T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LED SÜRÜCÜ DEVRESİNİN TASARIM VE SİMÜLASYONU

Murat TUNCER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Programı

Danışman

Dr. Ögr. Üyesi Burak AKIN

Temmuz, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LED SÜRÜCÜ DEVRESİNİN TASARIM VE SİMÜLASYONU

Murat TUNCER tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Ögr. Üyesi Burak AKIN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Ögr. Üyesi Burak AKIN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Atiye Hülya OBDAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Tarık Veli MUMCU, Üye
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Danışmanım Dr. Ögr. Üyesi Burak AKIN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan LED Sürücü Devresinin Tasarım ve Simülasyonu başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Murat TUNCER

İmza



Akla, Bilime

Ve üstün tek varlık olan

Aileye…

TEŞEKKÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmamın hazırlanması sürecinde katkıları ile beni yönlendiren, en yoğun dönemlerinde dahi karşılaştığım sorunlarla ilgilenen ve değerli yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Ögr. Üyesi Burak AKIN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Güzel anılar biriktirdiğim ve önemli bilgiler edindiğim Yıldız Teknik Üniversitesine, öğrencisi olmaktan onur duyduğum Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalındaki çok değerli hocalarıma, yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın zorlu süreçlerine tanıklık eden ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan arkadaşlarıma ve özellikle kardeşim Mustafa TUNCER 'e destekleri için çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan, büyüten, destekleyen, maddi ve manevi her konuda her zaman yanımda olan aileme sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Murat TUNCER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xii
TABLO LİSTESİ xv
ÖZET xvi
ABSTRACT xviii
1 Giriş 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2
1.4 LED Aydınlatma 2
1.5 Güç LED'leri 5
1.6 LED Sürme Gereklilikleri 7
1.7 LED Sürme Yöntemleri 8
1.7.1 Direnç ile Sınırlama Yöntemi 8
1.7.2 Doğrusal Kontrol (Lineer) Yöntem 9
1.7.3 Anahtarlamalı Kontrol Yöntemleri 11
2 Kavramlar 12
2.1 Güç Kalitesi 12
2.1.1 Gürültü (EMI ve EMC) 13
2.1.2 Harmonikler 15
2.1.3 Güç Faktörü 16

2.2 Standartlar 18
2.3 Aydınlatma Parlaklık Ayarı (Dim) 20
2.4 Verim 21
3 LED Sürme Devreleri 22
3.1 AC/DC Dönüşüm 23
3.2 DC/DC Dönüşüm 25
3.2.1 Düşürücü (Buck) Dönüştürücü 26
3.2.2 Yükseltici (Boost) Dönüştürücü 29
3.2.3 Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) Dönüştürücü 31
3.2.4 Geri dönüşlü (Flyback) Dönüştürücü 33
3.3 Anahtarlama Kontrol Metotları 35
3.3.1 Gerilim Modlu Kontrol 35
3.3.2 Akım Modlu Kontrol 35
3.3.3 Histerezis Modlu Kontrol 36
4 Güç Faktörü Düzeltme Yöntemleri 38
4.1 Pasif ve Aktif PFC 38
4.2 Tek ve İki aşamalı tipler 39
4.3 PFC Akım Kontrol Yöntemleri 41
4.3.1 Pik Akım Kontrolü 41
4.3.2 Ortalama Akım Kontrolü 43
4.3.3 Histerezis Kontrol 44
4.3.4 Sınır Akım Modu Kontrolü 45
4.3.5 Kesintili Akım Modu Kontrolü 46
5 Bastırma ve Yumuşak Anahtarlama Düzenleri 48
5.1 Bastırma Devreleri 49
5.2 Rezonans Anahtar 51

6 Devre Simülasyonu 53
6.1 Önerilen Sürücü Devresi 53
6.2 Devre Elemanlarının Seçimi 53
6.3 Kontrol Devresinin Oluşturulması 55
6.4 MOSFET Eşdeğer Devresi 57
6.5 Bastırma Hücresi Tasarımı 58
6.6 Simülasyon Sonuçları 65
7 Sonuç ve Öneriler 73
7.1 Sonuçlar 73
7.2 Analiz 74
7.3 Öneriler 75
Kaynakça 76
Tezden Üretilmiş Yayınlar 79

SİMGE LİSTESİ

θ	Akım ve Gerilim Arasındaki Açı
δ	Temel Bileşen Faz Açısı
η	Verim
ΔI	Akım Değişimi
C	Kapasite (*Farad*)
D	Bağıl İletim Oranı
E	Kondansatörde Depolanan Enerji *(joule)*
f	Frekans *(Hz)*
I	Akım *(Amper)*
I_o	Çıkış Akımı
L	İndüktans (*Henry*)
lm	Lümen
P	Aktif Güç *(W)*
PF	Güç Faktörü
Q	Reaktif Güç *(VAr)*
R	Direnç *(Ohm)*
R_{esr}	Eşdeğer Seri Direnç
R_{led}	LED İç Direnci
S	Görünür Güç *(VA)*
T	Periyot *(s)*
t	Zaman *(ms)*
V	Gerilim *(Volt)*

V_f	LED Gerilim Düşümü
V_{in}	Giriş Gerilimi
V_{led}	LED voltajı
V_{pp}	Gerilim değerinin tepeden tepeye değeri
V_{ref}	Referans Gerilimi
V_{rms}	Gerilim değerinin karekök ortalaması
w	Açısal Hız (*Rad/sn*)

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
BCM	Sınır İletim Modu
CCM	Sürekli İletim Modu
DALI	Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Kontrolü
DC	Doğru Akım
DCM	Kesintili İletim Modu
ECG	Elektronik Kontrol Elemanı
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	Elektromanyetik Girişim
ESR	Eşdeğer Seri Direnç
HS	Sert Anahtarlama
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IES	Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu
IGBT	Kapı İzoleli Bipolar Transistor
IR	Kızılötesi
LED	Işık Yayan Diyot
MOSFET	Metal Oksit Yarıiletkenli Alan Etkili Transistor
Op-Amp	İşlemsel Yükseltici
PFC	Güç Faktörü Düzeltme
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
RGB	Kırmızı Yeşil Mavi

SMPS	Anahtarlamalı Güç Kaynakları
SS	Yumuşak Anahtarlama
THD	Toplam Harmonik Bozulma
UV	Morötesi
ZC	Sıfır Akım
ZV	Sıfır Gerilim

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Aydınlatma gelişimi [4] 4
Şekil 1.2 Cree üretimi LED'in Yapısı, Xlamp XP-G LED [9] 5
Şekil 1.3 LED'in eşdeğer devreleri [31] 7
Şekil 1.4 Dirençle yapılan LED sürücü yapısı [10] 9
Şekil 1.5 Gerilim regülatörü ile yapılan LED sürücü [10] 10
Şekil 1.6 LM317 Regülator Blok Şeması [15] 10
Şekil 2.1 Normal Mod EMI Filtreleme [18] 14
Şekil 2.2 Ortak Mod EMI Filtreleme [18] 14
Şekil 2.3 Temel Bileşen ile 3. ve 5. Harmonikler [17] 15
Şekil 2.4 Bozuk Akım Dalga Şekilleri [17] 16
Şekil 2.5 Güç Vektörleri [17] 17
Şekil 2.6 İletim ve Kesim ile Ortalama Değerde PWM [18] 20
Şekil 2.7 Dim Kontrol Devresi [18] 21
Şekil 3.1 SMPS LED Sürme Devresi Temel Şeması [23] 22
Şekil 3.2 Kontrolsüz doğrultucu devre şeması [21] 24
Şekil 3.3 Depo Kondansatörü Doğrulma Devresi ve Çıkış Dalga Şekli [23] 25
Şekil 3.4 Buck topolojisi şeması [23] 26
Şekil 3.5 Buck Dönüştürücü Bobin Akım ve Gerilim Dalga Şekilleri [23] 28
Şekil 3.6 Boost topolojisi şeması [23] 29
Şekil 3.7 Boost Dönüştürücü Bobin Akım ve Gerilim Dalga Şekilleri [23] 30
Şekil 3.8 Buck-Boost Topolojisi Devre Şeması [23] 31
Şekil 3.9 Buck-Boost Dönüştürücü Bobin Akım Gerilim Dalga Şekilleri [23] 32
Şekil 3.10 Flyback dönüştürücü topolojisi şeması [32] 33
Şekil 3.11 Örnek Gerilim Modu [26] 35
Şekil 3.12 Örnek Akım Modu [26] 36
Şekil 3.13 Histerezis Kontrol Dalgalanma İlişkisi [26] 36
Şekil 3.14 Histerezis Modu Örneği [26] 37
Şekil 4.1 Valley-Fill Devre Şeması [23] 39
Şekil 4.2 İki Aşamalı PFC Blok Şeması [34] 40
Şekil 4.3 Tek Aşamalı PFC Blok Şeması [34] 41

Şekil 4.4 Pik Akım Modlu Kontrolün Blok Şeması [34] 42
Şekil 4.5 Pik Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34] 42
Şekil 4.6 Ortalama Akım Modlu Kontrol Blok Şeması [34] 43
Şekil 4.7 Ortalama Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34] 43
Şekil 4.8 Histerezis Modlu Kontrol Blok Şeması [34] 44
Şekil 4.9 Histerezis Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34] 45
Şekil 4.10 Sınır Akım Modlu Kontrol Blok Şeması [34] 46
Şekil 4.11 Sınır Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34] 46
Şekil 4.12. Kesintili Akım Modlu Kontrol Blok Şeması [34] 47
Şekil 4.13. Kesintili Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34] 47
Şekil 5.1 İdeal ve Pratikte Anahtar Akımı ve Gerilimi [30] 48
Şekil 5.2 HS ve SS Koşullarında Anahtarlama Eğrileri [31] 49
Şekil 5.3 Seri (RLD) ve Paralel (RCD) Bastırma Hücreleri [31] 50
Şekil 5.4 ZC ve ZV Rezonans Anahtar [31] 51
Şekil 6.1 Kullanılan Transformatör 54
Şekil 6.2 Güç Devresi Elemanları 55
Şekil 6.3 Oluşturulan Histerezis Kontrol Devresi 57
Şekil 6.4 MOSFET Eşdeğer Devresi 58
Şekil 6.5 Ana Diyotta Oluşan Anahtarlama Ring Frekansı 59
Şekil 6.6 Ana Diyot Üzerinde Oluşan Gerilim Stresi 60
Şekil 6.7 Bastırma Kondansatörü ile Ana Diyot Gerilimi 60
Şekil 6.8 Bastırma Kondansatörü ile Düzelen Ana Diyot Gerilimi 61
Şekil 6.9 Ana Diyot Gerilim Sinyali (Bastırma Sonrası) 61
Şekil 6.10 Anahtar Akımı (Bastırma öncesi) 62
Şekil 6.11 Anahtar Gerilimi (Bastırma öncesi) 63
Şekil 6.12 Anahtar Akımında Gözlenen Akım Stresi 63
Şekil 6.13 Anahtar Akım ve Gerilim Bozulmaları (Bastırma Öncesi) 63
Şekil 6.14 Bastırma Öncesi Anahtar Gerilimi 64
Şekil 6.15 Anahtar Gerilimi Grafiği (Bastırma Sonrası) 64
Şekil 6.16 Bastırma Hücresi ile Düzelen Anahtar Gerilimi Sinyali 65
Şekil 6.17 Şebeke Giriş, Trafo Çıkış ve Devre Çıkış Gerilim Sinyalleri 66
Şekil 6.18 Sürücü Devre Şeması 67
Şekil 6.19 Giriş ve Çıkış Akım İşaretleri 68

Şekil 6.20 Bobin ve Anahtar Kapı Sinyalinin Beraber Gösterimi 68
Şekil 6.21 Şebekeden Çekilen Akımın Yarım Periyot Örneği..... 69
Şekil 6.22 Bir Periyot Boyunca Şebekeden Çekilen Akım..... 69
Şekil 6.23 Giriş Akım ve Çıkış Akım- Gerilimlerinin Gözlenmesi..... 70
Şekil 6.24 Giriş ve Çıkışta Görünür Güç Tayini..... 70
Şekil 6.25 Giriş ve Çıkışta Gerçek Güç Tayini..... 71
Şekil 6.26 Giriş Gerilim - Akım Sinyallerinden Güç Faktörü Tayini 72
Şekil 6.27 Giriş Akımı Üzerinden Ölçülen Toplam Harmonik Bozulma (THD) 72

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Ömür Karşılaştırması Tablosu [10] 6
Tablo 1.2 Verimlilik karşılaştırma Tablosu [3] 6
Tablo 2.1 Güç Kalitesinin Etkileri [17] 12
Tablo 2.2 EN 61000-6-3 Class C Sınıfına Göre Harmonik Sınırlar [21] 19

ÖZET

LED Sürücü Devresinin Tasarım ve Simülasyonu

Murat TUNCER

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Ögr. Üyesi Burak AKIN

Teknolojik gelişmeler, yarı iletken güç elektroniği bilimine daha iyi ürünler çıkarmasını sağlayarak yön vermiştir. Bu gelişmeler, 20. yüzyıl sonlarında hızlanmış ve enerji verimliği ve kalitesinin önem kazanmasıyla farklı boyutlar kazanmıştır. Bu nedenle hemen hemen yer yerde kullanılmakta olan aydınlatma ekipmanlarında da çalışmalar yapılmıştır. LED'lerdeki gelişmelerle, geleneksel aydınlatma metotlarına alternatif olabileceği düşünülmüş ve bu dönüşüm için bilimsel ve ticari çalışmalar yapılmıştır. Bunun sonucunda, LED aydınlatmanın genel aydınlatma çözümü olarak kabul görmesini sağlamıştır.

Anahtarlamalı güç kaynaklarının sürme devreleri olarak kullanımı; yüksek verim, güç kalitesi ve kontrol edilebilirlik kriterleri ile yaygınlaşmıştır. Aydınlatma sektörünün hacmi düşünüldüğünde, LED'ler yarı iletken yapıları ve sürme devreleri ile güç elektroniği alanında önemli yer edinmişlerdir.

Bu çalışma, LED sürücü devresi testi ve geliştirilmesi amacıyla hazırlanmış olan AC/DC dönüştürücünün analiz, tasarım ve simülasyonunu içermektedir. Dönüşüm

ve sürme işlemi için düşük güçlü transformatör ve yükseltici tipte anahtarlamalı güç kaynağı kullanılmıştır. Önerilen LED sürücü devresi; histerezis akım kontrol modunda tek aşamalı güç faktörü düzeltmeli yükseltici dönüştürücü olarak tasarlanmıştır. Tasarım; değişken anahtarlama frekansında, çıkış akım korumalı yükseltme regülasyonunu ve sabit çıkış voltajını bir yarıiletken anahtar ile sağlamaktadır.

Bu bağlamda, çalışmada belirlenen yükseltici dönüştürücü tip LED sürücü simülasyonu PSIM uygulamasında çalıştırılmıştır. Düşük harmonik bozulma, yüksek güç faktörü ve yüksek verimlilik değerleri gibi simülasyon sonuçları ile çalışmanın doğruluğu test edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına bağlı olarak devrenin geliştirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: LED Sürücü, Yükseltici Dönüştürücü, Güç Faktörü Düzeltme, Tek Aşamalı Güç Faktörü düzeltme, Histerezis Akım Kontrol

ABSTRACT

Design and Simulation of LED Driver Circuit

Murat TUNCER

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Asist. Prof. Dr. Burak AKIN

Technologic developments led the semiconductor technologies and power electronics to create better products. These advances accelerated at the end of the 20th century, and the increasing quality of these products provided new dimensions to this technology. Therefore, there has been many researches regarding the lighting equipments that are used in almost all circumstances. The advances in LED technology have been considered as an alternative to the conventional lighting methods; and scientific and commercial studies were pursued for the purpose of transition. As a consequence, these studies led to the fact that the LED lighting was accepted as general lighting solution.

The use of switched power supplies as driver circuits became widespread because of its high efficiency, power quality and controllability. Taking into consideration the scope of the lighting sector, the LEDs could obtain a considerable place in power electronics, with their semiconductor feature and driver circuits.

This study contains the analyze, design and simulation of the AC/DC converter created as LED driver circuit planned for testing and development. For the

transition and driving operations, low-powered transformer and boost-type switched power supplied were used. The proposed LED driver circuit was designed as single-stage power factor correction boost-type converter in the hysteresis current mode. The design could maintain the output current protection regulation and constant output voltage with a semiconductor switch.

In this context, the boost-type converter LED driver simulation mentioned within the scope of this study was ran in the PSIM application. This study is verified by using the simulation results such as low harmonic distortion, high power factor and high efficiency values. According to the simulation results, improvement of the driver circuit is provided.

Keywords: LED Driver, Boost Converter, Power Factor Correction, Single Stage PFC, Hysteresis Current Control

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile LED aydınlatma elemanları geliştirilmiş ve birçok alanda geleneksel aydınlatmanın yerini almaya başlamıştır. Ortam aydınlatmasında LED'lerin kullanılması üzerine yapılan çalışmalar daha iyi kontrol edilebilirlik ve sürdürülebilirlik sunmaktadırlar. LED aydınlatmanın yaygınlaşması ile enerjinin daha verimli kullanılmasına ve aydınlatma için kullanılan enerji payının düşmesine imkân sağlayacaktır. Enerji verimliğinin ve çevreci politikaların öneminin artığı 21. Yüzyılda LED aydınlatma konusunda çalışmalar yoğunlaşmıştır. LED yapısı, sürücü devre kullanılması gerektirmektedir ve LED aydınlatmanın yaygınlaşması ile güç elektroniği çalışma alanında olan sürücü devrelerin kullanımında artış kaçınılmazdır.

Güç elektroniği devrelerinin kullanımının artması, elektrik şebekelerinde, harmonikler, reaktif güç kayıpları, frekans değerinde bozulmalar gibi olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu bozucu etkileri düzeltmek için birçok yöntem kullanılmasına rağmen en popüler yöntemler yine güç elektroniği devreleriyle gerçekleşmektedir. Uluslararası standartlar ve sınırlamalar, güç elektroniği cihazlarının neden olduğu olumsuz etkileri cihaz içinde çözmeyi ve şebekeye yansıtmamayı şart koşmuştur. Yalnızca güç faktörünü düzeltmek maksadıyla kullanılan devre düzenekleri güç faktörü düzeltme "PFC" devreleri olarak anılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışma; aydınlatmaya dair LED'ler ve güç elektroniği kavram ve konularını, en anlaşılır bir dilde ele almayı amaçlamaktadır.

Bu kapsamda tek aşamalı güç faktörü düzeltmesi sağlayan LED sürücü devresi tasarım aşamaları anlatılacak ve simülasyon sonuçlarına göre standartları sağlaması ve temel değerleri değerlendirilecektir. Simülasyon sonuçlarına bağlı olarak devrenin zayıf tarafları incelenecek ve gerekli geliştirmeler eklenerek devrenin performansını iyileştirmeye yönelik çalışmalar ve öneriler yapılacaktır.

LED sürücü devresi düşük güç seviyelerinde ve düşük maliyet ekseninde tasarlanması amaçlanmaktadır. Bu nedenle güç faktörü düzeltimi ve çıkış regülasyonunun tek anahtar ve tek kontrol çevrimi üzerinden sağlanmasına çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Düşük güç seviyelerindeki LED yükleri için, 72 V 350 mA çıkış değerlerine sahip sürücü devre simülasyon ortamında hazırlanacaktır. Bu devre tek yarı iletken anahtar ve tek kontrol çevrimi ile güç faktörü düzeltimi, çıkış akım koruması ve çıkış gerilim regülasyonu özelliklerinin tümünü histerezis kontrolüyle sağlayacaktır. Ayrıca toplam harmonik bozulma değeri, bastırma hücresi kullanımı ile standartlarda yer alan %5 değerinin altında kalacaktır.

1.4 LED Aydınlatma

LED kelimesinin açılımı "light emitting diode" olup, bu terimin dilimizdeki karşılığı olan ışık yayan diyot şeklinde tanımlanabilirler. Temelde uygun gerilim veya akım uygulandığında elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştürme kabiliyetine sahip; özel katkılı PN tipi diyotlardır. Bu yarı iletkenler silikon hammaddesi ile üretilmekte; arsenik, alüminyum, fosfat, galyum vb. kimyasallarla katkı sağlanarak farklı ışık renkleri ve dalga boyları elde edilebilmektedir. Görünür ışıkta olduğu gibi

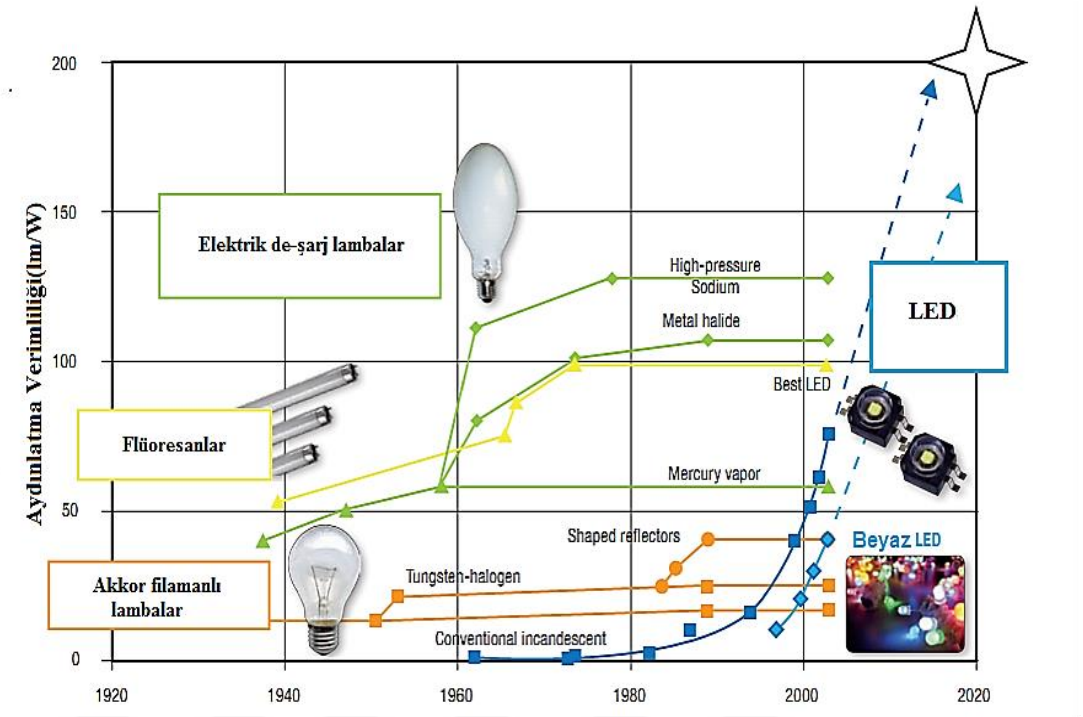
malzemenin özelliğine göre kızılötesi, mor ötesi gibi çeşitli ışık tayflarında ışınım özelliği vardır.

Yarıiletken elemanın ışın yayması, “elektroluminans” veya “elektroışınım” olarak isimlendirilebilir. 20.yüzyılın ilk yıllarında elektroluminans keşfedilmiş; daha sonra uzun yıllar üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, 1962 yılında ilk kızılötesi (infrared) ışınım yapan diyotun Texas Instruments adına patenti alınmıştır [1]. Aynı yıl içerisinde ilk görünür kırmızı ışık yayan diyot, Nick Holonyak, Jr tarafından General Electric adına çalıştığı dönemde icat edilmiştir [2]. Pek çok bilimsel araştırma ve çalışma sonrasında bu buluşun ticari özellikleri artırılarak geliştirilmiştir.

İlk ticari LED aydınlatma örnekleri olan düşük yoğunluklu ışıklar, sinyal gösterge lambaları olarak kabul görmüş pahalı test ve laboratuvar cihazlarında kullanılmaya başlanmıştır. Kısa zamanda radyo, TV, hesap makineleri gibi yaygın tüketici elektroniğinde yer edinmiştir [3].

Malzeme teknolojisinde gelişmelerle birlikte LED’lerin birim Watt başına alınan ışık akısı değerleri artmıştır. Yüksek güçlü görünür beyaz ışıklı LED’lerin geliştirilmesi, LED’lerin ortam aydınlatmasında kullanabileceğini göstermiştir [3]. Ekonomik kaynak kullanımı ve enerji verimliği konularının kritik önem kazanmasıyla LED’lerin aydınlatmada kullanılmasına yönelik araştırmalar ivme kazanmıştır.

Günümüzde aydınlatma alanında kullanılan ve katı hal lambaları olarak da isimlendirilen LED’ler birçok değişik kılıf boyut ve özellikte üretilebilmektedir. Bunlardan minyatür LED’ler; sinyal, elektronik ve dekoratif aydınlatma alanında kullanılmaya devam etmektedir. Standart LED’ler olarak da sınıflandırabilecek bu LED’ler; 1 Watt’tan düşük güçlerde genellikle 5 mm başlık çapında ve 30 mA ortalama çalışma akımında üretilme birlikte, 2-8 mm başlık çapında ve 1 mA – 30 mA aralığı ve daha büyük ortalama çalışma akımı değerlerinde üretilmektedir. Aydınlatmanın kronolojik gelişimi şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Aydınlatma gelişimi [4]

Yüksek güçlü LED'ler geliştirmeler sonucunda yüksek güç ve homojen aydınlatma olanağı sağlamasıyla daha uygulanabilir bir çözüm haline gelmiştir. Flux LED, süper Flux LED ve Power LED ticari isimleriyle piyasaya sürülen bu ürünler yüksek parlaklık sunmaktadır [3]. Güç değeri 1 Watt ve üstü değerlerde sınıflandırılan bu LED'ler, güç LED'leri olarak adlandırılmıştır. Bu LED yapıları ile oluşturulan LED lamba modülleri klasik aydınlatma metotları olan akkor filamanlı lambaları, floresan lambalar vb. birçok aydınlatma yerini alabilecek avantajlara sahiptir. Bu konu Başlık 1.3 Güç LED'leri başlığında detaylı olarak irdelenecektir.

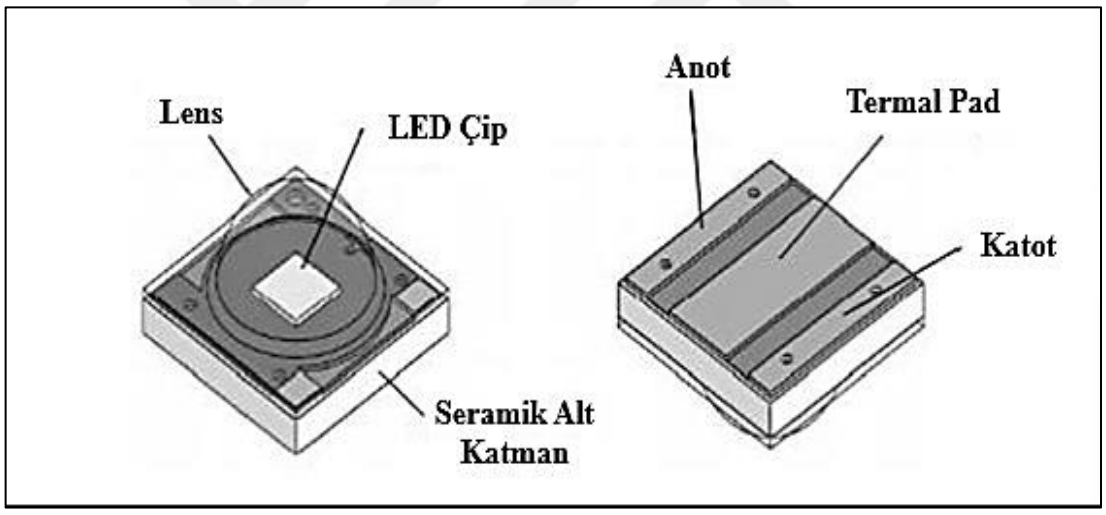
Doğrultma devresine ihtiyaç duymadan, doğrudan alternatif akım ile çalışan LED'ler Seoul Semicondcutor tarafından 2009 yılında geliştirilmiştir ve "Acrich MJT" ismiyle piyasaya sürülmüştür. Yüksek DC voltajlı LED, temelde üzerindeki basit kontrol devresi yardımıyla doğrudan alternatif akım kaynağıyla yol verilmektedir [5].

Uygulamaya yönelik çözümler olarak LED'lerin; çakar ışık veren (flashing), iki-renkli ve üç renkli (RGB) çeşitleri geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.

1.5 Güç LED'leri

Güç LED'leri ile yapılan aydınlatma, geleneksel aydınlatma metotlarına göre birim güce verdikleri ışık akıları ve enerji verimliği açısından ileri seviyededir. Bu sebeple, çağımızın ve geleceğin başı çeken yapay ışık kaynağı olması kaçınılmazdır. 126 lm/W ve 1000 mA sürme akımı özellikli güç LED'i 2009 yılında piyasa sunulmuştur [6]. Bir başka sürme akımı değeri 3000 mA olan güç LED'i 2010 yılında piyasa çıkmıştır [7]. Bu gelişmelerle güç LED'leri birçok türde aydınlatma armatüründe kullanılabilirliğini arttırmıştır.

Karakteristik güç LED'i uygulamalarında çalışma gerilimi 2,5 V ile 4 V ve çalışma akımı 250 mA ile 700 mA arasında değişir. Güç LED'ine uygulanan akım ile ışık akısı ile doğru orantılıdır [8]. Şekil 1.2'de LED modülünün yapısı gösterilmiştir. Işık kaynaklarının ömür ve verimlilikleri tablo 1.1 ve tablo 1.2'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.2 Cree üretimi LED'in Yapısı, Xlamp XP-G LED [9]

Tablo 1.1 Ömür Karşılaştırması Tablosu [10]

Işık Kaynağı	Kullanım Ömrü (Saat)
Tungsten lamba	750 – 2.000
Tungsten halojen lamba	3.000 – 4.000
Floresan lamba	8.000 – 10.000
Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba	10.000 –15.000
Güç LED'leri	50.000 –100.000

Tablo 1.2 Verimlilik karşılaştırma Tablosu [3]

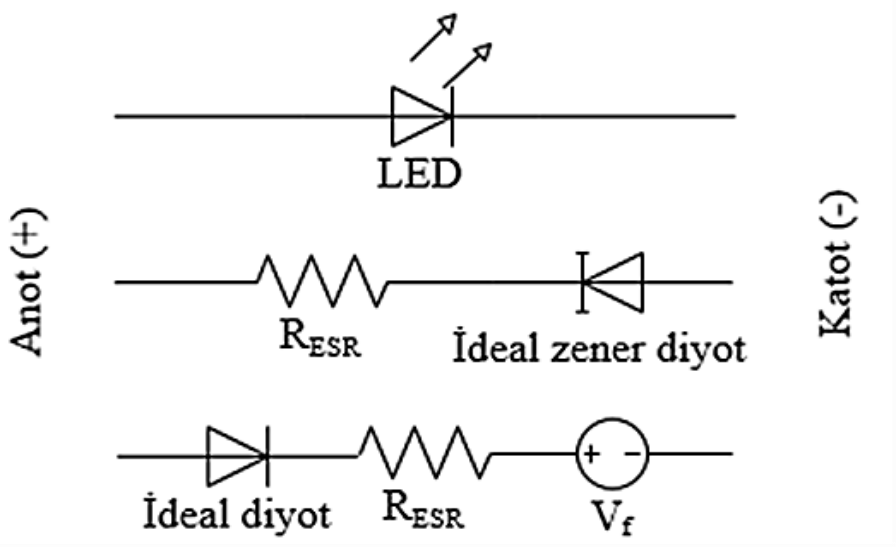
Aydınlatma Tipi	Işık Kaynağı	Işık Verimliliği (lm/W)	Güç Verimliliği (%)
Akkor Filaman	Edison lambası	1.4	0.2%
Akkor Filaman	100-Watt Tungsten lamba	14	2%
Floresan	32-Watt kompakt Floresan	75	11 %
Floresan	T8 with ballast @ 150 kHz	100	15%
Gaz deşarj	Metal Halide	115	17%
Gaz deşarj	Düşük basınçlı Na	150	22%
LED	Beyaz LED	150	22%

Güç LED'lerinin avantajları yüksek verimlilik, Işık renginin kontrol edilebilirliği, çeşitli boyutlarda imal edilebilir, hızlı açma/kapama süreleri, karartma (dim), istem dışı IR ve UV ışıma yapmaması, uzun ömür, şok dayanımı ve odaklama olarak

gösterilebilir. Bununla birlikte; yüksek imalat maliyetleri, sıcaklığa bağımlı, gerilim hassasiyeti, elektriksel polarite olumsuz yönler olarak ortaya çıkmaktadır [11].

1.6 LED Sürme Gereklilikleri

DC polariteli yapıları gereği LED'lerde üzerinden akmakta olan akıma göre malzemenin direnci değişken değerler taşır. Bu malzeme direnci Şekil 1.3.'te görüleceği üzere eşdeğer seri direnç olarak adlandırılır. Bu lineer olmayan yük davranışı sebebiyle dinamik dirençli elemanlar olarak anılırlar. Çalışma akım mertebeleri yüksek olduğu için güç LED'lerinde direnç değişim oranları artmakta ve akım stabilitesi daha fazla önem kazanmaktadır. LED'ler; eşdeğer seri dirence (ESR) ek olarak, ideal diyot ve gerilim kaynağı veya zener diyot elektriksel olarak modellemesi yapılabilir [12].



Şekil 1.3 LED'in eşdeğer devreleri [31]

LED aydınlatmanın başarımının belirlenmesinde; renk, kullanım ömrü, parlaklık, kararlı termal hal ve ışık dağılımı başlıca kriterlerdir. Bu kriterlerin değerlendirilmesinde üretim aşamaları belirleyici unsurdur. Ancak LED'in maruz kaldığı akım, gerilim ve kullanım koşulları da bu kriterleri doğrudan etkilemekte ve LED'in amacına uygun veya verimli bir şekilde kullanımının önüne geçmektedir [13]. Ayrıca ışık şiddetini artırmak maksadıyla tasarım veya sürme esnasında çıkış

akımın artırılması yarıiletken sıcaklığını yükselterek LED kullanım ömrünü hızla düşürecek ve hatta ani arızalanmasına yol açacaktır.

Bu sebeplerle LED'e uygulanan çalışma koşulları, kontrol altına alınmış ve kararlı olmalıdır. Kontrol ve kararlılığı elde etmek üzere LED sürücü devrelerden yararlanılır. LED'in çalışma noktası, sürücü devrenin çıkışında verdiği akım ve gerilim değerine göre evrilir.

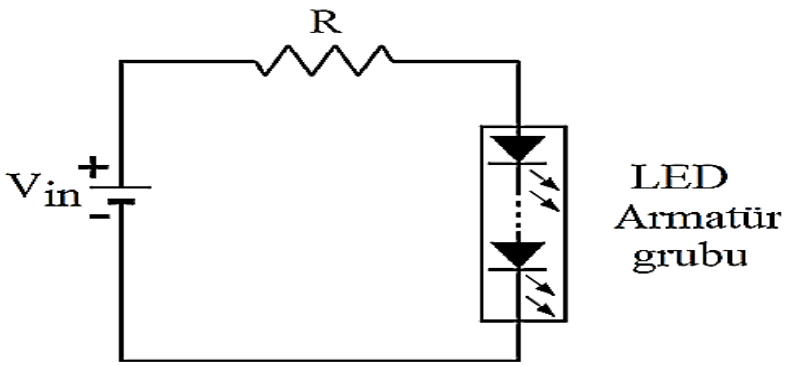
İdeal bir LED sürme devresinin; güvenilir, kararlı, aşırı akım ve gerilim koruması gibi koruma öğelerine, kontrol edilebilir çıkış akımı ve yüksek verimlilik gibi özelliklere sahip olması gereklidir. Uygulamada akım sınırlamalı veya gerilim sınırlamalı olarak LED'lerin sürülmesi gerçekleştirilebilir. Çıkış yük modeline göre sürücü tasarımını değiştirmemek ve toplam gücü aşmadan istenilen sayıda LED modülünün seri bağlanmasını desteklediği için akım sınırlaması ve sabit akım önerilmektedir [12]. Güç LED'i uygulamalarında ısınma kontrolü ve ışık akısı kararlığı sebebiyle sabit akımlı sürücüler tavsiye edilmektedir.

1.7 LED Sürme Yöntemleri

Başlıca aktif ve pasif yöntemler olarak iki ana başlığa ayrılabilecek bu yöntemler, temelde LED modül veya dizilerinden geçmekte olan elektrik akımını sınırlamak ve kontrol altına almak için uygulanmaktadır. Pasif yöntemler, basit yapılı ve yalnızca pasif devre elemanları ile oluşturulmaktadır. Aktif yöntemler ise lineer elemanla ve anahtarlamalı güç kaynakları ile sağlanan LED sürme yöntemleridir. Aktif yöntemlerde kontrol, yarı iletken anahtarlar yardımıyla sağlanır. Kompleks yapılıdır, yüksek verim ve güç faktörü değerlerini sağlayan örnekleri vardır. Bütün bu yöntemler başlıklar altında ayrıca irdelenecektir.

1.7.1 Direnç ile Sınırlama Yöntemi

Genellikle düşük güçlü LED dizilerini sürmek için pasif devre elemanı olarak direnç kullanılır. Direnç bu devrede şekil 1.4'te gösterildiği gibi, akım sabitleyici bir unsur olarak kullanılmıştır.



Şekil 1.4 Dirençle yapılan LED sürücü yapısı [10]

Oldukça basit yapılı ve ucuz olması avantajdır; ancak devrede enerji kayıpları yüksektir. Sürülen LED'lerin ısınmasıyla LED eşdeğer dirençleri azalacağından, devre ana kol akımı da zamanla artacaktır. Bu yöntemde ısınmaya bağlı değişen akımın yanı sıra giriş gerilimini değişikleri de akım değerini değiştirecektir. Direnç ile sürülen LED'ler kontrolsüz akım sebebiyle zamanla arızalanabilir.

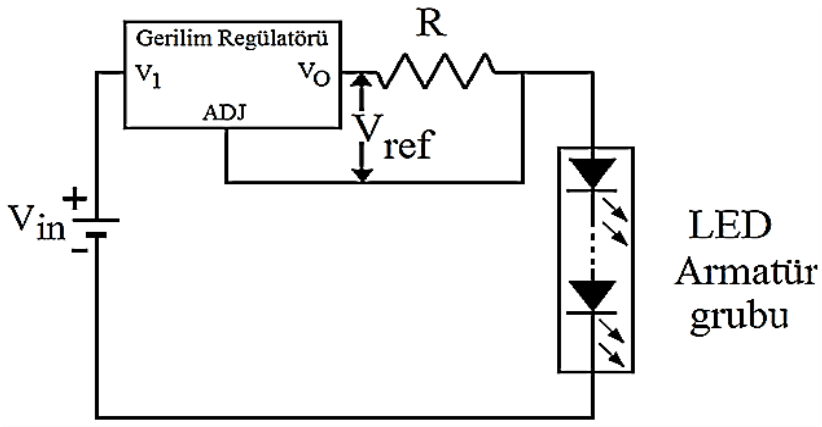
Dirençle sürme devresinde LED akımı;

$$I = \frac{Vin - n \times Vled}{R} \tag{1.1}$$

Eşitliğiyle görülebilir. Çıkışta sürülen LED sayısı "n" harfi ile ifade edilmektedir.

1.7.2 Doğrusal Kontrol (Lineer) Yöntem

Doğrusal regülatörler, doğrultulmuş giriş gerilimini çıkış akımına dönüştürür. Yarı iletkenden oluşan bu regülatör, belirlenmiş direnç üzerinde oluşan gerilim farkından yararlanarak, çıkış akımını kontrol altına alır. Bu sürme yönteminde kayda değer miktarda enerji direnç üzerinde ısıya dönüşerek kaybolmaktadır [14]. Bu sebeple entegre üzerinde aşırı ısınma dezavantaj yaratmaktadır. Şekil 1.5'te devre şeması gösterilmiştir.



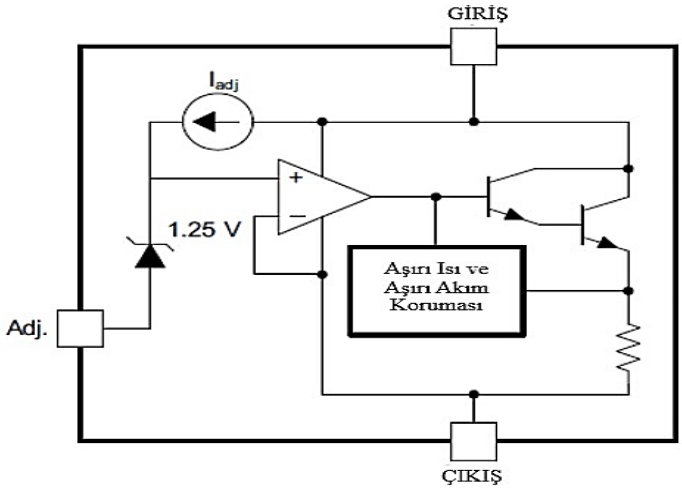
Şekil 1.5 Gerilim regülatörü ile yapılan LED sürücü [10]

Gövde sıcaklığının artmasına bağlı LED direncin değişimi, ana kol akımını etkilemez. Bu gibi değişiklere karşın regülatörün sabit akımı sürdürmesi başlıca avantajıdır. Doğrusal regülatör olarak LM317, kullanışlı ve kolay bulunur olmasıyla en çok tercih edilen üründür.

Doğrusal regülatörle yapılan LED sürme akımı (1.2) denklemiyle gösterilir.

$$Io = \frac{Vref}{R} \tag{1.2}$$

LM317 entegresi, Şekil 1.6.'da görüldüğü gibi, güç anahtar olarak bir npn transistor, 1.25V değerinde voltaj referans kaynağı ve işlemsel yükseltici (op-amp) bulundurmaktadır [15].



Şekil 1.6 LM317 Regülator Blok Şeması [15]

Aktif yöntemlerden doğrusal sürme yöntemi, güvenli bir şekilde akım sınırlaması ve kontrolü sağlamaktadır. Ayrıca düşük EMI, basit ve ucuz yapısıyla, avantajlıdır. Buna karşın verim değerlerinin %48 gibi düşük seviyelerde kalması ve enerjinin bir kısmının direnç üzerinde harcanmasına bağlı olarak devrede sıcaklık artışına sebep vermesi dezavantajlarıdır [16].

1.7.3 Anahtarlamalı Kontrol Yöntemleri

Yüksek frekansta anahtarlama yapan yarı iletken anahtar içerir. Anahtarlama sayesinde yüksek frekans trafoları ve diğer pasif devre elemanı şebeke salınım değerine göre daha küçük boyut ve kapasitede seçilebilmektedir. Çeşitli tasarımları sayesinde uygulama esnekliğinin vardır. Özellikle çıkış akım – gerilim kontrolü ve sınırlamaları tasarım değişiklikleri ile sağlanabilmektedir. En önemli avantajları; düşürücü, yükseltici ve yahut ters polariteli çıkış gerilimine sahip olabilmektedir. Kontrollü veya kontrolsüz doğrultucular yardımıyla şebeke gerilimi ile DC çıkış alınarak, sürme işlemi gerçekleştirilebilir.

Anahtarlama sebebiyle harmonik oluşumu ve elektromanyetik girişim oluştururlar. Bu bozucu etkiler uygun tasarım ve filtrelerle önlenmelidir.

Anahtarlamalı sürme devreleri olarak başlıca, düşürücü (buck), yükseltici (boost), düşürücü-yükseltici (buck-boost) ve geri dönüşlü (flyback) temel topolojileri LED sürücü devresi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Özel uygulamalar için farklı topolojilerde sürme devreleri geliştirilmektedir. Bu topolojilere ait detaylar 3. Bölümde yer alan “DC/DC Dönüşüm” başlığı altında detaylı olarak anlatılacaktır.

2
Kavramlar

2.1 Güç Kalitesi

Güç kalitesini değerlendirirken, şebeke sinyalinin sinüs formunun korunması ve gürültü, harmonik gibi bozucu etkileri barındırmaması başlıca ölçüt olarak ele alınmalıdır. Elektrik enerjisi üretim safhasında belirli kalite ve niteliklerle üretilir. Tüm sistem bu niteliklere göre optimize edilir. Tüketim kısmında yük dengesizlikleri, kapasitif ve indüktif yükler, yüksek frekanslı anahtarlamalar ve bozucu etkilerin doğru filtrelenmemesi gibi nedenler güç kalitesini ciddi oranlarda düşürür. Bu şebekelerden beslenmekte olan bütün elektrikli ekipmanlar düşük güç kalitesinden Tablo 2.1.'de [17] görüldüğü gibi olumsuz olarak etkilenir.

Tablo 2.1 Güç Kalitesinin Etkileri [17]

Ekipman	Etki
Güç elektroniği ekipmanları	Kusurlu çalışma
Sayaçlar, Röleler ve Dijital ekipman	Kusurlu çalışma
Aydınlatma lambaları	Düşük çalışma süresi
Motorlar	Güç düşümü, kayıp artışı
Telefon ve diğer iletişim araçları	Parazit girişim
İletim hatları	Sıcaklık artışı
Transformatörler	Kapasite düşümü, kayıp artışı

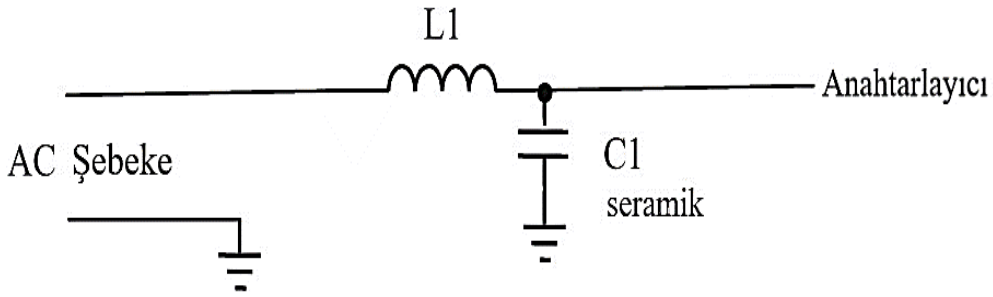
Enerji ve ekipman kayıplarının ekonomik olarak yitirilen bir değer olması sebebiyle güç kalitesini korumanın önemi artmıştır. Bu konuda uluslararası standartlar

belirlenmiş ve elektrikli cihazların yürürlükteki bu standartlara uygun olarak tasarlanması şart koşulmuştur. Günümüzde LED aydınlatmanın yaygınlaşması, güç kalitesini etkileyen ve etkilenen konumda olması tasarım kriterlerine iyileştirici yönde yön vermiştir.

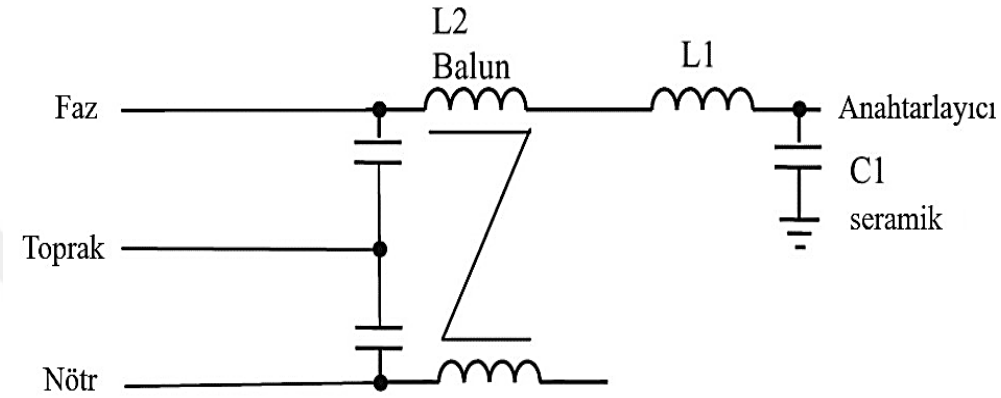
2.1.1 Gürültü (EMI ve EMC)

Elektromanyetik girişim (EMI) konusu güç kaynağı tasarımları başta olmak üzere elektronik devre tasarımında büyük öneme sahip ve dikkat edilmesi gereken bir konudur. Anahtarlamalı güç kaynakları tasarlanırken, anahtarlama frekansı yükseltilerek bobin ve kondansatör boyut ve değerlerinin düşürülmesi amaçlanır. Bu durum anahtarlamalı güç kaynaklarının temel amacını tamamlar. Ancak anahtarlamalı güç kaynakları yüksek frekans aralıklarında çalışırken aynı zamanda yüksek miktarda gürültü üretirler. Bu gürültü kaynağı iki ayrı kısımda incelenirse, iletime ve ışımaya bağlı yayılımlar olarak değerlendirilir.

İletime bağlı yayılım, faz nötr arasında akım farklılıklarının oluşması ve toprak hattından yüksek frekanslarda akım akması sonucu oluşabilir. Normal ve ortak mod olarak iki gruba ayrılabilir. Genelde 30 MHz değerine kadar etkindir. Daha yüksek frekanslarda etkisi azalmaktadır. Işımaya bağlı yayılım, devre kartları ve benzeri ekipmanlarda iletken yolunda akan yüksek frekanslı akımlar sebebiyle devre yolları radyo dalgaları üreten anten gibi davranma eğilimine girer [18]. Etkinliği 30 MHz üstü akım dalgalanmalarında artar ve etkin yayılım gösterir. Bu bozucu etkiler yayılım yoluyla yakındaki başka cihazlarda çalışma bozuklukları veya arızalar olarak kendilerini gösterirler. Bu sebeple ulusal ve uluslararası organizasyonlar tarafından gürültü miktarını azaltılmasını sağlayacak standartlar hazırlanır ve otoriteler tarafından uygulanır. Bu girişimlerin Matematiksel hesaplamalarla gösterilmesi oldukça zor ve karmaşık durumdur. Elektromanyetik girişimi standartlara göre filtrelemek ve azaltmak için pasif elementlerle hazırlanmış belirli filtre devre tasarımları kullanılmaktadır. Temel filtre devresi örnekleri şekil 2.1 ve şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.1 Normal Mod EMI Filtreleme [18]



Şekil 2.2 Ortak Mod EMI Filtreleme [18]

Elektromanyetik girişimi azaltmak için tasarımlarda dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır [18]:

i. Devre elemanları birbirine yakın, uzun devre yollarından kaçınılarak tasarlanmalı;

ii. Çevrime çok büyük akımların çekilmesinden kaçınılmalı;

iii. Aşırı hızlı veya yüksek frekanslı anahtarlama yapabilen diyot veya transistor elemanları gibi gerekenden hızlı cevaplar veren devre elemanları kullanılmamalı;

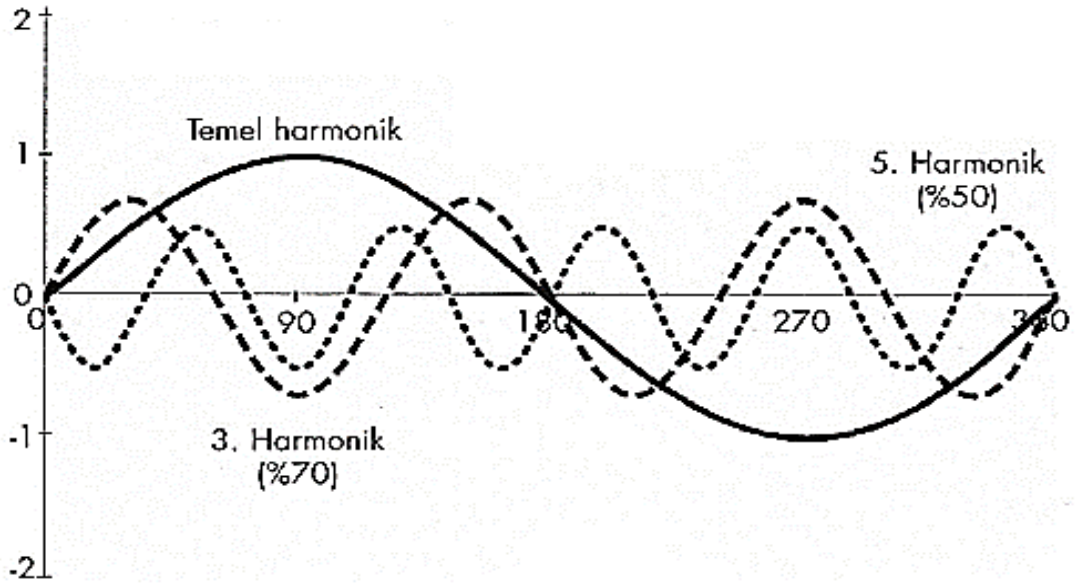
iv. Tasarım sonucunda giriş ve çıkış akımları mümkün mertebe birbirlerini takip etmeli;

v. Dönüştürücülerde seçilen bypass kondansatörleri, gereğinden küçük seçilmesi durumunda büyük değerlilere göre yüksek frekanslarda dalgalanma oluşturacağından filtreleme sağlamayacaktır.

EMC kısaltmasıyla bilinen kavram “Electromagnetic compatibility”, yani elektronik manyetik uyumluluk için kullanılır. Cihazların işlevlerini yerine getirirken birbirlerini etkilememesi ve uyumlu çalışmasını hedefleyen standartların değerlendirilmesidir. Uyumluluk standartların kıstasları bir sistemin çalışma esnasında başka ekipmanların üzerinde olumsuz etkilerini sınırlamak ve diğer sistemlerin üretmesi muhtemel bozucu etkilerden koruma metotları geliştirmektir [19].

2.1.2 Harmonikler

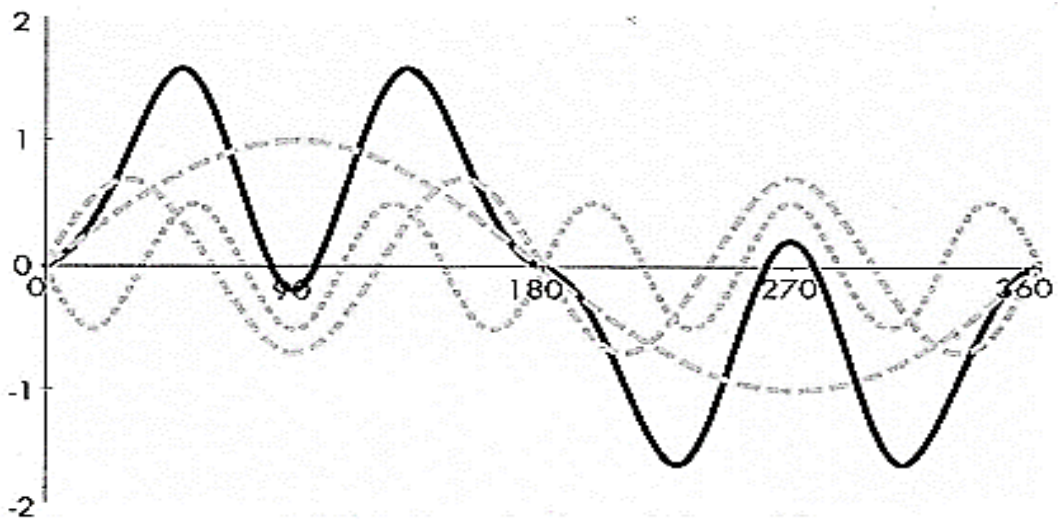
Harmonikler, temel sinüzoidal dalga şekli dışında oluşan ve şebeke frekansının katları şeklinde yüksek frekanslarda salınım gösteren bozucu etkiler olarak tanımlanır. Şebeke frekansının 50 Hz olduğu durumda; 2. Harmonik 100 Hz salınım yaparken 3. Harmonik için 150 Hz değerini alır ve bu artarak devam eder. Doğrusal olmayan, anahtarlamalı ve yarı iletkenli güç elektroniği ekipmanlarının yoğun kullanılması ve uygun filtreleme ekipmanı kullanılmaması sebebiyle harmonik miktarında artış olur. Bu harmoniklerin ana sinyale etki etmesiyle şebeke akım sinyaline bozulmalar oluşur. Sayılarına göre temel harmonik salınımları şekil 2.3’te ve temel bileşene olan etkiler şekil 2.4’te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Temel Bileşen ile 3. ve 5. Harmonikler [17]

Tesislerde harmonik olarak anılan genelde akım harmonikleridir. Bunun başlıca sebebi, harmoniklerin öncelikle akım harmoniği olarak kendini göstermesi ve bozucu etkilerin öncelikle akım harmonikleri sebebiyle çıkmasıdır. Çift katsayılı harmonikler simetrik olması sebebiyle kendilerini sönümlerler. Ancak tek katsayılı, 3, 5, 7 gibi harmoniklerin etkileri yüksektir.

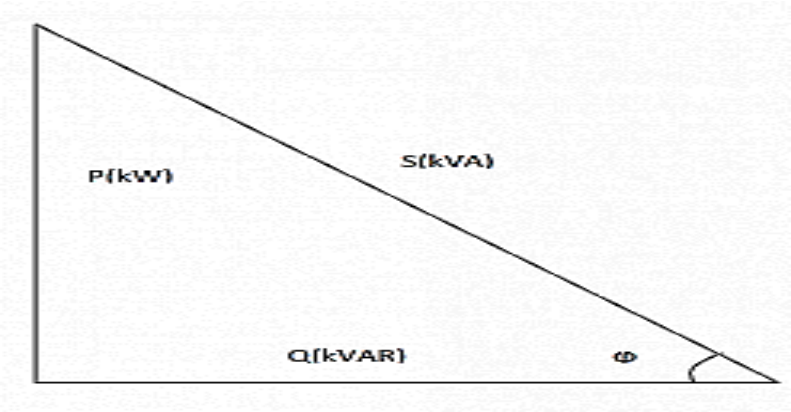
Harmonikler sonucu şebeke akım sinyali Şekil 2.4.'te görüldüğü gibi ideal sinüs formundan uzaklaşmıştır. Güç faktörü başlığında da bahsedileceği gibi, doğrusal olmayan yüklerde harmoniklerin toplam değeri güç faktörü hesabına dahil edilir.



Şekil 2.4 Bozuk Akım Dalga Şekilleri [17]

2.1.3 Güç Faktörü

AC sistemlerde yükün niteliğine göre, gerçek gücün "P" dışında reaktif güçler "Q" şebekeden çekilir. Kullanım dışı çekilen bu güç sebebiyle yükün şebeke tarafından okunan gücü farklıdır ve bu görünür güç "S" olarak adlandırılır. Güç faktörü değeri, gerçek gücün görünür güce oranı ile tanımlanır. Bu 0 ile 1 arasında değer alan güç faktörü, birim cinsinden yazılamaz. Aynı zamanda şekil 2.5'ten görüleceği gibi güç faktörü güç vektörleri arasında görülen açının kosinüs değerine eşittir.



Şekil 2.5 Güç Vektörleri [17]

Doğrusal bir yükte güç faktörü (2.1) eşitliğiyle gösterilebilir. Reaktif güç çekmeyen yüklerde doğrudan 1 ve yakın güç faktörü ölçülür. Reaktif gücün artışıyla bu değer 1 değerinden 0'a doğru azalır.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \tag{2.1}$$

$$PF = \frac{Aktif Güç}{Görünür Güç} = \frac{P}{S} = cos\varphi \tag{2.2}$$

Doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu düzensiz yüklerle, şebekeden çekilen akım–gerilim sinyalleri arasında faz farkları oluşur. Oluşan harmonikler sebebiyle şebekeden çekilen akım dalga şeklinin sinüs formu bozulmaya başlar. Bu nedenle güç faktörü hesaplamasında toplam harmonik bozulma miktarı hesaba katılır.

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_{1rms}}{V_{rms}} \times \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} \times \cos\theta = K_p \times \cos\theta \tag{2.3}$$

$$K_p = \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} \tag{2.4}$$

Güç faktörünün bozulmasıyla aynı şebekeden beslenen ekipmanlar arızalanacağı gibi, cihazların hatalı çalışmalarına ve verimsiz çalışmalara sebebiyet vermektedir. Önemi gereği güç faktörünün standartlar dahilinde korunması ve kabul edilebilir sınırlarda olması gerekliliktir. Bu standartlara uygun tasarımlar yapabilmek için

çeşitli güç faktörünü düzeltme teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerin uygulanması sonucu yüksek güç faktörü değerleri sağlanabilmekte ve sinüzoidal akım dalga formu korunabilmektedir.

2.2 Standartlar

LED sürücü devreleri ve güç kaynakları, üreticiler ve standartları oluşturan kuruluşlar tarafından "Electronic Control Gear" (ECG) olarak tanımlanmıştır.

Yeni standart IEC 61347-2-13 güvenlik gereksinimlerini ortaya koymakta ve arıza ile çarpılma hallerinde de korumayı kapsamaktadır. Bu işlemin asıl amacı çok düşük voltajda korumanın (SELV) ve yüksek voltajda yalıtımın sağlanmasıdır. Böylece bunu kullanan kişiler herhangi bir tehlike olmaksızın LED modülüne veya LED'lere temas edebilirler. Aynı zamanda, ECG'nin çalışmadığı durumlarda da kolay tutuşabilirlik ve duman emisyonunun gerçekleşmemesi gerekmektedir. Bu dönüştürücüler termal ayırıcı devreleri de içermelidirler.

IEC/EN 62384 [20] DC veya AC kaynaklı ECG'lerin uygulanma kriterlerini belirtmektedir. Söz konusu standart, LED modülü nominal güç değerinin en az nominal Watt değerinde ve en fazla +%6 olması gerektiğini ve test edilen ECG'lerin IEC61347-2-13 standardını da kapsaması gerektiğini ifade etmektedir. Böylece, uygulaması gösterilen bu standardın güç faktörü düzeltme değeri 0.95 sınırına uymalıdır. Eğer bir ECG bu güç faktörünün altında kalıyorsa, ECG farklı bir şekilde belirtilmelidir. Çıkış akımı ve gerilimi belirtilen çıkış akımı ve geriliminin en fazla %10'u kadar artışına izin verilmiş olabilir. 400 ile 2000 Hz arasında işitilebilir frekansın direnci de test sistemleri ile ölçülmektedir. ECG aynı zamanda, işlem süresi bir saat olan kısa devre ve açık devre yüklenmesi gibi olağandışı halleri da gösterir. Bu standart, ECG'leri farklı sıcaklıklarda ve ani değişikliklerde test eder; böylece şoklara karşı direniş incelenir. Burada esas gösterilmek istenen nokta, ECG'nin ve LED modülünün en iyi koşullara uygun hale getirilmesi gerektiğidir.

CE işaretini elde etmek için, ECG'ler elektromanyetik uyumluluk ve güvenlik standartlarına sahip olmalıdırlar. Bunlar, ışınım ve iletim yoluyla yapılan radyo parazitlerinin ortadan kaldırılması için EN55015, IEC 61347, IEC 61000-3-2.

EN55015'dir. Bu standartlar elektrik aydınlatma ve benzeri cihazların radyo bozulma karakteristiklerinin sınırları ve ölçümünü göstermektedirler.

IEC/EN 61547 ise genel aydınlatma amacıyla kullanılan cihazların elektromanyetik uyumluluğuna (EMC) bağışıklık gereksinimlerini göstermektedir. Bu standart içinde, Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun (IEC) teknik komitesi tarafından takdim edilen düşük gerilim kaynağı ve piller için aydınlatma cihazları arasında 34 farklı lamba, aydınlatma yardımcısı, hafif cihaz ve armatür bulunmaktadır. Bağışıklık gereksinimleri; elektrostatik boşalma, şebeke kaynağındaki arızalar, sürekli ve kısa süreli arızalar ile yayılma ve temas arızalarıdır.

IEC61000-3-2 [21] uyumlu standartları göstermektedir. Faz başına 16 ile 75A arasında uyum sınırının bulunan cihazların olduğu hallerde IEC61000-3-2 uygulanmaktadır. Söz konusu standart, cihazları kullanım şekli, kullanım süresi, güç tüketimi, harmonik spektrum ve ECG'lerin kullanım eşzamanlılığı itibariyle dört farklı grupta incelemektedir. Aydınlatma cihazları C Sınıfı'na girmektedir. Bu standartta uyumlu çalışma kriterleri ve sınır değerleri belirtilmiş ve değerleri tablo 2.2'de gösterilmiştir.

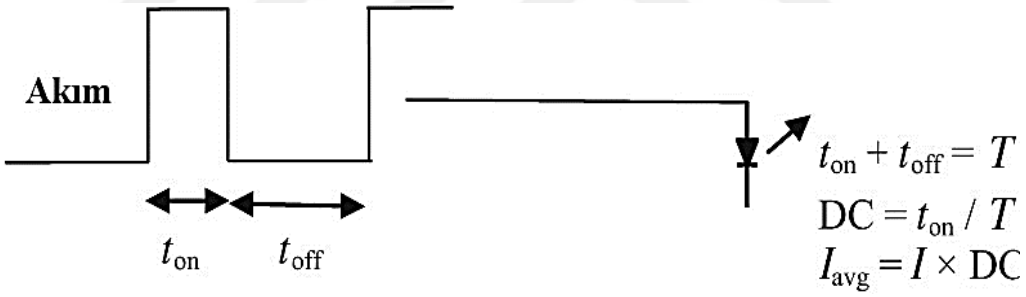
Tablo 2.2 EN 61000-6-3 Class C Sınıfına Göre Harmonik Sınırlar [21]

Harmonik katsayısı "N"	**Maksimum Akım, C Sınıfı (Ana Akımın % değeri)**
2	2
3	30 × Güç faktörü
4–40 (çift)	Tanımlanmamış
5	10
7	7
9	5
11–39 (tek)	3

2.3 Aydınlatma Parlaklık Ayarı (Dim)

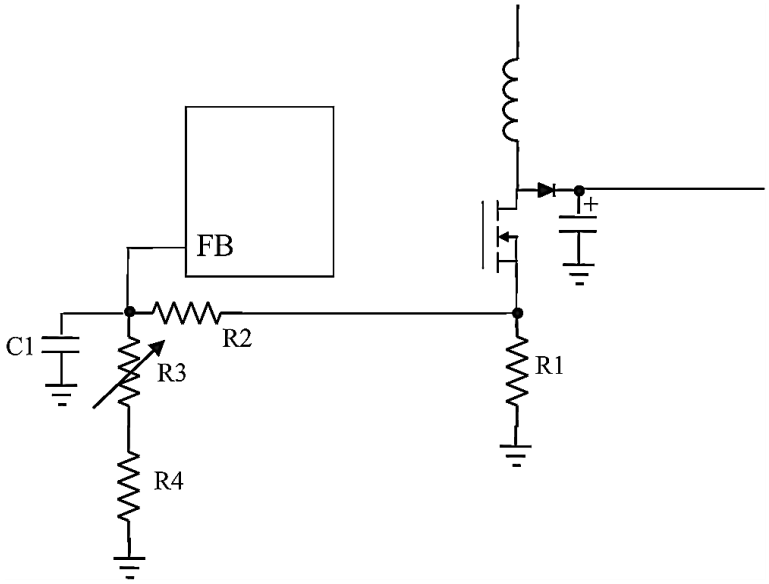
Aydınlatma uygulamalarında parlaklık ayarının kontrolü, gerek akkor filamanlı veya floresan aydınlatma örneklerinde gerekse LED aydınlatmalarda dim kontrolü olarak adlandırılır. Bu parlaklık ayarı özel uygulamalarda ve dekoratif aydınlatmalarda teknik gereklilik haline dönüşmüştür. Temelde analog akım kontrolü ve PWM tekniği olmak üzere iki ana dim kontrol yöntemi yaygındır.

LED'ler karakteristikleri gereği önerilen sürme akımına bağlı olarak çalışmaktadırlar. Bu önerilen sürme akımının sürme devresi tarafından düzenli aralıklarla kesintiye uğraması ve sonrasında iletime geçirilmesi ile darbe genişlik modülasyonu "PWM" oluşur. Bu PWM darbelerinin genişlik değerinin Şekil 2.6.'de görüldüğü gibi, kontrolör yarımıyla değiştirilmesi ile aynı sürme akımında aktarılan güç değerinde değişiklik olur böylelikle PWM dim sağlanır. Ortalama akım değeri, iletim ve kesim oranıyla doğrudan ilgilidir. LED ışığının titreşmesinden kaçınmak için PWM frekansı 60 Hz 'dan büyük olmalıdır.



Şekil 2.6 İletim ve Kesim ile Ortalama Değerde PWM [18]

Analog yöntemde ise doğrudan sürme akımının, akım değerini değiştirmek suretiyle yapılır. Burada sürme akımı düşürülse bile LED ışık renk kaymasının yaşanmayacağı oranlarda kalınır. Genel metot şeması Şekil 2.7.'de görülen, kontrolör gerilim bölücü dirençleri üzerinde oluşan gerilim değerini akım ölçüm direnci yardımıyla geribildirim alarak ölçer. Aynı zamanda gürültü değerini kontrol etmek için geri bildirim ucunda kondansatör uygulanabilir [18].



Şekil 2.7 Dim Kontrol Devresi [18]

LED sürücü modüllerinde kullanılan triac faz dimmer ve 1-10 V doğrusal dim seçenekleri analog akım kontrol yöntemleri olarak değerlendirilirken, darbe genişlik modülasyonu kullanmazlar. Her biri kendine has karmaşık yapılara sahip dijital kontrol protokolleri; dijital adreslenebilir aydınlatma ara yüzü (DALI), lokal birleştirilmiş ağ hattı (LIN) dijital mültipleks (DMX) ve CAN hattı gibi örnekler üreticiler tarafından sürücü devre tasarımlarında kullanılmaktadır.

2.4 Verim

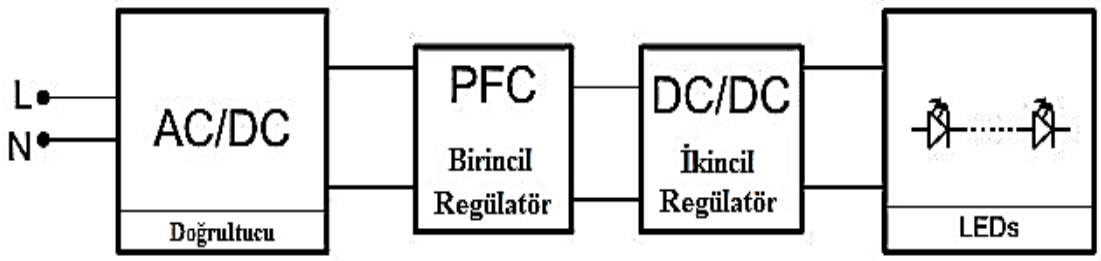
Verimlik kavramı iki ayrı alanda ele alınması gereklidir. Bu öncelikle lambanın verimliği ve sonrasında sürme devresinin elektriksel verimliliğidir. LED lambaların verimliliği birim enerji başına ürettikleri birim ışık akısı değeriyle tanımlanmaktadır. Tablo 1.2'de aydınlatma lamba tiplerine göre ışık verimlilik değerleri görüldüğü gibi lümen/watt birimiyle tespit edilmiştir.

Elektriksel verim, girişte kullanılan enerjinin ne kadarının çıkışa aktarıldığı ile değerlendirilir. Aradaki fark devre üzerinde kayıp edilmiş enerjidir. Bu sebeple bu kayıpların, sınırlandırılması ve mümkün mertebe azaltılması hedeflenir. Sınır değerleri ilgili standartlarla belirlenir ve tasarımlar bu standartlara göre yapılır. Her iki değerin birim güç değeri olması ile verim değeri birimsizdir.

3
LED Sürme Devreleri

Illuminating Engineering Society "IES" tarafından güç kaynağı "Dizayn limitleri içerisinde akım, voltaj ve gücü sağlayan ve kontrol edebilen elektronik cihaz"; ve LED sürücü ise "LED paketi, LED modülü veya LED lamba çalıştırabilen ve içeriğinde güç çıkışı ve LED kontrol devresi barındıran cihaz" şeklinde tanımlanmıştır [22].

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi LED'ler doğru akım kaynakları "DC" ile çalışan elemanlardır. Uygulama sahaları gereği LED aydınlatmalar, alternatif akım şebeke gücünden veya doğru akım batarya gücünden beslenmek durumunda kalabilir. Her iki çalışma koşulunda da doğru çalışma akım–voltaj değerlerinde LED sürme işlemini sağlamak için anahtarlamalı güç kaynakları kullanılmalıdır. Uygulamada veya tasarımda oluşan farklı çalışma koşulları yeni ihtiyaçlar doğurmuştur. Tasarlanmış LED sürücü devreleri de bu yeni ihtiyaçlara anahtarlamalı güç kaynakları konusunun bir cevabıdır. Şekil 3.1'de çıkış yükü LED olan bir anahtarlamalı güç kaynağının şeması görülmektedir.



Şekil 3.1 SMPS LED Sürme Devresi Temel Şeması [23]

Giriş geriliminin alternatif akım olması durumunda, öncelikle sinüzoidal şebeke sinyali çekilir ve doğrultucular yardımıyla doğru akım gerilim sinyaline dönüştürülür. Daha sonraki yer alan aşamada, bu doğrultulmuş DC gerilim sinyali işlenerek LED sürmede kullanılması amaçlanan gerilim değerine dönüştürülebilir. Sabit akım beslemesi gerektiren LED uygulamalarında, çıkış katına son bir akım kontrol düzenleyicisi eklenerek veya ikincil düzenleyicinin kontrol ve devre şemasını düzenleyerek doğrudan sabit akım çıkışı alınabilir. Harici akım kontrol düzenleyicisinin bulunması çıkış değerlerinin daha iyi olmasını ve kontrol edilebilirliği artırır. Ancak fazladan kullanılacak devre elemanları ve anahtarlar sebebiyle verim değerleri bir miktar düşeceğinden yüksek güçlü uygulamalar dışında tavsiye edilmemektedir.

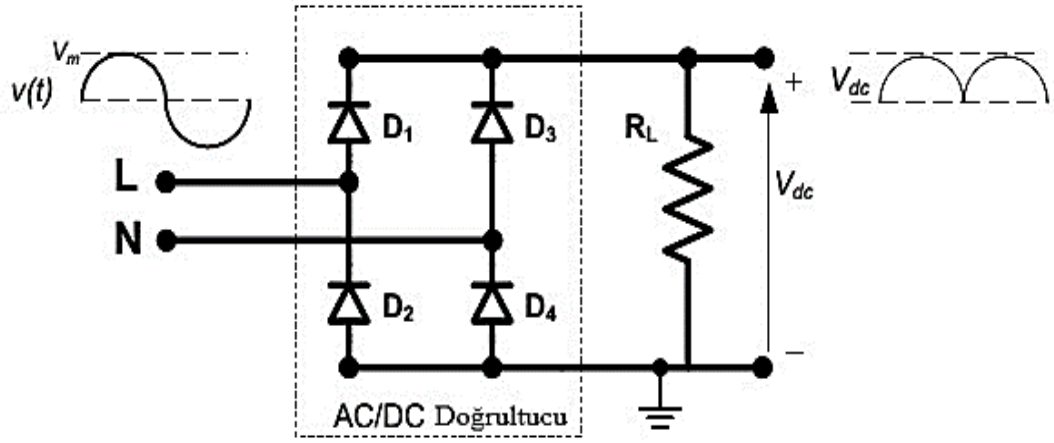
Bu kısımda LED aydınlatmada kullanılan anahtarlamalı güç kaynaklarının Şekil 3.1.'de görülen çalışma evrelerinin incelemesi yapılmıştır.

3.1 AC/DC Dönüşüm

Alternatif akım şebeke gerilimi, (3.1)'deki sinüzoidal fonksiyonla tanımlanır ve elektronik kart ve elemanların beslemesinde doğrudan kullanılamaz. LED gibi bu elemanların çalışması doğru akım kaynağına bağlı olması sebebiyle, doğrultma devreleri kullanılmaktadır. Bu AC/DC dönüştürücüler, kontrolsüz ve kontrollü doğrultucular olmak üzere gruba iki gruba ayrılabilirler.

$$v(t) = \sqrt{2} \times V \times \sin wt = Vm \times \sin wt \qquad (3.1)$$

Kontrolsüz doğrultucular, giriş sinyalinin negatif kısmını aynı büyüklükte olacak şekilde ters çevirir. Çıkışında sadece pozitif yönlü sinyalin görüldüğü bu durum Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi diyot köprüsüyle sağlanır. Çıkış gerilim sinyali Vdc 0 ile giriş AC gerilimin maksimum değeri arasında değişmektedir. Kontrollü doğrultucularda çıkış sinyali, diyot köprüleri yerine tristör ve MOSFET gibi kontrollü yarı iletkenlerin kullanılmasıyla sağlanır, çıkış sinyali kontrolsüz doğrultucuda olduğu gibidir. Kontrollü doğrultucular, karmaşık yapıları ve maliyet unsurları sebebiyle LED sürme devrelerinde yer edinmemiştir.



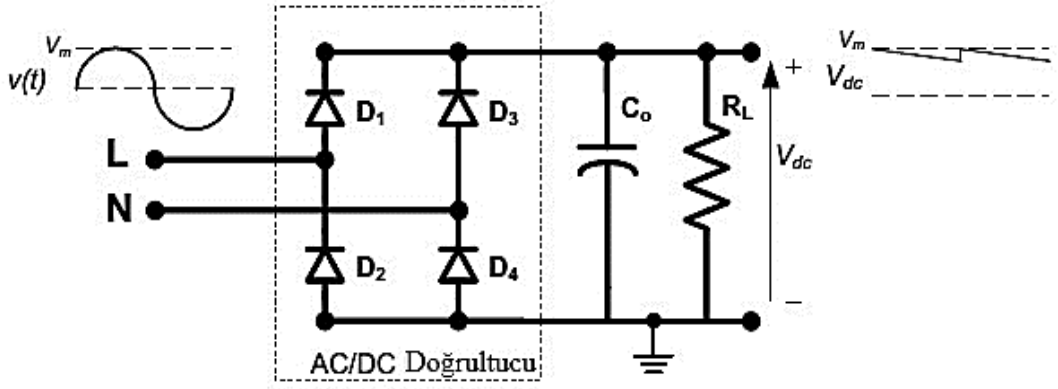
Şekil 3.2 Kontrolsüz doğrultucu devre şeması [23]

Doğrultucu çıkış salınımı dengede tutmak için diyot köprüsü çıkışına depo (bulk) kondansatörü eklenir. Bu işlem sonucu küçük salınımlı girişin maksimum değerine yakın bir DC gerilim elde edilir.

$$E = \frac{1}{2} C_o V_{dc}^2 \tag{3.2}$$

$$E = Px\frac{1}{f} \tag{3.3}$$

Depo kondansatörü seçilirken, her salınımda ihtiyaç duyulan enerji frekans ve çıkış gücü kullanılarak joule biriminden bulunur. Bu enerji, izin verilen kondansatör salınım oranı ve çıkışta elde edilmesi gereken Vdc değeriyle (3.2) ve (3.3) denklemleri üzerinden hesaplanır.



Şekil 3.3 Depo Kondansatörü Doğrulma Devresi ve Çıkış Dalga Şekli [23]

Şekil 3.3'te görülen depolama kondansatörü yardımıyla tam doğrultulmuş salınımı az DC gerilim bir sonraki aşamaya aktarılır.

3.2 DC/DC Dönüşüm

Sanayi, tüketim ve aydınlatma alanlarında geniş uygulama alanı edinen DC/DC dönüştürücüler, farklı uygulamalarda kullanılan yüzlerce çeşit topolojiden oluşmakta ve yeni topolojiler gün geçtikçe geliştirilmektedir.

İlk tasarım örnekleri yalnızca dönüştürme ve verimlilik değerlerine odaklanırken, sonra geliştirilen örnekleri daha yüksek güçlerde çalışmayı sağlamıştır. Yumuşak anahtarlama tekniklerinin geliştirilmesiyle dönüştürücülere uygulanmış ve anahtarlama kayıpları, gürültü değerlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. En son geliştirilen örnekler daha küçük çıkış geriliminde daha yüksek akım sağlama kabiliyetine sahip dönüştürücüler olarak yer almıştır.

Güç LED uygulamaları yaygın olarak düşük ve orta güç seviyelerinde 0-50 Watt aralığında kullanılmaktadır. Bu nedenle tasarımlarında düşük maliyet göz önünde bulundurulmuş, sabit akım gerektiren LED uygulamalarında, üreticiler DC/DC dönüştürücülerin paralel dirençle çıkış akımını kontrol etmeyi tercih etmişlerdir. LED aydınlatma daha yüksek güç seviyelerinde yaygınlaşmasıyla, LED aydınlatma için özel entegre devreler üretilmekte ve özel dönüştürücü topolojilerinde kullanılmaktadır.

LED uygulamalarında kullanılan temel dönüştürücü topolojileri, izolesiz ve izoleli tipler olarak iki ayrı başlıkta değerlendirilebilir.

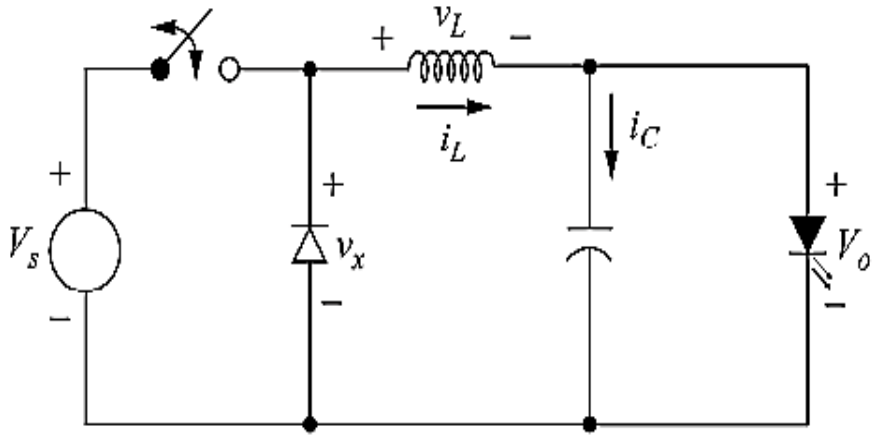
İzolesiz dönüştürücüler, temel olarak Düşürücü (Buck), Yükseltici (Boost) ve Düşürücü-yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücülerdir. Bu dönüştürücüler daha az devre elemanı ve düşük maliyetle, verimliliği yüksek dönüşüm sağlamayı amaçlamıştır. Parazittik salınım nedeniyle, güç dönüşüm oranı ve güç yoğunluğu sınırlı kalmıştır.

İzoleli dönüştürücüler, daha geniş çıkış gerilimi ve güç değerlerine sahiptirler. Başlıca, Geri dönüşlü (Flyback), İleri yönlü (Forward), Push-pull ve Zeta dönüştrücü olarak bilinmektedir. Devrelerinde bulunan transformatör giriş çıkış izolasyonunu ve değişken oranlarda dönüşüm imkânı sağlamaktadır.

Cuk ve Sepic dönüştürücü topolojileri ise izolesiz dönüştürücü temelli geliştirilmiştir. Ancak son derece gelişmiş yapıları fazla sayıda eleman bulundurup, çıkış salınım oldukça azaltılmıştır. Son derece gelişmiş, yüksek maliyetli tasarımları vardır.

3.2.1 Düşürücü (Buck) Dönüştürücü

Buck temelli LED sürücüler; düşürücü dönüştürücü olarak adlandırılan bu topoloji, anahtarlamalı güç kaynakları içerisinde en sık kullanılan topolojidir. Basit yapısı sebebiyle devre tasarımı kolaydır. Aynı polaritede düşürülmüş çıkış gerilimi sunar.



Şekil 3.4 Buck topolojisi şeması [23]

Buck dönüştürücünün çalışma prensibi, anahtarlama elemanı ve diyot yardımıyla bobin aracılığıyla enerjinin çıkış kondansatörüne ve yüke aktarılmasıdır. Devredeki süreç iki farklı durumda incelenebilir. Birinci durum anahtarın iletime geçmesiyle başlar, enerji bobinde depolanır ve çıkış kondansatörü ile yük akımı doğrudan kaynaktan çekilir. İkinci durumda ise anahtar kesimde olduğu için kaynaktan akım çekilemez ve bobinde depolanmış enerji diyot üzerinden tamamlanmış devre ile çıkışa aktarılır. Değerlendirdiğimiz dönüştürücüde bu iki aşama sürekli iletim modu (CCM) için geçerlidir. Kesintili iletim modunda (DCM) buna ilaveten, üçüncü bir durum da bulunmaktadır. Bu durumda anahtar kapalı ve diyot kesime gider ve açık devre oluşturduğu için bobin elemanı üzerinden akım geçişi tamamen durur. Yük, çıkış kondansatörü üzerinden beslenmektedir.

Durum 1: Anahtar iletimde, diyot kesimde;

Bobin üzerindeki akım (3.4) eşitliğindeki gibi artmaktadır.

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{max} - I_{min}}{t_1} \quad \gg\gg\gg \quad \frac{I_{max} - I_{min}}{D \times T_s} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{3.4}$$

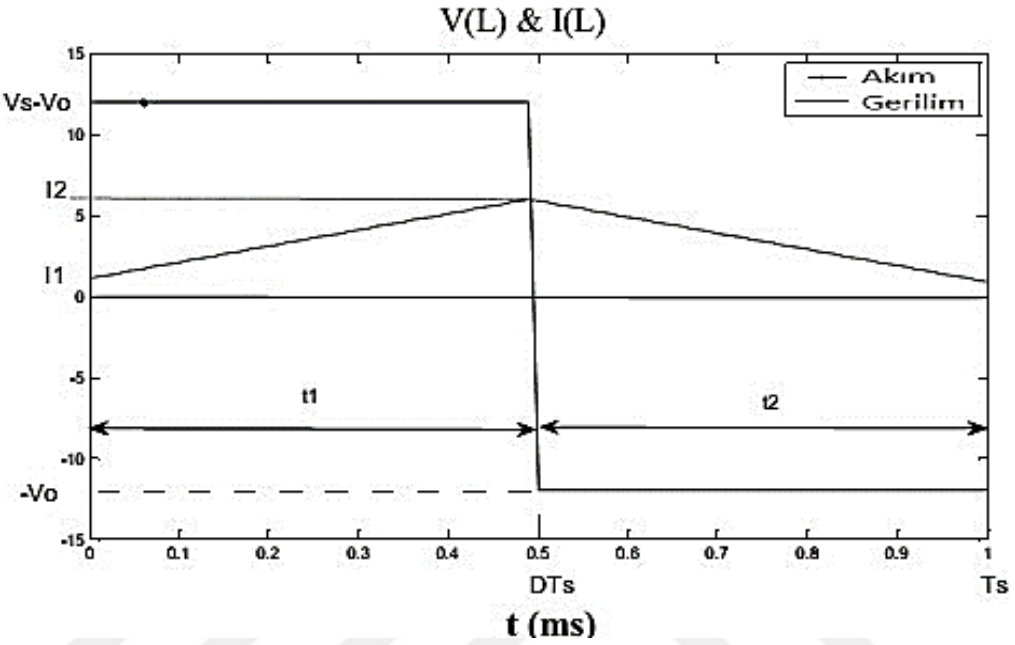
Vs-Vo süreç içinde bobin üzerinde meydana gelen gerilim düşüşünü göstermektedir. ΔT ise zaman dilimi (0, t1) ve ΔI de bobinde en yüksek ve en düşük akım değerleri arasındaki farktır. Anahtarın açık olduğu süre, kullanım oranı, duty cycle (D) olarak ifade edilmekte ve t_1 = D*Ts de anahtarın pozisyonunun değiştiği ve ikinci durumun başladığı anı göstermektedir.

Durum 2: Anahtar kesimde, diyot iletimde

t_1 anında anahtar kapalıdır ve bobin indüktans değeri aşağıdaki (3.5)'e uygun olarak düşmeye başlar. Bobindeki gerilim düşüşü çıkış geriliminin negatif (-Vo) haline eşittir.

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{min} - I_{max}}{t_2 - t_1} \quad \gg\gg\gg \quad \frac{I_{min} - I_{max}}{(1 - D) \times T_s} = \frac{-V_o}{L} \tag{3.5}$$

Dönüştürücünün gerilim denklemi durağan halde görülebilir. Şekil 3.5 numaralı görselde bobindeki gerilim ve akım dalga şekillerini göstermektedir. Bunu hesaplamanın bir diğer yolu da (3.4) ve (3.5) denklemlerinde gösterilen bobin dalgalanma eşitliğini kullanmaktır. Bobin akımında meydana gelen değişim buck dönüştürücüsündeki gerilim oranını vermektedir.



Şekil 3.5 Buck Dönüştürücü Bobin Akım ve Gerilim Dalga Şekilleri [23]

$$V_o = V_s D \tag{3.6}$$

Denklemler kullanıldığında, akımdaki dalgalanma şu şekilde elde edilebilir:

$$\Delta I = \frac{V_s D(1-D)}{f \times L} \tag{3.7}$$

Durağan haller bize tek anahtarlı çevrimlerde kondansatördeki toplam akım değişiminin sıfır olduğunu göstermektedir. (3.8) numaralı denklemde gerilimdeki dalgalanma ortaya konmaktadır:

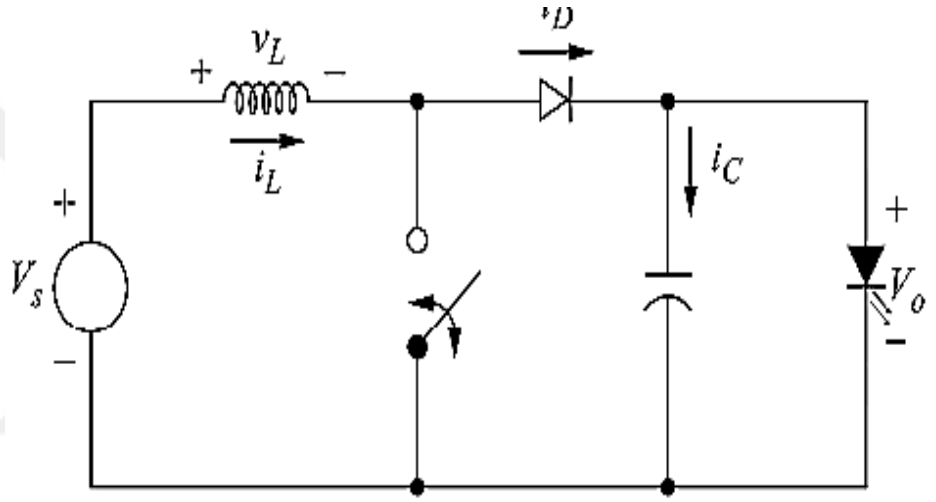
$$\Delta V_c = \frac{D(1-D)V_s}{8CL} \times T^2 \tag{3.8}$$

Buck dönüştürücülerdeki esas nokta bobinden geçen akımın yüklenen akıma eşit olması ve bunun da LED sürücüsündeki akıma eşit olmasıdır. Dolayısıyla buck

dönüştürücü diğer dönüştürücülerden çok farklı bir yere sahiptir. Bunlarda elektrolitik kondansatör gerekmemektedir, çünkü gerilim ayarına da ihtiyaç bulunmamaktadır.

3.2.2 Yükseltici (Boost) Dönüştürücü

Boost temelli LED sürücüler; yükseltici dönüştürücü olarak da adlandıran bu dönüştürücüler, aynı polaritede giriş gerilimine göre yükseltilmiş çıkış gerilimi sunar. Giriş gerilimin yükseltilmesinde ve kontrollü PFC uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Yükseltici dönüştürücüye ait temel devre şeması Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Boost topolojisi şeması [23]

Boost dönüştürücüler kolay tasarım ve yüksek verimlilik gibi avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra giriş akımı sürekliliği ile EMI standartlarına kolaylıkla uyum sağlayabilir.

Dönüştürücü, bobin üzerinde depolanan enerjinin kaynaktan alınarak kondansatöre ve yüke taşınmasını sağlar. Çalışma süreci iki farklı durumda incelenebilir. Bunlardan birincisi anahtarın iletime geçtiği andan itibaren başlar. Bobin enerji depolar ve çıkış kondansatörü yük üzerinden boşalır. Anahtarın kesimde olduğu zaman ortaya çıkan ikinci durumda ise bobin depolanmış enerjisini devre çevrimine dahil eder. Yük çıkışı ve çıkış kondansatörü doğrudan beslenir

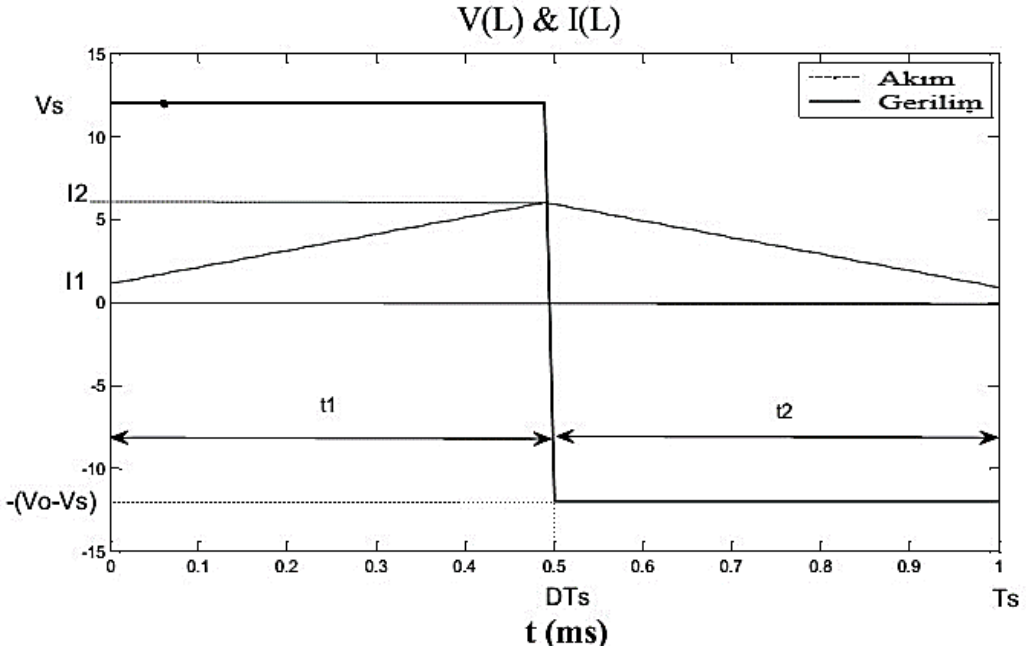
Durum 1: Anahtar iletimde, diyot kesimde;

(3.9) numaralı denklem bobin akımındaki artışı göstermektedir.

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{max} - I_{min}}{t_1} \quad \gg\gg\gg \quad \frac{I_{max} - I_{min}}{D \times T_s} = \frac{V_s}{L} \tag{3.9}$$

Durum 2: Anahtar kesimde, diyot iletimde;

İkinci durumda anahtar kapalıdır ve bobin enerji depolayarak kondansatörü şarj eder. Bobin akımı aşağıdaki gibi azalır;



Şekil 3.7 Boost Dönüştürücü Bobin Akım ve Gerilim Dalga Şekilleri [23]

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{max} - I_{min}}{t_2 - t_1} \quad \gg\gg\gg \quad \frac{I_{max} - I_{min}}{(1 - D) \times T_s} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{3.10}$$

(3.9) ve (3.10) numaralı denklemlerin birbirine eşitlenmesiyle birlikte boost dönüştürücünün gerilim durumu ortaya çıkartılabilir;

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D} \tag{3.11}$$

En düşük bobin indüktans değeri (Lmin) sürekli iletim modunda çalışma koşulunu ortaya koyar. Eğer en düşük akım değeri sıfırdan farklı ise dönüştürücü sürekli iletim modunda çalışacaktır.

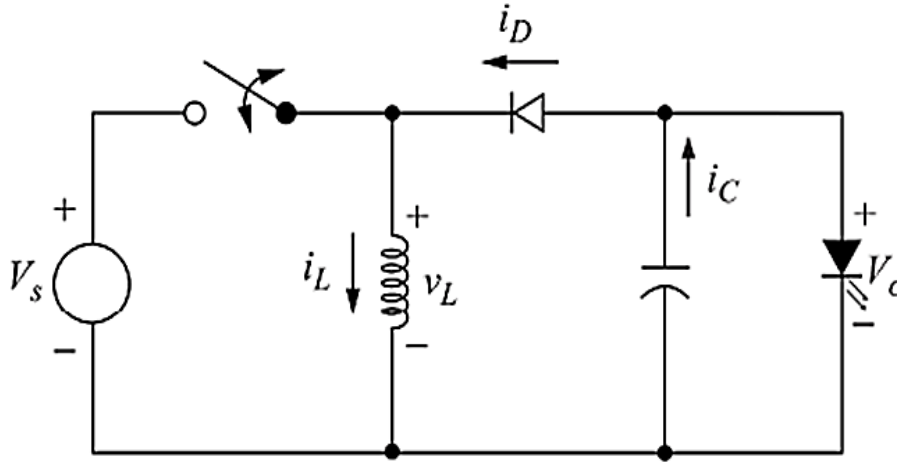
$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2}{2} T_s \frac{V_0}{I_0} \tag{3.12}$$

Bu kısım boost dönüştürücü temelli LED sürücülerin bir örneğini ele almaktadır. Backlight LED ürünlerinde veya sokak aydınlatması amaçlı armatürlerde çok sayıda LED modül bulunmaktadır. Doğru işlem yöntemi LED'leri seri olarak birbirine bağlamak olduğundan sürücüler LED'ler için yüksek gerilim çıkışı sağlamalıdır. Bu ürünler açısından en iyi çözüm boost dönüştürücülerdir.

3.2.3 Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) Dönüştürücü

Buck-Boost temelli LED sürücüler; tasarımlarına göre düşürücü veya yükseltici özellik barındırabilen bu topolojide çıkış gerilimi girişe göre ters polaritededir. Negatif çıkış gerilimi nedeniyle tersleyici (inverter) olarak da bilinir.

Devre şeması Şekil 3.8.'de görülebilir. Çalışma süreçleri iki farklı durumda incelenebilir. Bunlardan birincisi anahtarın iletime girmesiyle birlikte başlamaktadır. Bu durumda, bobin enerji depolar ve kaynaktan yük akımı çekilir. Yük çıkışı, çıkış kondansatörü ile beslenir. İkinci durum; anahtar kesimdeyken, bobin içinde depolanmış enerjinin yük çıkışı ve kondansatörüne aktarılmasıdır.



Şekil 3.8 Buck-Boost Topolojisi Devre Şeması [23]

Durum 1: Anahtar iletimde, diyot kesimde;

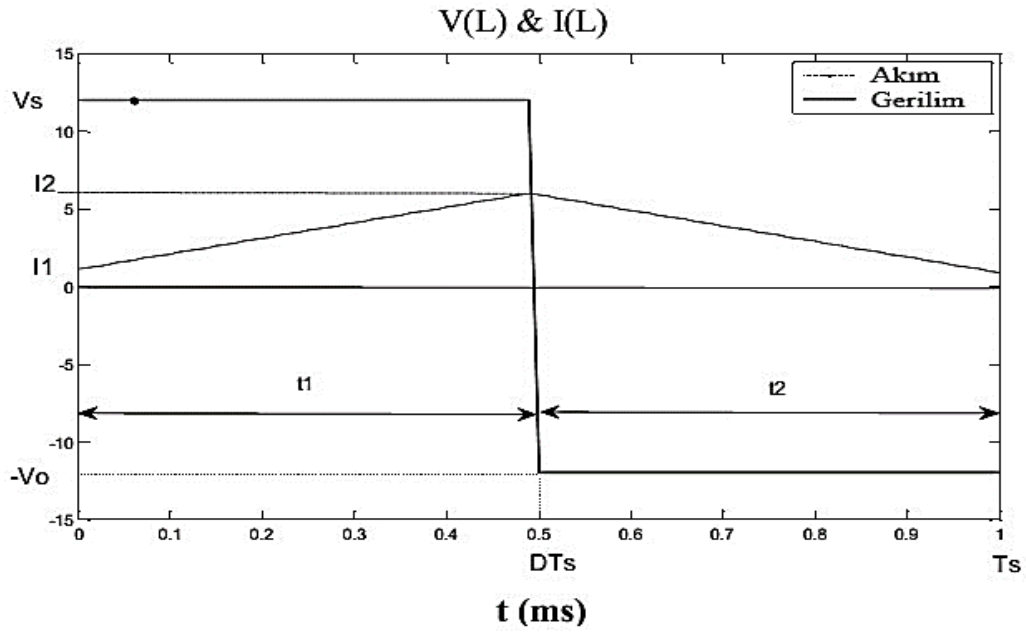
Bobindeki akım (3.13) numaralı denklemdeki gibi artmaktadır.

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{max} - I_{min}}{t_1} \quad \gg\gg\gg \quad \frac{I_{ax} - I_{min}}{D \times T_s} = \frac{V_s}{L} \tag{3.13}$$

Durum 2: anahtar kesimde, diyot iletimde;

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{max} - I_{min}}{t_2 - t_1} \gg\gg\gg \frac{I_{max} - I_{min}}{(1 - D) \times T_s} = \frac{-V_o}{L} \tag{3.14}$$

(3.13) ve (3.14) numaralı denklemlerin akımdaki değişim itibariyle birbirine eşitlenmesiyle birlikte, sürücüdeki gerilim durumu ortaya çıkacaktır.



Şekil 3.9 Buck-Boost Dönüştürücü Bobin Akım Gerilim Dalga Şekilleri [23]

(3.13) ve (3.14) numaralı denklemlerin akımdaki değişim itibariyle birbirine eşitlenmesiyle birlikte, sürücüdeki gerilim durumu ortaya çıkacaktır.

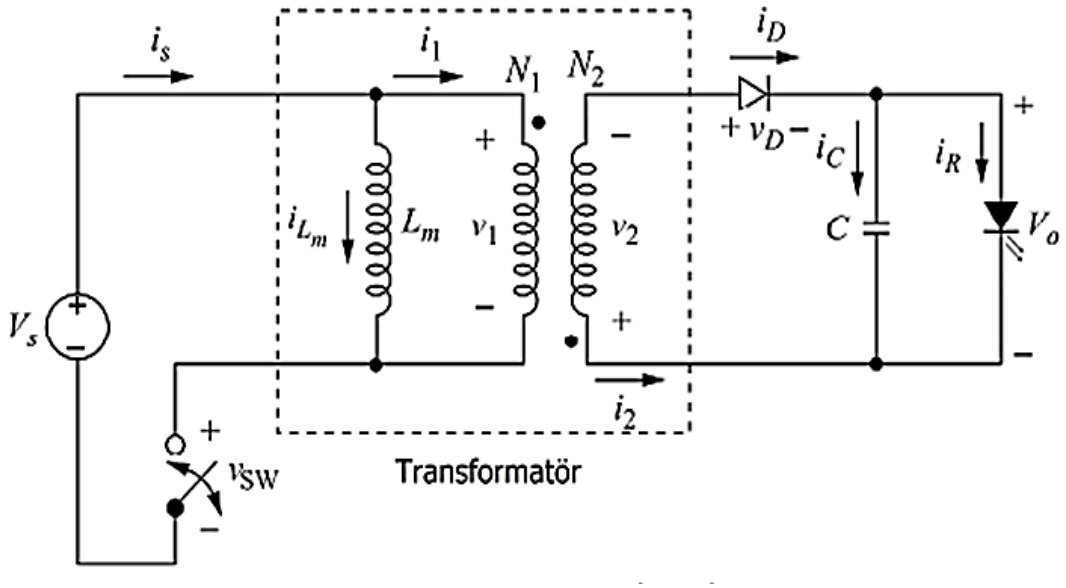
$$V_o = -V_s \left(\frac{D}{1 - D}\right) \tag{3.15}$$

Ayrıca, anahtarlama dönemi veya çalışma sıklığı, daha önceden verilmiş bobindeki akım dalgalanma değeri (ΔI) ve (3.16) numaralı denklem kullanılarak bulunabilir.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{\Delta I \times L(V_o - V_s)}{V_o V_s} \tag{3.16}$$

3.2.4 Geri dönüşlü (Flyback) Dönüştürücü

Flyback dönüşürücü temelli LED sürücü; kelime anlamıyla geri dönüşlü dönüştürücüler, izolasyon gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Düşürücü veya yükseltici özellikte ve buck-boost topolojinden farklı olarak aynı polaritede çıkış gerilimi sağlar. Yüksek frekanslı izolasyon transformatörü ve çıkış yükü çeşitliliği sebebiyle PFC'li LED aydınlatma uygulamalarında sıklıkla karşılaşılır. Basit yapılı ve düşük maliyetli bir tasarıma sahiptir. Şekil 3.10'da da görülen temel devre şemasında transformatörde iletim sürekliliği Lm bobininde depolanan enerji aracılığıyla sağlanır.



Şekil 3.10 Flyback dönüştürücü topolojisi şeması [32]

Flyback dönüştürücü, diğer temel dönüştürücü topolojilerinde olduğu gibi her anahtarlama aralığında depolanan enerji yüksek frekans transformatörü yardımıyla çıkışa aktarılır. Bu dönüştürücü iki çalışma durumunda değerlendirebilir.

Birinci durum, anahtarın iletime girmesiyle başlar. Bu durum diyotun kesime gitmesiyle, trafonun indüktansında enerji depolanmasına ve doğrudan çıkış kondansatörüne ve yüke aktarımıyla sonuçlanır. Bu zaman aralığında indüktans akımının (ΔI) periyot değişimine (ΔT) oranı (3.17) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{max} - I_{min}}{t_1} = \frac{I_{max} - I_{min}}{D \times T_s} = \frac{V_s}{L_m} \tag{3.17}$$

İkinci durum, anahtarın kesime gitmesiyle başlar. Bunu takriben, trafonun sargılarında ters yönlü bir akı oluşur ve diyot iletime girer. Trafo indüktansında depolanmış enerji serbest bırakılır. Böylelikle çıkış kondansatörünü ve yükün beslemesi sağlanır.

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_{max} - I_{min}}{t_1 - t_2} = \frac{I_{max} - I_{min}}{(1 - D) \times T_s} = \frac{V_0 \frac{N_p}{N_s}}{L_m} \tag{3.18}$$

Bu denklemlerden, dönüştürücün bobini üzerinde oluşan akım değişiminden yaralanarak çıkış gerilimi (3.19) denklemi oluşturulur.

$$V_o = V_s \left(\frac{D}{1 - D}\right)\left(\frac{N_2}{N_1}\right) \tag{3.19}$$

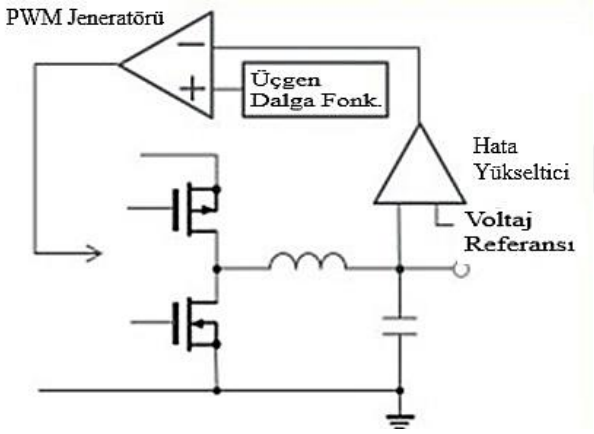
Flyback dönüştürü, diğerleri gibi DCM ve CCM çalışma şartlarını sağlamaktadır. Çıkış voltaj veya akım regülasyonu optocoupler eleman yardımıyla sağlanabilir. Bu durumda giriş çıkış arasında tam izolasyon sağlanmış olur.

3.3 Anahtarlama Kontrol Metotları

Kontrol çevrimi uygun tepkiler verebilmesi için devre çıkış değerleri üzerinden geri besleme almaya ihtiyaç duyar. Bu başlıkta bu geri beslemenin şekline göre incelemeler yapılmıştır.

3.3.1 Gerilim Modlu Kontrol

En temel kontrol metodu olarak, gerilim modunda sadece çıkış geriliminden geri besleme alınır. Referans voltajı ile çıkıştan alınan örneği gerilim hata yükseltecinde karşılaştırılır. Oluşan gerilim fark fonksiyonu testere rampa sinyali ile karşılaştırılır ve PWM sinyalinin oluşturulmasını sağlar. Döngü sonucunda, PWM sinyalinin darbe genişlikleri çıkış gerilim kontrolünü sağlar. Basit yapı, düşük gürültü, yüksek EMI toleransı ve geri beslemeden sayesinde hızlı tepkime başlıca avantajlardır [24,25]. Şekil 3.11'de örnek gerilim modu şeması gösterilmiştir.



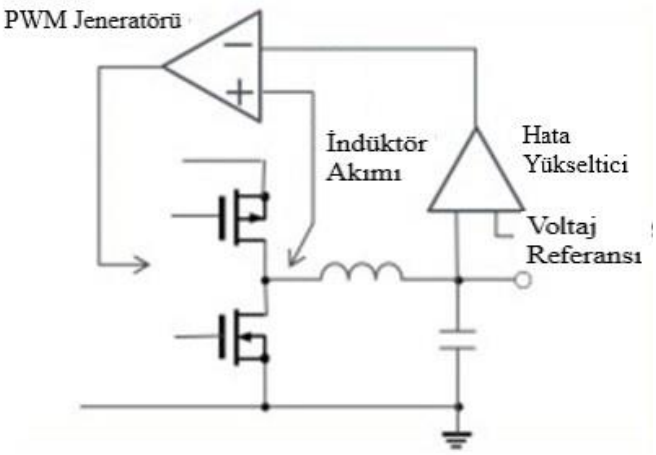
Şekil 3.11 Örnek Gerilim Modu [26]

3.3.2 Akım Modlu Kontrol

Gerilim modundan farklı olarak testere rampa sinyali yerine bobin üzerinde algılanan akım dalgalanmasını kontrol çevriminde kullanır. Akım bobin yerine MOSFET anahtar drain-source direnci üstünden veya akım sensörü ile algılanabilir.

Kontrol geri beslemesi akım veya gerilim üzerinden sağlanabilir. Kontrol çevirimi gerilim moduna göre karmaşıktır ancak önemli avantajlar sağlar. Geri besleme çevrimi oldukça stabil sonuç vermekte ve yüke karşı daha hızlı cevaplar

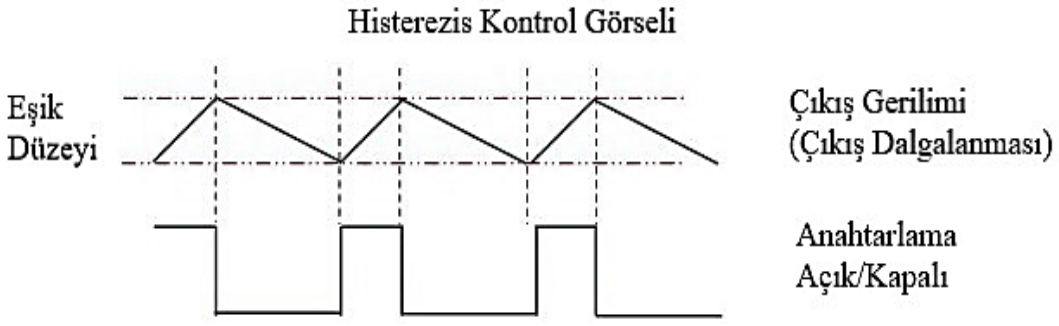
verebilmektedir. Bunlara rağmen yüksek hassasiyeti ve PWM üzerinde gürültü etkisi yüksektir [24,25]. Örnek şema, şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Örnek Akım Modu [26]

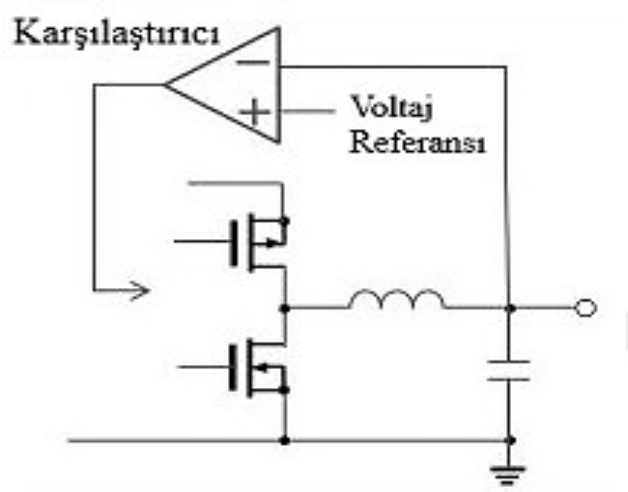
3.3.3 Histerezis Modlu Kontrol

Bu kontrol metodu kısa süreli yüklerin güç gereksinimlerini ve oluşturduğu geçici rejimlere karşılık verebilmesi için geliştirilmiştir. Kontrol, çıkışta algılanan dalgalanmaları algılanmasıyla sağlanır. Çıkış gerilimi, hata yükselticinde işlenmeden doğrudan karşılaştırıcıya gönderilir ve referans gerilimi ile karşılaştırılır. Burada belirlenmiş sınır değerlere göre kontrol sinyali oluşturulur. Sınır değerler ve kontrole göre gerilim dalgalanması şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Histerezis Kontrol Dalgalanma İlişkisi [26]

Doğrudan karşılaştırıcıda değerlendirme yapılması nedeniyle oldukça yüksek tepkime hızı sunar. Değişken anahtarlama frekansı, elemanlar üzerinde yüksek stresler oluşması ve çıkış dalgalanmasının görülebilmesi için çıkış kondansatörünün büyük seri direnç gerektirmesi olumsuzluklarıdır [24,25]. Kontrol örneği şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Histerezis Modu Örneği [26]

4
Güç Faktörü Düzeltme Yöntemleri

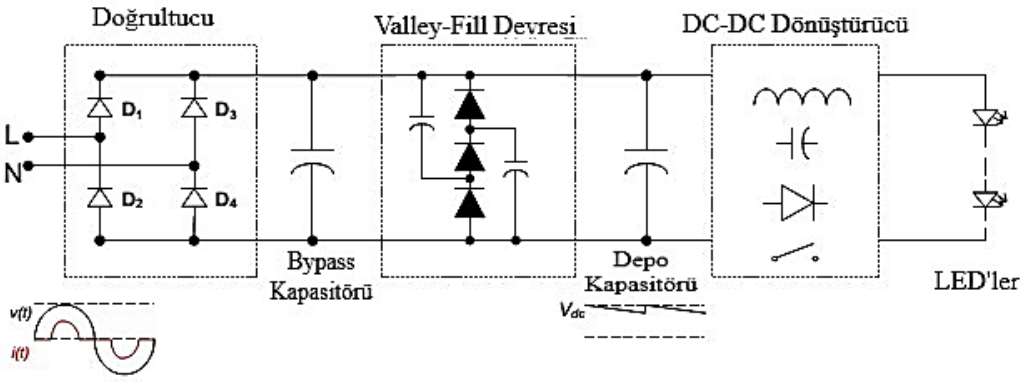
Güç faktörü düzeltme (PFC), şebekeden çekilen akımın sinüzoidal formunun korunmasını sağlamayı ve reaktif yüklerin etkilerinin şebekeye yansıtılmaması amaçlayan tekniklerdir. Güç faktörü düzeltme yöntemleri, dönüştürücü devrelerde ek düzenlemeleri veya dönüştürücülere ilave PFC denetleyici devrelerin kullanılmasını gerektirebilir.

Geleneksel doğrultucular, anahtarlama elemanları, reaktif güç çeken yükler vb. nedenlerle güç faktörü değeri ideal değerinden uzaklaşarak kötüleşir. LED sürme devrelerinde kullanılan, AC/DC dönüştürücüler de bu elemanları barındırır. Bu sürme devrelerinin tasarım aşamasında; şebekeden çekeceği akım formuna, güç faktörü değerine dikkat edilir ve güncel standartlara uyumlu sonuçlar alınması beklenir.

Güç elektroniğinde, güç faktörü düzeltme yapıları pasif ve aktif elemanlı olarak ikiye ayrılabilir. Aynı zamanda da aktif elemanlı güç faktörü düzeltme, tek ve iki aşamalı yöntemler olarak incelenmektedir.

4.1 Pasif ve Aktif PFC

Pasif PFC yöntemleri, kondansatör ve bobin gibi pasif devre elemanlarından oluşturulmuştur. Bobin elemanı, seri rezonans devresi veya Şekil 4.1.'de görülen Valley-Fill devresi ile sağlanabilmektedir [23-27].



Şekil 4.1 Valley-Fill Devre Şeması [23]

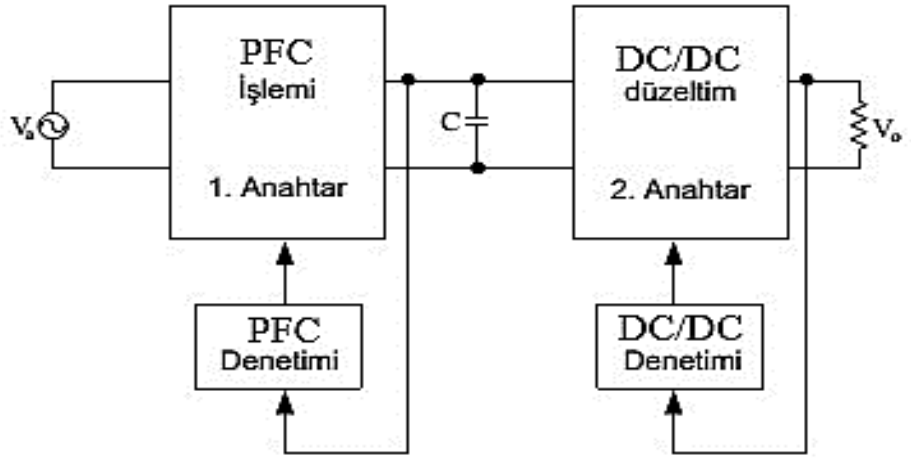
Tasarım kolaylığı ve yüksek verim sağlarlar ancak çıkış gerilimi regülasyonu olmaması dezavantajıdır. Ayrıca bobin tiplilerde, şebeke frekansında kullanılması gereken bobin boyutu büyük çıkacağında uygulama zorluğu oluşturmaktadır.

Aktif PFC yöntemleri, temelde kontrolsüz doğrultucu çıkışına eklenmiş MOSFET veya IGBT benzeri yarı iletken elemanla kontrol edilen DC/DC dönüştürücüdür. Bu dönüştürücünün ana hedefi, şebekeden çekilen akım ile gerilim arasında faz farklı olmaması ve akımın sinüzoidal formda kalmasını sağlamaktır. Oldukça başarılı sonuçlar veren bu devreler; basit yapıları, kontrol kolaylığı ve yüksek uygulanabilirlikleri sebebiyle güç elektroniğinde doğrudan PFC devreleri olarak anılırlar. Temel dönüştürücü topolojilerinin hepsinde uygulanarak farklı çıkış gerilim değerleri elde edilebilir. En yaygın olarak yükseltici dönüştürücü topolojisi güç faktörü düzeltme devreleri için kullanılmaktadır.

4.2 Tek ve İki aşamalı tipler

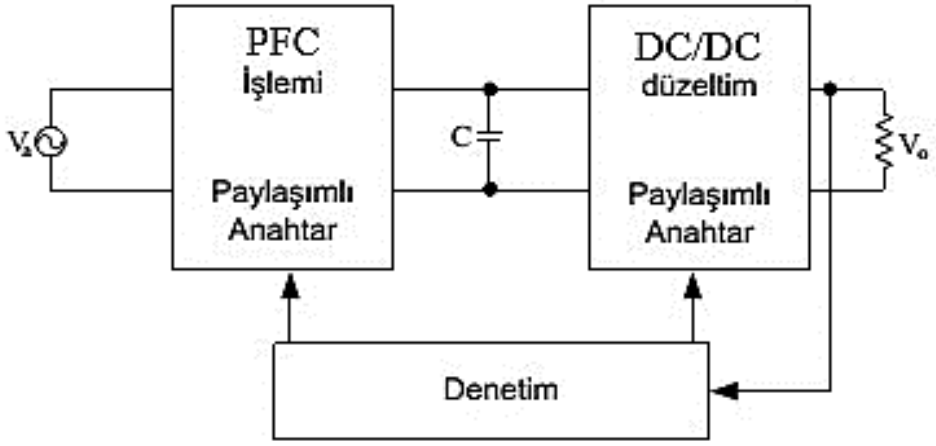
Güç faktörü düzeltmesi, yüksek frekanslı dönüştürücü uygulamalarında iki ve tek aşamalı olarak ayrılabilir. İki aşamalı PFC dönüştürücüler, genel itibariyle genel LED sürme devreleri için pahalı çözümlerdir. Maliyetleri sebebiyle ancak yüksek güçlü aydınlatma uygulamalarında ve işletme süresi uzun bakım problemi olan dış ortam aydınlatma uygulamalarında kullanılırlar. Doğrultulmuş şebeke sinyali öncelikle PFC katında işlenir daha sonrasında ayrı DC regülasyon katında işlenir ve istenen çıkış değerlerini sağlar. Her iki aşama kendi anahtar ve kontrol ünitesine sahiptir.

Güç faktörü düzeltme ve regülasyon kalitesi tek aşamalıya göre daha iyi sonuçlar verirken bağımsız karmaşık kontrol yapısı vardır. Şekil 4.2'de blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.2 İki Aşamalı PFC Blok Şeması [34]

Tek aşamalı PFC dönüştürücüler ile PFC ve DC regülasyon için kullanılan yarı iletken anahtarların kontrol çevrimlerini birleştirerek oluşturulmuştur. Bu bileşik yeni oluşan kontrol çevrimiyle, tasarımda yer kazanımı, maliyet ve yüksek verimlilik avantajı sağlanmıştır. Tek kontrol ünitesi iki ayrı anahtarı kontrol edebileceği gibi paylaşımlı tek bir anahtarı da kontrol edebilme kabiliyeti vardır. Paylaşımlı anahtar kullanılması durumunda bu anahtar öncelikle DC regülasyonu kontrol ederken PFC kendiliğinden sağlanacaktır. Basit devre şeması ve kolay kontrol edilebilir yapısıyla gücü 300 Watt değerini aşmayan uygulamalarda tercih edilmektedir. İki regülasyon işlemi için tek anahtar kullanımından kaynaklı anahtar üzerinde akım stresi oluşmaktadır [26]. Oluşan bu akım stresinin etkilerini azaltmak için bastırma devrelerinin kullanımı düşünülebilir. Tek aşamalı PFC blok şeması şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Tek Aşamalı PFC Blok Şeması [34]

Genel amaçlı kullanılmakta olan LED aydınlatma uygulamalarının düşük ve orta güç seviyelerinde faaliyet göstermesi sebebiyle; tek aşamalı PFC devreleri, LED sürme devrelerinde kullanılacak en uygun çözümlerdir.

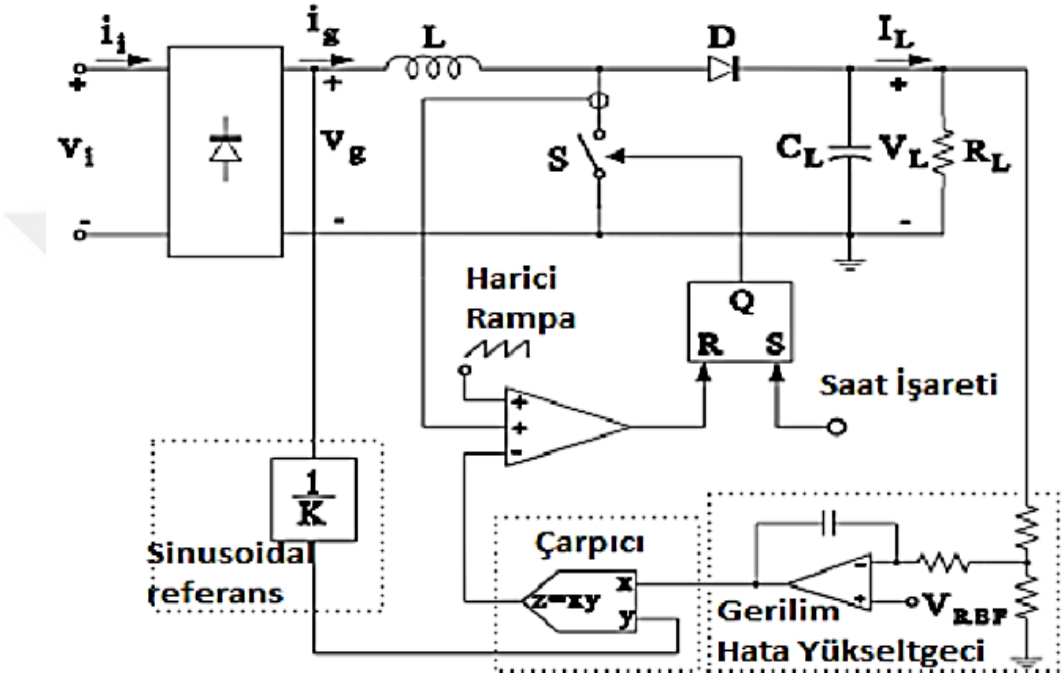
4.3 PFC Akım Kontrol Yöntemleri

Güç faktörü düzeltimde farklı uygulamalara ve ihtiyaçlara göre oluşturulmuş farklı kontrol yöntemleri vardır. Teknik kolaylıklar sebebiyle, çoğu zaman PFC düzeltimi sürekli iletim modunda çalışan yükseltici dönüştürücü üzerinden sağlanır. Bu başlıkta, çeşitli kontrol yöntemleri kontrol blok şemaları üzerinden açıklamalarla değerlendirilmiştir.

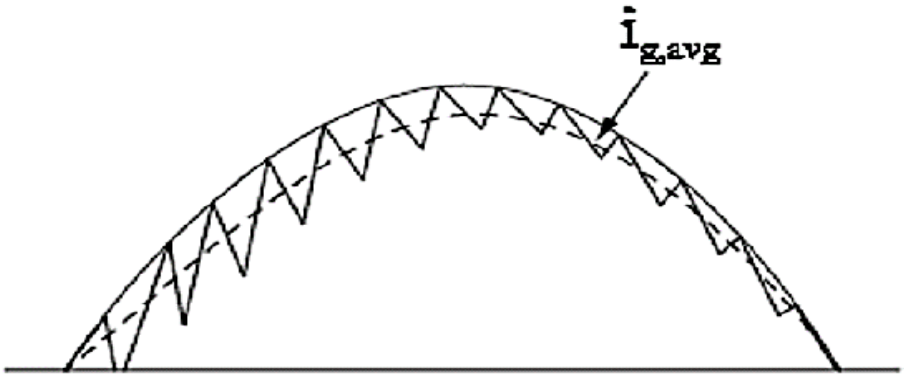
4.3.1 Pik Akım Kontrolü

Bu kontrol yöntemi, ölçülen gerçek akımın belirlenmiş akım değerine ulaşmasıyla anahtar kapı sinyali kesilir. Sabit anahtarlama frekanslı bu kontrol tekniğinde, anahtardan geçen akım sinyali kullanılacak akım trafosu yardımıyla ölçülerek kontrol sağlanır. Böylelikle, akımın okunması direnç üzerinden gerçekleştirilmediğinden, direnç üzerinde oluşacak muhtemel kayıplar önlenir. Bu teknik temel amaç anahtar akımına Şekil 4.5.'te görüldüğü gibi akım sınırlaması getirmektir. Ayrıca akım hata yükselticisi gerektirmemesi yönüyle avantajlı bir tekniktir.

Ancak avantajlarının yanı sıra, çalışması esnasında oluşan yüksek harmonik değerler, diyotun sert kesime ve anahtarın ise sert iletime geçmesi sebebiyle sıfır geçişlerinde giriş akımında bozulmalar gözlenebilir. Giriş akımında gözlenen bozulmalar referans akımının dalga şekli değiştirilerek düzeltilebilir [28]. Şekil 4.4'de temel blok şeması ve şekil 4.5'de hedeflenen giriş akım dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Pik Akım Modlu Kontrolün Blok Şeması [34]

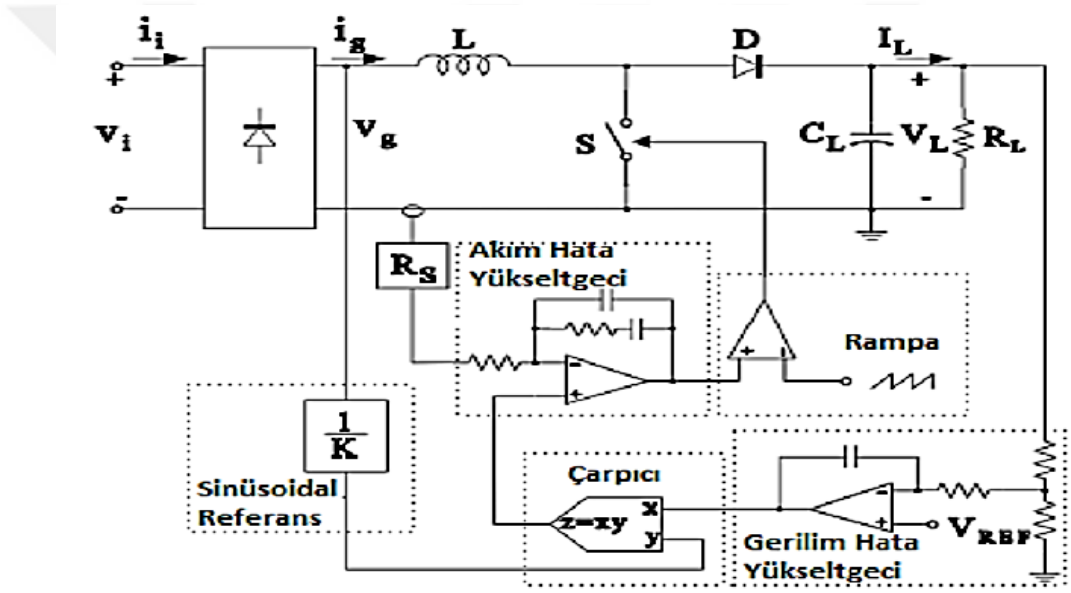


Şekil 4.5 Pik Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34]

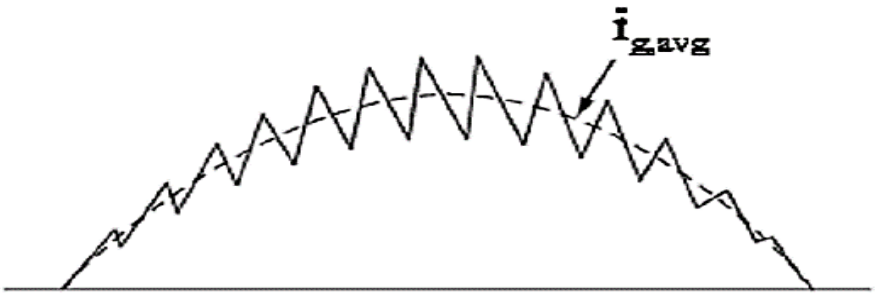
4.3.2 Ortalama Akım Kontrolü

Ölçülen gerçek ana kol akımının, sabit anahtarlama frekansında belirli ortalama değere yerleşmesi hedeflenir. Ana kol akımı algılanarak, pik akım modlu teknikten farklı bir durumla, akım hata yükselticisine aktarılır. Anahtar tetikleme sinyali, akım hata yükselticisin çıkış sinyaline göre üretilir. Bu kontrolle, referans akımı ile ortalama giriş akımı arasındaki hata oranı en düşük olması sağlanır.

Harici rampa salınımına gerek duymaması ve akım sinyalinin filtrelenmesi avantajlarıdır. Ancak bu teknik ana kol akımının ölçümünü ve akım hata yükselticisinin kullanımı gerekli kılmaktadır [28]. Şekil 4.6'de temel blok şeması ve şekil 4.7'de hedeflenen giriş akım dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Ortalama Akım Modlu Kontrol Blok Şeması [34]



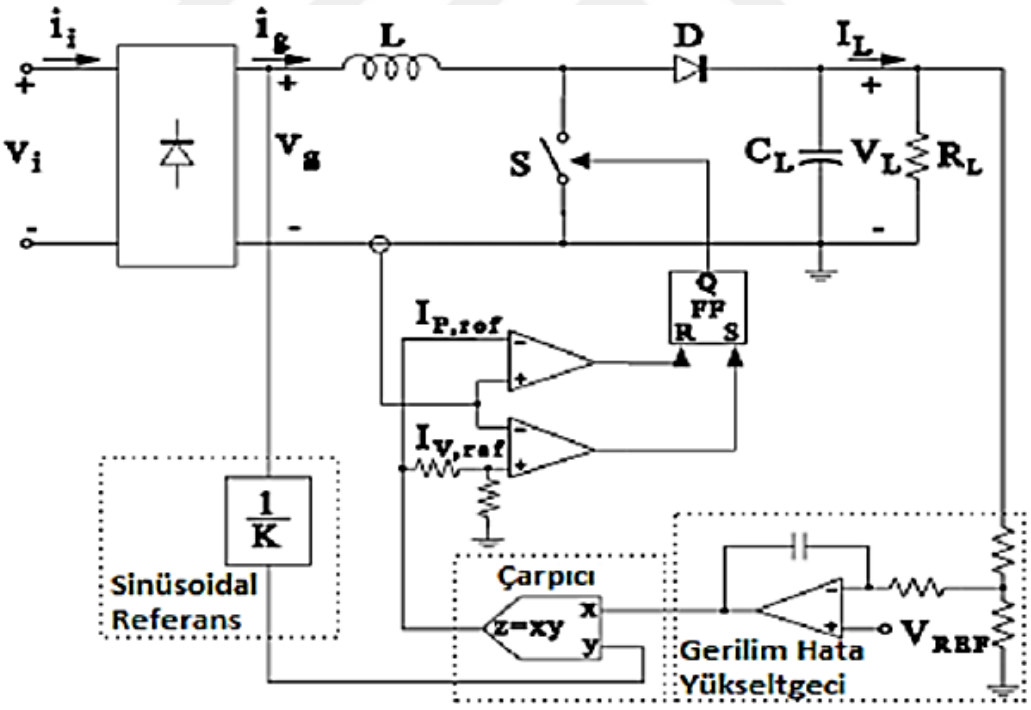
Şekil 4.7 Ortalama Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34]

4.3.3 Histerezis Kontrol

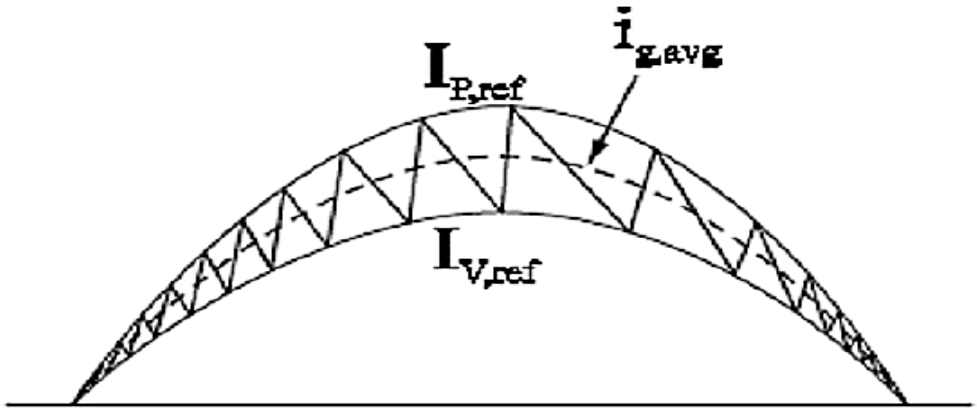
Anahtarlama sinyali; ölçülen gerçek ana kol akımı, belirlenmiş iki sinüzoidal akım fonksiyonu arasında tutulacak şekilde düzenlenir. Dinamik kontrol sunan bu yöntem sebebiyle anahtarlama frekansı değişkendir.

Bu anahtarlama düzeni, bobin akımı alt sınırın altına düştüğüne anahtarın iletime geçmesi ve üst referansı geçtiği zaman da kesime girmesi ile sağlanır. Bu nedenle sürekli iletim modunda çalışma vardır. Temelde alt ve üst limitlerle, giriş akım sinyalinin salınımı için belirli bant genişliği belirlenmiştir.

Dinamik cevabı sayesinde giriş akım bozulmaları azdır. Harici rampa salınımı gerektirmez. Hassas uygulamalarda dahi oldukça iyi sonuçlar alınmaktadır. Ancak değişken frekans dolasıyla oluşacak gürültülerin filtrelenmesi zordur [28]. Şekil 4.8'de temel blok şeması ve şekil 4.9'de hedeflenen giriş akım dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Histerezis Modlu Kontrol Blok Şeması [34]

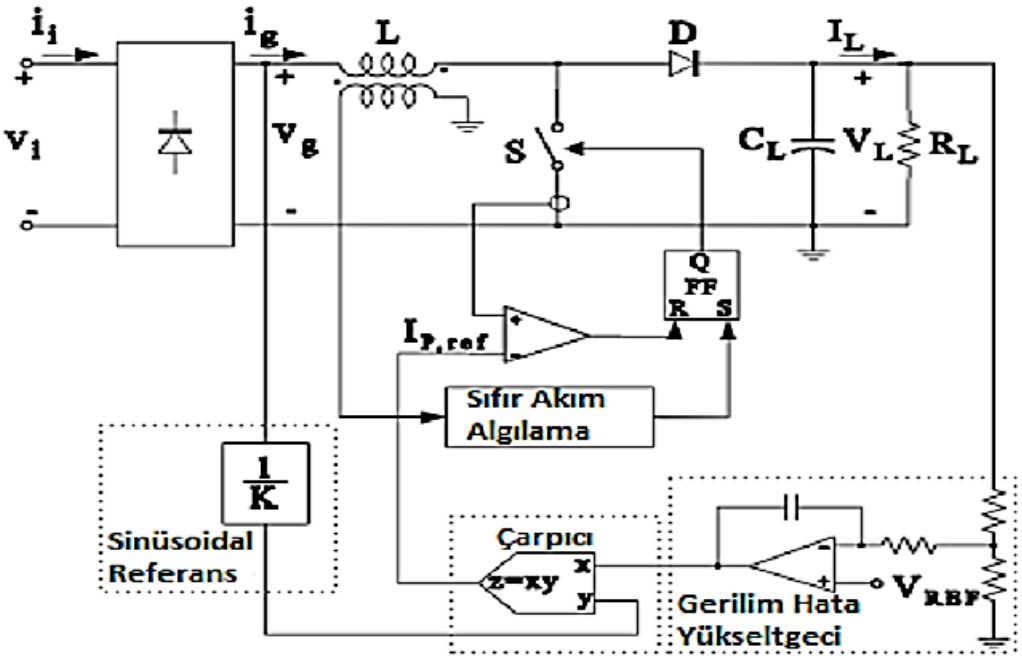


Şekil 4.9 Histerezis Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34]

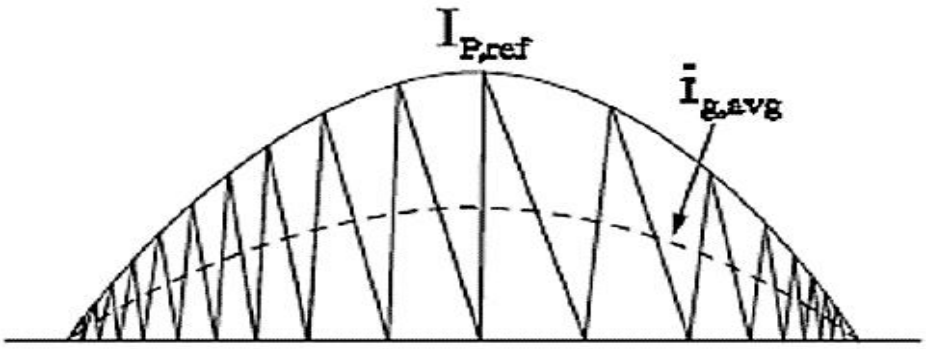
4.3.4 Sınır Akım Modu Kontrolü

Bu kontrol yönteminde, ana kol akımı için maksimum sınır değer belirlenir ve değişken anahtarlama frekansında şebekeden çekilen akım sinyalinin bu sınırı geçmemesi sağlanır. Bu kontrol yönteminde dönüştürücülerde kesintili (DCM) ve sürekli (CCM) akım modları sınırında çalışması beklenir.

Ana diyot kesime ve anahtar iletime yumuşak girer bu nedenle histerezis kontrole göre gürültü miktarı azdır. Ancak buna rağmen giriş akım şekli diğer yöntemlere göre daha az düzgündür ve giriş akımı için filtre gerektirir [28]. Şekil 4.10'da temel blok şeması ve şekil 4.11'de hedeflenen giriş akım dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Sınır Akım Modlu Kontrol Blok Şeması [34]

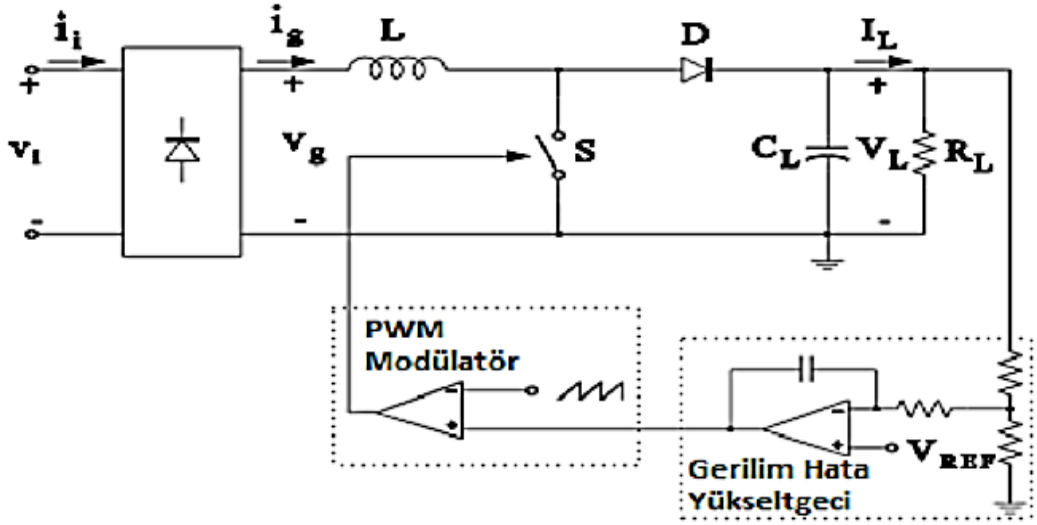


Şekil 4.11 Sınır Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34]

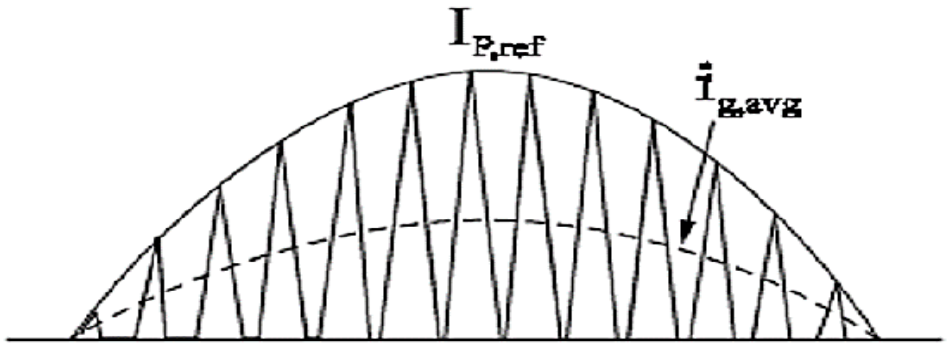
4.3.5 Kesintili Akım Modu Kontrolü

Bu kontrol yönteminde, sabit anahtarlama frekansıyla kesintili akım modunda (DCM) dönüştürücü çalıştırılır. Devre üzerinde ana kol akımı ölçümü veya giriş akımı ölçümü yapılmaz. Anahtar tetiklemesi sadece sabit frekanslı anahtarlama kontrolüne, PWM salınımına, bağlıdır. Ancak bu sabit anahtarlamaya rağmen şebeke salınımları sabit frekanslı olmayacaktır.

Ana diyot kesime ve anahtar iletime yumuşak girer ancak akım pik değerler alabilmektedir bu sebeple girişte filtre kullanılmalıdır. Giriş akımı dalga formu çok düzgün sonuç vermez [28]. Şekil 4.12'de temel blok şeması ve şekil 4.13'de hedeflenen giriş akım dalga şekilleri gösterilmiştir.



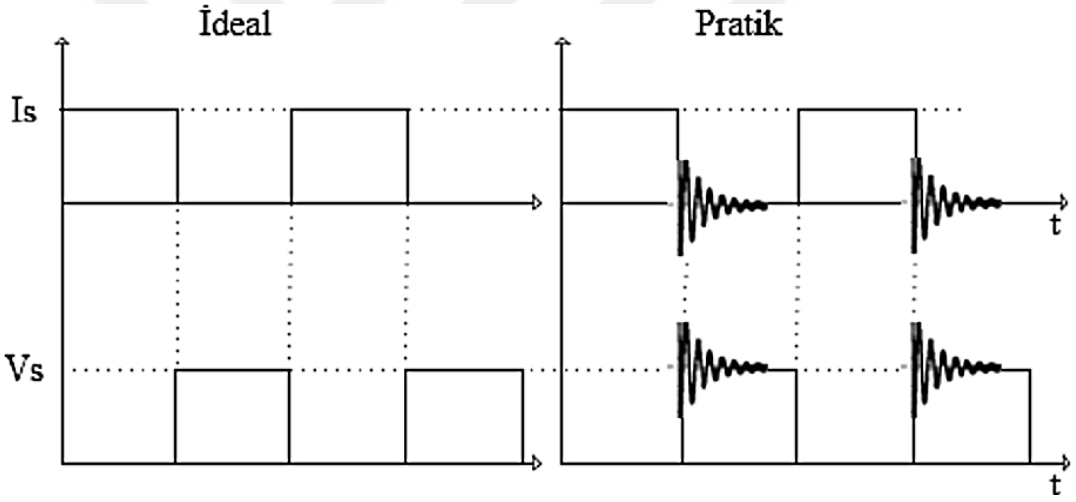
Şekil 4.12. Kesintili Akım Modlu Kontrol Blok Şeması [34]



Şekil 4.13. Kesintili Akım Modlu Kontrolün Giriş Akımı Dalga Şekli [34]

5
Bastırma ve Yumuşak Anahtarlama Düzenleri

Pek çok alanda olduğu gibi güç elektroniği alanında da daha küçük, hafif ve daha verimli ürünler ortaya çıkarmak önem kazanmaktadır. Anahtarlamalı güç kaynakları, yüksek anahtarlama frekansında çalışmayla devre üzerinde kullanılması gereken kondansatör ve bobin daha küçük boyutlarla işlevlerini gerçekleştirebilmektedir. Böylelikle aynı güç yoğunluğunda, boyut ve ağırlık yönünden büyük avantaj kazanılmakta ve devre maliyetleri düşmektedir [28,29]. Pratikte gözlenen akım ve gerilim dalgalanmaları şekil 5.1'de gösterilmiştir.



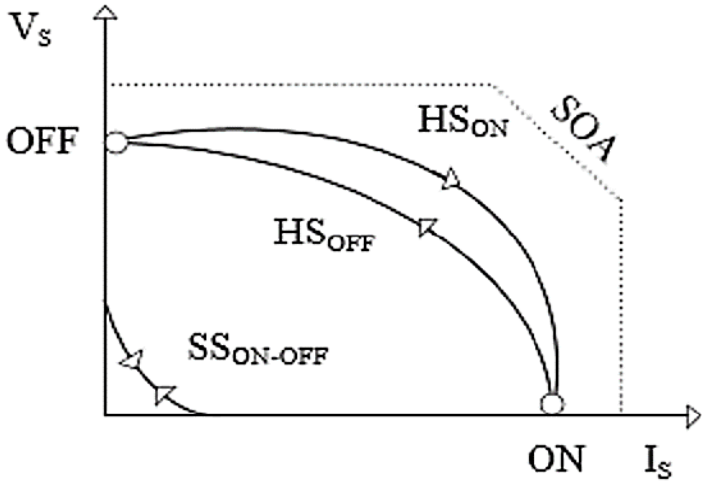
Şekil 5.1 İdeal ve Pratikte Anahtar Akımı ve Gerilimi [30]

Ancak yüksek frekanslarda çalışma durumu bazı olumsuzlukları ve dikkat edilmesi gereken noktaları beraberinde getirir. Bunlar öncelikle akım ve gerilim streslerinin, anahtarlama kayıplarının yükselmesidir. Aynı zamanda devrenin ürettiği EMI gürültüsü artmaktadır. Devrede oluşan kaçak indüktanslar ve yarı iletkenlerin parazittik kapasitansı sebebiyle, çalışma ek indüktif ve kapasitif yükle yapılır. Anahtarlama geçişleri esnasında ek bir salınım oluşturan bu durum, aynı zamanda salınımlar sebebiyle EMI gürültüsü oluşturur [31]. Bu sonuçlarda yapılan anahtarlama, sert anahtarlama (HS-Hard Switchig) olarak adlandırılır. HS koşulunu

iyileştirebilmek için anahtar parazittik jonksiyon kapasitesinin ve geçiş durum sürelerinin azaltılması gerekmektedir. Ayrıca bu koşulları iyileştirmek için tasarlanacak ek düzenekler ve devreler yardımıyla anahtarın çalışma koşulu iyileştirilebilir [28-32-33].

İyileştirme amacıyla kullanılan bu devrelere bastırma hücreleri denilmektedir. Daha iyi şartlar sağlandıktan sonra yapılan anahtarlama şekli yumuşak anahtarlama (SS-Soft Switcing) olarak adlandırılır. Anahtarlamalı dönüştürücülerde, yumuşak anahtarlama koşulunu sağlamak için bastırma hücreleri olarak rezonans anahtar ve bastırma hücrelerinden yararlanılır [28,31,34].

Sert anahtarlama ile oluşan kayıp ve yumuşak anahtarlama şartlarında minimize edilmiş kayıp Şekil 5.2.'te görülmektedir. Eğrilerin altında kalan alanlar anahtarlama esnasında oluşan kayıplardır [30].



Şekil 5.2 HS ve SS Koşullarında Anahtarlama Eğrileri [31]

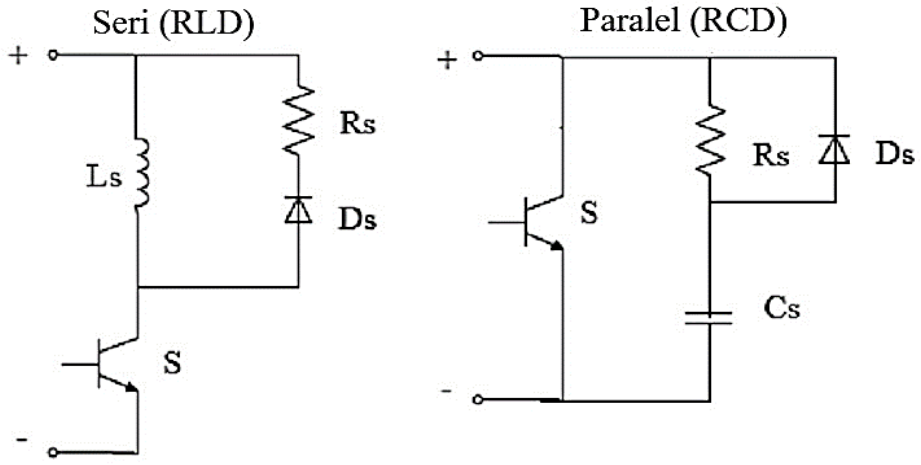
5.1 Bastırma Devreleri

Yarı iletken anahtarlar veya diyotlar üzerinde oluşan şok dalgalarını bastırmak, anahtar üzerinde oluşan anahtarlama kayıplarını ve diyotlarda ters toparlanma esnasında oluşan enerji kayıplarını azaltmak ve mümkün mertebe geri kazanmak amavıyla kullanılan yardımcı devreler bastırma hücreleridir.

Bu devreler anahtarlar üzerinde oluşan ani akım gerilim dalgalanmalarında bu işaretlerin yükselme ve düşme eğrilerinin eğimini sınırlandırmak için kullanılabilir. Aynı zamanda anahtarı aşırı gerilim yükselmelerinden korumaya, yumuşak geçişli anahtarlamayı oluşturmaya veya EMI gürültülerini azaltmak amacıyla kullanılırlar.

Kayıplı ve kayıpsız tipler olarak iki ayrı kısımda değerlendirilebilir. Kayıplı bastırma hücrelerinde bobin ve kondansatör yardımıyla geri kazanılmış anahtarlama kaybının bir kısmı veya tamamı direnç üzerinde harcanmasıyla sağlanır. Enerji geri kazanımı sağlanamasa da yarı iletken elemanları akım gerilim streslerine karşı korur ve anahtarlama kayıplarını azaltır. Yapıları direnç, kondansatör, bobin ve diyot gibi pasif devre elemanları ile oluşturulur. Sadece pasif eleman bulundurmaları sebebiyle bu kayıplı hücreler aynı zamanda pasif bastırma hücreleridir. Paralel ve seri pasif bastırma hücreleri olmak üzere iki ayrı başlıkta incelenirler [30,31,34].

Seri bastırma hücresi, turn-on snubber olarak da geçmektedir. Anahtarın iletime geçme aşamasında akım yükselme hızını sınırlamaktadır. Bunu anahtara seri bağlanan küçük değerli bir bobin ile sağlar. Paralel bastırma hücresi, tam tersi olarak turn-off snubber olarak anılır. Anahtar kesime geçmesi esnasında anahtar üzerindeki gerilim yükselme hızını yavaşlatır. Anahtara paralel bağlanmış kondansatörle sağlanır [30,31,33]. Şekil 5.3'de seri ve paralel bastırma hücrelerin devre şemaları gösterilmiştir.

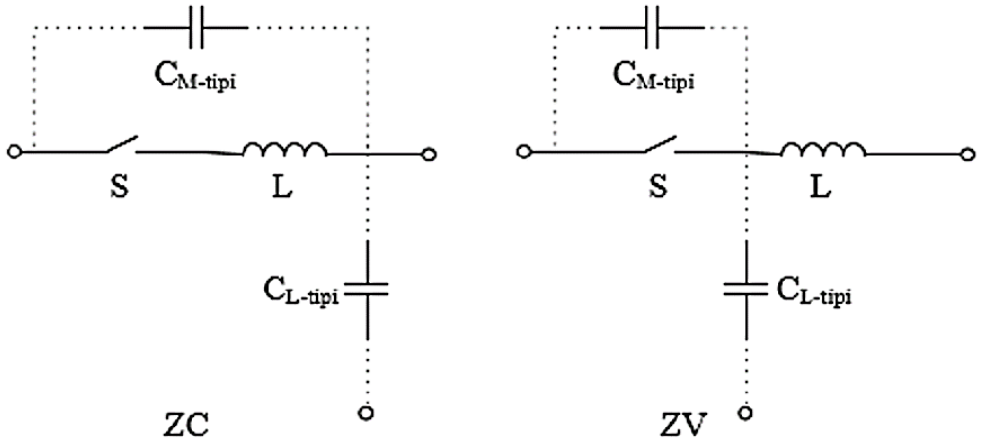


Şekil 5.3 Seri (RLD) ve Paralel (RCD) Bastırma Hücreleri [31]

Kayıpsız bastırma hücreleri anahtarlama kayıplarının tam geri kazanımını sağlamalıdır. Kazandığı enerjiyi yapısındaki bobin ve kondansatörle giriş veya çıkışa aktarabilir. Geri kazanım için sadece pasif elemanlarla oluşturulan özgün tasarımlar kullanıldığı gibi, ayrıca yarı iletken anahtarlar içeren hücreler kullanılabilmektedir [36]. Bastırma hücresinde harici yarı iletken anahtar kullanılması halinde bu yapılar aktif bastırma hücreleri olarak adlandırılır [37,38]. Koruma ve bastırma işlevlerini doğrusal olmayan tepkimelerle tam olarak yerine getirebilir ve enerji geri kazanımını sağlayabilirler. Ancak aktif bastırma hücrelerinde anahtar harici kontrole ihtiyaç duymakta ve anahtar tasarımı zorlaştırmakta ve devre maliyetini yükseltmektedir.

5.2 Rezonans Anahtar

Rezonans anahtarlama yöntemiyle, sert anahtarlama durumunda oluşan kayıp ve gürültüler azaltılır. Bunu yaparken L-C elemanlar kullanılarak yüksek frekanslarda yüksek güç yoğunlukları sağlanabilir. Yarı iletken anahtar bölgesine bağlanan L-C elemanlar ile sıfır gerilimde (ZV) veya sıfır akımda (ZC) anahtarlama geçişi sağlanır. Böylelikle iletim veya kesime gitme durumunda yumuşak bir geçiş yaratılır. L ve M tipi iki ayrı bağlantı şekli vardır. Bu ayrı tiplerde kondansatörün bağlantı şekli değişmektedir ancak işlevsel olarak değişiklik olmamaktadır [29-31]. Rezonans anahtar tipleri şekil 5.4'te örnek devre şeması olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4 ZC ve ZV Rezonans Anahtar [31]

Yumuşak anahtarlama, anahtar akım-gerilimi ile L-C elemanlı yapı rezonansa girmesiyle mümkündür. Bu rezonans anında anahtarda akım-gerilimin sıfıra düşmesi anında gerçekleşir. Anahtarlama anında kesintiye yol açmaz. Kullanılan devrelere kısmi rezonans dönüştürücüler (QRS- Quasi Resonant Converters) olarak isimlendirilmiştir. Yapıları, rezonans ve PWM dönüştürücülerin yapılarının birbirine benzeştirilmiş halidir [30-35].

Ayrıca sıfır geçişlerde sabit frekanslı yumuşak anahtarlama teknikleri geliştirilmiş ve literatürde “Zero Transition” olarak yer edinmiştir.

6
Devre Simülasyonu

6.1 Önerilen Sürücü Devresi

Bu bölümde düşük maliyetli tek katlı güç faktörü düzeltmeli güç LED'i sürme devresinin tasarım, simülasyon aşamaları değerlendirilmekte ve sonuç çıktıları yer almaktadır. Yüksek güç faktörü ve yüksek verim değerlerini sağlayan bu devrede histerezis kontrol metodu kullanılarak, değişken anahtarlama frekansının etkileri ve harmonik bozulma oranı gözlemlenecektir.

Sürücü devresi; maliyet ekseninde tek aşamalı tasarımla bir yarı iletken anahtar ile güç faktörü düzeltme ve çıkış regülasyonunu sağlamaktadır. Yükseltici tipte dönüştürücü kullanılarak, güç faktörü düzeltme devresi temelli hazırlanmıştır. Bu topoloji nedeniyle, giriş kısmında transformatör kullanılarak harici giriş gerilim regülasyonu yapılmıştır. Temel alınan güç faktörü düzeltme devresinde ve kontrol kısmında yapılan düzenlemelerle LED sürücü devresi olarak kullanılabilmesi planlanmaktadır. Şebeke beslemeli düşünülen bu sürücü; kullanılan değişken anahtarlama frekansı altında, çıkış akım koruması ve çıkış gerilim regülasyonunu sağlamaktadır.

Çıkış yükü olarak sürülen LED dizisi, zener diyot ve 205 Ω eşdeğer seri dirençle modellenmiştir. Zener diyot 3.3V dayanma gerilimde seçilmiştir. Devrenin, yük çıkışında 72 V gerilim ve 350 mA akım değerlerini sağlaması için tasarlanmıştır.

6.2 Devre Elemanlarının Seçimi

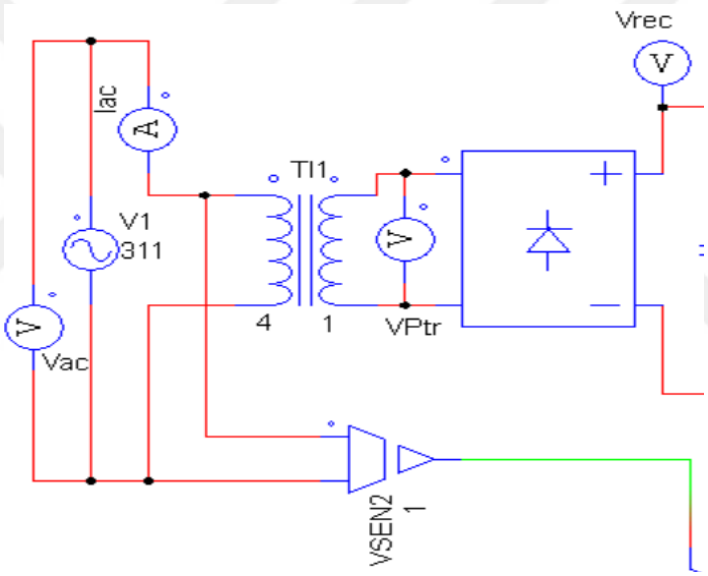
Şebeke gerilimi 220sinwt V olarak işleme alınmış olup Vpp 311 V tepe değeriyle simülasyona dahil edilmiştir. AC Doğrultma işlemi öncesi 220/55 (4:1) oranında 50Hz ideal eşdeğeri transformatör kullanılarak; şebeke alternatif akım sinyali,

“Vrms” ortalama değeri 55 V (Vpp 78V) düşürülmektedir. Sonrasında yer alan doğrultma devresi ile 75 V doğrultulmuş sinüzoidal sinyal elde edilmektedir. Yükseltici dönüştürücünün giriş sinyali olarak bu dalga şekli alınıp hesaplar bu değere göre yapılmıştır. Bu transformatör yardımıyla hem izolasyon hem de dönüşüm sağlanmaktadır.

Vinrms=55 V, Vinpp=78sinwt V

Vrecrms=52,8 V Vrecpp=75sinwt V

Vorms=Vs=72 Volt olarak hedeflenmektedir. Şekil 6.1’de transformatör ve doğrultucunun bulunduğu devrenin giriş katı gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Kullanılan Transformatör

Duty Cycle “D”; (3.11) eşitliğinden hesaplanmıştır.

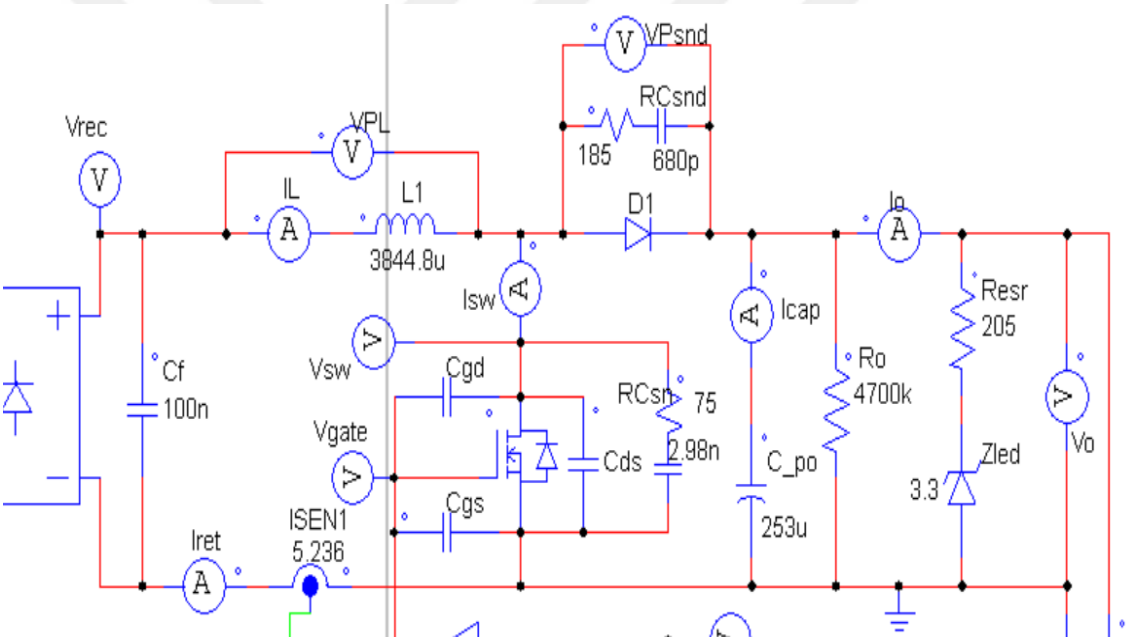
$$V_o = \frac{V_s}{(1-D)} \;\gg\; 72 = \frac{52{,}8}{(1-D)} \;\gg\; D = 0{,}237$$

Devre değişken anahtarlama frekansına sahip olmasına rağmen, hesaplamalarda kullanılmak üzere ortalama frekans değeri olarak 50kHz değeri seçilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$L = \frac{V_s \times D}{\Delta i_L \times f} = \frac{72 \times 0{,}237}{0{,}1 \times (50 \times 10^5)} = 3398{,}4\ uH \qquad (6.1)$$

$$C_o = \frac{D}{R \times (\Delta V_o / V_o) \times f} = \frac{0{,}237}{205 \times 0{,}0001 \times (50 \times 10^5)} = 253\ uF \qquad (6.2)$$

Hesaplanan ana kol bobin ve çıkış kondansatörü değerlerine yerine konulmuştur. Ayrıca, çıkış gerilim kararlığı sağlamak ve yükün ayrılması halinde çıkış kondansatörünün güvenli boşaltılması için 4.7 MΩ direnç çıkış kondansatörüne paralel olarak kullanılmıştır. Şekil 6.2'de seçilen güç elemanlarının devrede yerleşimleri gözükmektedir.



Şekil 6.2 Güç Devresi Elemanları

6.3 Kontrol Devresinin Oluşturulması

Temel PFC histerezis kontrol yöntemi kullanılmış olup, çıkıştan alınan gerilim ve geri dönüş hattından aldığı akım örneği ile çalışmaktadır. Alınan akım örneği ile maksimum akım koruması sağlanmaktadır. Çıkış LED modelinin yüküne bağlı olarak, çıkış akımı LED çalışma akım değerine yerleşmektedir.

Çıkıştan alınan gerilim örneği, seçilmiş referans gerilimi ile karşılaştırılır. Referans gerilimi 5 volt seçilmiş ve alınan örnek çıkış gerilim, gerilim bölücü kullanılarak 5 voltluk değere ulaştırılmıştır. Bu nedenle çıkış hedef değerinde olduğu sürece R5 direnci üzerinden fark akımı akmadığı için hata algılanmayacaktır. Hata akımının oluşması üzerine gerilim hatası belirlenir ve yükseltilir. Hata sinyali Op-Amp ile yükseltilmiş ve RC filtre ile kararlılığı sağlanmıştır. Burada RC değerleri deneme ve sonuçların kararlılığını gözleme yoluyla seçilmiştir. Denklem (6.3) kullanılarak dengeli R ve C değerleri seçilerek kararlı rejim sağlanabilir.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \tag{6.3}$$

Doğrultucu çıkışında sinüs sinyalinden yararlanılarak sinüzoidal gerilim örneği alınır ve gerilim hata yükselteciyle çarpılır. Bu sinyal, gerilim bölücü ile belirlenmiş oranda küçültülerek alt sınırı belirler. Aynı zamanda devre geri dönüş akımı değerinin akım sensörü ile algılanıp çarpıcı çıkışı sinyali ile karşılaştırılmasıyla üst sınır belirlenir. Sağlanan alt ve üst sınırla beraber histerezis kontrolü sağlanmış olur. Şekil 6.3'te gözüken R6 ve R7 direnç değerlinin oranı bant genişliğini belirlemektedir. Bu oran, aynı zamanda değişken anahtarlama frekansının yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir.

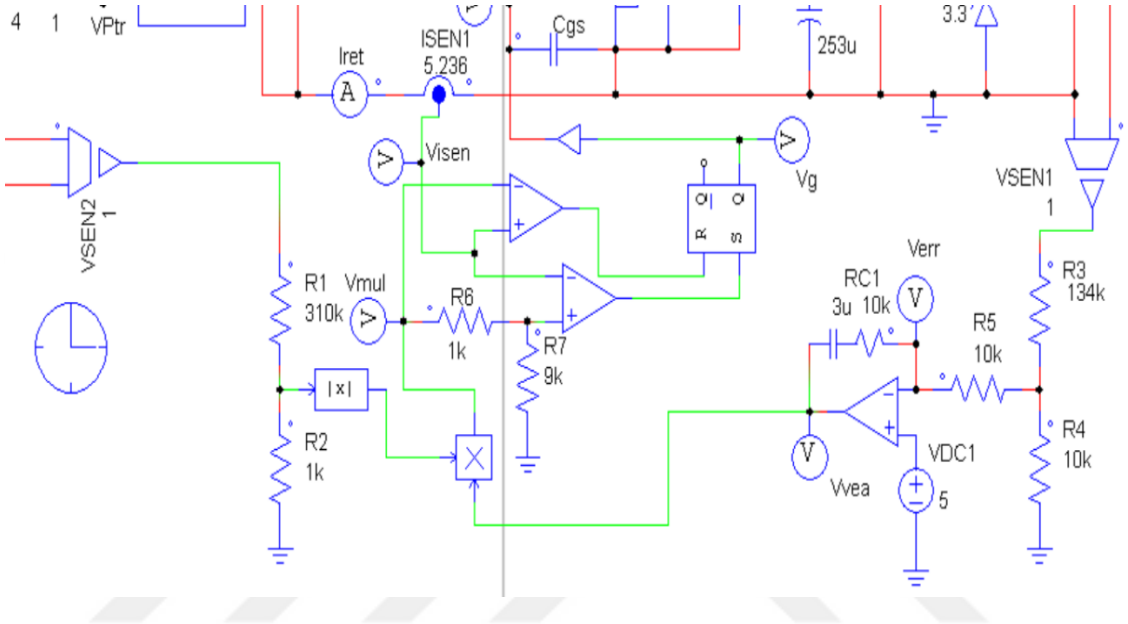
Akım aşırı akım ve yük akımını kontrolünü sağlaması sebebiyle akım sensörü öneme sahiptir. Akım sensörüne ait kazanç değeri değiştirilerek, anahtarlama yapılması istenen bölge değiştirilebilmektedir. Bu devrede akım trafosunun kazancı, çarpıcının ideal değeri, anahtar çalışma oranı (1-D) ve çıkış akımı olarak hedeflenen ortalama akım değeri ile hesaplanmıştır. Çıkıştan geçen hedef akımın ana kolda oluşturduğu büyüklüğün bu devrede 5sinwt olarak belirlenmiş olan çarpıcı çıkışına benzeştirilmesiyle bulunmuştur. Çarpıcı çıkışında ortalamada 5sinwt ölçülmesi gerekirken çıkışta 350 mA hedeflenmektedir.

$$5sinwt = \frac{2 \times K \times I_o}{(1-D)} \gg\gg \quad K = \frac{5sinwt}{(2 \times 0{,}35)\Big/(1-D)} \tag{6.4}$$

(6.4) eşitliğinden yararlanılarak hesaplanan akım sensörü kazancı aşağıdadır.

$$K = \frac{5sinwt}{(2 \times 0{,}35)/(1-D)} = \frac{5}{0{,}7/0{,}733} = 5{,}236$$

Oluşturulan kontrol devresi ve seçilen kontrol elemanları şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Oluşturulan Histerezis Kontrol Devresi

6.4 MOSFET Eşdeğer Devresi

Anahtarlama elemanı üzerinde gerilim streslerinin oluştuğu gözlendiği için yüksek gerilim dayanımlı MOSFET seçilmiştir. Infenion üreticisinin SPP15N65C3 koduyla üretmiş olduğu ürün katalog değerleri alındı. Gerçeğe yakın sonuçlar için parazittik kondansatör değerleri hesaplanmıştır. Bunun sonucunda; anahtar eşik değeri 3 V, iletim direnci 680 mΩ ve diyot direnci 280 mΩ olarak alınmıştır. Parazittik kondansatör denklemleri ve katalog değerleri aşağıda yer almaktadır.

$$C_{iss} = C_{gs} + C_{gd} \tag{6.5}$$

$$C_{oss} = C_{ds} + C_{gd} \tag{6.6}$$

$$C_{rss} = C_{gd} \tag{6.7}$$

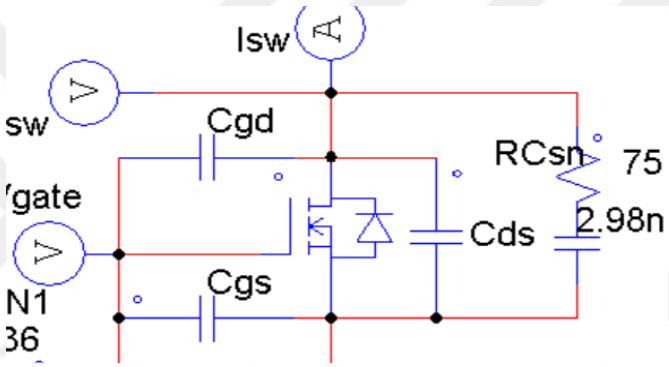
Katalog değerleri;

$C_{iss} = 1600pF, C_{oss} = 540pF, C_{rss} = C_o = 67pF, 120pF$

Elde edilen parazittik kondansatör değerleri;

$C_{gd} = 120pF, C_{gs} = 1480pF, C_{ds} = 420pF$

Hesaplanan parazittik kondansatör değerleri MOSFET bölgesine şekil 6.4'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 6.4 MOSFET Eşdeğer Devresi

6.5 Bastırma Hücresi Tasarımı

Çıkış diyotu ve anahtar üzerinde oluşan akım – gerilim stresleri ve harmonikleri bastırmak için bastırma (snubber) hücresi kullanılması yaygın ve yararlı bir uygulamadır. Basit yapısı nedeniyle bu uygulamada pasif bastırma hücrelerinin en temel örneği olan RC bastırma örneği kullanılmaktadır.

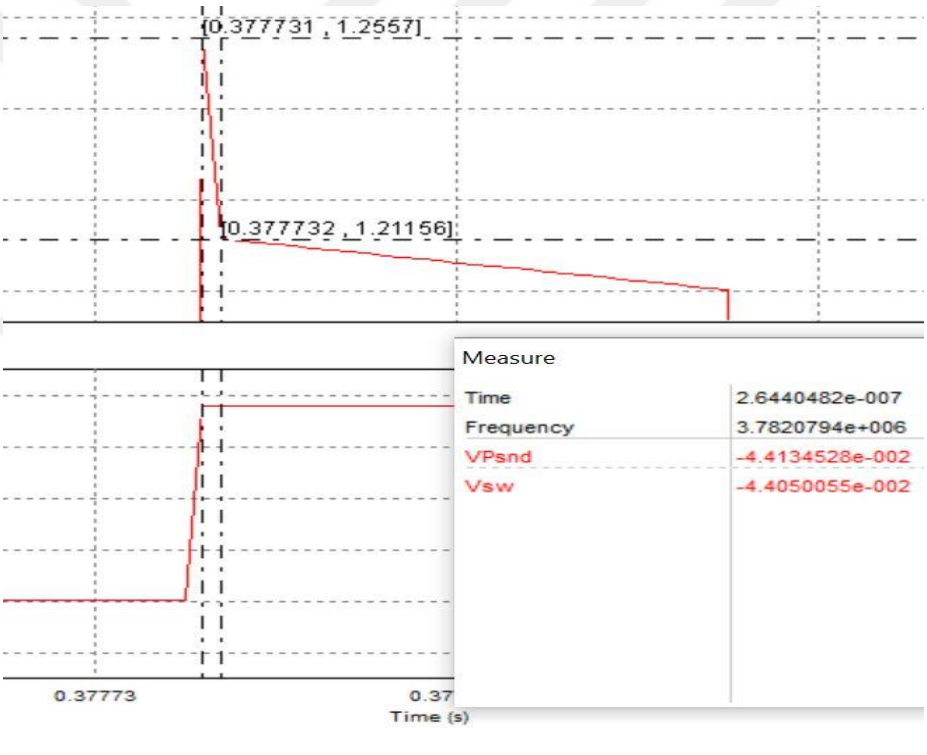
Bastırma hücresinin hesapları için öncelikle diyot üzerinde oluşan gerilim ölçülür. Periyot boyunca diyotun kesimde geçirdiği zaman t_{off} ölçülür. Diyotun iletime ve kesime geçtiği noktalarda dalgalanma varsa bu dalgalanmanın ring periyodu t_r zamanları ölçülür. Diyota paralel kondansatör eklenerek bu "t_r" periyodunun iki katına çıkması beklenir. Ring periyodunu iki katına çıkaran kondansatör değeri

kullanılarak (6.8) denklemi yardımıyla tavsiye edilen direnç değeri hesaplanabilir. Diyot bastırma devresi kullanılarak kazanılan güç (6.9) eşitliğinde gösterilmiştir.

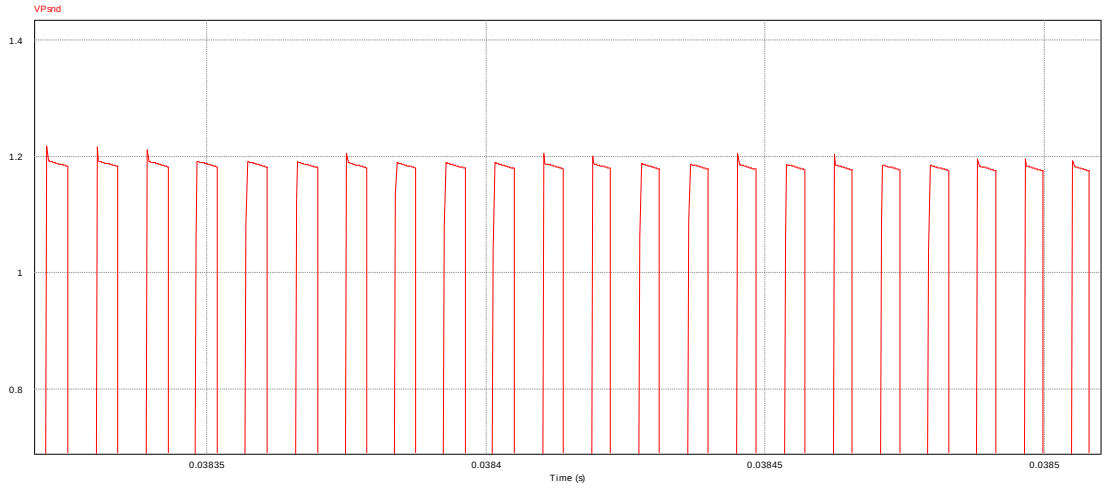
Diyot RC bastırma hücresi hesapları;

$$R_{sn1} = \frac{3T_r}{2\pi C_{sn}} \tag{6.8}$$

$$P_{snb} = C_{sn1} V_{in} f_r = \frac{C_{sn} V_{in}}{T_r} \tag{6.9}$$



Şekil 6.5 Ana Diyotta Oluşan Anahtarlama Ring Frekansı

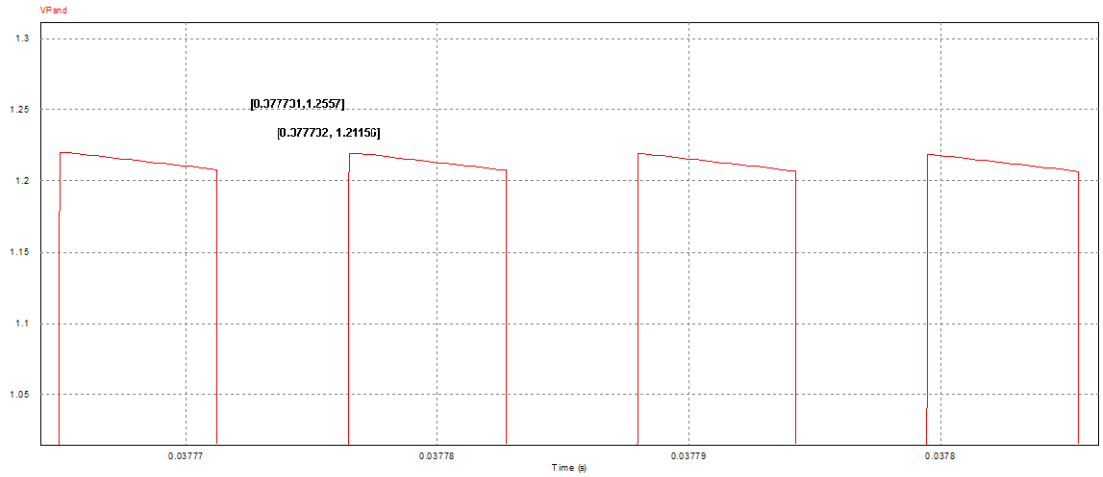


Şekil 6.6 Ana Diyot Üzerinde Oluşan Gerilim Stresi

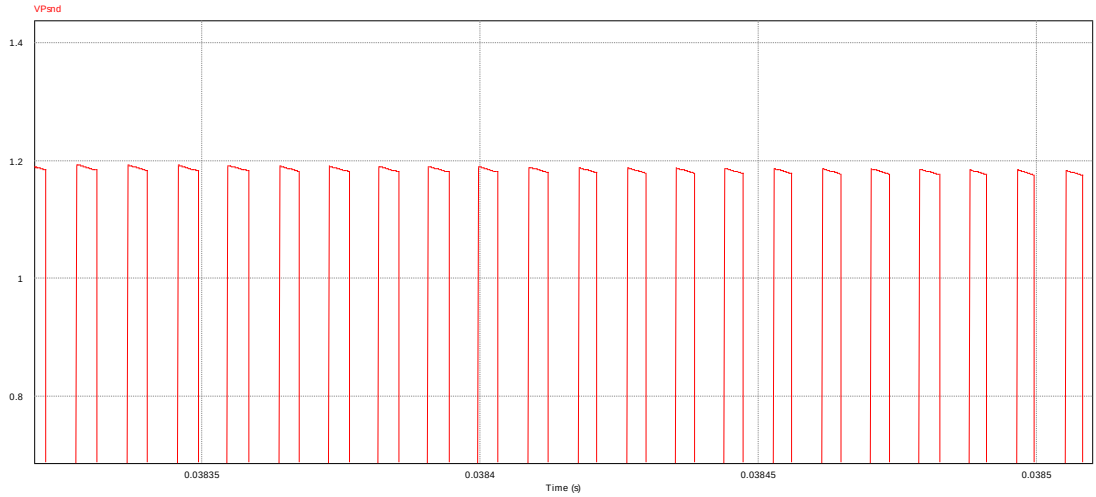
Şekil 6.5, frekans ölçümünden yararlanılarak;

$$T_r = \frac{1}{f} = \frac{1}{3.782 \times 10^6} = 264\ ns$$

Oluşan gerilim göz önünde bulundurularak, 680 pF büyüklüğünde kondansatör diyot bastırma elemanı olarak kullanıldı. Aynı bölgede çıkan gerilim Şekil 6.7'da görülmektedir.



Şekil 6.7 Bastırma Kondansatörü ile Ana Diyot Gerilimi

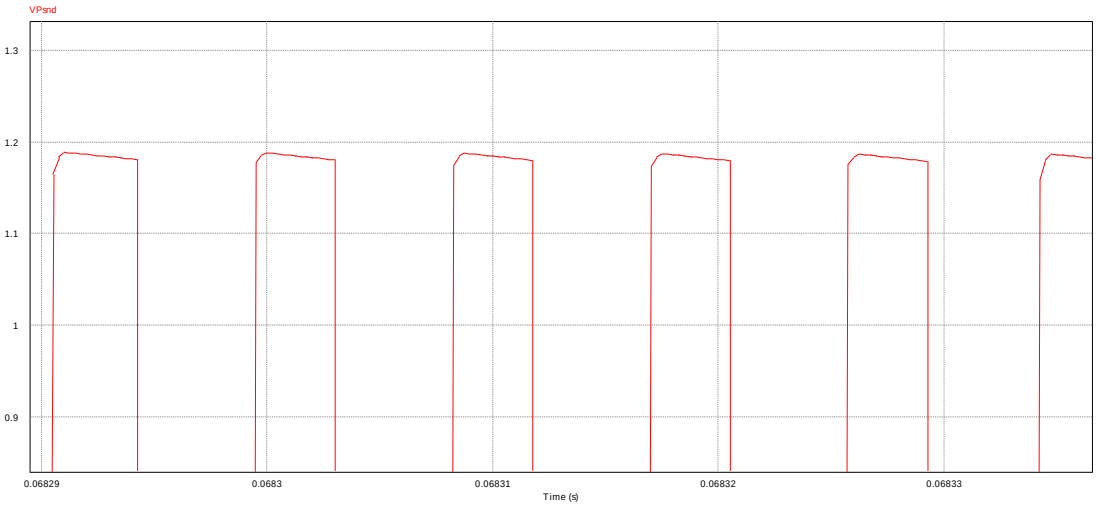


Şekil 6.8 Bastırma Kondansatörü ile Düzelen Ana Diyot Gerilimi

(6.8) Denklemi kullanılarak;

$$R_{sn} = \frac{3Tr}{2\pi \times C_{sn}} = \frac{3 \times 264 \times 10^{-9}}{2\pi \times 0{,}68 \times 10^{-9}} = 185\ \Omega$$

Diyot bastırma hücresi için seçilen birbirlerine seri bağlı 680 pF kondansatör ve 185 Ω direnç elemanının diyota paralel olarak uygulanmasıyla diyot üzerinde okunan gerilim Şekil 6.9'daki gibi düzelmiştir.



Şekil 6.9 Ana Diyot Gerilim Sinyali (Bastırma Sonrası)

Ana anahtar için RC bastırma hücresi hesapları;

Basit hesaplama ve optimum hesaplama olmak üzere iki tip vardır. Burada kullanacağımız basit hesaplama yöntemi güç kaybının çok göz önünde olmadığı durumlarda kullanılabilmektedir. İletim ve kesimde oluşan akım – gerilim yükselmelerinde kondansatör üzerinde depolanan enerji zamanla direnç üzerinde harcanır. Bu nedenle kayıpları vardır ancak anahtar üzerinde anahtarlama esnasında oluşan stresi azaltarak başarıyla uygulanabilmektedir.

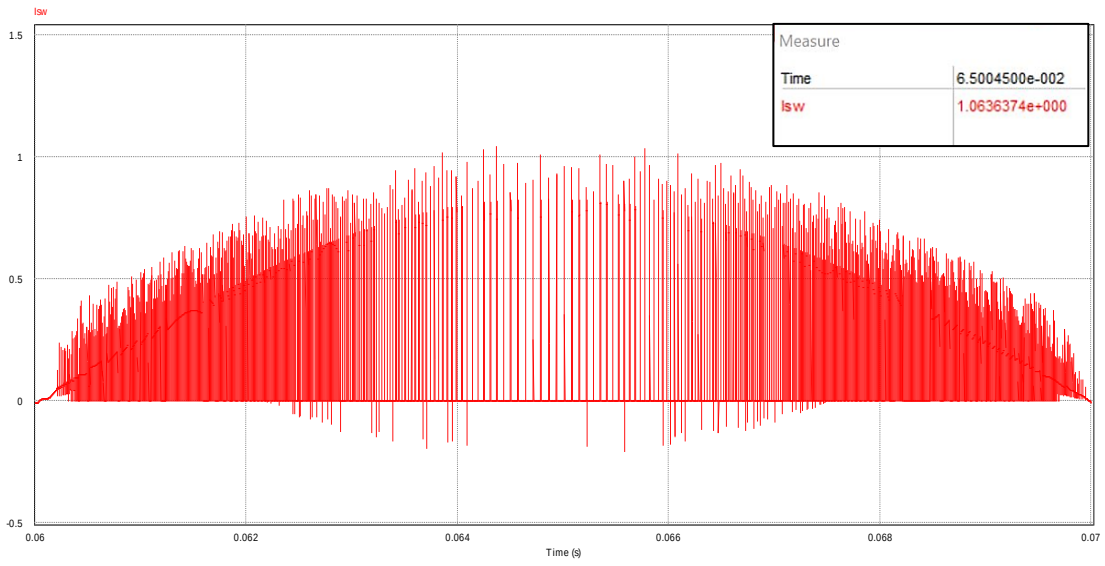
$$R < \frac{V_o}{I} \tag{6.10}$$

Vo: anahtar kesimde iken üzerinde oluşan gerilim

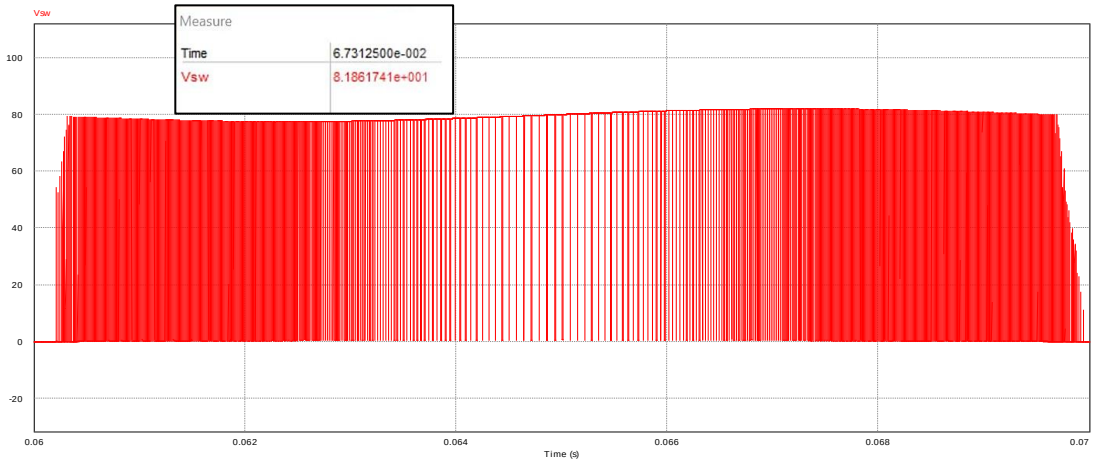
I: Anahtar iletimde iken üzerinden geçen akım

$$1 = \left({}^{1}/_{2} \times C_s \times V_o^2\right) \times (2f_s) \quad \ggg \quad C_s = \frac{1}{V_o^2 f_s} \tag{6.11}$$

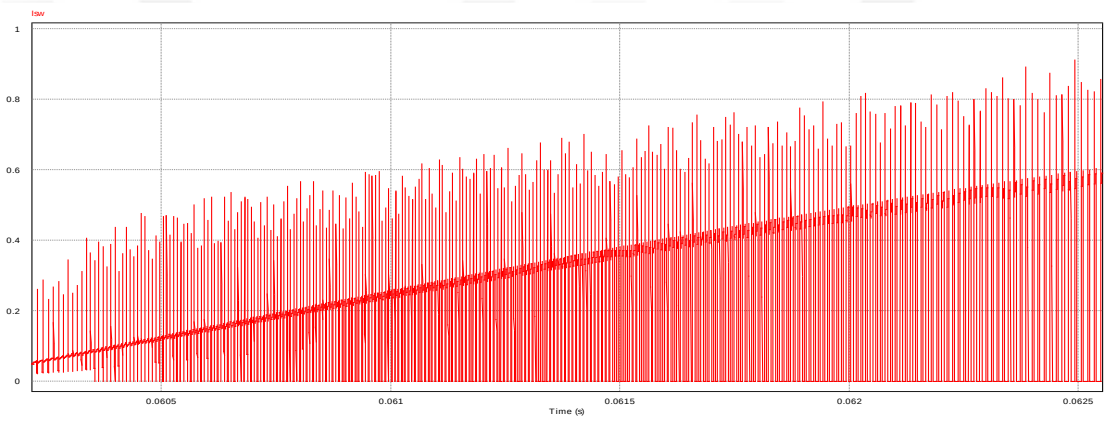
fs: anahtarlama frekansı olarak alınmıştır ve 50kHz olarak kabul edilmiştir.



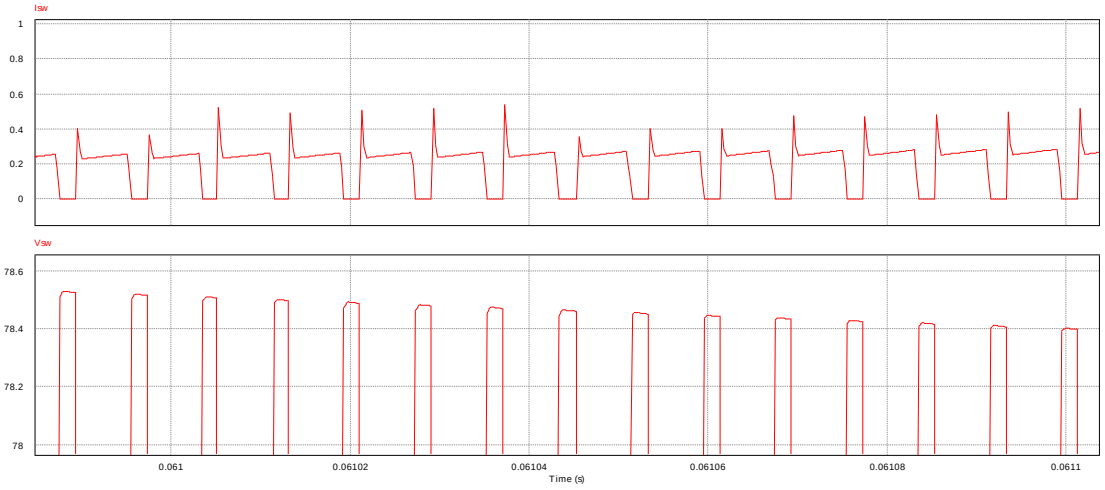
Şekil 6.10 Anahtar Akımı (Bastırma öncesi)



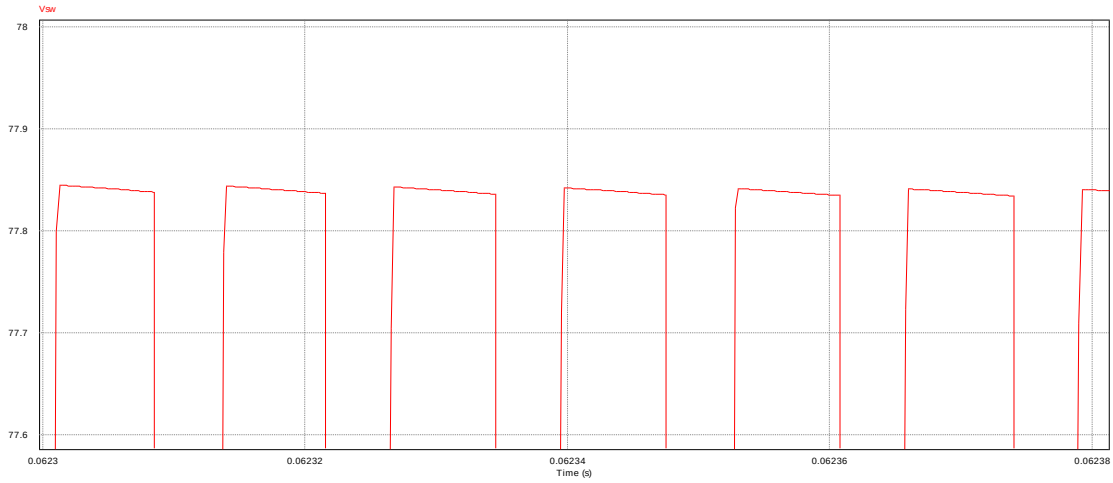
Şekil 6.11 Anahtar Gerilimi (Bastırma öncesi)



Şekil 6.12 Anahtar Akımında Gözlenen Akım Stresi



Şekil 6.13 Anahtar Akım ve Gerilim Bozulmaları (Bastırma Öncesi)



Şekil 6.14 Bastırma Öncesi Anahtar Gerilimi

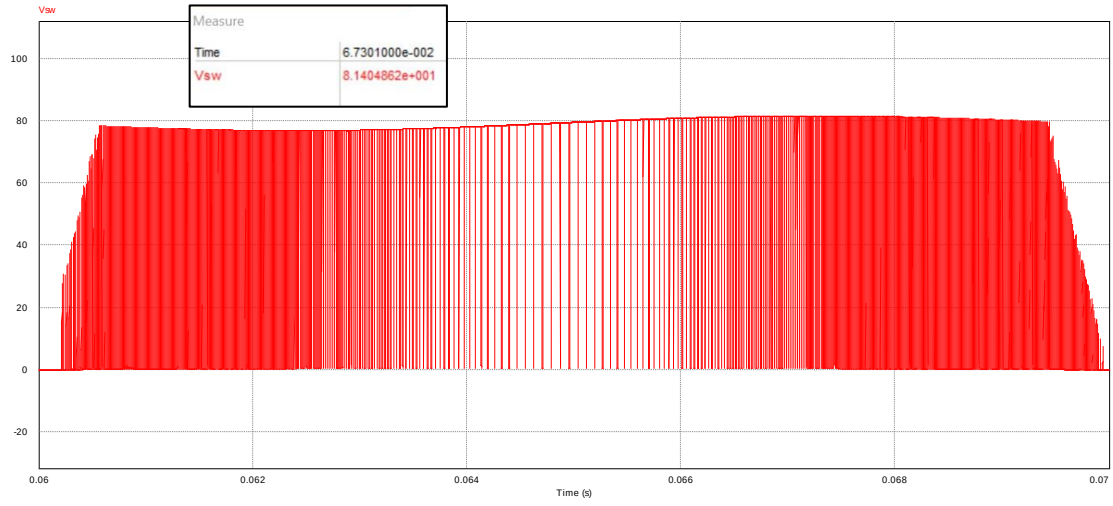
(6.10) Denkleminden;

$$R < \frac{V_o}{I} = \frac{81{,}8}{1{,}06} = 77{,}169$$

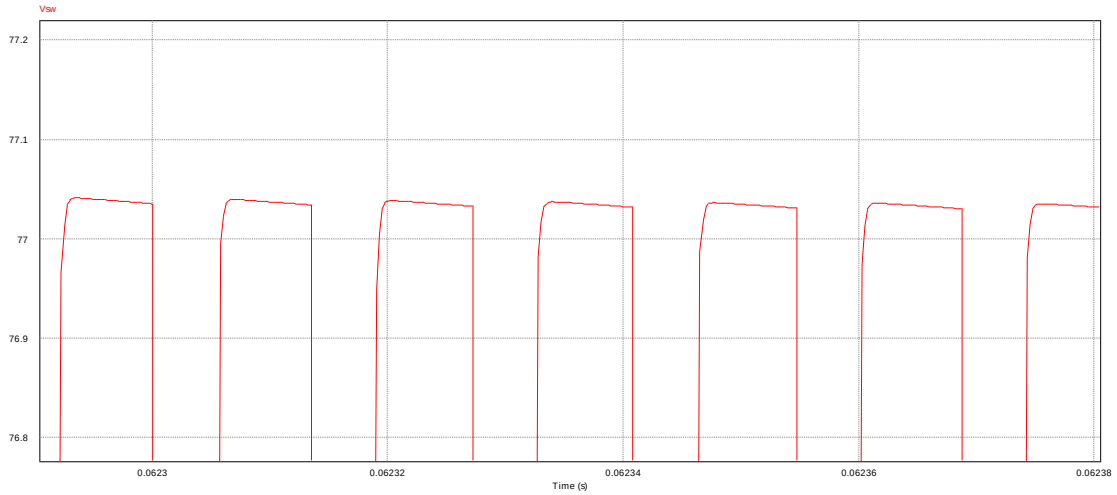
Standart direnç değerlerinden Rsn=75 Ω olarak seçilir.

$$C_s = \frac{1}{V_o^2 f_s} = \frac{1}{81{,}8^2 \times 50k} = 2{,}98\ nF$$

(6.11) Denkleminden Cs=2,98 nF olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.15 Anahtar Gerilimi Grafiği (Bastırma Sonrası)



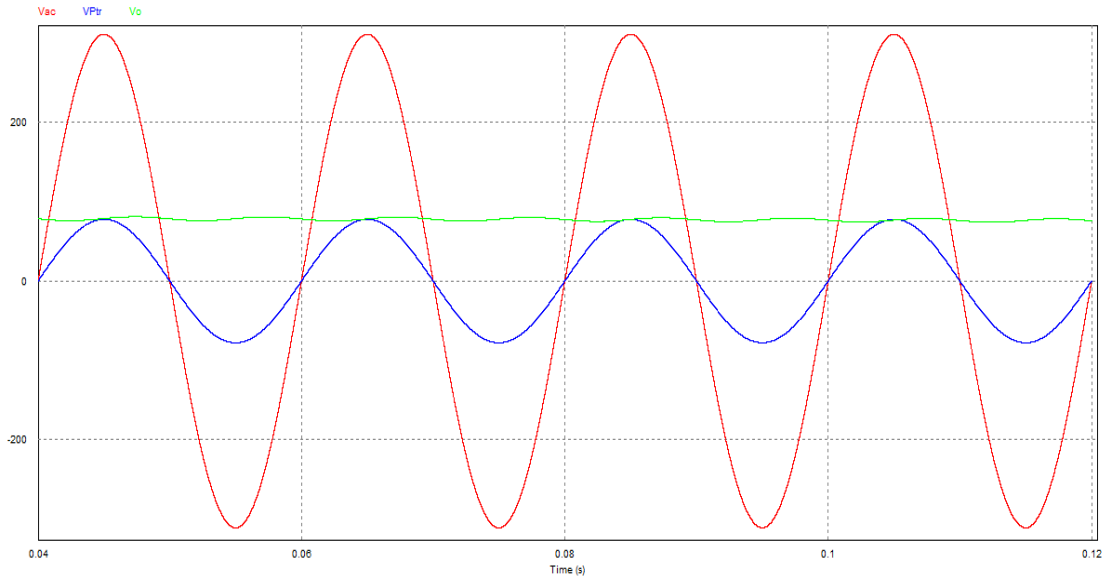
Şekil 6.16 Bastırma Hücresi ile Düzelen Anahtar Gerilimi Sinyali

Yarı iletken için seçilen bastırma hücresi elemanları, anahtara paralel ve kendi içlerinde seri olarak bağlandıktan sonra grafikler gözlenmiştir. Bu grafiklerden gerilim stresinin düştüğü ve anahtar kesime giderken oluşan gerilim piklerinin sönümlendiği şekil 6.9'da gözlenmiştir. Ayrıca yarım periyotluk Vsw grafik değerinde başlangıç ve sonlanma kısımlarında eğim değerinin azaldığı şekil 6.8'de görülmektedir.

6.6 Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde; LED sürücü olarak hazırlanan devrenin PSIM programında kurulduktan sonra elde edilen simülasyon sonuçları yer almaktadır. Bu çıktılara göre giriş ve çıkışlarda akım gerilim ve güç değerleri okunmasının yanı sıra verim, güç faktörü ve toplam harmonik bozulma değerleri hesaplanmıştır.

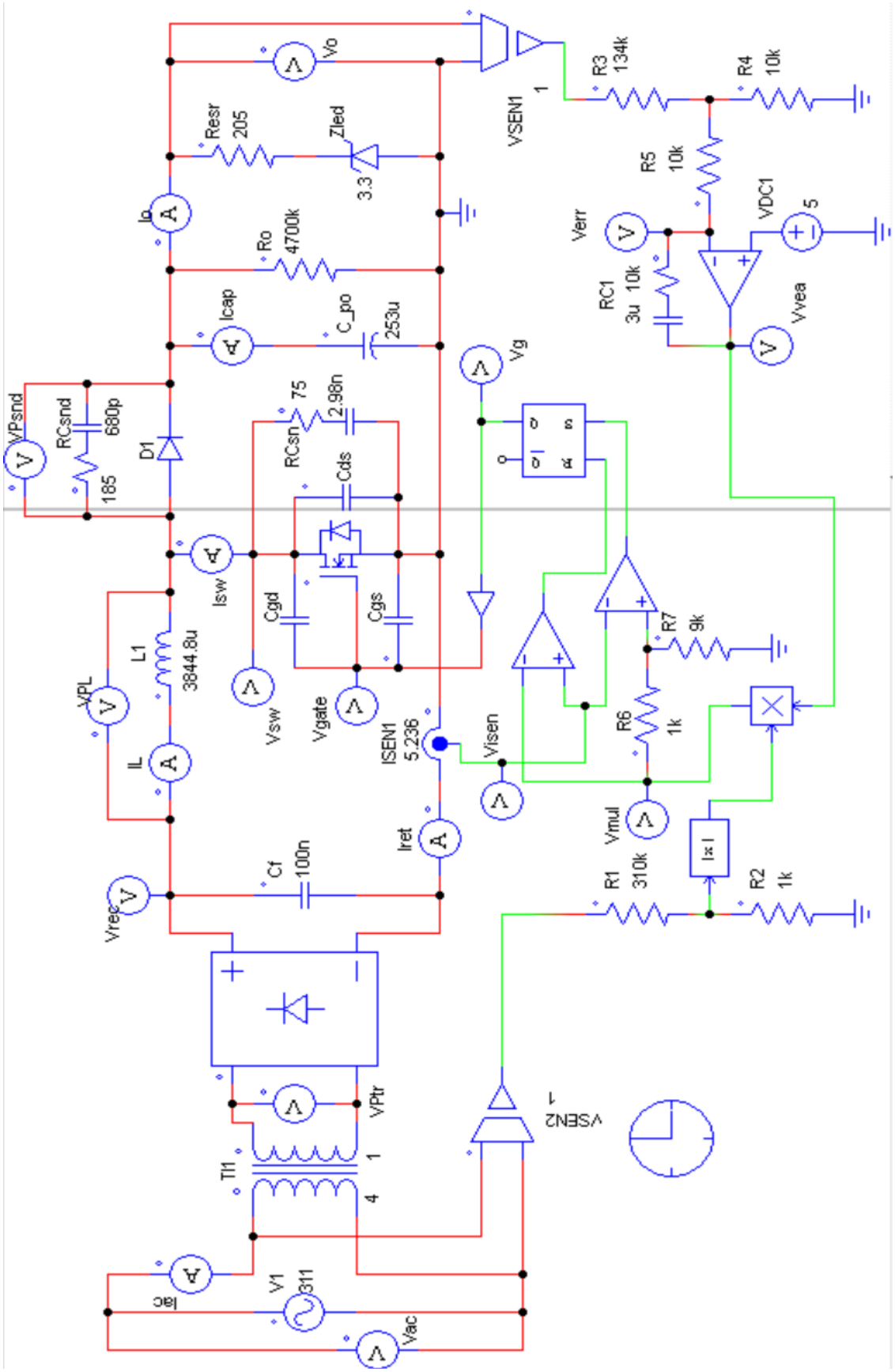
Şebeke gerilimi, devrenin transformatör çıkış gerilimi ve LED yük üzerinde görülen devre çıkış gerilimi karşılaştırılmalı olarak şekil 6.17'de gözlenebilmektedir. Transformatör çıkışında belli oranda küçültülmüş sinüzoidal gerilim sinyali görülürken; çıkışta görülen gerilim DC gerilim sinyalidir.



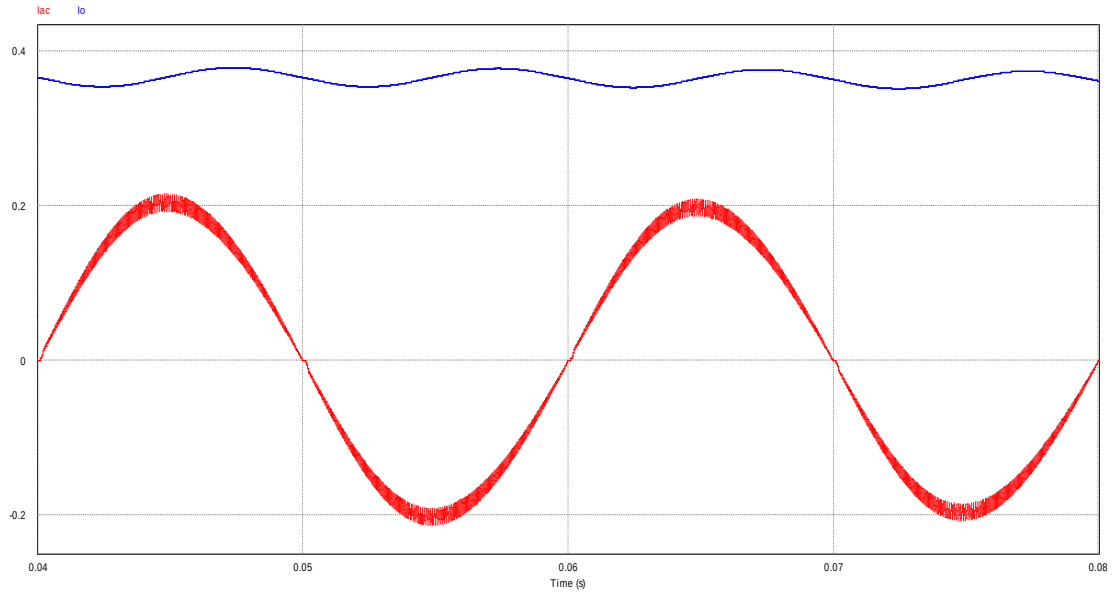
Şekil 6.17 Şebeke Giriş, Trafo Çıkış ve Devre Çıkış Gerilim Sinyalleri

Şekil 6.18'de simülasyon programından alınmış sürücü devrenin güç kısmı ve kontrol çevrimi içeren şema yer almaktadır. Giriş transformatörü aracılığıyla şebeke sinyali küçültülür ve köprü doğrultucu yardımıyla tam doğrultulmuş dalga elde edilir. Kontrol çevriminden gelen sinyale göre anahtar iletime ve kesime gider. Anahtar iletime geçtiğinde bobinde enerji depolanmaya başlar ve bu esnada yük çıkışı çıkış kondansatörü aracılığıyla beslenir. Anahtarın kesime gitmesiyle bobinde depolanan enerji yük çıkışına ve çıkış kondansatörüne aktarılır.

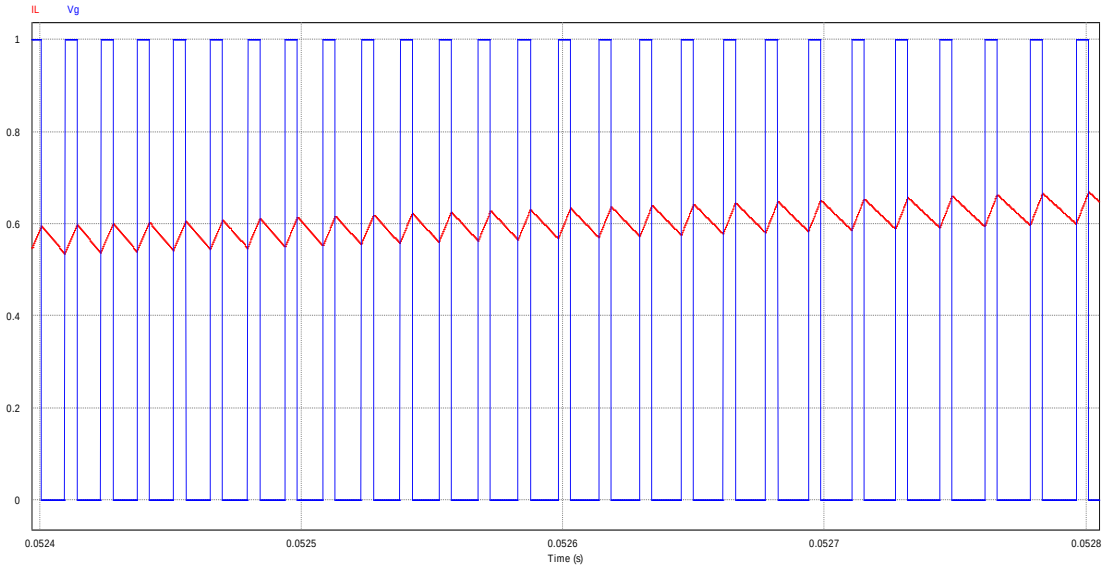
Kontrol çevrimi referans sinüzoidal sinyal, çıkış gerilimi ve devrenin ana kol akımı ile değişken frekanslı histerezis kontrolü sağlamaktadır. Çıkış gerilim dalgalanmaları referans gerilimle karşılaştırılarak, gerilim hata yükseltmesi sağlanmakta ve referans sinüzoidal sinyalle çarpılarak hata sinyali oluşturulmaktadır. Akım sensörü aracılığıyla okunan ana kol geri dönüş akımı, hata sinyali ile karşılaştırılarak anahtarın kesime gideceği üst sınır belirlenir. Geri dönüş akımı, hata sinyalinin %10 oranda küçülmüş örneği ile karşılaştırılarak anahtarın iletime geçeceği alt sınır belirlenir. Karşılaştırıcılar çıkışında kullanılan Flip-Flop ile anahtar kapı sinyali üretilir ve gerekli tetikleme sağlanır. Hata sinyaline uygulanan küçültme oranı aynı zamanda histerezis bant genişliğini ve dolaylı olarak anahtar frekansı yoğunluğunu etkilemektedir. Uygulanan %10 oranında küçültme aynı zamanda %10 histerezis bant genişliği sağlamaktadır.



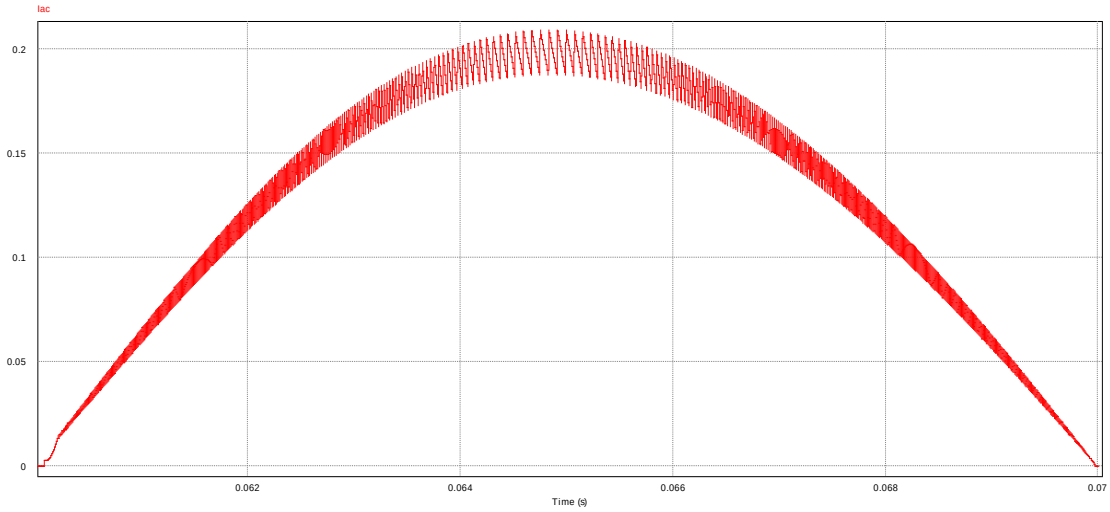
Şekil 6.18 Sürücü Devre Şeması



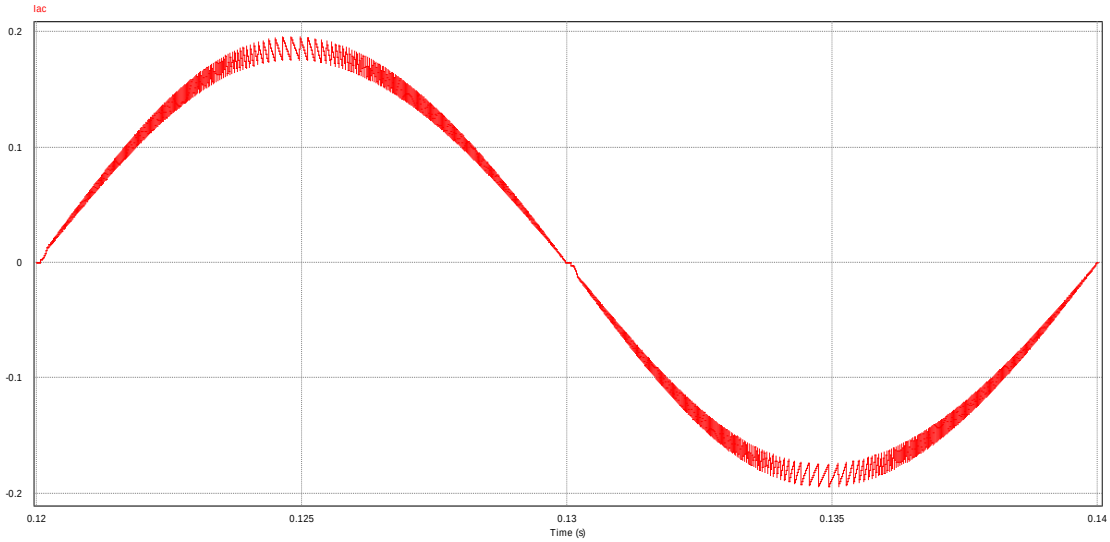
Şekil 6.19 Giriş ve Çıkış Akım İşaretleri



Şekil 6.20 Bobin ve Anahtar Kapı Sinyalinin Beraber Gösterimi

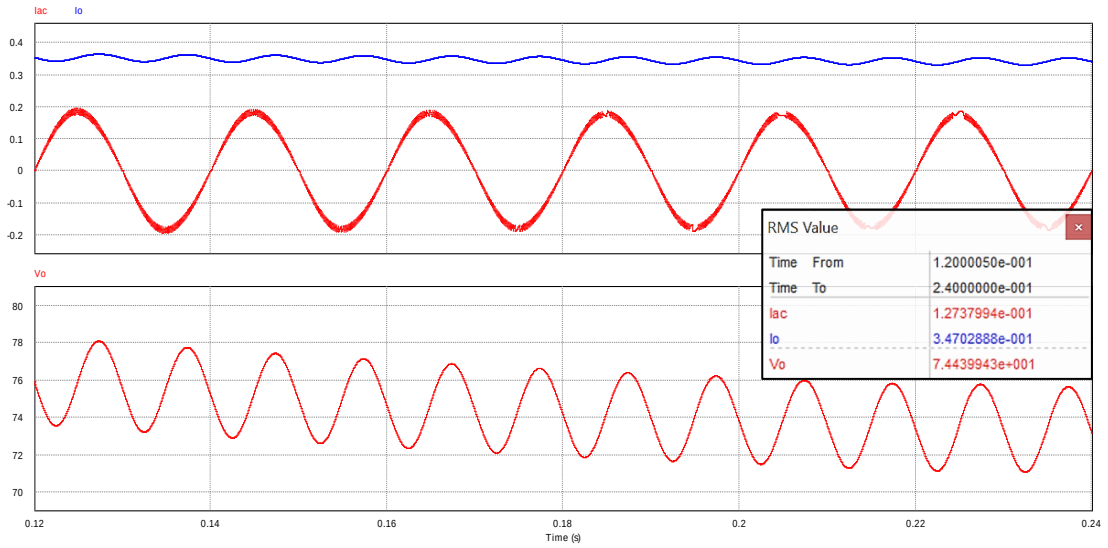


Şekil 6.21 Şebekeden Çekilen Akımın Yarım Periyot Örneği



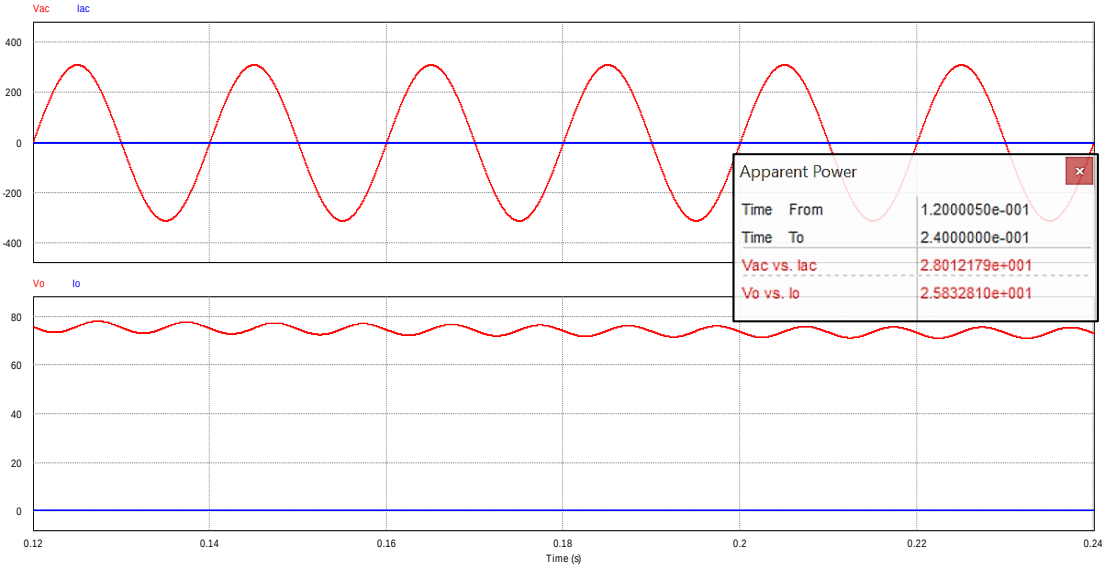
Şekil 6.22 Bir Periyot Boyunca Şebekeden Çekilen Akım

Şekil 6.19, 6.21 ve 6.22 ‘den görüleceği üzere farklı zaman bölgelerinde simülasyon gerçekleştirilmiş ve her iki aralıkta da şebekeden çekilen giriş akımının formu tam sinüzoidal akım formunu takip ettiği gözlenmiştir. Aynı zamanda çıkış akımında dalgalanmanın oldukça sınırlı kaldığı Şekil 6.19 ve Şekil 6.23 ‘de görülebilmektedir.

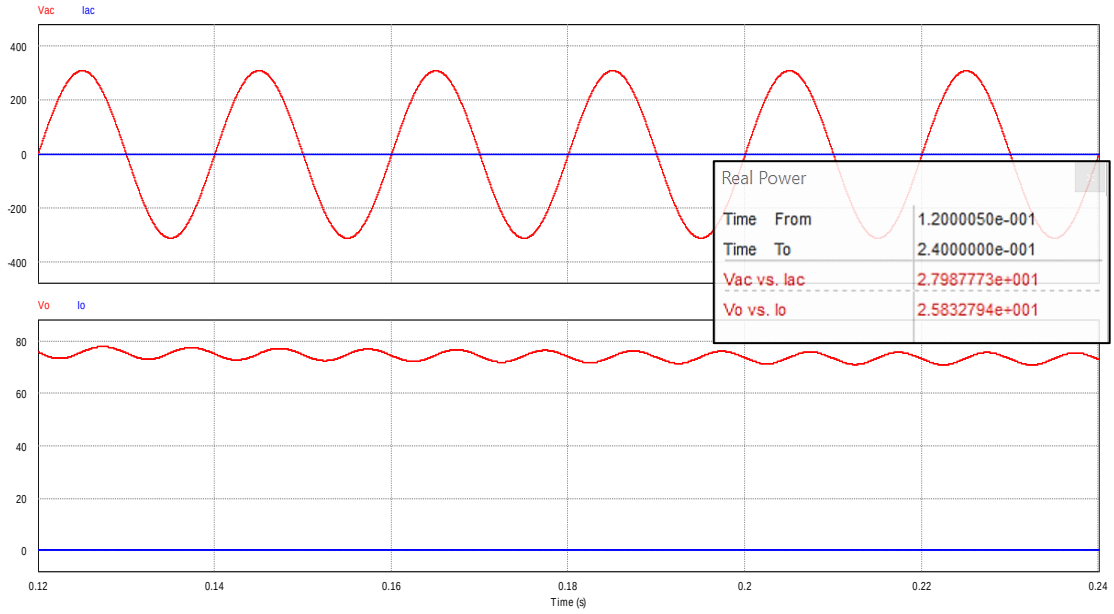


Şekil 6.23 Giriş Akım ve Çıkış Akım- Gerilimlerinin Gözlenmesi

Simülasyon tekrarlı çalıştırılarak, kararlı rejimin başlangıçtan 80ms sonra başladığı gözlenmiştir. Bu nedenle simülasyon tam kararlı rejim hareketlerini gözlemleyebilmek için 120ms – 240ms aralığında 250ns zaman aralıklarıyla çalıştırılmış ve sonuçlar gözlenmiştir. Buna göre (şekil 6.23) çıkış akımı 347mA olarak, ortalama çıkış gerilimi ise 74,4 V olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.24 Giriş ve Çıkışta Görünür Güç Tayini

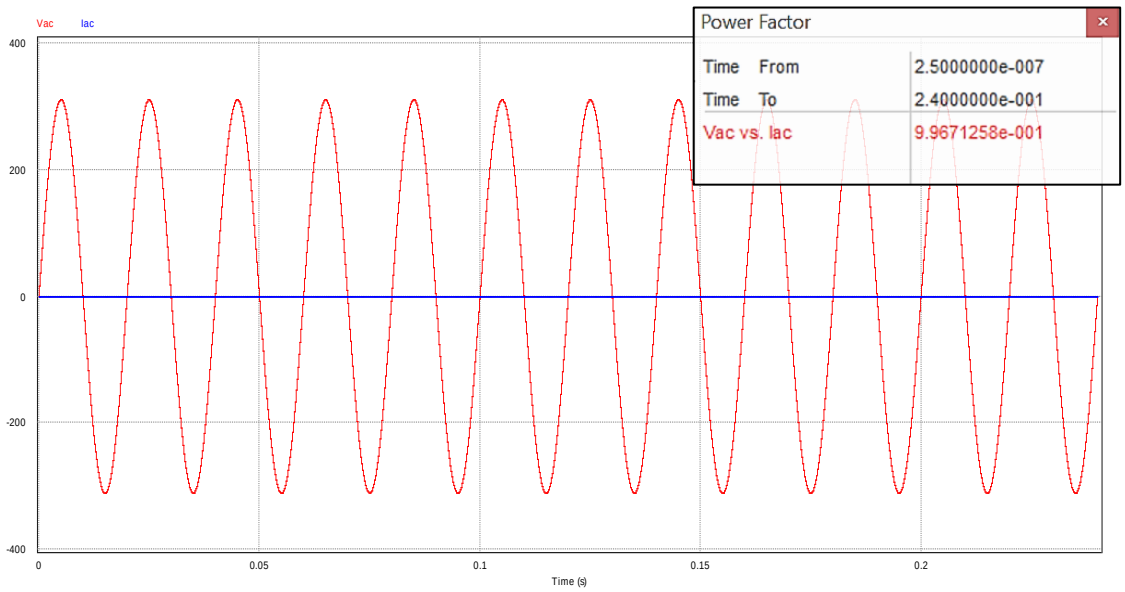


Şekil 6.25 Giriş ve Çıkışta Gerçek Güç Tayini

Görünür güç değerleri, şekil 6.24 üzerinden girişte 28 Va ve yük çıkışında ise 25.83 Va olarak ölçülmektedir. Gerçek güç değerleri ise şekil 6.25'de yer almaktadır. Gerçek güç değerleri ilk çalışmadan 120 ms sonra yapılan ölçümde, şebeke tarafında 27.987 Watt ve yük tarafında ise 25.83 Watt olduğu görülmektedir.

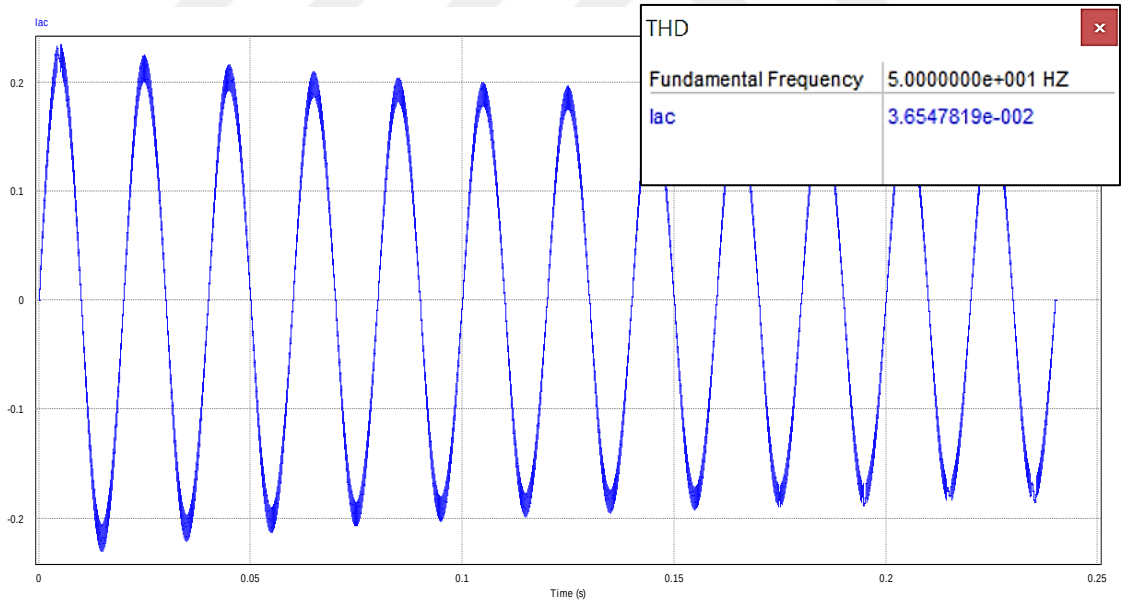
$$Verim = \frac{Çıkış\ Gücü\ (W)}{Giriş\ Gücü\ (W)} = \frac{25.83}{27.987} = 0{,}923 \qquad (6.12)$$

(6.12) Denkleminin değerlendirilmesiyle bu LED sürücü devrenin %92 verimle çalışabileceği görülmektedir.



Şekil 6.26 Giriş Gerilim - Akım Sinyallerinden Güç Faktörü Tayini

Giriş bölgesinde uygulanan gerilim sinyali ve çekilen akım ile hesaplanan güç faktörü değeri şekil 6.26'da görüleceği üzere 0,9967 değerini vermektedir. Bu değeriyle devre yüksek güç faktörünü sağlamaktadır.



Şekil 6.27 Giriş Akımı Üzerinden Ölçülen Toplam Harmonik Bozulma (THD)

Toplam harmonik bozulma, Şekil 6.27'den görüleceği üzere %3,65 THD değeriyle standartlarda yer alan %5 değerinin altında bir değerdir. Bu yönüyle devre kabul edilebilir bir sonuç vermektedir.

7
Sonuç ve Öneriler

Kaynakların verimli kullanımı üzerine çalışmalar, 21. Yüzyılda enerji alanında başta olmak üzere birçok alanda önem kazanmıştır. Sınırlı kaynaklar ve hızla artan enerji tüketimi, daha verimli ürünlerin araştırılması için finansman ayrılmasını sağlamıştır. Enerji alanının yanı sıra oldukça yaygın kullanılan aydınlatma ekipmanlarının verim ve kalitesinin artırılması hedeflenmektedir.

Üretim ve kullanım amacı daha verimli enerji tüketimi olan güç LED'leri ile aydınlatma alanında LED aydınlatmanın kullanımı artmakta ve daha da artması beklenmektedir. LED aydınlatma ile aydınlatma kalitesi, kontrol edilirliği artacak ve çevreci politikalarla ortam aydınlatması için harcanan enerjinin dünyada toplam tüketilen enerji içindeki payı düşecektir.

Dönüştürücü devrelerin kullanımının artması, çeşitli yeni devre yapılarının ve kontrol çevrimlerinin tasarlanmasını sağlamıştır. LED aydınlatmanın öngörüldüğü gibi yaygınlaşmasıyla kullanımı artan ve gelecekte de artacak olan sürücü devreler dönüştürücü devrelere örnektir. Bu dönüştürücülere ihtiyacın artması, şebeke güç faktörünün düşmesine ve şebekeye yüksek frekanslı harmoniklerin salınarak enerji kalitesinin olumsuz olarak etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle yeni çalışmalar kaliteli güç tüketimi ve enerjiyi verimli kullanmak için güç faktörü düzeltme ve filtreleme metotları içermelidir.

7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada; 25 W nominal çıkış gücüne sahip ve yük çıkışında 350mA akım sağlayan LED sürme devresi simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Yükseltici topolojide gerçekleştirilen sürücü devre, bir yarı iletken anahtar ve tek kontrol çevrimi ile güç faktörü düzeltimi ve LED yükü için uygun çıkış sağlanmıştır. Histerezis akım kontrol metodunda, çıkış gerilim regülasyonu ve belirli yükte çıkış akım korumasının beraber sağlanabildiği görülmüştür.

Basit yapısı sebebiyle pasif bastırma hücresi elemanları seçilerek sürücü devreye dahil edilmiştir. Bastırma hücresinin sürücü devreye eklenmesiyle, yarı iletken anahtar ve ana diyot üzerinde gerilim stresleri görülür ölçüde azaltılmıştır. Enerji geri kazanımı olmadığı için verim değerine doğrudan etkisi gözlenmemiştir. Ancak toplam harmonik bozulma değerinin farklı çalışma bölgelerinde %0,2-0,7 oranında iyileştiği görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarına göre 0,998 gibi yüksek bir güç faktörü sonucu ve %3,67 toplam harmonik bozulma oranı elde edilmiştir. Aynı zamanda devrenin verim değeri (6.12) eşitliğinden %92,3 olarak hesaplanmıştır. Yüksek güç faktörü ve kabul edilen %5 değerinden daha iyi THD değerleriyle; tasarımı yapılan sürücü devre gerekli standartları kolaylıkla sağlamaktadır. Sürücü devrenin şebekeden çektiği akım sinüzoidal formda ve harmonik içeriğinin önemli ölçüde azaltıldığı gözlenmektedir. Histerezis akım modu gibi değişken anahtarlama frekansında bu değerlerin alınması önemlidir.

7.2 Analiz

LED sürücü olarak kullanılan dönüştürücüler üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda farklı ihtiyaçlara farklı özellikle çözümler sunan devreler geliştirilmiştir. Örneğin; harici ve dahili PFC'li olmak üzere iki ayrı devrenin incelendiği bir tez çalışmasında bunların arasındaki farklar gösterilmiştir [4]. Harici PFC'li devre yüksek güçlü uygulamalarda tavsiye edilirken, dahili PFC'li devre 20 W güç sağlamaktadır. Dahili PFC'li devreyi değerlendirdiğimizde; devrenin THD'si %10,4 ve güç faktörü 0,97 olarak ölçüldüğü bildirilmiştir.

Bir diğer çalışmaya konu olan tek aşamalı devre [39]; 75 W değerinde LED yükünü sınır iletim çalışma modunda beslemek üzere tasarlanmıştır. Maksimum güç faktörü 0,997 ve maksimum verimlilik %85,95 olarak uygulama devresi üzerinden ölçülmüştür. Benzer bir çalışma, tek aşamalı LED sürücünün teorik olarak analizi olarak yapılmıştır [40]. Geri dönüşlü ve yükseltici dönüştürücünün birleştirilmesiyle oluşturulmuş bu devrede güç faktörü düzeltimi ve sabit akım çıkışı düşük akım dalgalanmaları ile elde edilmektedir. Söz konusu devrenin verimlilik oranı %93,5 olarak tespit edilmiştir.

Aydınlatma uygulamaları için önerilen ve birçok özellik barındıran bu devrelerle çalışmamızı kıyasladığımızda; sürekli akım çalışma modunun ve basit devre yapısının verim, güç faktörü ve harmonik değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Bu sonuçlarla çalışmamız tek anahtarlama elemanlı ve oldukça basit yapısıyla yukarıdaki çalışmalardan daha az maliyetli bir çözüm sunmaktadır.

7.3 Öneriler

Bu çalışma; çıkış akım koruması dışında harici akım kontrolünün sağlanması, kontrol edilebilirliğinin artırılması ve yüksek frekanslı transformatör kullanımı ile çalışmanın devamı niteliğinde genişletilebilir. LED yük modeli ve geliştirilmiş bastırma hücrelerinin daha iyi analizi ve kontrol çevirimi için üretilmiş entegrelerin incelemesi ile çalışma geliştirilebilir durumdadır. Ancak tek bir devre ile güç faktörü düzeltilerek LED yükünün sürülebilmesi, küçük boyutlu ve düşük maliyetli olmasından dolayı bu sürücünün düşük güçlü uygulamalar için oldukça avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

[1] T. M. Okon and J. R Biard, "The First Practical LED", edisontechcenter.org. http://edisontechcenter.org/lighting/LED/TheFirstPracticalLED.pdf (Erişim Tarihi: Mayıs 14, 2019).

[2] N. Holonyak and S. F. Bevacqua, "Coherent (Visible) Light Emission from Ga(As1−x Px) Junctions", Dec 1962, Semiconductor Devices: Pioneering Papers, pp. 898-899, 1991, doi: 10.1142/9789814503464_0122.

[3] D. Menteşeoğlu, "Yeni Nesil Aydınlatma Sistemleri-1 "LED Işık Kaynakları"", EMO İzmir Şubesi Dergisi, Mayıs, pp. 29–31, 2011.

[4] Y. Gürbüz, "Güç Faktörü Düzeltmeli Güç LED Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2012, 315926.

[5] International Dark-Sky Association, "Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting", *International Dark-Sky Association*, Mayıs 2010, (Online), https://www.darksky.org/, (Erişim Tarihi Mayıs 18, 2019).

[6] Luxeon Lumileds, "luxeon rebel White LEDs", https://www.lumileds.com/products/luxeon-rebel/, [Online], (Erişim Tarihi Mayıs 17, 2019).

[7] Cree, "Xlamp LED", http://www.cree.com/products/xlamp.asp, [Online], (Erişim Tarihi Mayıs 17, 2019).

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

[9] Cree Inc. Product Design Guide, *Optimizing PCB Thermal Performance For Cree XLamp LEDs*, (2010), Erişim Tarihi: Mayıs 20, 2019 [Online], https://www.cree.com/led-components/media/documents/XLamp_PCB_Thermal.pdf

[10] İ. Çelik, "Güç LED'li Aydınlatma Uygulamaları için Tek Katlı Güç Faktörü Düzeltmeli Sürücülerin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, Türkiye, 2016, 446472.

[11] M. Akbulut ve Ö. Gül, "LED'li Işık Kaynaklarının Karakteristiklerini Belirlemeye Yönelik Ölçmeler", V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, (İzmir), Mayıs 2009, pp. 125-130.

[12] S. Winder, "Power Supplies for LED Drivers 2nd Ed.", Cambridge, MA, USA, Newnes-Elseiver, 2013.

[13] Philips, Solide-State Lighting Solutions 2010, LED Lighting – Get It Right Magazine, (Erişim Tarihi: Mayıs 26, 2019).

[14] P. G. Neudeck, “Progress in Silicon Carbide Semiconductor Electronics Technologies”, Journal of Electronic Materials, 1995, Springer, pp. 283-288.

[15] LM317 Linear Regulators Catalogue Data, Texas Instruments, 1997-rev2016. [Online]. http://www.ti.com/lit/ds/slvs044x/slvs044x.pdf.

[16] İ. İnal, “Optimization of Illumation Yields of Buck-Based Power LED Drivers”, M.S. Thesis, Graduate School of Natural & Applied Sciences, University of Gaziantep, Gaziantep, Turkey, 2012, 318447.

[17] A. Moreno-Munoz, “Power Quality: Mitigation Technologies in a Distributed Environment”, London, UK, Springer, 2007.

[18] R. Lenk and C. Lenk, “Practical Lighting Design with LEDs.”, Hoboken, NJ, USA, 2nd Ed, IEEE_Wiley, 2017, pp. 96.

[19] L. Sevgi, “Tasarımdan Üretime Elektromanyetik Uyumluluk”, İstanbul, Türkiye, Eksen Yayıncılık, 2006.

[20] DC or AC supplied electronic control gear for LED modules-Performance requirements, British Standard 62384, 2006.

[21] Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), International Standard IEC 61000-3-2, 2001.

[22] Illumintaiing Engineering Soceity of North America, “Nomeclature and Definition for Illuminating Engineering”, August 12, 2005, ANSI/IESNA RP-16-05, NY, USA .

[23] H. Yılmaz, “Design, Application and Comparison of Single Stage Flyback and Sepic PFC AC/DC Converters for Power LED Lightning Application”, M.S. Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2012, 318852.

[24] R. Nielson, “Feedback in Switch Mode Power Converters”, www.runonielsen.dk, July 2013, http://www.runonielsen.dk/Feedback.pdf, (Erişim Tarihi: Mayıs 28, 2019).

[25] S. Dhanasekaran, E. Sowdesh Kumar, R. Vijaybalaji, “Different Methods of Control Mode in Switch Mode Power Supply- A Comparison”, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2014, ISSN (Print): 2320 – 3765, ISSN (Online): 2278 – 8875.

[26] TechWeb, “Characteristics and Evaluation Method of Switching Regulators”, Rohm Semiconductors, 2016, [Online], https://micro.rohm.com/en/techweb, (Erişim Tarihi: Haziran 01,2019).

[27] Basu, S. “Single Phase Active Power Factor Correction Converters Methods for Optimizing EMI, Performance and Costs", Ph.D Dissertation, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2006.

[28] H. Bodur, "Güç Elektroniği Ders Notları; DC-DC Dönüştürücülerde Yumuşak Anahtarlama Teknikleri", Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, 2016.

[29] K. H. Liu, and C. Y. Lee, "Zero-Voltage Switching Technique in DC/DC Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 5 no. 3, pp. 293–304, jul 1990, doi: 10.1109/63.56520.

[30] M. H. Rashid, "Power Electronics Handbook 3rd Ed.", FL, USA, Elsevier, 2011.

[31] A. R. Derin, "Yumuşak Anahtarlamalı Düşüren Tip DA-DA Dönüştürücü ile LED Tasarımı ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2018, 518843

[32] D. W. Hart, "Power Electronics", NY, USA, Pearson Education Inc., 2011.

[33] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, "Power Electronics 3rd Ed.",NY, USA, Jhon Wiley & Sons Inc., 2003.

[34] H. Bodur, "Güç Elektroniğinde Güç Faktörü Düzeltme Yöntemleri", YTÜ Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, 2015.

[35] K. K. Marian and C. Dariusz, "Resonant Power Converters", A Jhon Wiley & Sons, Inc., Publication, Singapore, 2011, pp. 485-565.

[36] F. A. Himmelstoss, A. R. Derin and M. Cernat, "Boost Converter with Active Snubber Network", Advances In Electrical And Computer Engineering, 2017, 17 (1): pp. 55–60 (2017), doi: 10.4316/AECE.2017.01008.

[37] H. Bodur, İ. Aksoy ve A. F. Bakan, "PWM DC-DC Dönüştürücülerde ZVT ve ZCT Tekniklerine Genel Bir Bakış", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, 2005, Türkiye, pp. 390–393.

[38] N. Altıntaş, "Yumuşak Anahtarlamalı DC-DC Dönüştürücülerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007, 201296.

[39] J. Yeon, D. Kim, K. Cho and H. Kim, "A Single Stage Flyback Power Supply Unit for LED lighting Applications", International Conference on Electrical and Electronics Engineering - ELECO 2009, Bursa, Turkey, 2009, doi: 10.1109/ELECO.2009.5355358.

[40] W. Lin, H. Chen and S. Ke, "Research on a single-stage Flyback/Boost LED driver with lower output ripple", 2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (SPEC), Auckland, New Zealand, 2017, doi: 10.1109/SPEC.2016.7846057.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: murattunceriu@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. M. Tuncer and B. Akın, “Design and Simulation of LED Driver Circuit with PFC”, 2nd International Congress on Engineering and Life Science “ICELIS 2019”, Kastamonu Turkey, April 11-14, 2019.