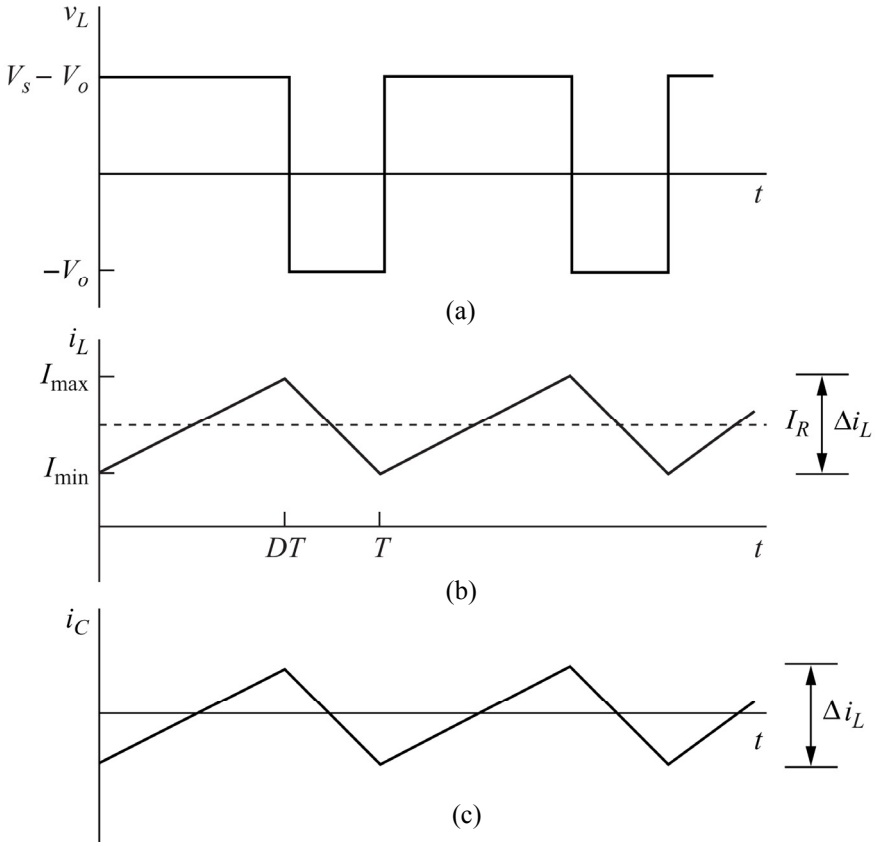


Şekil 4.8. Buck dönüştürücü

Anahtar kapandığında, giriş akımı bobin üzerinden akmaya başlar. Bobinin giriş ve çıkışındaki gerilim farkı, bobinin üzerinden geçen akıma karşı koymasından kaynaklanır. Böylece akım yavaş yavaş yükselir. İletim süresi boyunca bobin akımı kapasitör ve yük üzerinden akar. Çıkış kapasitesi bu süre boyunca şarj olur. Anahtar

açıldığında giriş gerilimi uygulanan bobin, kaldırılmış olur. Fakat bobin akımı bir anda bitmez. Bobin, akımını bir süre daha sabit olarak akıtmaya çalışır. Akan akım diyot üzerinden geçerek devreyi tamamlar. Bobin akımı da enerjisi azaldığından zamanla düşmeye başlar. Bu sırada kapasitör de depoladığı enerjiyi yük üzerinde harcar. Kapasitör ve bobin akımları anahtar kapalı olduğu süre içerisinde yükü beslemeye çalışırlar (Toprak, 2011).

Şekil 4.9'da buck dönüştürücünün bobin gerilim dalga şekli, bobin akım dalga şekli ve kapasitör akım dalga şekilleri verilmiştir (Hart, 2010).



Şekil 4.9. Buck dönüştürücü dalga şekilleri

Anahtarın kapalı olduğu durum için bobin üzerindeki gerilim aşağıdaki denklemle verilir.

$$V_L = V_S - V_0 = L\frac{di_L}{dt} \tag{4.1}$$

Denklem düzenlenirse,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_0}{L} \tag{4.2}$$

Akımın türevi pozitif bir sabit olduğu için, akım şekil 4.9b'deki gibi doğrusal olarak artar. Anahtar kapalı iken akımdaki değişim önceki denklem düzenlenerek hesaplanır.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S - V_0}{L} \tag{4.3}$$

$$(\Delta i_L)_{Kapalı} = \left(\frac{V_S - V_0}{L}\right) DT \tag{4.4}$$

Anahtar açıldığı zaman, bobinin üzerindeki gerilim polaritesini değiştirir ve depolanmış enerjiyi diyot üzerinden yüke aktarır.

$$V_L = -V_0 = L\frac{di_L}{dt} \tag{4.5}$$

Denklem yeniden düzenlenirse,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_0}{L} \tag{4.6}$$

Bobin akımının türevi negatif bir sabittir ve akım doğrusal olarak şekil 4.9.b'deki gibi azalır. Anahtar açık iken bobin akımının değişimi;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_0}{L} \tag{4.7}$$

$$\left(\Delta i_L\right)_{Açık} = -\left(\frac{V_0}{L}\right)\left(1-D\right)T \tag{4.8}$$

Bir periyot sonunda bobin akımları toplamı sıfır olacaktır.

$$\left(\Delta i_L\right)_{Kapalı} + \left(\Delta i_L\right)_{Açık} = 0 \tag{4.9}$$

Denklem (4.4) ve (4.8), (4.9)'da yerine yazılırsa denklem aşağıdaki gibi olur.

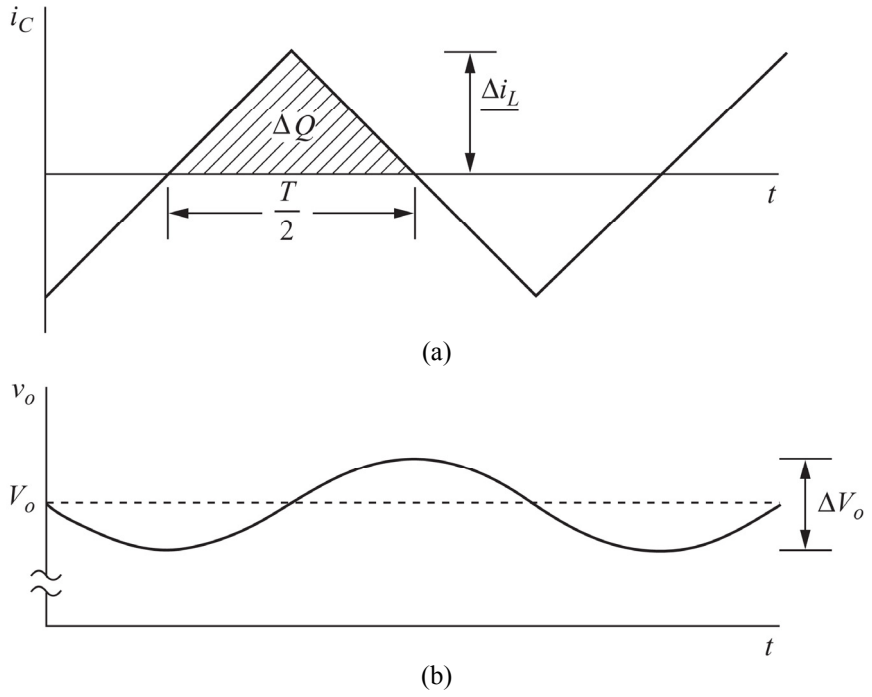
$$\left(\frac{V_S - V_0}{L}\right)(DT) - \left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T = 0 \tag{4.10}$$

Buradan V_0 hesaplanırsa;

$$V_0 = V_S D \tag{4.11}$$

Kontrol oranı D, değiştirilerek çıkış gerilimi ayarlanabilir. Kontrol oranı 1'den küçük olduğundan, çıkış gerilimi her zaman giriş geriliminden düşük olacaktır.

Şekil 4.10'da buck dönüştürücünün çıkış kapasite akımının ve geriliminin dalgalanmaları verilmiştir.



Şekil 4.10. Buck dönüştürücü kapasite dalga şekilleri a) akım dalgalanması b) gerilim dalgalanması

Bobin değeri denklem (4.12)'den hesaplanabilir.

$$L = \left(\frac{V_S - V_0}{\Delta i_L f} \right) D = \frac{V_0(1-D)}{\Delta i_L f} \tag{4.12}$$

Çıkış kapasite değeri denklem (4.13)'den hesaplanabilir.

$$C = \frac{1-D}{8L(\Delta V_0 / V_0) f^2} \tag{4.13}$$

L bobini C kondansatörü ile beraber LC alçak geçiren filtresi oluşturur. Burada L bobini akım sınırlayıcı görevi üstlendiği gibi alçak geçiren filtrenin de bir elemanıdır.

4.2.3.2. Boost dönüştürücü

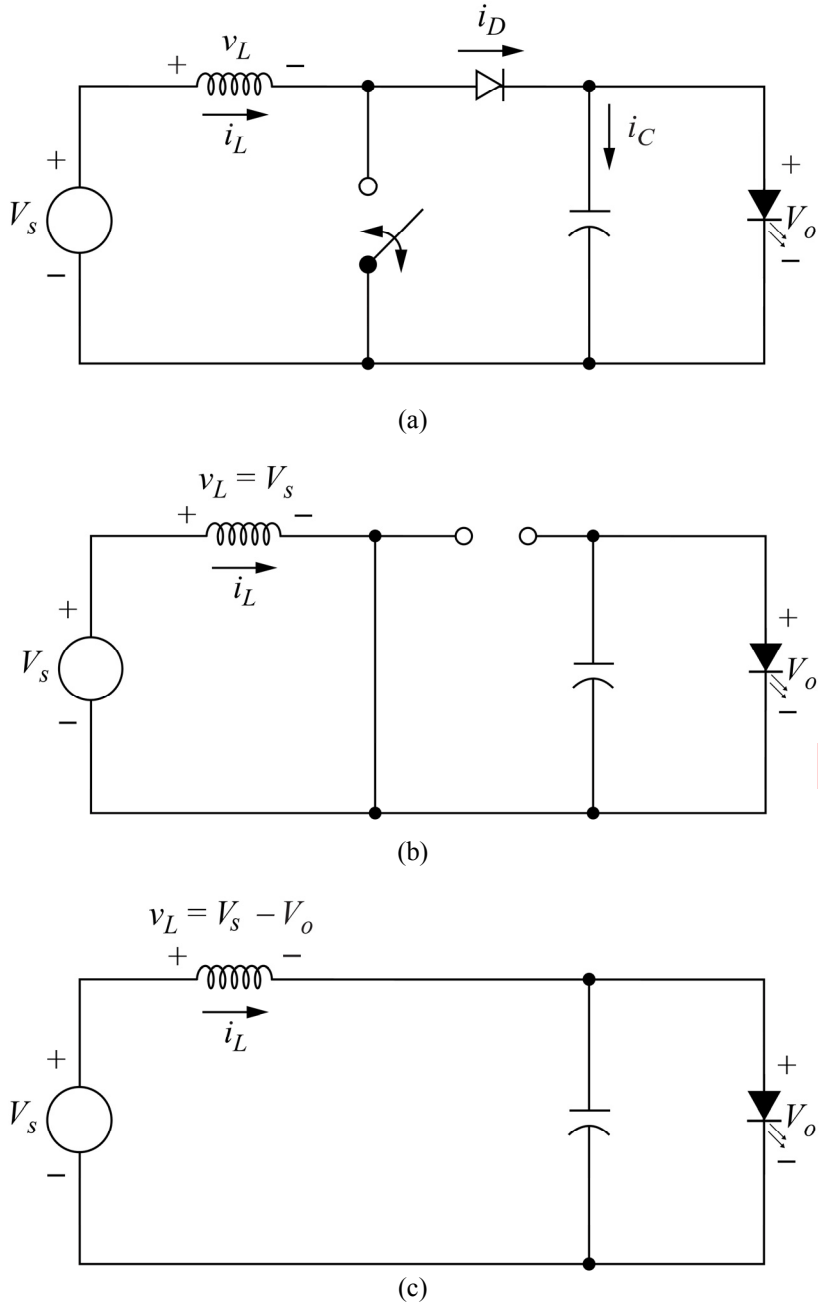
Boost dönüştürücü DC giriş gerilimini, aynı polaritede daha yüksek bir DC çıkış gerilimine çevirir. Şekil 4.10'da bir boost tipi dönüştürücü görülmektedir (Hart, 2010).

Anahtar iletimdeyken;

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \tag{4.14}$$

Veya

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L} \tag{4.15}$$



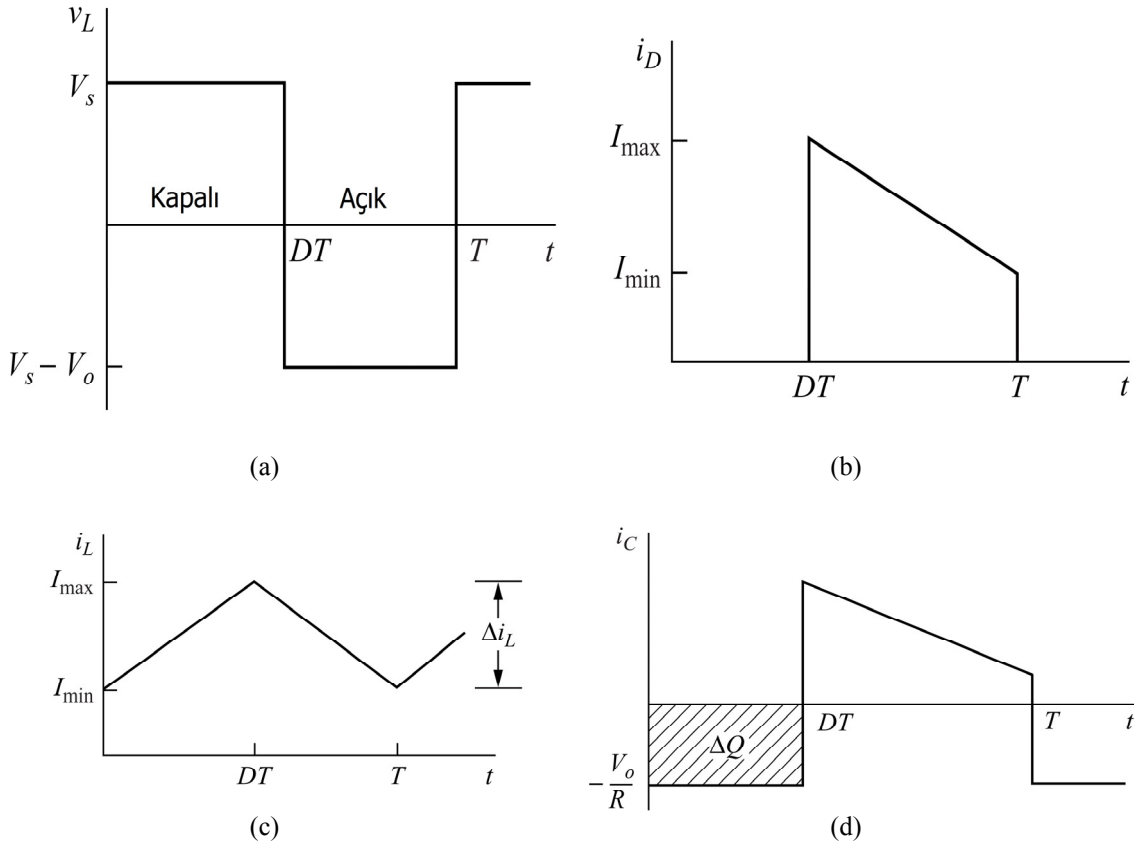
Şekil 4.11. Boost dönüştürücü

Şekil 4.12'de boost dönüştürücünün bobin gerilim dalga şekli, diyot akımı dalga şekli, bobin akım dalga şekli ve kapasitör akım dalga şekilleri verilmiştir (Hart, 2010). Anahtar iletime girdiğinde, bobinin akımı Şekil 4.12.c'deki gibi minimum değerinden, maksimum değerine lineer olarak artar. Anahtarın iletimde olduğu durumda, yükü besleyen kondansatörün boşalmaması için diyot kullanılır.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \tag{4.16}$$

Anahtar iletimdeyken Δi_L hesaplanırsa;

$$\left(\Delta i_L\right)_{Kapalı} = \frac{V_S DT}{L} \tag{4.17}$$



Şekil 4.12. Boost dönüştürücü dalga şekilleri

Anahtar kesime girdiği zaman bobin akımı, maksimum değerinden, minimum değerine azalır. Bobinde depolanan enerjiden dolayı yüke doğru ek bir akım akarak çıkış gerilimi yükseltilmiş olur.

$$V_L = V_S - V_0 = L\frac{di_L}{dt} \tag{4.18}$$

veya

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_0}{L} \tag{4.19}$$

Bobin akım değişimi bir sabit olduğu için akım, anahtar kesimdeyken lineer olarak değişmelidir. Bobin akımı anahtar kesimdeyken;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_0}{L} \tag{4.20}$$

Anahtar kesimdeyken Δi_L hesaplanırsa;

$$(\Delta i_L)_{Açık} = \frac{(V_S - V_0)(1-D)T}{L} \tag{4.21}$$

Kararlı hal durumunda bir periyotluk bobin akımları toplamı sıfır olmalıdır.

$$(\Delta i_L)_{Kapalı} + (\Delta i_L)_{Açık} = 0 \tag{4.22}$$

Denklem (4.17) ve (4.21), (4.22)'de yerine konulursa;

$$\frac{V_S DT}{L} + \frac{(V_S - V_0)(1-D)T}{L} = 0 \tag{4.23}$$

Buradan V_0 hesaplanırsa;

$$V_S(D+1-D) - V_0(1-D) = 0 \tag{4.24}$$

$$V_0 = \frac{V_S}{1-D} \tag{4.25}$$

Denklemden görüldüğü gibi, kontrol oranı sıfır dışında ne olursa olsun, çıkış gerilimi girişten her zaman büyük olur (Hart, 2010).

Şekil 4.12.c'de bobin akım dalgalanma şekli verilmiştir. Bobin değerini, denklem (4.26) yardımı ile hesaplanabilir.

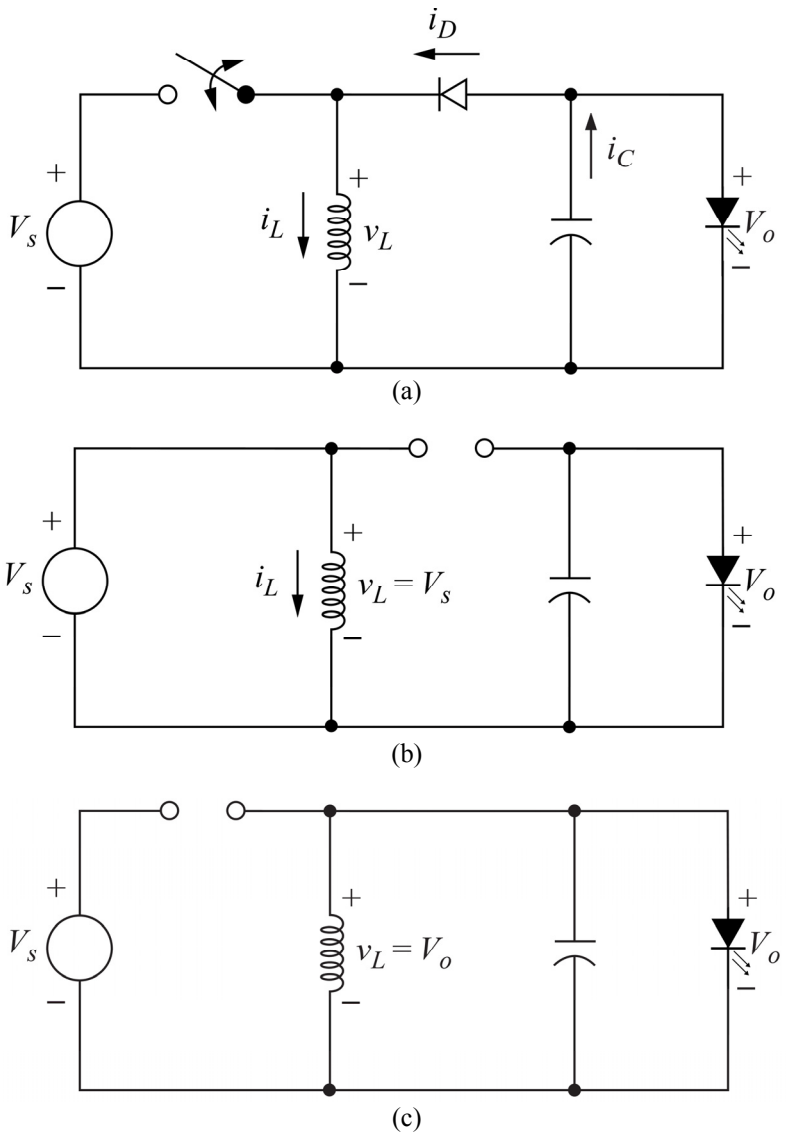
$$L = \frac{V_S DT}{\Delta i_L} = \frac{V_S D}{\Delta i_L f} \tag{4.26}$$

Şekil 4.12.d'de çıkış kapasite akım dalgalanma şekli verilmiştir. Çıkış kapasite değeri denklem (4.27) yardımı ile hesaplanabilir.

$$C = \frac{D}{R(\Delta V_0 / V_0) f} \tag{4.27}$$

4.2.3.3. Buck-Boost dönüştürücü

Buck-Boost veya inverting (tersleyici) dönüştürücü, DC giriş gerilimini işleyerek DC çıkış gerilimi elde eder. Bu gerilim girişe göre ters polaritededir. Negatif çıkış gerilimi, girişe göre daha yüksek ya da daha düşük büyüklükte olabilir. Şekil 4.13'de buck-boost dönüştürücünün yapısı gösterilmiştir (Hart, 2010).



Şekil 4.13. Buck-Boost dönüştürücü

Şekil 4.14'de buck-boost dönüştürücünün bobin akımının dalga şekli, bobin geriliminin dalga şekli, diyot akımının dalga şekli, ve kapasitör akımının dalga şekilleri verilmiştir (Hart, 2010). Anahtar kapatıldığında bobin üzerinde giriş gerilimi oluşur ve bobin akımı lineer olarak maksimum değerine yükselir. Bu durumda diyot kesimdedir. Buna göre anahtar iletimdeyken bobin gerilimi aşağıdaki gibi olur.

$$V_L = V_S = L\frac{di_L}{dt} \tag{4.28}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L} \tag{4.29}$$

Bobin akım değişim oranı sabittir ve Şekil 4.13.a'daki gibi lineer olarak artar.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \tag{4.30}$$

$$\left(\Delta i_L\right)_{Kapalı} = \frac{V_S DT}{L} \tag{4.31}$$

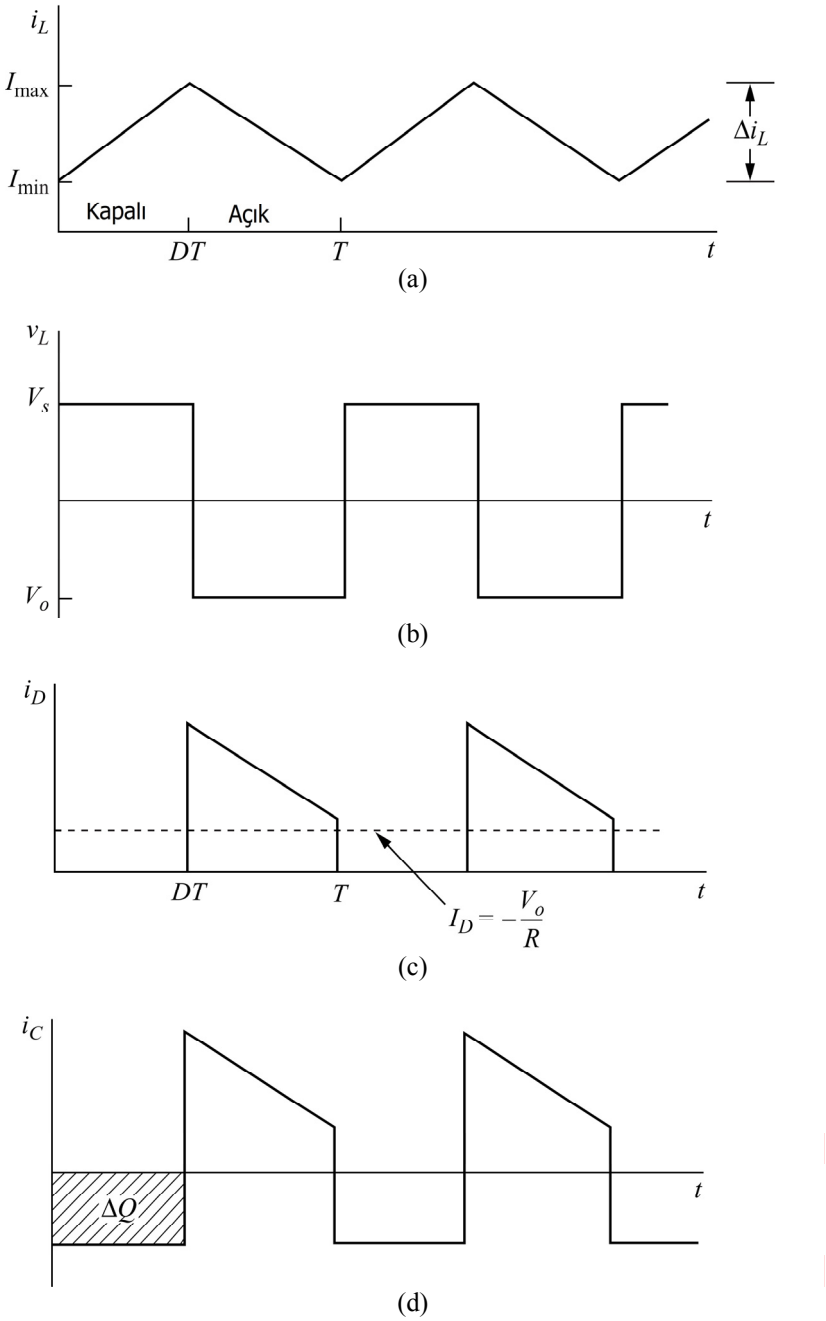
Anahtar kesimde iken diyot iletime geçer ve bobinde depolanan enerji çıkış kondansatörüne veya yüke aktarılır.

$$V_L = V_0 = L\frac{di_L}{dt} \tag{4.32}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_0}{L} \tag{4.33}$$

Bobin akım değişim oranı tekrar sabit olacaktır ve bobin akımı;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{\left(1-D\right)T} = \frac{V_0}{L} \tag{4.34}$$



Şekil 4.14. Buck-Boost dönüştürücü dalga şekilleri

Anahtar kesimdeyken Δi_L hesaplanırsa;

$$\left(\Delta i_L\right)_{Açık} = \frac{V_0\left(1-D\right)T}{L} \tag{4.35}$$

Kararlı hal durumunda bir periyotluk bobin akımları toplamı sıfır olmalıdır.

$$\left(\Delta i_L\right)_{Kapalı} + \left(\Delta i_L\right)_{Açık} = 0 \tag{4.36}$$

Denklem (4.31) ve (4.35), (4.36)'da yerine konulursa;

$$\frac{V_S DT}{L} + \frac{V_0 (1-D) T}{L} = 0 \tag{4.37}$$

Buradan V_0 hesaplanırsa;

$$V_0 = -V_S \left(\frac{D}{1-D} \right) \tag{4.38}$$

Şekil 4.14.a'da bobin akım dalgalanma şekli verilmiştir. Bobin değerini denklem (4.39) yardımı ile hesaplanabilir.

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f} \tag{4.39}$$

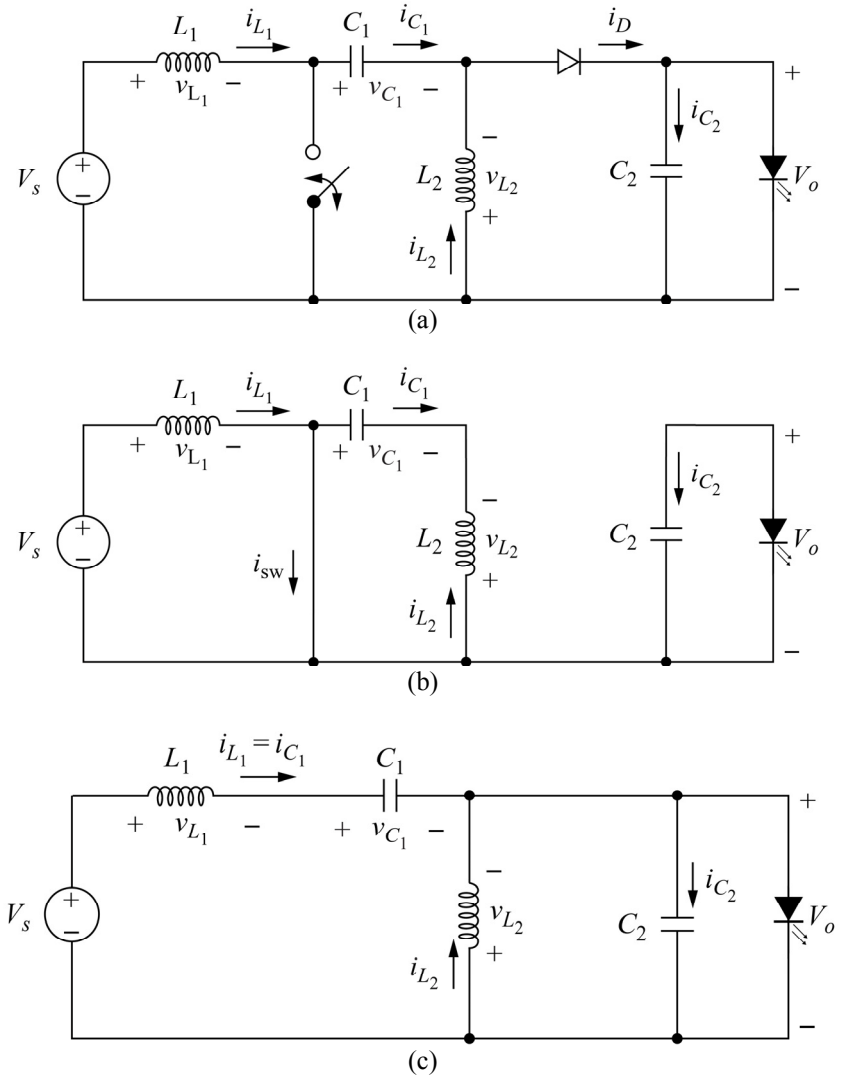
Şekil 4.14.d'de çıkış kapasite akım dalgalanma şekli verilmiştir. Çıkış kapasite değeri denklem (4.40) yardımı ile hesaplanabilir.

$$C = \frac{D}{R(\Delta V_0 / V_0) f} \tag{4.40}$$

Bu dönüştürücüde, diğer dönüştürücülerin aksine, çıkışa transfer edilecek gücün tamamı bobin üzerinde depolanan enerji vasıtasıyla iletilir. Bu nedenle devre ancak düşük güçlü sistemler için uygundur.

4.2.3.4. Sepic dönüştürücü

Sepic dönüştürücünün çıkış gerilimi giriş geriliminden düşük veya yüksek olabilir, çıkış geriliminin polaritesi buck-boost dönüştürücüde olduğu gibi ters polariteli değildir. Şekil 4.15'de sepic dönüştürücünün yapısı gösterilmiştir (Hart, 2010).



Şekil 4.15. Sepic dönüştürücü

Bobin akımının sürekli olduğu kabul edilir. Kararlı durum da ortalama bobin gerilimi sıfır ve ortalama kapasite akımı sıfır olacaktır.

Kirchhoff'un gerilimler kanununa göre;

$$-V_S + v_{L1} + v_{C1} - v_{L2} = 0 \tag{4.41}$$

Bu gerilimlerin ortalaması kullanılarak;

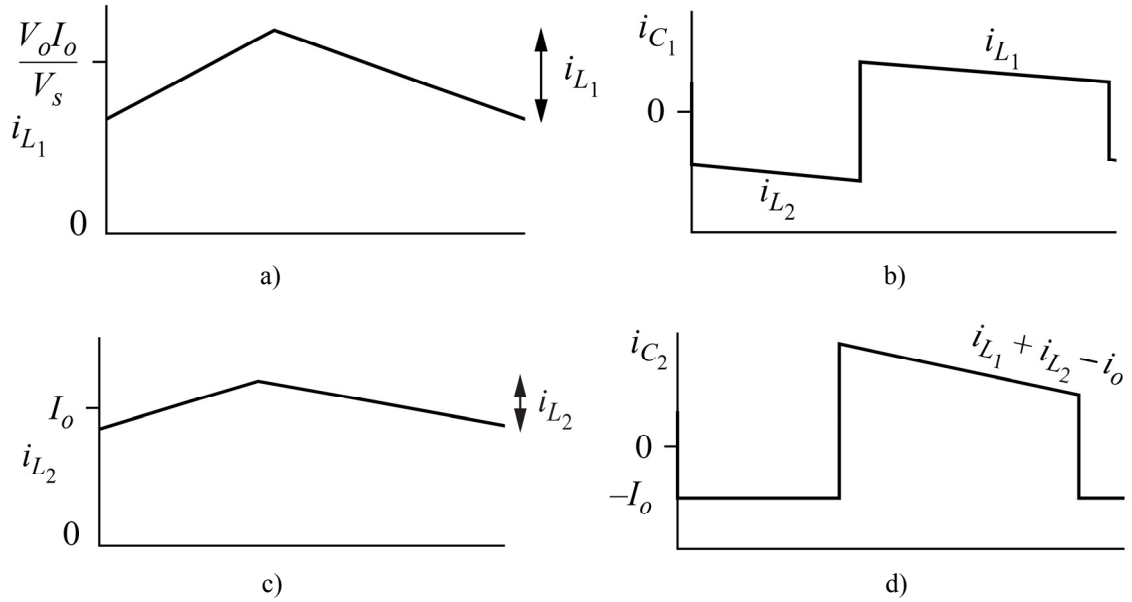
$$-V_S + 0 + V_{C1} - 0 = 0 \tag{4.42}$$

C_1 Kapasitesi üzerindeki gerilim ise;

$$V_{C1} = V_S \tag{4.43}$$

Şekil 4.16'da Sepic dönüştürücünün bobin akımlarının dalga şekilleri ve kapasite akımlarının dalga şekilleri verilmiştir (Hart, 2010). Anahtar iletimde iken diyot kesimde olacak ve bobin akımı Şekil 4.16.c'de gösterildiği gibi olacaktır. DT aralığında L_1 üzerine düşen gerilim;

$$v_{L1} = V_S \tag{4.44}$$



Şekil 4.16. Sepic dönüştürücü dalga şekilleri

Anahtar kesimde iken diyot iletimde olacak ve kapasite akımı Şekil 4.16.b'de gösterildiği gibi olacaktır. Kirchhoff'un gerilimler kanununa göre;

$$-V_S + v_{L1} + v_{C1} + V_0 = 0 \tag{4.45}$$

(4.43)'deki denklem yerine konursa;

$$-V_S + v_{L1} + V_S + V_0 = 0 \tag{4.46}$$

veya

$$v_{L1} = -V_0 \tag{4.47}$$

$(1-D)T$ aralığında bir periyotta bobin üzerindeki ortalama gerilimin toplamı sıfıra eşittir. Buna göre denklem (4.44) ve (4.47) birleştirilir;

$$\left(v_{L1,Anahtarkapalı}\right)\left(DT\right)+\left(v_{L1,Anahtaraçık}\right)\left(1-D\right)T=0 \tag{4.48}$$

$$V_S\left(DT\right)-V_0\left(1-D\right)T=0 \tag{4.49}$$

Denklem (4.45)'den V_0 bulunur;

$$V_0 = V_S\left(\frac{D}{1-D}\right) \tag{4.50}$$

ve denklem (4.50)'den D hesaplanır.

$$D=\frac{V_0}{V_0+V_S} \tag{4.51}$$

Şekil 4.16.a'da bobin akım dalgalanma şekli verilmiştir. L_2 Bobin değerini denklem (4.52) yardımı ile hesaplanabilir.

$$L_2=\frac{V_S DT}{\Delta i_{L_2}}=\frac{V_S D}{\Delta i_{L_2} f} \tag{4.52}$$

Şekil 4.1.d'de kapasite akım dalgalanma şekli verilmiştir. C_1 kapasite değer denklem (4.53) ve C_2 kapasite değeri denklem (4.54) yardımı ile hesaplanabilir.

$$C_1=\frac{D}{R(\Delta V_{C_1}/V_0)f} \tag{4.53}$$

$$C_2 = \frac{D}{R(\Delta V_0 / V_0) f} \tag{4.54}$$

Bu sonuçlar buck-boost dönüştürücünün eşitliklerine benzemektedir ancak sepic dönüştürücünün önemli bir farkı giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasında ters polarite farkı yoktur. Çıkış gerilimi giriş geriliminden ters polarite farkı olmadan hem yüksek hem de düşük olduğundan birçok uygulama için bu dönüştürücü uygun olarak kullanılabilmektedir.

4.2.3.5. Flyback dönüştürücü

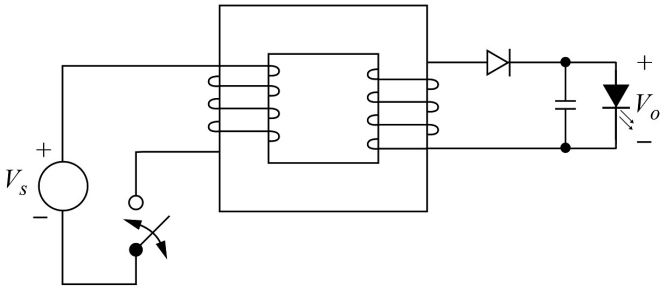
Flyback dönüştürücü giriş ve çıkışı arasında izolasyon sağlayan bir DC-DC dönüştürücüdür. Şekil 4.17.a'da Flyback dönüştürücünün en basit hali gösterilmiştir. Şekil 4.17.b'de ise bu dönüştürücünün transformatör devresinin eşdeğer yapısı ve şekil 4.17.c ve 4.17.d'de ise anahtarın iletimde ve kesimde olduğu devre şekilleri verilmiştir (Hart, 2010).

Flyback dönüştürücünün temel işlemleri buck-boost dönüştürücününkine benzemektedir. Anahtar iletimdeyken L_m bobininde depolanan enerji anahtar kesime girdiğinde yüke aktarılır. Anahtarın iletimde ve kesimde olduğu durumlar için giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için devrenin analizi aşağıda yapılmıştır.

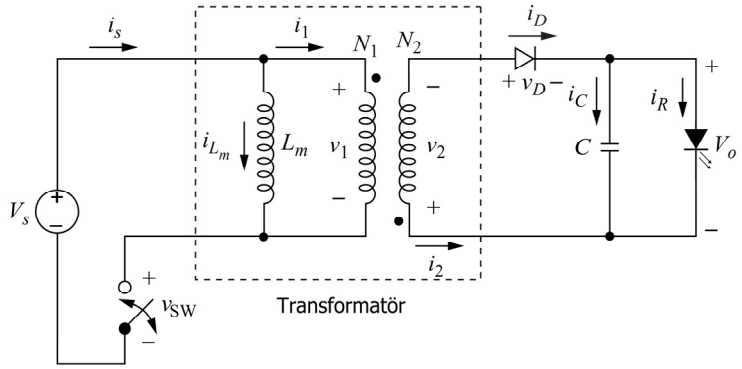
Şekil 4.18.c'de anahtarın iletimde olduğu durum gösterilmiştir. Transformatörün kaynak tarafında;

$$v_1 = V_S = L_m \frac{di_{L_m}}{dt} \tag{4.55}$$

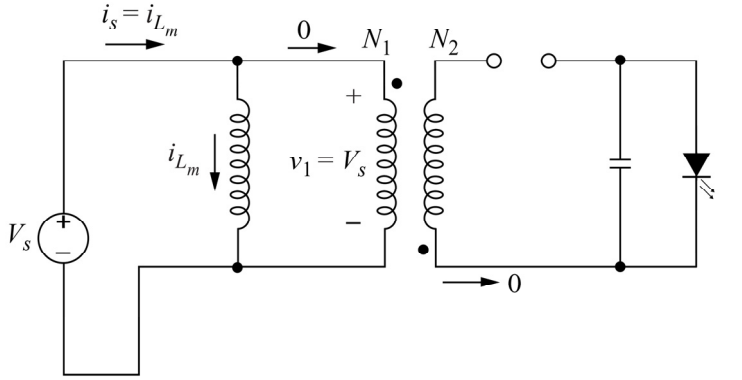
$$\frac{di_{L_m}}{dt} = \frac{\Delta i_{L_m}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{L_m}}{DT} = \frac{V_S}{L_m} \tag{4.56}$$



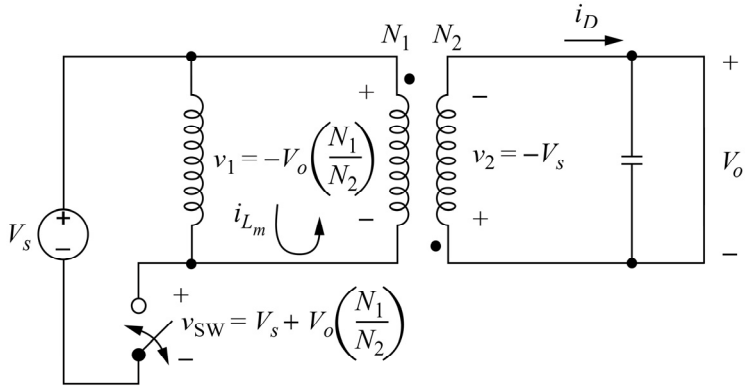
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.17. Flyback dönüştürücü

Transformatör mıknatıslanma endüktansı akımındaki değişimi hesaplanırsa;

$$\left(\Delta i_{L_m}\right)_{Kapalı} = \frac{V_S DT}{L_m} \tag{4.57}$$

Transformatörün yük tarafında ise;

$$v_2 = v_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right) = V_S\left(\frac{N_2}{N_1}\right) \tag{4.58}$$

$$v_D = -V_0 - V_S\left(\frac{N_2}{N_1}\right) < 0 \tag{4.59}$$

$$i_2 = 0 \tag{4.60}$$

$$i_1 = 0 \tag{4.61}$$

Diyot iletimde olduğundan $i_2 = 0$ ve $i_1 = 0$ olduğu anlamına gelir. Böylece anahtar iletimdeyken akım, L_m mıknatıslanma bobininde lineer bir şekilde artar.

Anahtar kesimdeyken akım, L_m bobininde aniden değişemez dolayısıyla iletim yolu ideal transformatörün primer sargılarına doğru olmalıdır.

$$v_1 = -V_0\left(\frac{N_1}{N_2}\right) \tag{4.62}$$

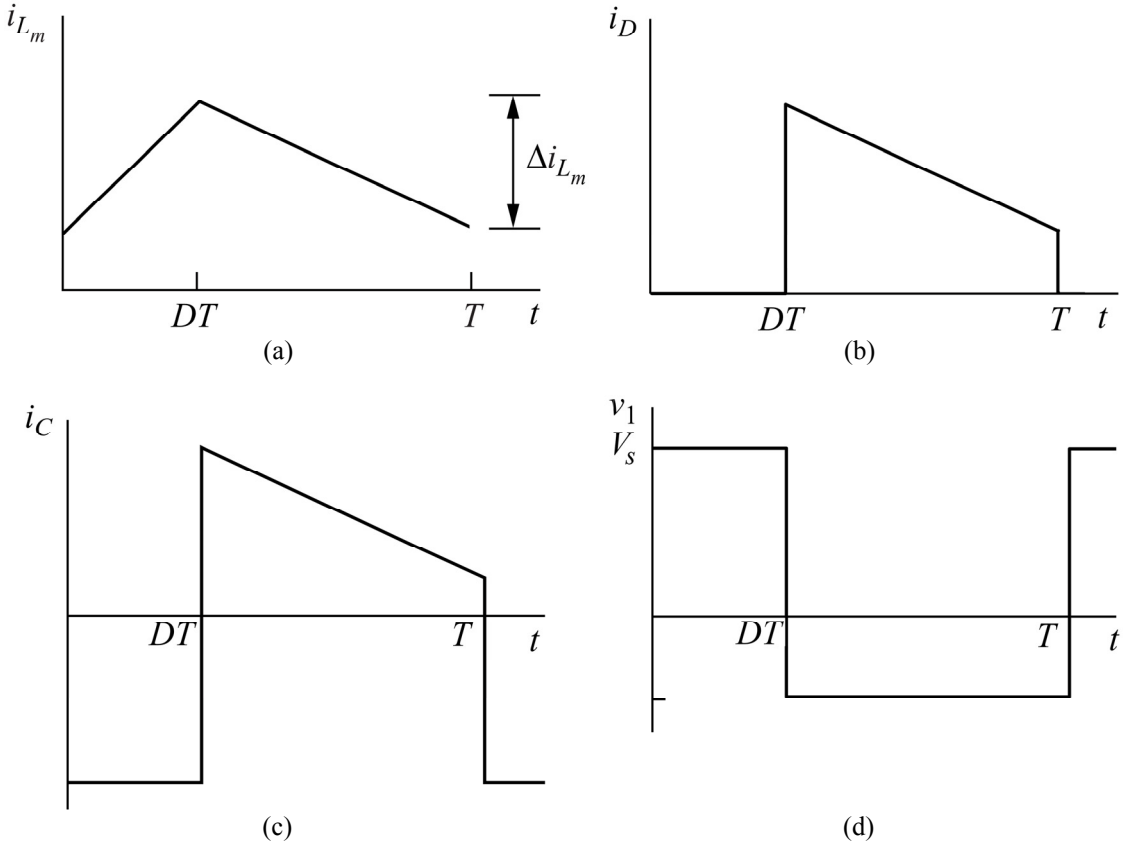
Anahtar kesimde iken gerilim ve akımlar;

$$v_2 = -v_0 \tag{4.63}$$

$$v_1 = v_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right) = -v_0\left(\frac{N_1}{N_2}\right) \tag{4.64}$$

$$L_m \frac{di_{L_m}}{dt} = v_1 = -V_0 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \tag{4.65}$$

$$\frac{di_{L_m}}{dt} = \frac{\Delta i_{L_m}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{L_m}}{(1-D)T} = \frac{-V_0}{L_m} \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \tag{4.66}$$



Şekil 4.18. Flyback dönüştürücü dalga şekilleri

Anahtar kesimdeyken transformatörün manyetik endüktansındaki değişimi hesaplanırsa;

$$\left(\Delta i_{L_m} \right)_{Açık} = \frac{-V_0 (1-D) T}{L_m} \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \tag{4.67}$$

Kararlı durum işleminde bobin akımındaki değişim bir periyotta sıfır olmalıdır. Buna göre denklem (4.57) ve (4.67) birleştirilirse;

$$\left(\Delta i_{L_m}\right)_{Kapalı} + \left(\Delta i_{L_m}\right)_{Açık} = 0 \tag{4.68}$$

$$\frac{V_S DT}{L_m} - \frac{V_0 (1-D) T}{L_m}\left(\frac{N_1}{N_2}\right) \tag{4.69}$$

Buradan V_0 hesaplanır,

$$V_0 = V_S\left(\frac{D}{1-D}\right)\left(\frac{N_2}{N_1}\right) \tag{4.70}$$

Şekil 4.18.a'da bobin akımındaki dalgalanma verilmiştir. L_m 'nin minimum değerini denklem (4.71) yardımı ile hesaplanabilir.

$$(L_m)_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f}\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{4.71}$$

Flyback dönüştürücüde L_m değeri sürekli akımda $(L_m)_{\min}$ değerinden daha büyük seçilmelidir. Denklem (4.57)'den L_m değeri denklem (4.72)'den hesaplanabilir.

$$L_m = \frac{V_S DT}{\Delta i_{L_m}} = \frac{V_S D}{\Delta i_{L_m} f} \tag{4.72}$$

Şekil 4.18.c'de çıkış kapasite akımının dalgalanması verilmiştir. Çıkış kapasite değeri denklem (4.72) yardımı ile hesaplanabilir.

$$C = \frac{D}{R(\Delta V_0 / V_0) f} \tag{4.73}$$

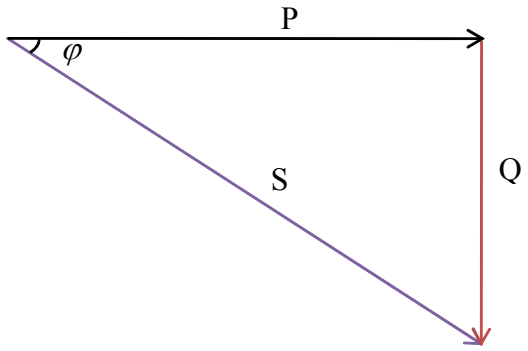
5. GÜÇ FAKTÖRÜNÜN DÜZELTİLMESİ

Çıkış durumuna göre güç LED'lerini sürmek için çeşitli anahtarlamalı dönüştürücüler kullanılır. Bunlardan en uygun olanı güç LED'lerini sürmek için seçilebilir. Ancak geleneksel anahtarlamalı dönüştürücüler yüksek güç faktörü sağlayamazlar. Genellikle hat gerilimi ve hat akımı arasında bir faz farkı bulunur ve hat akımının Toplam Harmonik Distorsiyon (THD)'u yüksektir (Ye ve ark., 2008). Bu, besleme kaynağının gücünün terminal ekipmanlar tarafından tam verimle kullanılamaması demektir. Bu nedenle son yıllarda LED'li aydınlatmalarda güç faktörü düzeltme (PFC) tekniği geliştirilmiştir (Chern ve ark., 2010).

Avrupa da, şebekeye bağlanan her hangi bir cihaz, kanunen EN 61000-3-2 standardında verilen giriş hat akımı harmonik sınır değerlerini sağlamak zorundadır. Bu standarda göre giriş akım harmoniklerinin sınırlanması yeterli olduğundan birim güç faktörünün sağlanması gerekli değildir. Bununla birlikte, standarttaki birçok değişiklikler ile standardı anlamak, standarda uygun PFC tekniklerini değerlendirmek ve toplam maliyet ile performansı optimize etmek önemlidir (EPSMA, 2010; Sebastián, 2003).

5.1. Güç Faktörü

Güç faktörü, ideal sinüsoidal dalga şekillerinde akım ile gerilim arasındaki faz farkının kosinüsüdür. Ancak bu geleneksel, tanım sinüsoidal olmayan akım veya gerilim işaretlerinin var olduğu durumlarda geçerliliğini kaybeder. İdeal sinüsoidal gerilim ve akım dalga şekilleri arasında bir faz farkı varsa, görünür güç, aralarında 90 derece faz farkı bulunan gerçek güç ve reaktif güç ile Şekil 5.1'deki gibi vektörel olarak gösterilebilir.



Şekil 5.1. İdeal sinüsoidal işaretlerin güç vektörleri

İdeal durumda güç faktörü;

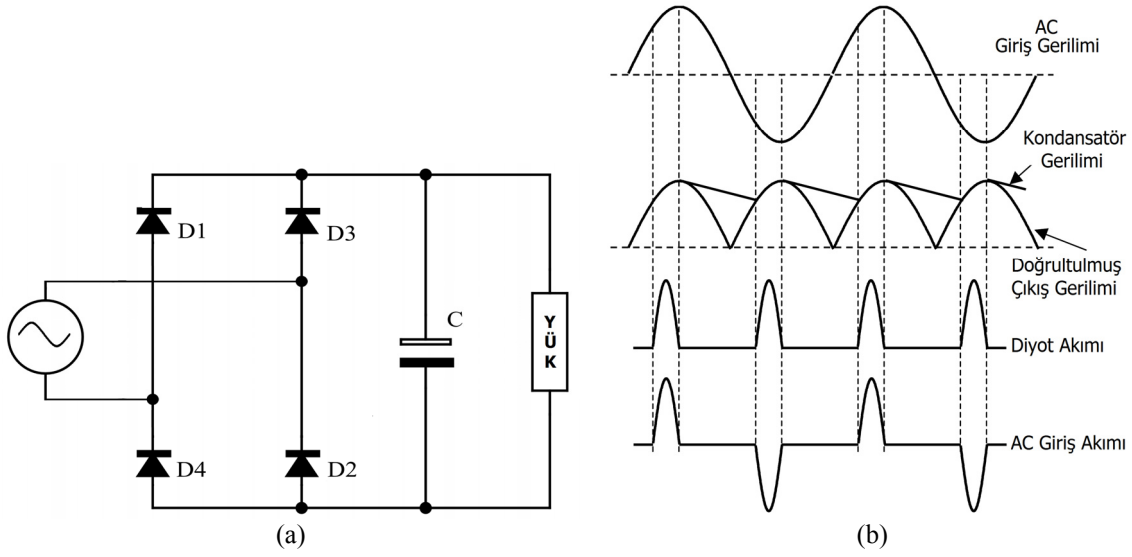
$$PF = \frac{Gerçek\ güç}{Görünür\ güç} = \frac{P}{S} = \cos\varphi \tag{5.1}$$

Olarak ifade edilir. Buradan da aktif güç ifadesi aşağıdaki gibi verilir.

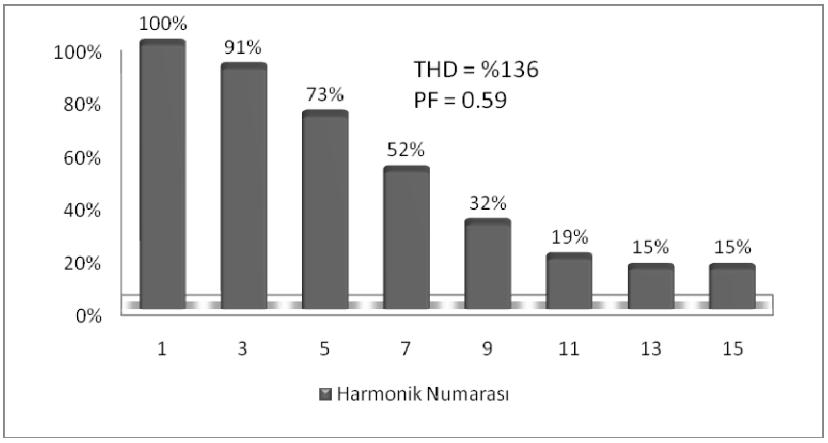
$$P = V.I.\cos\varphi \tag{5.2}$$

Güç kaynaklarının çoğunda giriş kısmı, tek fazlı bir AC-DC dönüştürücü ile giriş filtre kapasitesinden oluşmakta ve şebekeden sinüsoidal olamayan akımlar çekmekiltedir. LED sürücülerin girişlerinde de AC-DC dönüştürücüler bulunduğundan giriş güç faktörü düşüktür ve şebekeden harmonikli akımlar çekilir.

Tek fazlı AC-DC dönüştürücüler Şekil 5.2'de de görüldüğü gibi yarım periyodun sadece küçük bir kısmında akım çekerler. Bu akım tepeleri arasında ise yükün ihtiyacı olan enerji, giriş kapasitesinden sağlanır. Faz gecikmesi φ ve ayrıca bu tip bir darbeli akım dalgası, gereksiz ekstra etkin akımları üreterek şebekede mevcut gerçek gücü bozar. Bu nedenle güç faktörü değeri hem faz gecikmesi φ ve hem de giriş akımının harmonik bozulmasından oluşur. Şekil 5.3'de de AC-DC dönüştürücünün şebekeden çektiği akımın tipik harmonik spektrumu verilmiştir (De La Ree, 2012).



Şekil 5.2. Tek fazlı AC-DC dönüştürücünün a) devre şeması b) dalga şekilleri



Şekil 5.3. Tek fazlı AC-DC dönüştürücünün tipik harmonik spektrumu

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi akım herhangi bir sebepten dolayı bozulur ve periyodik fakat sinüsoidal olmayan dalga şekline dönüşürse fourier dönüşümü kullanılarak akımın değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + ...I_n^2} \tag{5.3}$$

Burada I_0 akımın DC bileşeni, I_1 akımın temel bileşeni ve diğerleri ise akımın harmonikleridir. Sinüsoidal işaret için $I_0 = 0$'dır. Akımın giriş gerilimi ile aynı fazdaki bileşeni I_{1P} ve 90 derece faz farkına sahip bileşeni I_{1Q} şebekeden ise çekilen akım, denklem (5.4)'deki gibi olur.

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_{1P}^2 + I_{1Q}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \tag{5.4}$$

Böylece gerçek güç, giriş gerilimi ile aynı fazdaki giriş akımının çarpımı ile denklem (5.5)'deki gibi bulunur.

$$P = V.I_{1P} \tag{5.5}$$

Giriş gerilimi ile giriş akımının aynı fazdaki bileşeni arasındaki yer değiştirme açısı φ_1 ise, akımın aktif bileşeni;

$$I_{1P} = I_1.\cos\varphi_1 \tag{5.6}$$

Böylece aktif güç görünür güç ve güç faktörü aşağıdaki denklem ile verilir.

$$P = V.I_1.\cos\varphi_1 \tag{5.7}$$

$$S = V.I \tag{5.8}$$

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{I_1.\cos\varphi_1}{I} \tag{5.9}$$

I_1 İle I arasındaki faz farkı θ ise;

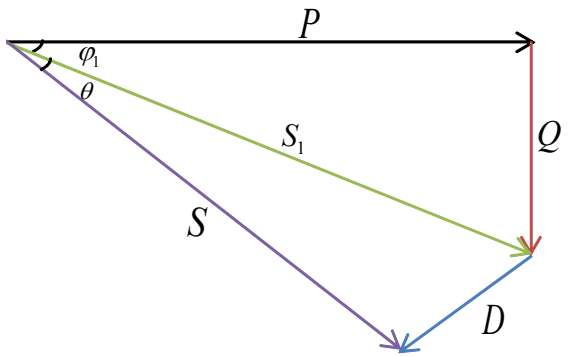
$$\cos\theta = \frac{I_1}{I} \tag{5.10}$$

Buna göre güç faktörü;

$$PF = \cos\theta.\cos\varphi_1 \tag{5.11}$$

Olur.

Denklem (5.11)'e göre güç faktörü vektörel olarak Şekil 5.4'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 5.4. Sinüsoidal olmayan işaretlerde güç vektörleri

Burada φ_1 giriş gerilimi ile giriş akımı arasındaki faz farkı, θ ise, giriş akımındaki harmonikler sebebiyle oluşan bozulma açısıdır. Q (Reaktif güç) ve D (Distorsiyon güç) istenmeyen akımlar üretir ve bu da kayıplara neden olarak şebekenin verimliliğini azaltır. Güç faktörünün iyileştirilmesi her iki faktörün iyileştirilmesi anlamına gelir (Wuidart, 1999).

5.2. Harmonik Standartları

Şebekeye bağlanan geleneksel AC-DC doğrultucu içeren cihazların üretmiş oldukları harmoniklerin sınırlarının ayarlanması harmonik standartlarını doğurmuştur. Bu alandaki standardizasyon faaliyetleri uzun yıllar sürdürülmüştür. Bugün Avrupa da EN-61000-3-2 standartlarına uymak yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu standartlara göre herhangi bir cihaz için 50Hz'lik 230V tek faz veya 400V 3 fazlık şebeke geriliminin her bir fazı için 16A RMS anma akımına kadar bu standart uygulanır. Cihaz tipine ve günlük kullanım frekansına bağlı olarak bütün elektrikli cihazlar Çizelge 5.1'de verilen sınıf A,B,C ve D olarak adlandırılan 4 sınıf içerisinde kategorize edilir (Basu, 2006; Abidin, 2006).

Özel maksimum sınırlar cihazların akım harmonik bileşenlerini ayarlamak içindir. Böylece, Avrupa Birliğinde, elektrik şebekesine bağlanan herhangi bir cihaz bu dört sınıf kapsamındadır. Her sınıf, harmonikli akımlar için kendisine ait limitlere sahiptir (Basu ve ark., 2004; Hu ve ark., 2011).

Çizelge 5.1. EN 61000-3-2 cihaz sınıflandırması

Sınıf A	▪ Dengeli 3 fazlı cihazlar ▪ D sınıfı dışında kalan ev aletleri ▪ Taşınabilir olanlar haricindeki cihazlar ▪ Akkor filamanlı lambaların dimmerleri ▪ Ses cihazları ▪ B,C ve D sınıfında bulunmayan bütün cihazlar
Sınıf B	▪ Taşınabilir cihazlar ▪ Profesyonel olmayan ark kaynakları
Sınıf C	▪ Aydınlatma cihazları
Sınıf D	▪ Bilgisayar ve bilgisayar monitörleri ▪ Televizyon alıcıları Not: Cihaz güç seviyesi 75W ile 600W arasında olmalıdır.

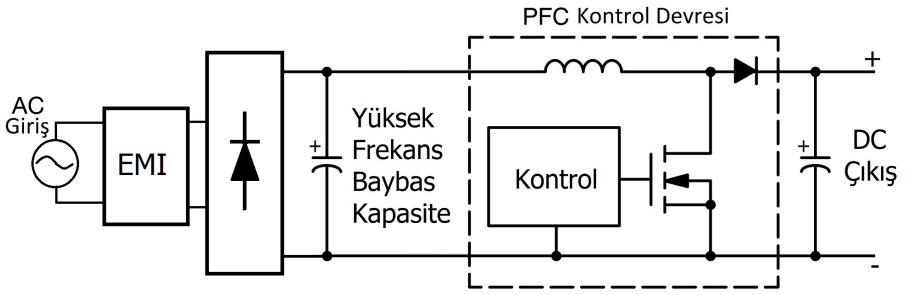
Aydınlatma cihazları EN 61000-3-2 cihaz sınıflandırmasında C sınıfı içerisinde değerlendirilmektedir. İkinci harmonik ve tek harmoniklerin tümünde sınırlama vardır. Harmonik sınırları, ana akımın yüzdesi cinsinden ifade edilir.

Çizelge 5.2. EN 61000-3-2 Harmonik sınırları

Harmonikler [n]	**A sınıfı [A]**	**B sınıfı [A]**	**C sınıfı [%]**	**D sınıfı [mA/W]**
Tek harmonikler				
3	2.30	3.45	30 x PF	3.4
5	1.14	1.71	10	1.9
7	0.77	1.155	7	1.0
9	0.40	0.60	5	0.5
11	0.33	0.495	3	0.35
13	0.21	0.315	3	3.85/13
$15 \leq n \leq 39$	0.15 x 15/n	0.225 x 15/n	3	3.85/n
Çift harmonikler				
2	1.08	1.62	2	-
4	0.43	0.645	-	-
6	0.30	0.45	-	-
$8 \leq n \leq 40$	0.23 x 8/n	0.345 x 8/n	-	-

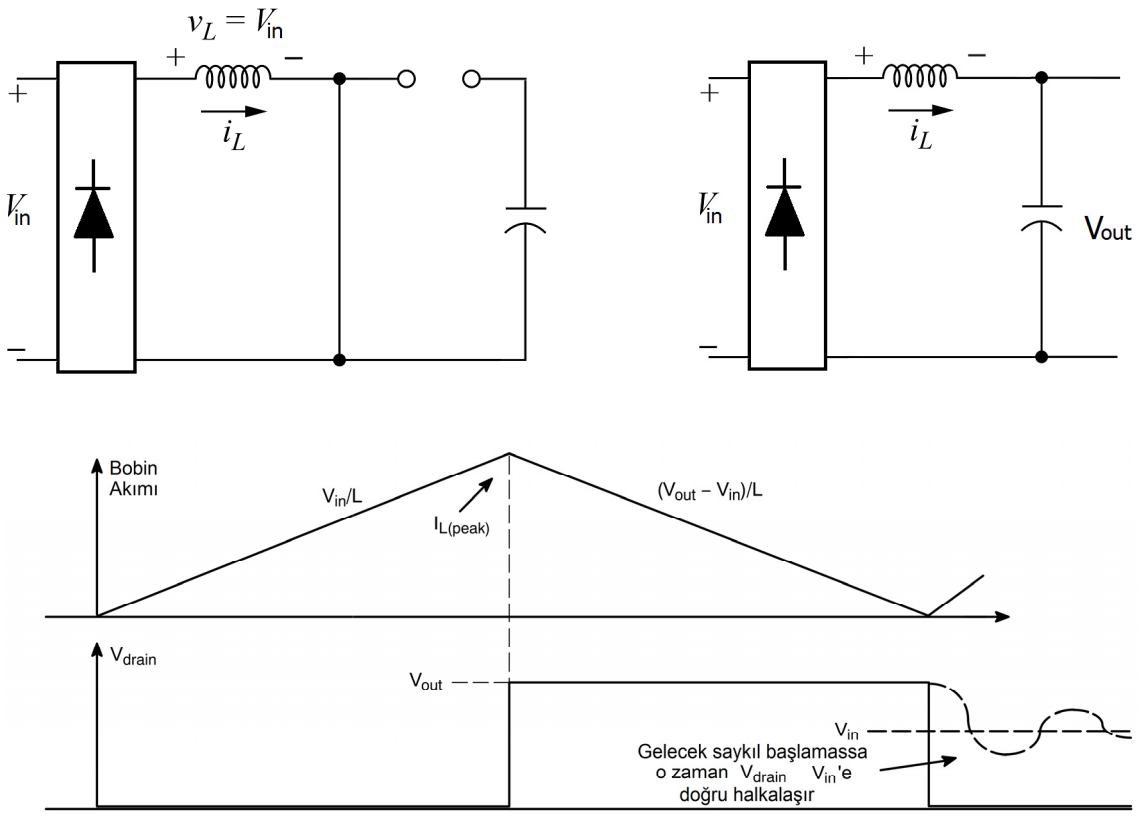
5.3. Boost Dönüştürücü ile Güç Faktörünün Düzeltilmesi

Bu dönüştürücü giriş gerilimini arttırarak çıkışa verir. Dönüştürücü şebeke periyodunda çalışabildiği için giriş akımı geçiş dalgalanmalarına sahip değildir ve giriş gerilimi sıfır geçişine yakın noktada şebeke akımının bozulmasını engellemektedir. Boost bobini, Şekil 5.5'de görüldüğü gibi dönüştürücünün girişine seri bağlandığından anahtarlama akımı kesintisizdir ve yüksek frekansta yapılan anahtarlama, giriş akımını etkilemez. Dolayısıyla giriş akımı daha az yüksek frekans içeriğe sahiptir ve EMI girişimleri daha az olduğu için daha küçük filtreler yeterli olmaktadır. Çıkıştaki kapasite, anahtarın kesimde olduğu andaki gerilimi diyot üzerinden çıkış gerilimiyle sınırlar ve anahtarı korur (Kyyra ve Grigore, 2000).



Şekil 5.5. Boost dönüştürücülü güç faktörü düzeltme devresi blok diyagramı

Güç faktörü düzeltme yöntemlerinde en sık kullanılan boost topolojisi, hem sürekli iletim modu (CCM) hem de kesintili iletim modu (DCM)'de çalışabilir. Kritik iletim modu (CrM) ya da sınır iletim modu olarak da gösterilen geçiş mod kontrolü anahtarlama frekansının ayarlanmasıyla CCM ve DCM arasındaki sınırda dönüştürücünün çalışmasını sağlar. Şekil 5.6'da boost dönüştürücüde anahtarın iletimde ve kesimde olduğu durumlar için bobin akımının dalga şekilleri verilmiştir.



Anahtar iletimdeyken, anahtar gerilimi yaklaşık sıfır olur. Bobin akımı lineer olarak (V_{in} / L) eğimi ile artmaya başlar.

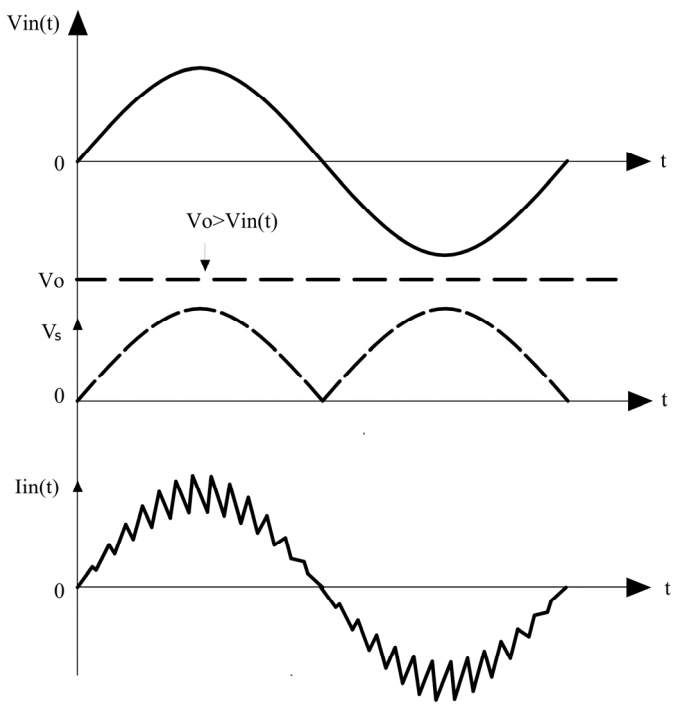
(a)

Anahtar kesimdeyken, bobin akımı diyota doğru akar. Bobin gerilimi $V_{out} - V_{in}$ olur ve bobin akımı lineer olarak $(V_{out} - V_{in}) / L$ eğimi ile azalmaya başlar.

(b)

Şekil 5.6. Boost dönüştürücü a) anahtarının iletimde ve b) kesimde olduğu durum

Güç faktörünün düzeltilmesi için, boost ön regülatörün giriş akımı, Şekil 5.7' de görüldüğü gibi anahtarın yüksek frekansta açılıp kapatılmasıyla giriş geriliminin dalga şekli ile uyumlu olmaya zorlanır. Bu güç faktörü düzeltme denetim devresi, PWM darbelerini kullanarak boost bobini üzerindeki akımı kontrol eder. Çalışma frekansı, bobinin sürekli iletimde kalacağı seviyede seçildiğinde bobin kontrollü akım kaynağı haline gelir. Doğrultulmuş kaynak gerilimi ve akım dalga şeklinin referans olarak kullanılmasıyla, kaynaktan çekilen bobin akımının, yüksek güç faktörü sağlamak üzere kaynak gerilimi ile aynı fazda ve sinüsoidal olması sağlanır (Gürbüz, 2009; Basu, 2005).



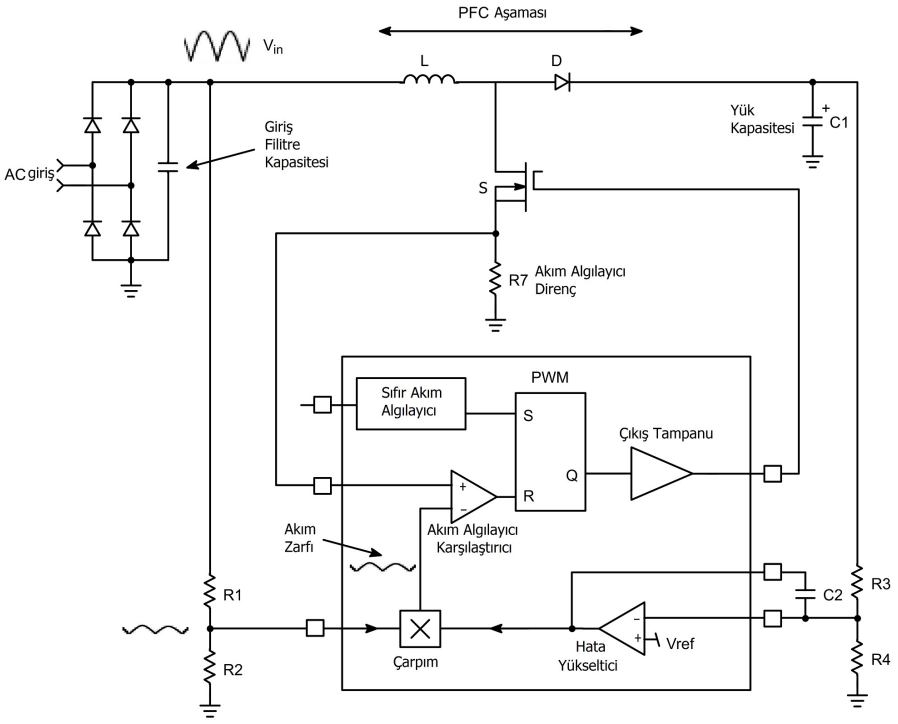
Şekil 5.7. Boost dönüştürücü temelli PFC devresinin sürekli iletimde akım ve gerilim dalga şekli

5.3.1. Kritik iletim modunda güç faktörü düzeltme işlemi

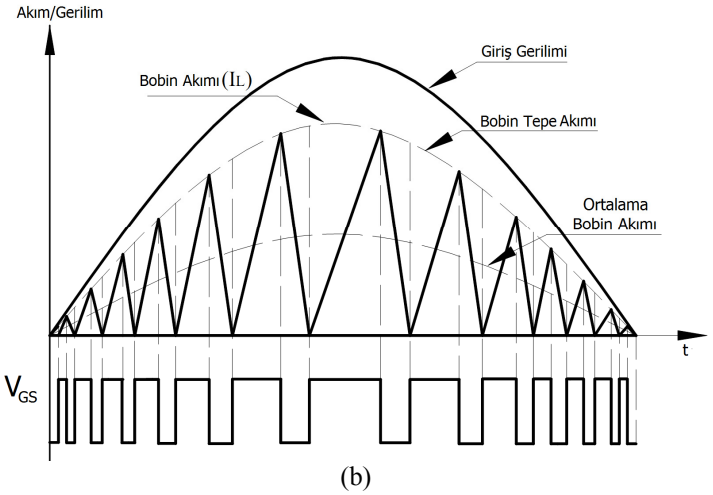
$300W$ üzerindeki uygulamalarda, sürekli iletim modu, boost dönüştürücülerde geniş bir biçimde kullanılmakta iken $300W$'ın altındaki uygulamalarda CrM boost dönüştürücülerde kullanılarak güç faktörü düzeltme işlemi gerçekleştirilmektedir (Turchi, 2003).

Şekil 5.8'de görüldüğü gibi bobin akımı sıfıra ulaştığında, anahtar iletime sokulur ve iletime geçme süresinin sabit olması sağlanır. Bu tip çalışmada anahtarlama frekansının geniş bir aralıktaki değişkenliği, uygulamada çeşitli problemlere yol

açabilir. Anahtarlama frekansı gürültülü çalışmanın olmaması için işitilebilir ses seviyelerinin altında olmamalıdır, ayrıca bu frekans güç kayıplarının yüksek olmaması ve EMI bozulmalarına yol açmaması için çok yüksek de olmamalıdır (Gotfryd, 2003; Kim ve Choi, 2005).



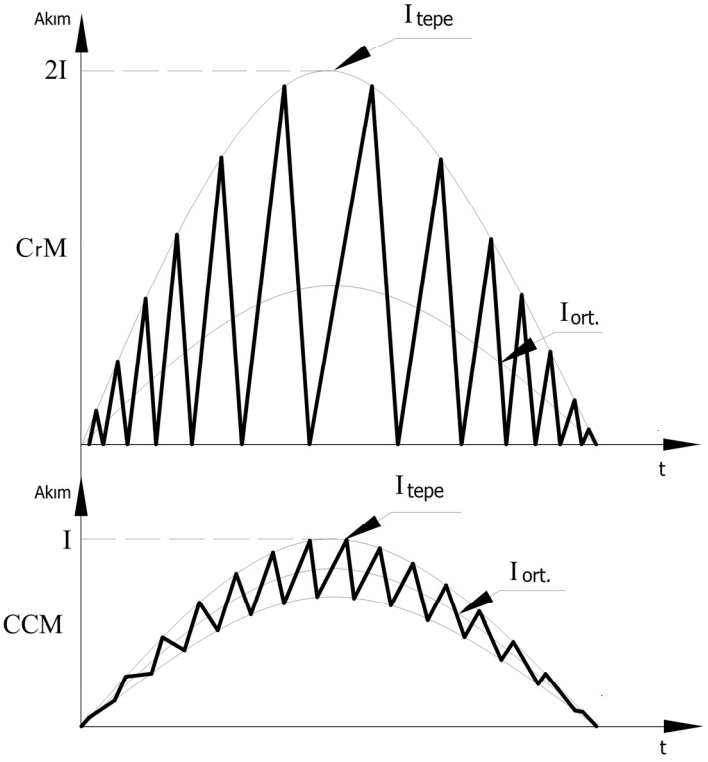
(a)



(b)

Şekil 5.8. CrM boost PFC a) devre şeması ve b) bobin akım dalga şekli

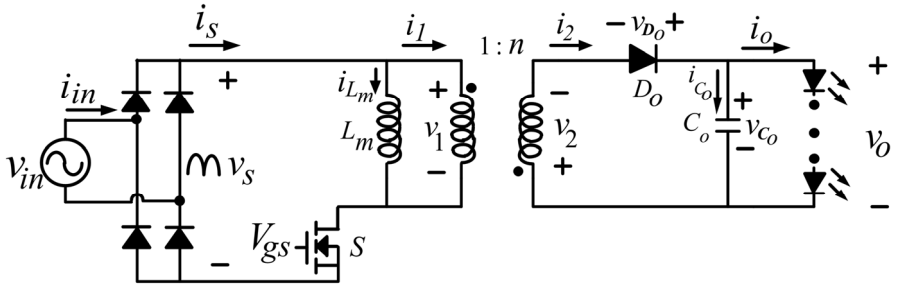
Şekil 5.9'da görüldüğü gibi bobin ve anahtar tepe akımının AC giriş akımının iki katı olması sebebiyle CrM yöntemi, yüksek güçler için uygun değildir. Ancak balast, adaptör ve güç LED sürme devresi gibi düşük güçlü uygulamalarda kullanışlıdır.



Şekil 5.9. CCM ve CrM bobin akımlarının karşılaştırılması

5.4. Flyback Dönüştürücü ile Güç Faktörünün Düzeltilmesi

Flyback dönüştürücü doğrultulmuş AC hat gerilimi ve çıkış gerilimi arasında izolasyon sağlayan DC-DC dönüştürücüdür. Şekil 5.10'da flyback dönüştürücünün blok şeması verilmiştir.

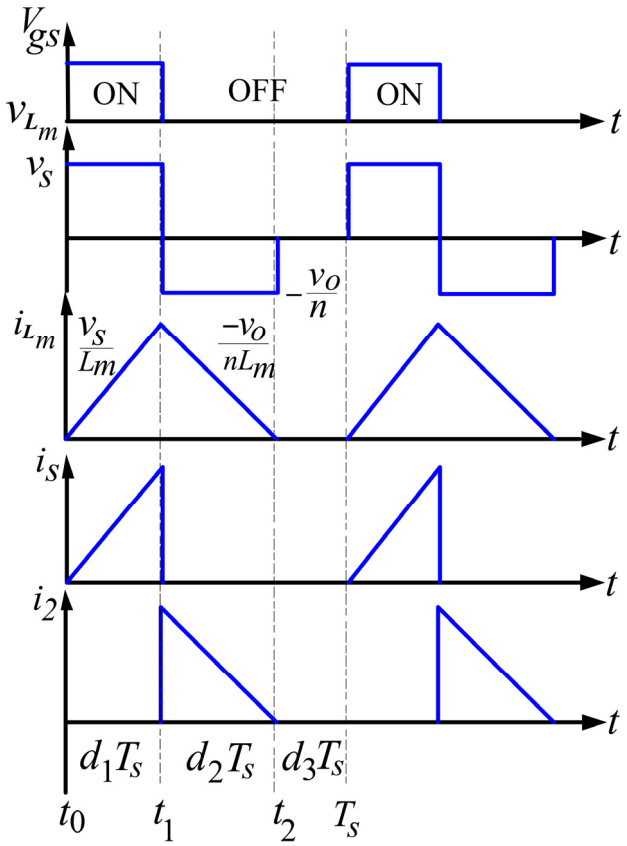


Şekil 5.10. Flyback dönüştürücü ile tek kademeli güç faktörü düzeltme ve AC-DC LED sürme devresi blok şeması

Sargılardaki noktalar primer ve sekonder sargıları arasındaki gerilim polarizasyonunu göstermek için kullanılır. Flyback transformatörün primer tarafındaki

kapasite kaldırıldığında, v_s gerilimi köprü diyot tarafından doğrultulmuş v_{in} giriş gerilimidir. L_m, flyback transformatörün manyetik endüktansıdır.

Bir flyback dönüştürücü, primer akımının sürekliliği açısından sürekli iletim modu veya kesintili iletim modunda çalışabilir. S anahtarı yüksek frekansta anahtarlama yaptığı için giriş akımı aynı frekansta titreşimli bir dalga haline gelir. Düzgün bir titreşimli akımının genliği ve süresi kontrol edilerek, giriş akımının ortalaması sinüsoidal ve giriş gerilimi ile aynı fazda yapılabilir. Sonuç olarak güç faktörü bire yaklaşır ve çok düşük bir toplam harmonik distorsiyon elde edilebilir. Ayrıca, sabit frekans ve sabit görev döngüsü stratejisi ile DCM flyback dönüştürücüde geleneksel iki aşamalı bir yaklaşımdan çok daha az bileşen kullanılır. Şekil 5.11'de flyback transformatörün dönüştürme oranı $(1/n)$ 1'den daha büyük varsayılarak teorik dalga şekilleri verilmiştir (Chuang, 2010).

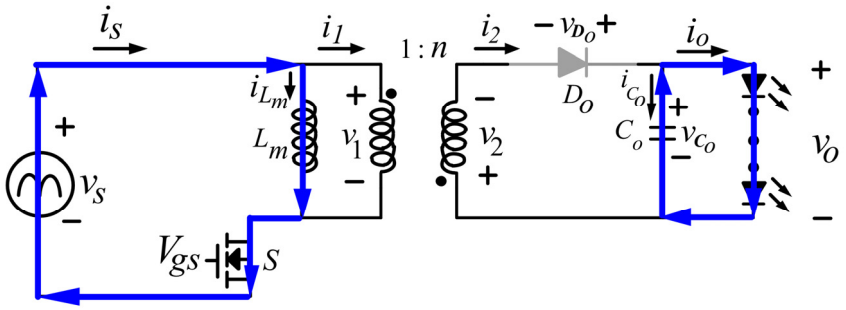


Şekil 5.11. Sürekli iletim modunda çalışan flyback dönüştürücünün teorik dalga şekilleri

Bir anahtarlama periyotu için güç faktörü düzeltmeli flyback dönüştürücü üç modda incelenebilir.

Mod 1 $(t_0 < t < t_1)$

Bu modda S anahtarı iletimde ve D_0 diyotu kesimdedir. Buna göre devrenin eşdeğeri Şekil 5.12'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 5.12. Mod 1 için eşdeğer devre

Doğrultulmuş DC giriş gerilimi;

$$v_s = |v_{in}(t)| = V_m |\sin(2\pi f_L t)| \tag{5.12}$$

olarak verilir. PFC devresi, sıfır akımda anahtar iletimde iken DCM çalışacak şekilde incelenecektir. Anahtar kesime girdiğinde doğrultulmuş giriş gerilimi, mıknatıslanma bobinine L_m uygulanır. L_m bobin akımı Şekil 5.11'deki gibi giriş gerilimi ile doğru orantılı bir eğim ile sıfırdan doğrusal olarak yükselir.

$$i_{Lm}(t) = \frac{V_m}{L_m} |\sin(2\pi f_L t)| (t - t_0) \tag{5.13}$$

Her bir anahtarlama periyodunda tepe akımı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$i_{L_{m,tepe}} = \frac{V_m}{L_m} |\sin(2\pi f_L t)| (t_1) \tag{5.14}$$

Flyback dönüştürücünün anahtarlama frekansı f_S giriş gerilim frekansı f_L'den çok yüksek olduğu için AC giriş gerilimi bir anahtarlama periyodu boyunca sabit olarak

kabul edilir. Bu modda i_{in} giriş akımı i_{Lm} akımına eşittir. D_0 diyotu kesimdedir ve diyot gerilimi $nv_s + V_0$ gerilimlerinin toplamlarının negatif değerine eşittir. Şekil 5.12'den enerji transfer diyotu D_0'ın gerilimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$v_{D_0} = -(nv_s + V_0) \tag{5.15}$$

$$v_2 = nv_s \tag{5.16}$$

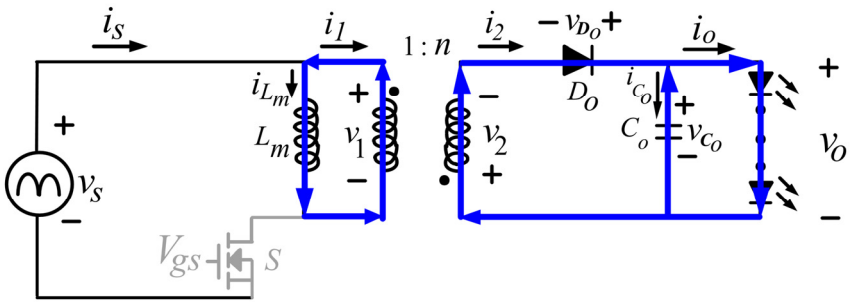
$$i_2 = 0 \tag{5.17}$$

$$i_1 = ni_2 = 0 \tag{5.18}$$

Anahtarın iletimde olduğu süre boyunca manyetik bobin enerji depolar ve anahtar kesime girdiğinde bu enerjiyi çıkışa aktarır. Anahtar kesime girdiğinde mod 1 biter ve mod 2 başlar.

Mod 2 $(t_1 < t < t_2)$

$t = t_1$'de anahtar kesimdedir ve D_0 diyotu transformatör sargıları üzerinden akımı akmaya zorlar. Anlık olarak giriş akımı i_s sıfır olur. Transformatörün sekonder tarafındaki çıkış akımı i_2 enerji transfer diyotu D_0 üzerinden akar. Bu modun eşdeğer devresi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Mod 2 için eşdeğer devre

Çıkış gerilimi v_0'dır ve primer gerilimi v_1 aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$v_1(t) = \frac{v_2(t)}{n} = \frac{-V_0}{n} \tag{5.19}$$

$t = t_1$ olduğunda anahtar kesimde olacak ve D_0 diyotu iletime geçerek manyetik bobin üzerindeki enerjiyi çıkış kapasitesi C_0 üzerine aktaracaktır. Bu süre boyunca bobin akımı i_{L_m} Şekil 5.11'deki gibi lineer olarak azalacaktır.

$$i_{L_m}(t) = \frac{V_m \,|\sin(2\pi f_L t)| - V_o / n}{L_m}(t - t_1) + i_{L_{m,tepe}} \tag{5.20}$$

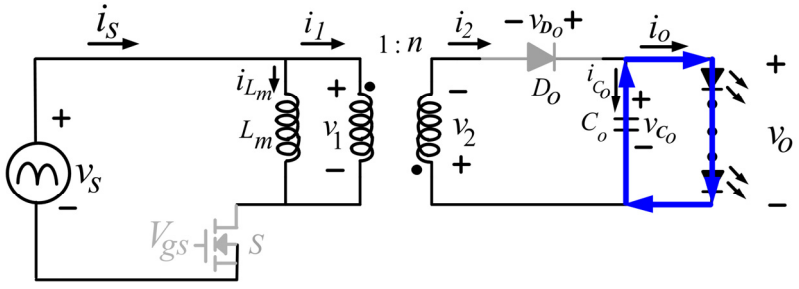
Denklem (5.14) ve (5.19) denklem (5.20)'de yerine konursa i_{L_m} akımının sıfıra düşme süresi, $d_2 T_S$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$d_2 T_S = \frac{V_m \,|\sin(2\pi f_L t)|}{(V_0 / n) - V_m \,|\sin(2\pi f_L t)|}.d_1 T_S \tag{5.21}$$

i_{L_m} akımının sıfıra düşmesi ile bu mod biter ve D_0 diyotu ters toparlanma kaybı olmadan kesime girer.

Mod 3 $(t_2 < t < T)$

Bu modda S anahtarı ile D_0 diyotu kesimdedir ve yük akımı i_0 çıkış kapasitesi üzerinden Şekil 5.14'deki gibi yük üzerine akar.



Şekil 5.14. Mod 3 için eşdeğer devre

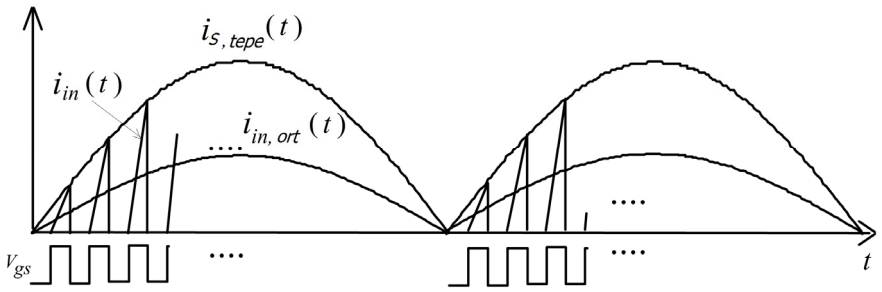
Bu modda, primer ve sekonder gerilimleri $v_1 = v_2 = 0$ 'dır.

$$i_0 = \frac{v_0}{R} \tag{5.22}$$

olarak bulunur.

Filtrelenmemiş i_{in} akımı, i_s akımına eşit olur. Çünkü flyback dönüştürücü Mod 1'in başında, sıfırdan i_{L_m} 'ye eğim artarken, giriş frekansının bir periyodu boyunca DCM olarak çalışır. Daha sonra $t = t_1$ anında akım aniden sıfıra düşer. Şekil 5.15'de L_m 'nin giriş frekansının bir periyodu boyunca akım dalga şekli gösterilmiştir. Akımın tepe değeri sinüsoidal zarfı takip eder ve aşağıdaki gibi temsil edilebilir.

$$I_{L_{m,tepe}}(t) = d_1 \frac{|V_m \sin(2\pi f_L t)|}{2L_m f_s} \tag{5.23}$$



Şekil 5.15. Flyback dönüştürücü giriş akım dalga şekli

I_{in} akımının ortalama değeri yüksek frekans anahtarlama periyodu boyunca denklem (5.24)'den hesaplanabilir.

$$I_{in,ort}(t) = \frac{1}{T_S}\int_0^{T_S} i_s(t)d(t) = \frac{d_1^2}{2L_m f_s} V_m \sin(2\pi f_L t) \tag{5.24}$$

$$R_e = \frac{2L_m}{d_1^2 T_S} \tag{5.25}$$

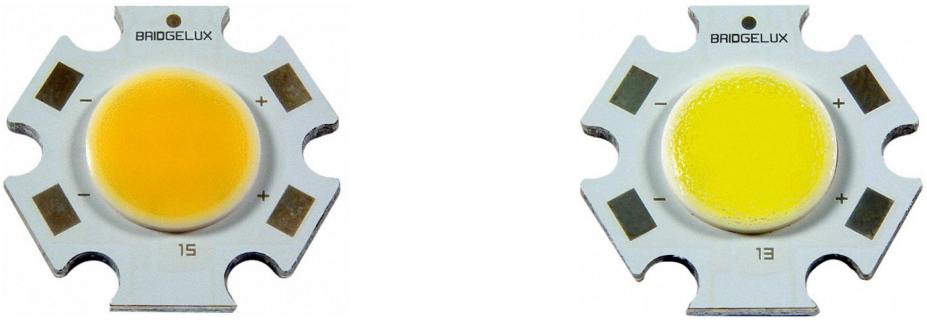
$t_0 \le t < t_1$ anında i_s aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$i_s = \frac{v_s}{R_e} \tag{5.26}$$

Denklem (5.24) giriş akımının sinüsoidal ve giriş gerilimi ile aynı fazlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle flyback dönüştürücü, sabit görev periyodu ve karışık anahtarlamalı DCM modda çalışan ve giriş akımı, giriş gerilimini doğal olarak izleyen PFC'li flyback bir devredir (Chuang, 2010).

6. GERÇEKLEŞTİRİLEN GÜÇ LED SÜRÜCÜ DEVRELERİ

Bu çalışmada harici ve dahili PFC'li iki farklı güç LED sürmesi devresi tasarlanmış, simüle edilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Her iki devrede yük olarak Şekil 6.1'de görülen ve parametreleri Çizelge 6.1'de verilen Bridgelux firmasına ait BXRA-W0401 model sıcak beyaz ve BXRA-C0402 model soğuk beyaz iki adet seri bağlı güç LED'i Kullanılmıştır (Bridgelux, 2010).



a) b)

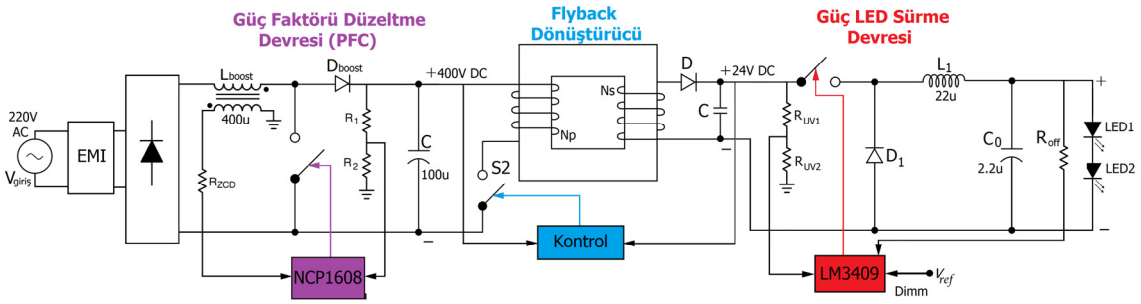
Şekil 6.1. Güç LED'leri a) BXRA-W0401 sıcak beyaz b) BXRA-C0402 soğuk beyaz

Çizelge 6.1. Devrede kullanılan güç LED parametreleri

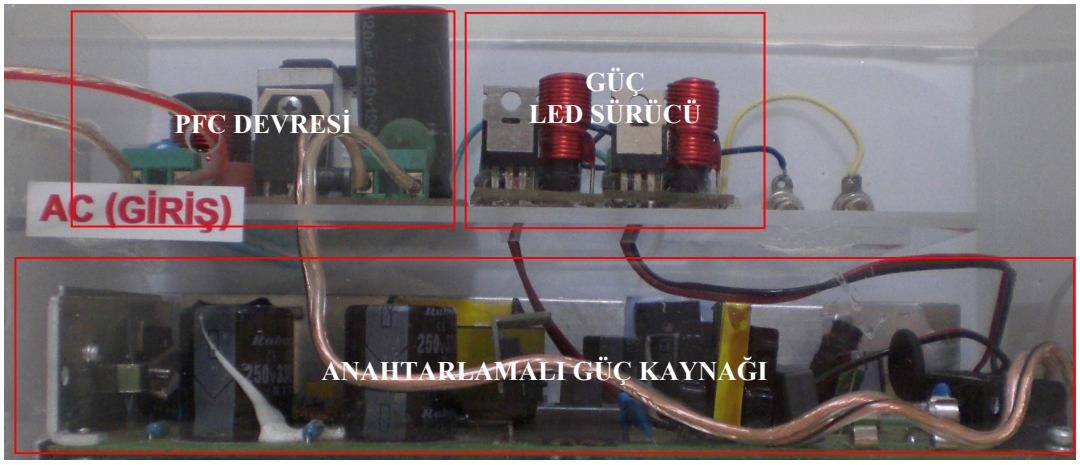
Model	**BXRA-W0401**		**BXRA-C0402**	
Renk	Sıcak beyaz		Soğuk beyaz	
Renk Sıcaklığı	3000K		5600K	
$I_{LED} = 700mA$	$V_f = 9.6V$	$P = 7W$	$V_f = 9.8V$	$P = 7W$
	$\Phi_V = 440lm$		$\Phi_V = 620lm$	
$I_{LED} = 1000mA$	$V_f = 10.1V$	$P = 10W$	$V_f = 10.5V$	$P = 10W$
	$\Phi_V = 560lm$		$\Phi_V = 800lm$	

6.1. Harici PFC'li Güç LED Sürme Devresi

Devre şeması Şekil 6.2.a'da verilen harici PFC'li güç LED sürme devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen devrenin üstten görünümü Şekil 6.2.b'de görülmektedir.



(a)



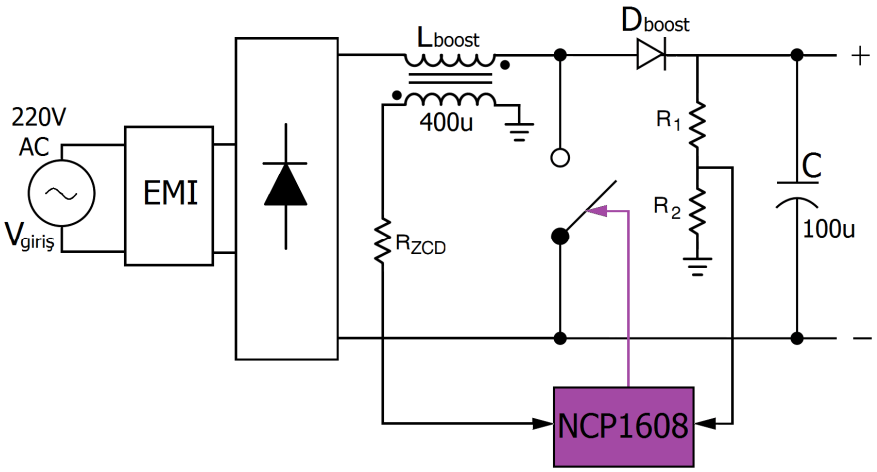
(b)

Şekil 6.2. a) Harici PFC'li güç LED sürücü devre şeması ve b) Devrenin üstten görünümü

Şekil 6.2.a'da görüldüğü gibi girişteki elektromanyetik girişim (EMI)'leri bastırmak için devrenin girişine bir EMI filtresi eklenmiştir. Köprü diyot vasıtasıyla AC şebeke gerilimi DC'ye dönüştürülmüş ve NCP1608 ile kontrol edilen boost PFC devresi ile giriş güç faktörü düzeltilmiş ve 400V sabit bir çıkış gerilimi elde edilmiştir. Bu gerilim flyback tipi bir dönüştürücü ile 24V'luk sabit bir değere düşürülmüştür. Güç LED'lerini sürmek için LM3409 ile kontrol edilen buck dönüştürücülü sürme devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

6.1.1. PFC devresi

Şekil 6.3'de verilen PFC devresi NCP1608 ile kontrol edilen bir boost dönüştürücüdür. NCP1608 PFC kontrolör, orta güçlü uygulamalar için özel olarak tasarlanmış bir aktif güç faktörü düzeltme devresidir (Covington, 2009). Geniş bir aralıktaki giriş gerilimi ve çıkış gücü için birim güç faktörünü sağlamak amacıyla kritik iletim modunda çalışmaktadır. Gerçekleştirilen PFC devresi $100W$'lık çıkış gücünü verecek şekilde çizelge 6.2'deki parametrelere göre tasarlanmıştır.



Şekil 6.3 PFC devre şeması

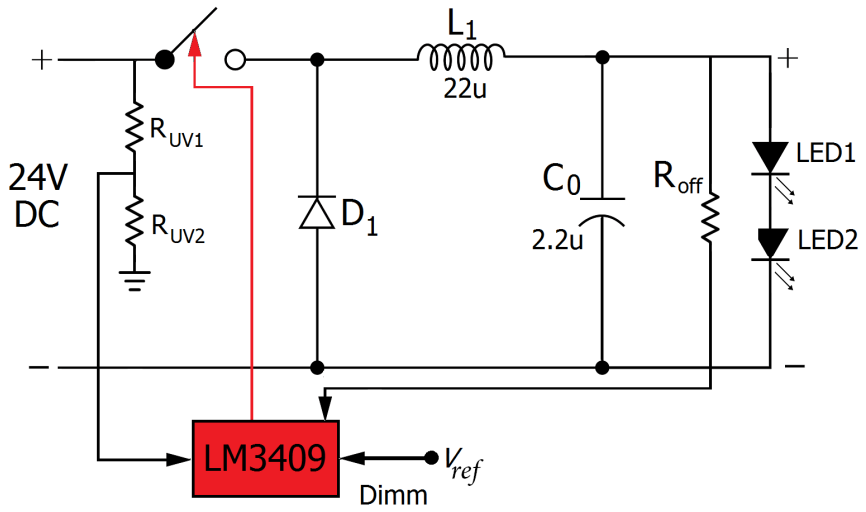
Çizelge 6.2. PFC devresi tasarım parametreleri

Parametre İsmi	Sembolü	Değeri	Birimi
Giriş gerilimi	V_{ac}	220	V
Giriş frekansı	f_{line}	50	Hz
Çıkış gerilimi	V_{out}	400	V
Tam yük çıkış akımı	I_{out}	250	mA
Tam yük çıkış gücü	P_{out}	100	W
Minimum anahtarlama frekansı	$f_{SW(MIN)}$	40	kHz
Minimum tam yük verimi	η	92	%
Minimum tam yük güç faktörü	PF	0.9	-

PFC kontrolör çıkışındaki gerilim seviyesini 400V DC'den LED sürücü için gerekli olan 24V DC'ye dönüştürmek için hazır bir flyback devresi kullanılmıştır.

6.1.2. Güç LED sürme devresi

LED'leri sürmek için sabit bir akım kaynağı elde etmek ve ışık şiddetini ayarlamak amacı ile LM3409 ile kontrol edilen buck LED sürücü devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. LM3409, P-kanallı MOSFET'ler ile gerçekleştirilen buck dönüştürücüler için kullanılan bir kontrolördür (Natioanal, 2010). Gerçekleştirilen devrenin bağlantı şeması Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4. Buck güç LED sürme devresi blok diyagramı

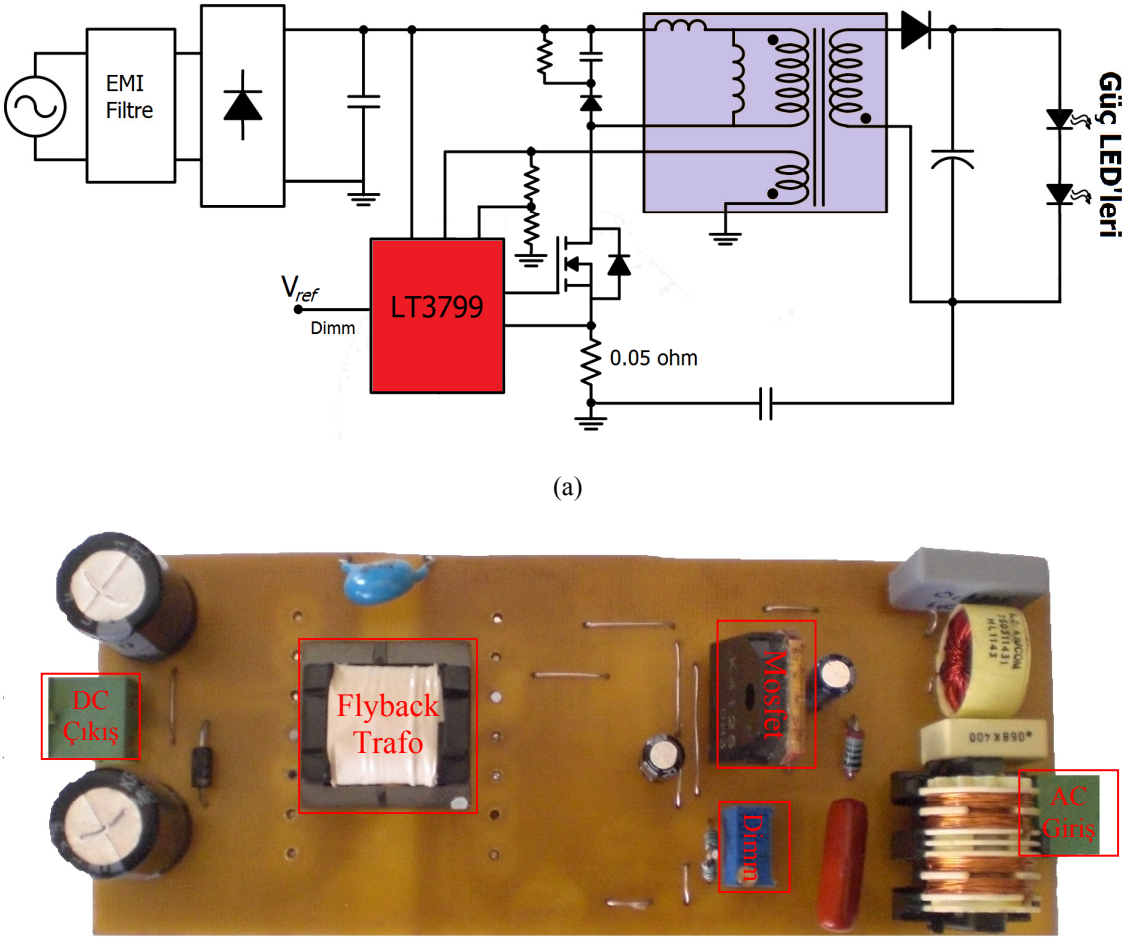
Flyback dönüştürücünün çıkışında elde edilen 24V DC gerilim LED sürme devresinin girişine uygulandığında çıkışına seri olarak bağlanan iki adet güç LED'i 19.0V 700mA'de sürebilmektedir. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi LM3409 tümleşik devresinin EN girişine bağlanan bir potansiyometre ile güç LED'lerinin ışık şiddeti de ayarlanabilmektedir. Gerçekleştirilen güç LED sürme devresine ait tasarım parametreleri Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Güç LED sürme devresine ait tasarım parametreleri

Parametre İsmi	Sembolü	Değeri	Birimi
Giriş gerilimi	V_{in}	24	V
Çıkış gerilimi	V_{out}	19.4	V
Tam yük çıkış akımı	I_{LED}	700	mA
Anahtarlama frekansı	f_{SW}	500	kHz
Minimum tam yük verimi	η	90	%

6.2. Dahili PFC'li LED Sürme Devresi

Bu çalışmada flyback tipi dahili PFC'li LT3799 kontrolör ile güç LED sürme devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5.a'da devrenin bağlantı şeması ve Şekil 6.5.b'de ise gerçekleştirilen devrenin üsten görünümü verilmiştir.



Şekil 6.5. Dahili PFC'li güç LED sürme devresi a) devre şeması b) üstten görünüm

Bu devrede de yüksek frekansta anahtarlama yapıldığından elektromanyetik girişimleri bastırmak için girişe bir EMI filtresi eklenmiştir. Köprü diyot vasıtasıyla AC şebeke gerilimi DC'ye dönüştürülmüş ve LT3799 ile kontrol edilen flyback tipi güç dönüştürücü ile giriş güç faktörü düzeltilerek çıkışta sabit akım ile güç LED'leri sürülmüştür.

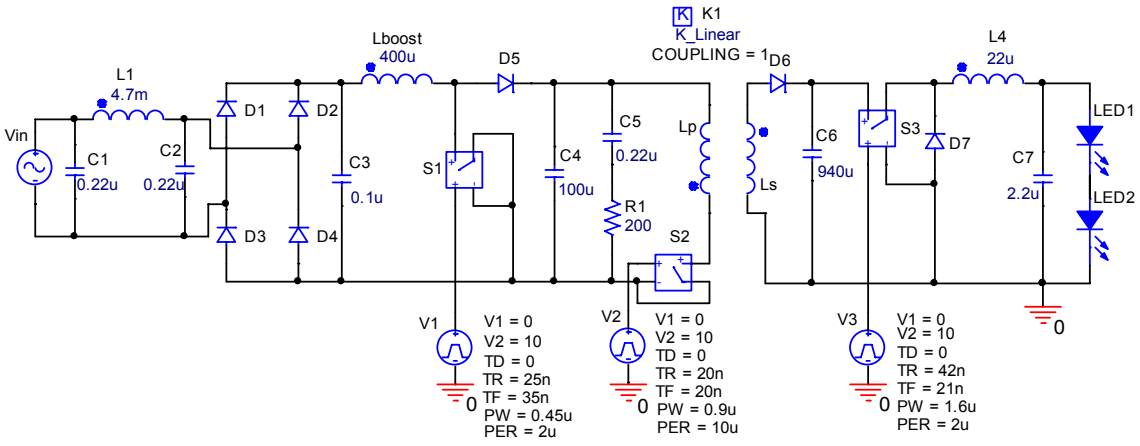
LT3799, LED'leri sürmek için özel olarak tasarlanmış güç faktörü düzeltme özelliğine sahip MOSFET sürücü içeren izoleli flyback dönüştürücüleri kontrol etmek amacı ile kullanılan bir tümleşik devredir (Linear, 2011). Gerçekleştirilen devrenin tasarım parametreleri Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Tasarım parametreleri

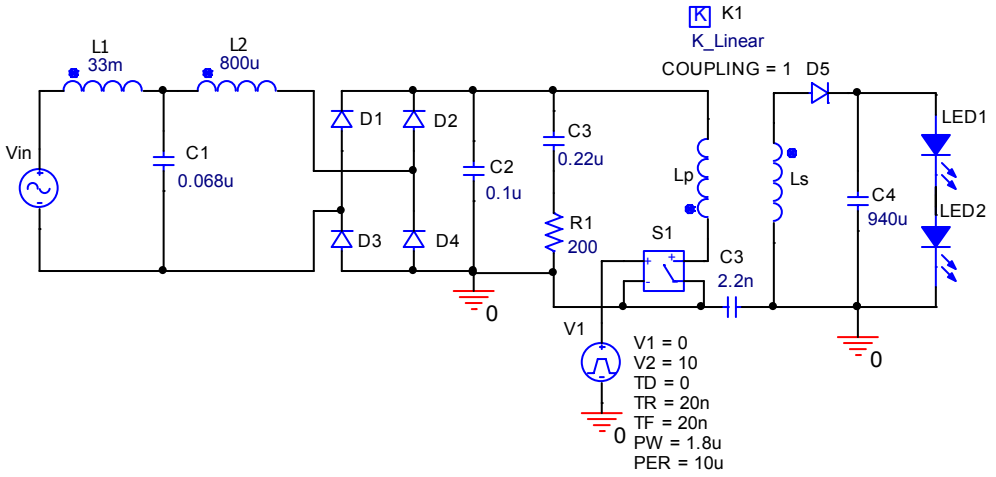
Parametre İsmi	Sembolü	Değeri	Birimi
Giriş gerilimi	V_{ac}	220	V
Giriş frekansı	f_{line}	50	Hz
Çıkış gerilimi	V_{out}	19.8	V
Çıkış akımı	I_{out}	1000	mA
Çıkış gücü	P_{out}	20	W
Anahtarlama frekansı	f_{SW}	25-300	kHz
Verimi	η	85	%
Güç faktörü	PF	0.97	-

6.3. Devrelerin PSpice Modelleri

Gerçekleştirilen her iki devre PSpice ortamında modellenmiş ve simüle edilmiştir. Devrelerin PSpice ortamında oluşturulan simülasyon modelleri Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de görülmektedir. Şekildeki PSpice modelleri, tasarım parametrelerine göre simüle edilmiş ve her iki devrenin çıkışında da yük olarak aynı güç LED'leri kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Gerçekleştirilen harici PFC'li güç LED sürücü devresinin PSpice modeli



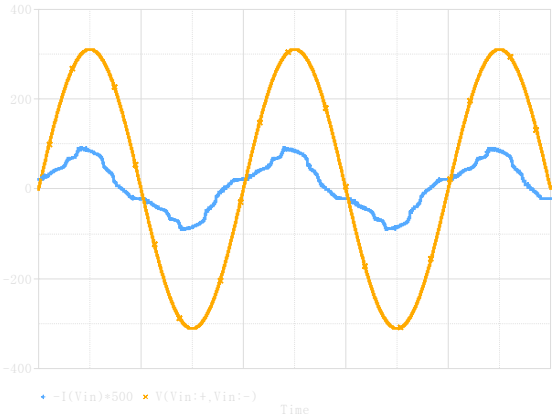
Şekil 6.7. Gerçekleştirilen dahili PFC'li güç LED sürücü devresinin PSpice modeli

6.4. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar

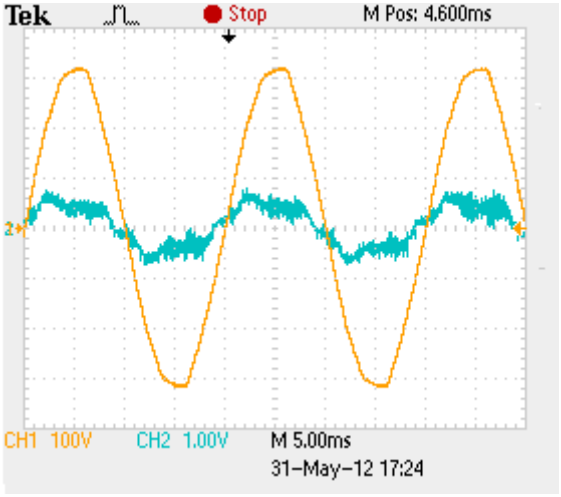
Güç faktörü düzeltmeli güç LED sürme devrelerinin giriş gerilimleri ve giriş akımlarının değişimleri ile çıkış gerilimleri ve çıkış akımlarının değişimleri PSpice ortamında ve deneysel sistemler üzerinden osiloskop görüntüsü olarak elde edilmiştir. Tasarlanan ve gerçekleştirilen devrelere ait deneysel ve simülasyon sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Şekil 6.8.a'da harici PFC'li güç LED sürme devresinin giriş gerilimi ve giriş akımına ait simülasyon sonuçları ve Şekil 6.8.b'de deneysel sonuçları gösterilmiştir. Şekil 6.9'da aynı devre için giriş akımının harmonik spektrumu verilmiştir.

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi giriş akımı, giriş gerilimini yaklaşık -23.3^0 'lik bir faz farkı ile izlemektedir. Buna göre devrenin güç faktörü 0.93 civarlarındadır. Simülasyon sonuçlar ve deneysel sonuçlar birbiriyle uyumludur Şekil 6.9'da görüldüğü gibi Toplam Harmonik Distorsiyon %31.1 civarlarındadır ve akım harmonik spektrumunda 3., 5. ve özellikle 7. harmonik oldukça etkindir. Bu da giriş akımının dalga şeklinin biraz bozulmasına neden olmaktadır. Güç faktörü PFC'siz yapıya göre oldukça düzeltilmiştir. Bulunan sonuçlara göre devre EN 61000-3-2 C sınıfı standartları sağlamaktadır.

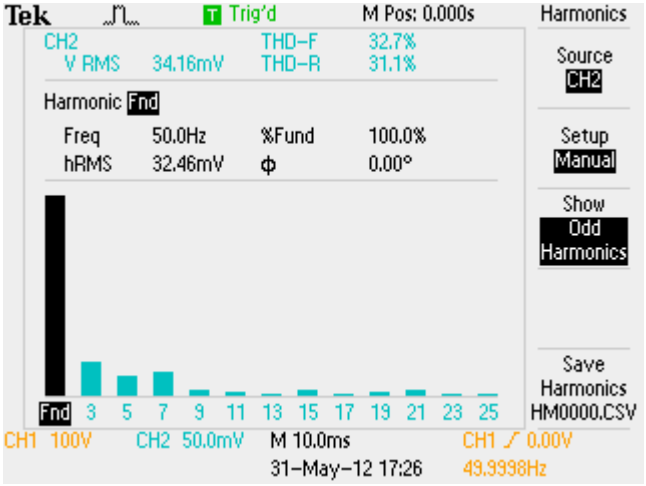


(a)



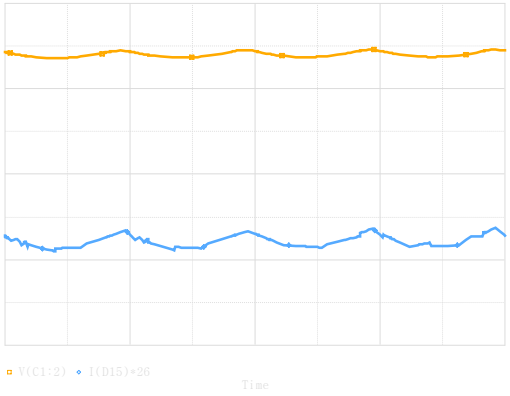
(b)

Şekil 6.8. Harici PFC'li devreye ait a) simülasyon ve b) deneysel giriş akım ve geriliminin değişimi (100V/div 500mA/div)

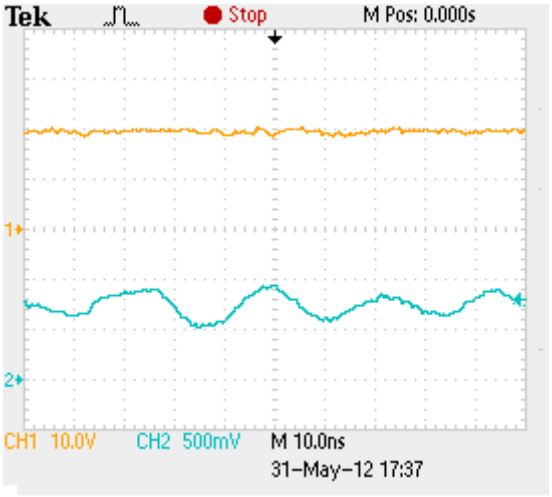


Şekil 6.9. Harici PFC'li devreye ait harmonik spektrumu

Şekil 6.10.a'da harici PFC'li güç LED sürme devresinin çıkış gerilimi ve çıkış akımına ait simülasyon sonuçları ve Şekil 6.10.b'de deneysel sonuçları verilmiştir. Değişimde görüldüğü gibi çıkış gerilimi yaklaşık sabit değerinde kalırken çıkış akımı biraz dalgalanmakla beraber ortalama bir değerde yaklaşık sabit kalmaktadır. Buda devrenin az bir dalgalanmayla birlikte güç LED'leri için sabit akım sağladığını göstermektedir.



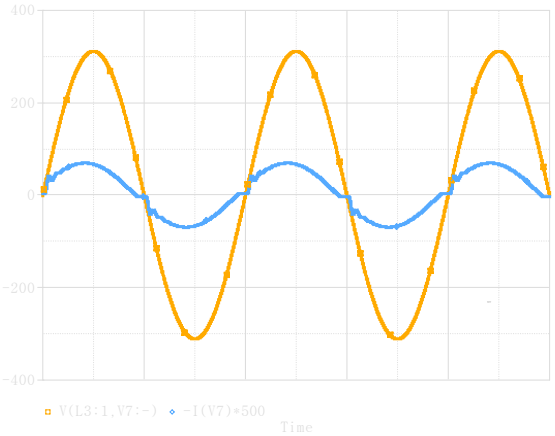
(a)



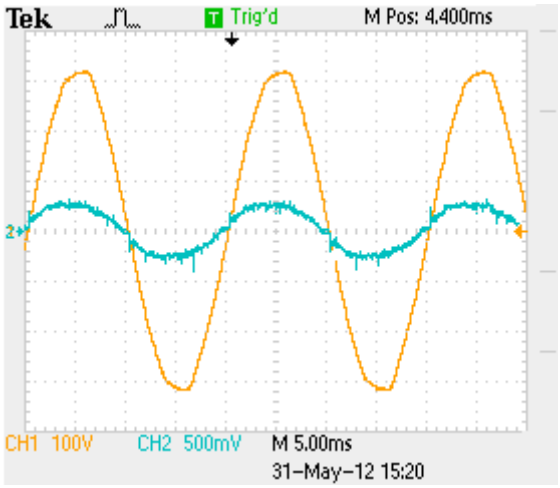
(b)

Şekil 6.10. Harici PFC'li devreye ait a) simülasyon ve b) deneysel çıkış akım ve geriliminin değişimi (10V/div, 500mA/div)

Şekil 6.11.a'da dahili PFC'li güç LED sürme devresinin giriş gerilimi ve giriş akımına ait simülasyon sonuçları ve Şekil 6.11.b'de deneysel sonuçları gösterilmiştir. Şekil 6.12'de aynı devre için giriş akımının harmonik spektrumu verilmiştir. Şekil 6.11'de görüldüğü gibi giriş akımı, giriş gerilimini izlemektedir ve çok az bir faz kayması ile güç faktörünün düzeltildiği, deneysel ve simülasyon sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Giriş faz açısı yaklaşık -13.32 derece ve devrenin güç faktörü 0.97 civarlarındadır.

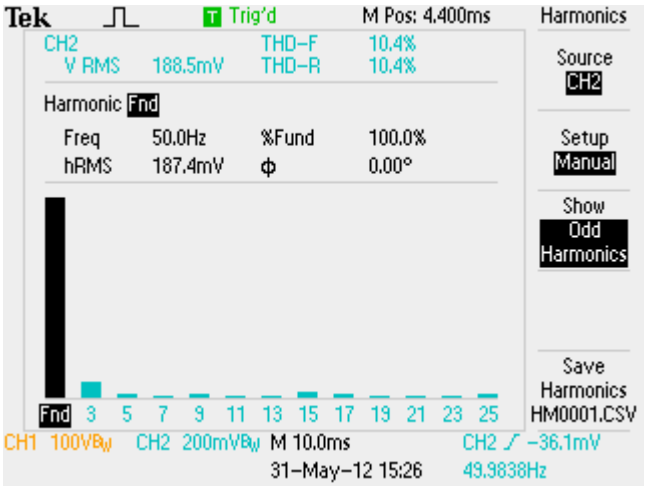


(a)



(b)

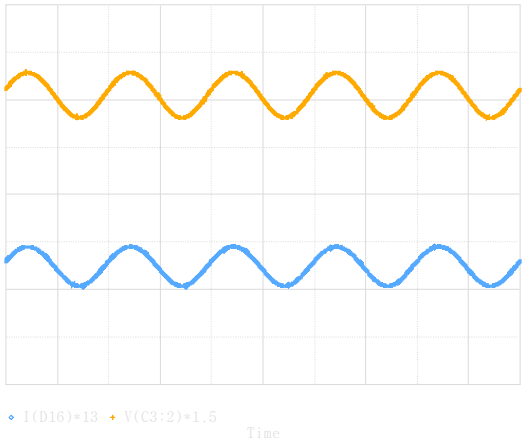
Şekil 6.11. Dahili PFC'li devreye ait a) simülasyon ve b) deneysel giriş akım ve geriliminin değişimi (100V/div 500mA/div)



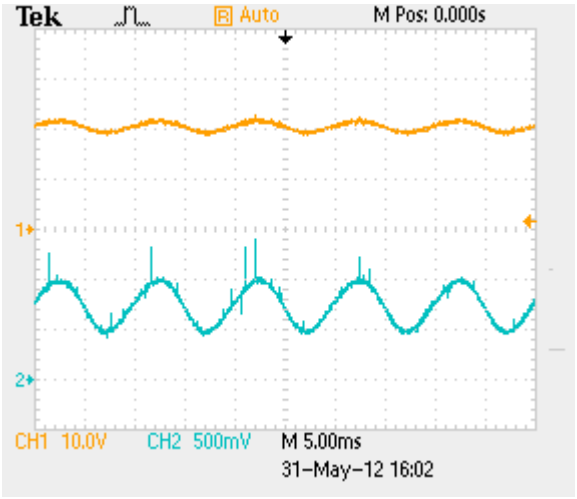
Şekil 6.12. Dahili PFC'li devreye ait harmonik spektrumu

Şekil 6.12'de görüldüğü gibi Toplam Harmonik Distorsiyon %10.4 civarlarındadır ve 3. Harmonik diğer harmoniklere göre biraz daha etkindir. Bu da giriş akımının dalga şeklini çok az bozmaktadır. Ancak PFC'siz yapıya ve harici PFC'li devreye göre harmonik içeriği ciddi oranda azaltılmış olup çekilen akımın değişimi sinüsoidaldır. Bu sonuçlar dahili PFC'li güç LED sürme devresinin En 61000-3-2 C sınıfı standartları rahatça sağladığını göstermektedir.

Şekil 6.13.a'da dahili PFC'li güç LED sürme devresinin çıkış gerilimi ve çıkış akımına ait simülasyon sonuçları ve Şekil 6.13.b'de deneysel sonuçları verilmiştir. Değişimde görüldüğü gibi çıkış gerilimi ve çıkış akımı harici PFC'li devrede olduğu gibi ortalama bir değer etrafında küçük bir dalgalanmaya sahiptir. Çıkış gerilim dalgalanması biraz fazladır.



(a)



(b)

Şekil 6.13. Dahili PFC'li devreye ait a) simülasyon ve b) deneysel çıkış akım ve geriliminin değişimi (10V/div, 500mA/div)

6.5. Harici ve Dahili PFC'li Güç LED Sürücü Devrelerinin Karşılaştırılması

Her iki devrede yük olarak 20W'lık güç LED'i kullanılmış, devreler 110V ve 220V'luk giriş gerilimleri için çalıştırılmıştır. Güç faktörü ve THD değerleri ölçülmüş ve PFC'siz devrenin tipik değerleriyle birlikte Çizelge 6.5'de verilmiştir. Yine her iki devrenin girişindeki hat akımının harmonikleri ölçülmüş ve elde edilen değerler Çizelge 6.6'da EN 61000-3-2 C sınıfı standartlarında belirtilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.5. Gerçekleştirilen devrelerin deneysel ve tipik bir PFC'siz AC-DC doğrultucunun sonuçları

Parametre	PFC'siz devre	Harici PFC'li devre		Dahili PFC'li devre	
		110V	220V	110V	220V
PF	0.59	0.96	0.93	0.99	0.97
THD	%136	%15.3	%31.1	%12.0	%10.4

Çizelge 6.6. Dahili ve harici PFC'li devrelerin EN 61000-3-2 C sınıfı harmonik standardına göre karşılaştırılması

Harmonik [n]	EN-61000-3-2 C sınıfı [%]	Harici PFC'li devre [%]		Dahili PFC'li devre [%]	
		110V	220V	110V	220V
2	2	0.42	0.41	0.03	0.10
3	30*PF	12.2	17.9	10.9	7.95
5	10	8.20	8.57	2.32	2.32
7	7	0.47	12.4	0.10	0.90
9	5	1.74	3.10	1.28	2.17
11	3	1.70	2.31	0.56	1.27
13	3	0.68	1.09	0.59	1.27

Bu çalışmada tasarlanan ve gerçekleştirilen harici ve dahili PFC'li güç LED sürme devrelerinin her ikisi de PFC'siz devreye göre daha yüksek güç faktörü sağlamakta ve şebekeden daha düşük harmonik içeriğe sahip akımlar çekmektedir. Güç faktörü, harmonikler ve THD açısından çalışılan güç seviyesi için flyback dönüştürücü ile gerçekleştirilen dahili PFC'li devrenin, boost dönüştürücü ile gerçekleştirilen harici PFC'li devreye göre hem simülasyon hem de Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'daki deneysel sonuçlara göre daha iyi olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, iki farklı güç faktörü düzeltmeli güç LED sürme devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu devrelerden ilkinde, güç faktörü düzeltme ve güç LED sürme devreleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. İkincisinde ise, güç LED sürme ve güç faktörü düzeltme işlemi tek bir tümleşik devre tarafından kontrol edilmiştir. PSpice programı kullanılarak iki devrenin de simülasyonu yapılmıştır. PSpice programında kullanılan elemanlar ideal kabul edildiğinden gerçek hayatta kullanılan devrenin çıkış sinyalleri ile bilgisayar ortamında elde edilen çıkış sinyalleri arasında az da olsa bazı farklılıklar vardır. Bu durum simülasyon ve deneysel sonuçlarda açıkça görülmektedir. Simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlar ile yeterince uyumlu olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen harici PFC'li güç LED sürme devresi ile 100W'lık güç LED'lerinin sürülmesine kadar güç faktörü düzeltmesi yapılabilmektedir. Yüksek güçlü uygulamalarda bu yöntem kullanılarak güç faktörünün düzeltmesi ayrı, güç LED'lerinin sürülmesi ayrı olarak gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen dahili PFC'li güç LED sürme devresi ile 20W'a kadar giriş güç faktörü düzeltilebilmektedir. Tek bir devre ile hem güç faktörünün düzeltilmesi hem de güç LED'lerinin sürülebilmesi, küçük boyutlu olması ve düşük maliyetli olmasından dolayı bu yöntem düşük güçlü uygulamalar için dahili PFC'li güç LED sürme devresi daha avantajlıdır.

Harici PFC'li devrenin THD'si %31.1 ve güç faktörü 0.93 iken dahili PFC'li devrenin THD'si %10.4 ve güç faktörü 0.97 olarak bulunmuştur. Buna göre dahili PFC'li güç LED sürme devresi, şebekeden daha az harmonikli akımlar çekmektedir ve giriş güç faktörü harici PFC'li devreye göre daha iyidir. Deneysel çalışmalar düşük güç (20W'lık çıkış gücü) için gerçekleştirilmiştir. Bu güçlerde dahili PFC'li devre daha iyi sonuçlar vermektedir. Buna karşılık harici PFC'li devreler daha yüksek güçler için daha iyi sonuçlar vermektedir.

Verimli, uzun ömürlü, uzun vadede maliyetleri düşük ve tasarruflu olan güç LED'leri, her iki devre ile giriş akım harmoniklerini azaltarak ve güç faktörünü iyileştirerek EN 61000-3-2 C sınıfı harmonik standardını sağlayacak şekilde sürülebilir.

7.2. Öneriler

Güç faktörünün düzeltilmesi, sadece güç LED sürücülerinde değil geniş bir kullanım alanına sahip olan girişinde AC-DC doğrultucuların kullanıldığı anahtarlamalı güç kaynakları gibi uygulamalarda oldukça önemlidir. Bundan dolayı ev kullanıcıları için bina girişlerinde ayrı bir DC hattı oluşturulabilir ve bu hat için güç faktörü düzeltilmesi yapılarak şebekeden sinüsoidal akım çekilmesi sağlanır ve doğrultucuların neden olduğu harmonikler azaltılabilir.

Bu işlemin çok maliyetli görüldüğü yerlerde sadece aydınlatma için bütün evin aydınlatılması güç LED'leri ile sağlanarak bunların hepsinin gücünü karşılayacak bir güç faktörü düzeltme devresi ile aydınlatmada meydana gelebilecek harmonikler azaltılarak harmoniklerin şebekeye vermiş olduğu zararlar azaltılabilir. Bu yöntemde bu tezde uygulanan harici PFC'li güç LED sürme yönteminde olduğu gibi tek bir güç faktörü düzeltme devresinin çıkışına bağlanacak çok sayıda DC-DC güç LED sürme devreleri ile her oda için verimli ve tasarruflu bir aydınlatma sağlanabilir.

Önerilecek diğer bir yöntem ise, bu tezde uygulanan dahili PFC'li güç LED sürme yönteminde olduğu gibi bir evin her bir odası için o odanın aydınlatma gücüne göre PFC'li güç LED sürme devreleri ile verimli ve tasarruflu bir aydınlatma sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Abidin M. N. Z., 2006, IEC 61000-3-2 Harmonics Standards Overview, *Schaffner EMC Inc*., Edsion, NJ, USA.

Akar, N. Ve Şahin, A. K., 2012, Floresan Kırma Gösterisinin Beyne Ciddi Zararı Var, *http://www.zaman.com.tr/haber.do?haberno=1236524&title=floresank%FDrma-g%F6sterisinin-beyne-ciddi-zarar%FD-var*, [Ziyaret Tarihi: 28 Ocak 2012].

Akbulut, M, Ve Gül, Ö., 2009, LED'li Işık Kaynaklarının Karakteristiklerini Belirlemeye Yönelik Ölçmeler, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, Mayıs 2009.

Anonim, 2012, Enerji Verimliliği, *http://www.ibb.gov.tr/sites/aydinlatmaenerji/Pages/EnerjiVerimliligi.aspx,* [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2012].

Anonim, 2011, LED Lamba, http://tr.wikipedia.org/wiki/LED_lamba [Ziyaret Tarihi: 12 Kasım 2011].

Anonim, 2011, LED Nedir*, http://www.vetron.com.tr*, İstanbul [Ziyaret Tarihi: 5 Kasım 2011].

Anonymous, 2011, Light - Emitting - Diode, *http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode* [Ziyaret Tarihi: 12 Kasım 2011].

Anonymous, 2010, Efficient Lighting, *www.infineon.com/lighting,* 6-7.

Anonymous, 2009, Energy-efficient solutions for LED lighting, *www.st.com/lighting*, October 2009, Italy, 4-9.

Application Note 42047, 2004, Power Factor Correction (PFC) Basics, *Fairchild Semiconductor Corporation.*

Arik, M., Sharma, R., Jackson, J., Prabhakaran, S., Seeley, C., Utturkar, Y., Weaver, S., Kuenzler, G. and Han B., 2010, Development of a High-Lumen Solid State DownLight Application, *IEEE Transactions On Components and Packaging Technologies*, Vol.33, No.4, December 2010, 668-679.

Arik M., Petrosk J., Weavery S., 2002, Thermal Challanges In The Future Generatıon Solıd State Lighting Applications: Light Emitting Diodes, *2002 Inter Society Conference on Thermal Phenomena.*

Aslan M. ve Güldemir H., 2005, Kayma Mod Kontrol İle Yükseltici Tip AC-DC Dönüştürücünün Güç Faktörü Düzeltimi, *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 17 (1), Elazığ, 19-31.

Bang S. J., 2009, Design Techniques for High Effciency LED Drivers*, The Graduate School of natural and Applied Sciences of Oregon State University,* A.B.D.

Basu, S., 2006, Single Phase Active Power Factor Correction Converters, *Chalmers University of Technology*, Sweden.

Basu S., 2006, Single Phase Active Power Factor Correction Converters Methods for Optimizing EMI, Performance and Costs, *Department Of Energy And Environment Division Of Electric Power Engineering Chalmers Unıversıty Of Technology,* Göteborg, Sweden.

Basu, S., Bollen, M.H.J. and Undeland, M.T., 2004, PFC Strategies In Light of EN 61000-3-2, *Published in EPE PEMC 2004 Conference*, Riga, Latvia, September 2004.

Bay, Ö. F., ve Atacak İ., 2005, Sinirsel Bulanık Denetleyici Kullanarak Bir Anahtarlamalı Güç Kaynağında Güç Faktörü Düzeltimi, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 18(3), Ankara, 421-437.

Bridgelux, 2012, *http://www.bridgelux.com/products/ledarray_rs.html,* [Ziyaret Tarihi: 12.02.2012].

Bridgelux, 2010, Bridgelux ES Array Series Product Data Sheet, *www.bridgelux.com*

Chern T. L., Liu L.H., Yeh S. H., Chern Y. L., Tsay D. M., 2010, Single-Stage Flyback Converter for LED Driver with Inductor Voltage Detection Power Factor Correction, *2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applicationsis,* 1-5.

Chiu, H. J., Lo, Y. K., Chen, J. T., Cheng, S. J., Lin, C. Y. and Mou, S. C., 2010, A High-Efficiency Dimmable LED Driver For Low-Power Lighting Applications, *IEEE Transactions On Industrial Electronics,* Vol.57, No.2, February 2010, 735-743.

Chuang C. Y., Ke Y. L., Chuang H. S., 2010, Single-Stage Power-Factor-Correction Circuit with Flyback Converter to Drive LEDs for Lighting Applications, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 1-9.

Covington, S., 2009, Implementing Power Factor Correction with the NCP1608, *ON Semiconductor http://onsemi.com.*

Cree, 2012, *http://www.cree.com/products/xlamp_mtg.asp,* [Ziyaret Tarihi: 29 Ocak 2012].

Çerezci, O., 2012, Tasarruflu Ampulü Her Odada Kullanmayın, *http://www.zaman.com.tr/haber.do?haberno=1236548&title=tasarruflu-ampul%FC-her-odada-kullanmay%FDn*, [Ziyaret Tarihi: 28 Ocak 2012].

De La Ree, 2012, *http://www.ece.vt.edu/ece3354/labs/schedule.html* [Ziyaret Tarihi: 20 Haziran 2012].

Dupuis, R. D. and Krames, M. R., 2008, History, Development and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes, *Journal Of Lightwave Technology*, Vol.26, No.9, May. 2008, 1154-1171.

Durak, 2009 M., LED Tabanlı Sokak Lambası Tasarımı Ve Fotometrik Ölçümleri, *Ulusal Enerji Verimliliği Forumu.*

EİE, 2012, Aydınlatmada Ve Ev Aletlerinde Yapılan Enerji Tasarrufu, *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu /konut_ulas/en_tasarruf_bina_ay.html.*

EPSMA, 2010, Harmonic Current Emissions Guidelines to the standard EN 61000-3-2, *European Power Supply Manufacturers Associatıon, www.epsma.org.*

Erol, Y., 2011, Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesil Power LED Teknolojileri, *Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu*, 7 Ekim 2011, Elazığ, 240-242.

Erol, Y., 2008, *Power LED Sürücü, Bilim ve Teknik Ekim 2008 Kendimiz yapalım*, 104-105.

Gotfryd, M., 2003, Limits in Boost Power Factor Corrector Operating in Border-Line Mode, *IEEE Transactions On Power Electronics*, 18(6),1330-1335.

Gürbüz, Y., 2009, PFC Dönüştürücü İle Tek Fazlı Sistemlerde Güç Faktörü Ve Harmonik Kompanzasyonu, Yüksek Lisans Semineri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Hart D. W., 2010, Power Electronics, *Pearson Education, Inc.*

Hu Y., Huber L., and Jovanović M.M., 2011, Single-Stage Flyback LED Driver Meets Class C Limits on Harmonic Currents, *How2power.com.*

Kale, S., 2010, Aydınlatma Amaçlı LED Matrisi Üretimi Ve Isıl Özelliklerinin Çözümlenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Kaya M. C., 2008, Design, Implementation, And Control Of A Two–Stage AC/DC Isolated Power Supply With High Input Power Factor And High Efficiency, *The Graduate School of natural and Applied Sciences of Middle East Technical University,* Ankara.

Kim C. J., Kim E. S. and Shin H. K., 2009, A Study on the Power LEDs Drive Circuit Design with Asymmetrical Half-bridge Resonant Converter, *Electrical Machines and Systems, International Conference on 15-18Nov.2009*, Tokyo, 1-4.

Kyyra, J., Grigore, V., 2000, A Step-Down Converter with Low Ripple Input Curret for Power Factor Correction, *Helsinki University of Technology*, Finland.

Lamar, D. G., Sebastian, J., Arias, M. and Hernando, M.M., 2010, A low-cost AC-DC High-Brightness LED driver with Power Factor Correction based on standard Peak-Current Mode Integrated Controllers, *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Sept. 2010, 463-470.

Leung, W. Y., Man, T. Y. and Chan, M., 2008, A High-Power-LED Driver with Power-Efficient LED-Current Sensing Circuit, *Journal of Low Power Electronics*, Vol.6, No.1, April 2008, 133-140.

Linear, 2011, Offline Isolated Flyback LED Controller with Active PFC, *Linear Technology Corporatıon, www.linear.com.*

Liu, Z., Liu, S., Wang, K. and Luo, X., 2009, Optical Analysis of Phosphor's Location for High-Power Light-Emitting Diodes, *IEEE Transactıons On Devıce And Materials Reliability,* Vol.9, No.1., March 2009, 65-73.

Lu, G. T., Xiansong Y. F., Pingjuan N., Yuhua C. and S. Res, 110W high power LED Street lamp power driver, *Educational and Information Technology (ICEIT), International Conference on*, 17-19 Sept. 2010.

Menteşeoğlu, D., 2011, Yeni Nesil Aydınlatma Sistemleri-1 LED Işık Kaynakları, *EMO İzmir Şubesi*, 29-31.

Mineiro, E., Postiglione, C.S., Antunes, F.L.M. and Perin, A.J., 2009, Low Cost ZVS PFC Driver for Power LEDs, *Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE*, Nov. 2009, 3551-3556.

Moreno, I. and Contreras, U., 2007, Color distribution from multicolor LED arrays, *Optics Express,* Vol. 15, No. 6, 3607-3618.

Musayev E., 2005, Yarı iletken Işın Vericilerin Bağlantı Şekilleri Ve Besleme Çeşitleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* Cilt 10, Sayı 2*,* Bursa, 63-78.

Narendran, N. and Gu, Y., 2005, Life of LED-based white light sources, *Journal of Display Technology*, 1(1), USA, 167-171.

Narra, P. and Zinger, D. S., 2004, An Effective LED Dimming Approach, *Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting Conference Record of the 2004 IEEE*, Vol.3, USA, 1671–1676.

Natioanal, 2010, PFET Buck Controller for High Power LED Drivers, *National Semiconductor Corporation, www.national.com.*

Özütürk, E., 2002, LED'in Darbeli Aşırı Akımda Bazı Davranışlarının İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(1), 19-35.

Peck, J., Ashburner, G. and Schratz, M., 2011, Solid State LED Lighting Technology For Hazardous Environments; Lowering Total Cost Of Ownership While İmproving Safety, Quality Of Light And Reliability, *(PCIC EUROPE) 2011, Petroleum And Chemical Industry Conference Europe*, 1-8.

Perdahçı, C. Ve Hanlı, U., 2009, Verimli Aydınlatma Yöntemleri, *EVK 2009, III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 323-327.

Perry J., 2010, Webench LED Designer And Webench LED Architect, *www.national.com/en/led/software.html*, Italy, 3-12.

Richardson, C., 2007, LED Applications and Driving Techniques, *National Semiconductor Corporation, http://www.national.com/.*

Sarah Lonsdale, 2010, Green property Energy-Efficient Bulbs, *Telegraph.*

Sebastián J., 2003, Advanced Techniques in Power Factor Correction (PFC), *Grupo de Electrónica Industrial Universidad de Oviedo,* Spain

Sevindirici E., 2008, Ortalama Akım Yöntemiyle Denetlenen DC-DC Yükseltici Dönüştürücü İle Güç Katsayısının Düzeltilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Shum E., 2011, Worldwide High-Brightness LED Market Overview and Forecast, *Director of LED Research Strategies Unlimited*.

Song, B. M., Han, B., Bar-Cohen, A., Sharma, R. and Arik, M., 2010, Hierarchical Life Prediction Model for Actively Cooled LED-Based Luminaire, *IEEE Transactions On Components and Packagıng Technologies*, Vol.33, No.4, December 2010, 728-737.

Steigerwald D. A., Bhat J. C., Collins D., Fletcher R.M., Holcomb M.O., Ludowise M. J., Martin P. S. and Rudaz S. L., 2002, Illumination With Solid Lighting Technology Selected Topics in Quantum Electronics, *IEEE Journal*, Vol.8 No. 2.

Taniyasu Y., Kasu M. And Makimoto T., 2006, An Aluminium Nitride Light-Emitting Diode With A Wavelength Of 210 Nanometres, *Nature*, Vol. 441(7091), 325-328.

TEVEM, 2010, Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu, *Enver Enerji Verimliliği Derneği, Iconomy Vezir Consultancy.*

Tingzhang, L., Shisong, W., Shi, S. and Ye, A., 2010, Research on High-Efficiency Driving Technology for High Power LED Lighting, *IEEE Power and Energy Engineering Conference,* March 2010, 1-4.

Toprak, A., 2011, Elektrik Üretimi İçin Düşük Güçlü Rüzgar Enerji Sistemi Tasarımı, *Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Tuladhar L. R., 2009, Resonant Power Mosfet Drivers For LED Lighting, *The Graduate School of natural and Applied Sciences of* Youngstown State University, A.B.D.

Turchi, J., 2003, Power Factor Correction Stages Operating in Critical Conduction Mode, *ON Semiconductor http://onsemi.com.*

Tutak A., 2009, LED Technologies In Energy Efficiet Applications, *The Graduate School of natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University,* İzmir.

TÜİK, 2011, Rakamlar Ne Diyor, *http://www.turkstat.gov.tr,* Yayın No:3630, Ankara, [Ziyaret Tarihi: 8 Aralık 2011].

Ünal T., 2006, Desıgn Of A Single-Phase Full-Bridge Diode Rectifier Power Factor Corrector Educational Test System, *The Graduate School of natural and Applied Sciences of Middle East Technical University,* Ankara.

Winder S., 2008, Power Supplies for LED Driving, *Elsevier Inc.,* U.S.A.

Wuidart, L., 1999, Understanding Power Factor, *STMicroelectronics*, Italy, 1-5.

Ye, Z., Greenfeld, F. and Liang, Z., A, 2008, Topology Study of Single-Phase Offline AC-DC Converters for High Brightness White LED Lighting with Power Factor Pre-regulation and Brightness Dimmable, *Industrial Electronics, IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE,* Nov. 2008, 1961-1967.

Yılmaz, H., ve Hava, A. M., 2011, G-LED Uygulamaları İçin Güç Katsayısı Düzelticili Tek Katlı AC-DC Dönüştürücülerin İncelemesi, *EVK 2011, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu,* Kocaeli, 144-148.

Yu L. and Yang J., 2009, The Topologies of White LED Lamps Power Drivers, *3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications*.

Yurtseven, M. B. Ve Onaygil, S., 2011, Katı Hal Aydınlatma Ve LED Standartlarındaki Gelişmeler, *VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi*, İzmir, Kasım 2011.

EKLER

EK-1: Aydınlatmaya Ait Bazı Tanımlar

Işık: Işık, görsel duyarlılığa neden olabilen radyasyon enerjisi şeklinde tanımlanabilir. Gözün spektral duyarlığı gözün gündüz (fotopik) görmesine ait spektral duyarlık eğrisi ile açıklanır. Göz tüm radyasyonlara karşı aynı derecede duyarlı değildir. Maksimum duyarlık $555nm$'dir.

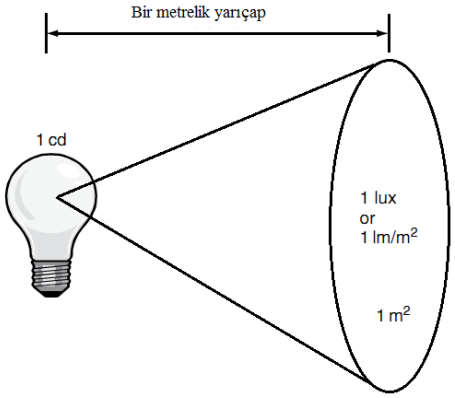
Işığın açısı: Işığın açısı kullanılacak yere göre değişiklik göstermektedir. Işığın uzun mesafeye taşınmasında açı; $5^0, 15^0, 20^0, 35^0, 55^0$ gibi değerlerde olmalıdır. Işığın taşınmasında kullanılmaktadırlar. Kısa mesafeli LED'li aydınlatmaya yönelik uygulamalarda kullanılan beyaz renkli LED'ler genellikle 55^0 ve 120^0 olarak kullanıldığından sıcak ve soğuk beyaz LED'ler genelde lensli veya lenssiz olarak bu açılarda üretilmektedir.

Işık Akısı: Bir ışık kaynağının birim zamanda yaydığı toplam ışık miktarı ile ilgili bir kavramdır. Işık kaynağından çıkan ve normal gözün gündüz görmesine ait spektral duyarlık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısı olarak tanımlanır. Birimi lümen (lm)'dir.

Işık Şiddeti: Birim zamanda belli bir doğrultuda yayılan ışığın yoğunluğu ile ilgilidir veya belli bir doğrultuda birim uzay açı içinden yayılan ışık akısı olarak da tanımlanabilir. Birimi kandela (cd)'dir. $1cd = 1lm / Steradyan$.

Aydınlık Düzeyi: Bir yüzeyin birim alanına birim zamanda düşen ışık akısı miktarıdır. Tanım olarak, aydınlık düzeyi yüzeyin ışık akısının o yüzeyin alanına bölümüne eşittir. Birimi Lüks (lux)'dür. $1lux = 1lm / 1m^2$.

Işık ölçümü: Toplam ışık akısı lümenin bütünlüğünde ölçülür. Lümen normal insan gözüne uygun olacak ağırlıkta $1W$'a denk foto metriktir. Gözün en çok tepki verdiği spektrumun yeşil-sarı parçasında, $555nm$'de $1W$ $683lm$'e eşittir. Bir Steradyan'lık alanda bir lümen ışık akısı üretmek için her yöne eşit bir şekilde ışık yayan bir lamba tarafından üretilen ışığa kandela denir.



Şekil 1. Işık ölçümü

1 metre uzaktaki 1*cd* 'lık kaynağının ışığı 1*lux* veya $1m/m^2$ 'dır. LED'lerde yayılan ışığın verimi W/lm olarak ifade edilmektedir. En yüksek verimi elde etmek için bazı LED üreticileri arasında rekabet vardır. Fakat sonuçlar karşılaştırıldığında önemli olan dengeli kullanılan elektriksel gücü üretmektir. 20mA'lik verimli bir LED'i yapmak 700mA'lik verimli bir LED'i yapmaktan çok daha kolaydır (Winder, 2007).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yusuf GÜRBÜZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Seydişehir 06.11.1983
Telefon : 0554 564 5157
Faks : 0456 233 7321
e-mail : yusufgurbuz42@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Enis Şanlıoğlu Lisesi, Seydişehir, KONYA	2002
Üniversite	:	F.Ü. Elektrik-Elektronik Mühendisliği, ELAZIĞ	2007
Yüksek Lisans	:	S.Ü. FBE Elektrik-Elektronik Müh. A.B.D., Konya	2012
Doktora	:	-	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2008-2009	Render Medikal	Mühendis
2009-2010	Akay Elektrik	Şantiye Şefi
2010-Devam	G.Ü. Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Güç Elektroniği

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR