

**T.C.
KILIS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜÇ LED'Lİ AYDINLATMA UYGULAMALARI İÇİN TEK KATLI GÜÇ
FAKTÖRÜ DÜZELTMELİ SÜRÜCÜLERİN TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

İBRAHİM ÇELİK

DANIŞMAN: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**KILIS
2016**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜÇ LED'Lİ AYDINLATMA UYGULAMALARI İÇİN TEK KATLI GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTMELİ SÜRÜCÜLERİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

İBRAHİM ÇELİK

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Yıl: 2016 Sayfa: 87

Günümüzde, LED sürücü devre yapısı üzerinde yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Güç elektroniğindeki gelişmelere bağlı olarak LED sürücü devrelerde, farklı güç dönüştürücü devre yapıları kullanılmaktadır. Bu devre yapıları hem giriş güç faktörünün düşmesine hem de şebekeye yüksek derecede harmonikler enjekte edilmesine neden olmaktadır. Bu yüzden LED sürücüler, güç faktörü ve harmonik içeriği bakımından standartlarda belirtilen değerleri sağlamalıdır. Bu standartların AC-DC dönüştürücü yapılı aktif güç faktörü düzeltme yapıları ile sağlanması öngörülmektedir. Bu çalışmada başlıca LED sürücülere ilişkin tek fazlı güç faktörü düzeltme (GFD) teknikleri sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre yaygın olarak kullanılan pasif filtreler ile GFD'li LED sürücü devre yapılarının tasarımları incelenmiş ve simülasyonları gerçekleştirmiştir. Ayrıca AC-DC dönüştürücü tabanlı Flyback yapıda güç faktörü düzeltme prosesi tartışılmıştır. Bu çerçevede tek katlı GFD'li Flyback dönüştürücü yapının kesintili iletim modunda (DCM) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Farklı gerilim seviyelerindeki uygulamalar için LED sürücünün güç faktörü (GF), toplam harmonik bozulması (THD) ve verimlilik değerleri gözlenmiştir. Flyback LED sürücünün uluslararası harmonik standart değerlere uyumluluğu incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Flyback LED sürücünün pasif filtre esaslı devrelere göre daha verimli, daha az THD'ye ve daha yüksek GF'ye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: LED aydınlatma, Flyback dönüştürücü, güç faktörü düzeltmesi, güç faktörü, toplam harmonik bozulma

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE DESIGN AND APPLICATION OF SINGLE STAGE POWER FACTOR CORRECTION LED DRIVERS FOR POWER LED LIGHTING SYSTEM

İBRAHİM ÇELİK

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Year: 2016 Pages: 87

Nowadays, various important studies have been conducted on LED driver circuits in recent years. Different power converter circuits are often used in LED driver circuits depending on the developments in the power electronics. These circuits both decrease input power factor and lead to high harmonic injection to the electric distribution network. So every LED drivers should comply with the standarts about power factor and harmonic content. It is assumed that these standarts are accomplished with power factor correction structures with AC-DC converters. This study mainly classifies about single phase power factor correction techniques on LED driver circuits. Based on this classification, passive filters and LED driver circuits with power factor correction were designed and simulated. In addition, power factor correction in the flyback structure with AC-DC converter based was also analyzed. In this context, a single-phase PFC flyback was put through discontinuous conduction mode application. Flyback LED driver's power factor, total harmonic distortion and efficiency rates were observed at different voltage levels. The conformity of LED driver to the international harmonic standards (IEC-61000-3-2) was analyzed using the application results. The results of the analysis show that flyback LED driver was more efficient, led to less total harmonic distortion and higher power factor compared to passive filter circuits.

Key Words: LED lighting, flyback converter, power factor correction, power factor, total harmonic distortion

TEŐEKKÖR

Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalıőmam boyunca çok değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, her zaman yüreklendirici telkinleriyle beni çalıőmaya teővik eden danıőmanım Sayın Prof. Dr. Ö.Faruk FARSAKOĞLU hocama ve desteğini hiçbir Şekilde esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa NALBANTOĞLU hocama teőekkÖrlerimi sunarım.

Eğitim öğretim hayatım boyunca hiçbir zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teőekkÖrlerimi sunarım.

İbrahim ÇELİK
Kilis, Ağustos 2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Aydınlatmayla İlgili Kavramlar	4
1.1.1. Işık.....	4
1.1.2. Elektromanyetik spektrum	5
1.1.3. Renk sıcaklığı.....	5
1.2. Aydınlatma Tekniğinde Fotometrik Büyüklükler	6
1.2.1. Işık akısı	6
1.2.2. Katı açısı	6
1.2.3. Işık şiddeti	7
1.2.4. Aydınlanma düzeyi.....	8
1.2.5. Parıltı.....	8
1.3. LED Işık Kaynaklarının Tarihsel Gelişimi	9
1.4. LED'lerin Yapısı ve Çalışması	10
1.5 LED'lerde Beyaz Işık Üretimi	12
1.5.1. Mavi ışık çipi ve sarı fosfor ile beyaz ışık üretimi.....	12
1.5.2. Ultraviyole ışık çip ve RGB fosfor ile beyaz ışık üretimi.....	12
1.5.3. Farklı ışıkları karıştırarak beyaz ışık üretimi	13
1.6. LED'lerin Elektriksel ve Optik Karakteristikleri	14
1.6.1. Akım gerilim karakteristiği.....	14
1.6.2. Akım ışık şiddeti karakteristiği	15
1.6.3. Işık şiddeti zaman karakteristiği.....	15
1.6.4. Sıcaklık ışık şiddeti karakteristiği	16
1.7. LED Tipleri	17
1.7.1. Düşük güçlü LED'ler	17

1.7.2. Orta güçlü LED'ler	17
1.7.3. Yüksek güçlü LED'ler	18
1.8. Güç LED'leri.....	18
1.8.1. Aydınlatma uygulamalarında güç LED'in avantajları	19
1.8.2. Aydınlatma uygulamalarında güç LED'lerinin dezavantajları	22
1.8.3. Güç LED'lerinin kullanım alanları	22
1.9. Güç LED Sürücü Devreleri	23
1.9.1. Pasif Akım Kontrol Yöntemleri	24
1.9.1.1. Dirençle yapılan LED sürücü	24
1.9.1.2. Gerilim regülatörü ile yapılan LED sürücü	24
1.9.2. Aktif akım kontrol yöntemleri.....	25
1.9.2.1. Buck dönüştürücü.....	25
1.9.2.2. Boost dönüştürücü.....	28
1.9.2.3. Buck- Boost dönüştürücü	30
1.9.2.4. Flyback dönüştürücü	33
2. MATERYAL VE METOD	37
2.1. LED Sürücülerde Güç Faktörü.....	37
2.2. Güç Faktörünün Tanımı	37
2.3. IEC 61000 -3-2 Standartları	39
2.4. LED Sürücülerde Güç Faktörü Düzeltmeli Yapılar	41
2.4.1. Pasif filtreli LED sürücüler	42
2.4.1.1. Güç faktörü düzeltmesiz LED sürücüler	42
2.4.1.2. İndüktans kullanarak güç faktörü düzeltmeli LED sürücüler	43
2.4.1.3. Seri rezonans filtre kullanarak güç faktörü düzeltmeli LED sürücü ...	43
2.4.2. Aktif güç faktörü düzeltmeli LED sürücü	46
2.4.2.1. Flyback dönüştürücü temelli aktif güç faktörü düzeltme.....	47
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
3.1. Pasif Filtreli LED sürücüler	58
3.1.1. Ön dirençli LED sürücü yapıları	58
3.1.2. Gerilim regülatörlü LED sürücü yapıları	63
3.2. Aktif Güç Faktörü Düzeltmeli Flyback LED Sürücü.....	69
3.2.1. Simülasyon sonuçları	69

3.2.2. Uygulama sonuçları.....	71
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
5. KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	86



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A_e	Nüvenin kesit alanı
B_{sat}	Akı yoğunluğu
c	Işık hızı
C	Kapasitör
C_{SN}	Snubber kapasitörü
D	Distorsiyon güç
cd	Kandela
D_{mak}	Maksimum görev periyodu
E	Aydınlık düzeyi
f	Frekans
f_{in}	Giriş frekansı
f_s	Anahtarlama frekansı
h	Plank sabiti
Hz	Hertz
I	Işık şiddeti
I_C	Kapasitör akımı
$I_{DS, PK}$	MOSFET'in maksimum drain akımı
I_{in}	Giriş akımı
I_{in}	Giriş akımı
I_L	Bobin akımı
I_{LED}	LED akımı
I_{OUT}	Çıkış akımı
$I_{OUT, NOM}$	Nominal çıkış akımı
I_S	Diyotun ters doyma akımı
$I_{SW, PK}$	MOSFET tepe akımı (olarak aşağıdaki gibi dönüştürülür.
J_T	Jonksiyon sıcaklığı ($^{\circ} C$)
k	Boltzman sabiti

L	Bobin
L_{lk}	Kaçak indüktans
I_m	Lümen
L_M	Primer taraf indüktansı
I_x	Lüks
K_d	Bozulma faktörü
N_{AP}	Yardımcı sargı primer sargı dönüştürme oranı
N_{AS}	Yardımcı sargı sekonder sargı dönüştürme oranı
nm	Nanometre
$N_{P, MIN}$	Primer minimum sarım sayısı
N_{PS}	Primer sekonder sargı oranı
N_S	Sekonder sarım sayısı
P	Aktif güç
P_{IN}	Giriş gücü
P_{LOSSES}	Boşa harcanan güç
P_{OUT}	Çıkış gücü
Q	Reaktif güç
R	Direnç
RMS	Etkin değer
R_S	Algılama direnci
R_{SN}	Snubber direnci
S	Görünür güç
t_{OFF}	Anahtar kesimde olduğu süresi
t_{ON}	Anahtarın iletimde olduğu süresi
t_s	Anahtarlama periyodu
V	Gerilim
V_C	Kapasitör gerilimi
$V_{CS, PK}$	Akım algılama tepe gerilimi
$V_{IN, MAX. PK}$	Maksimum giriş geriliminin tepe değeri
V_{IN}	Giriş gerilimi
$V_{IN, MAX}$	Maksimum giriş gerilimi
$V_{IN, MIN}$	Minimum giriş gerilimi

V_L	Bobin gerilimi
V_{LED}	Çıkış gerilimi
V_{OUT}	Çıkış gerilimi
$V_{OUT,MAX}$	Maksimum çıkış gerilimi
$V_{OUT,MIN}$	Minimum çıkış gerilimi
V_{OR}	Drain aşırı gerilimi
V_{SN}	Tam yükte snuber kapasitör gerilimi
W	Watt
λ	Dalga boyu
ϕ	Işık akısı
π	Pi sayısı
Ω	Katı açısı (sr)
η	Etkinlik faktörü

KISALTMALAR

LED	Işık Yayan Diyotlar
DC	Doğru Akım
SiC	Silisyum Karbür
GaP	Galyum Fosfat
GaN	Galyum Nitrat
GaAs	Galyum Arsenit
GaAsP	Galyum Arsenit Fosfat
GaAlAsP	Galyum Alüminyum Arsenit Fosfat
SSL	Katı Hal Aydınlatması
MOSFET	Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör
GF	Güç faktörü
THD	Toplam harmonik içerik
YGF	Yüksek Güç Faktörlü
CCM	Sürekli iletim modu
DCM	Kesintili iletim modu
CrM	Kritik iletim modu
SEPIC	Tek uçlu primer endüktansı dönüştürücü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İki katlı güç faktörü düzeltme yapısı	2
Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum.....	5
Şekil 1.3. Işık akısı.....	6
Şekil 1.4. Katı açının tanımı	7
Şekil 1.5. Noktasal bir ışık kaynağında ışık şiddetinin ifadesi	7
Şekil 1.6. Aydınlık düzeyinin tanımı	8
Şekil 1.7. M noktasının α doğrultusundaki parıltısının tanımı	9
Şekil 1.8. LED'ler ve diğer ışık kaynaklarının zamanla gelişimleri	10
Şekil 1.9. LED'in p-n jonksiyonunu ileri yönde biaslamasının etkileri	11
Şekil 1.10. Mavi ışık çip ve sarı fosfor ile beyaz ışık üreten yapının şematığı	12
Şekil 1.11. Ultraviyole ışık çip ve RGB fosfor ile beyaz ışık üreten yapının şematığı ..	13
Şekil 1.12. Farklı renkli ışıkların karıştırılmasıyla beyaz ışık üretimi şematığı	13
Şekil 1.13. Farklı yarı iletken malzemelere ilişki akım gerilim karakteristikleri	14
Şekil 1.14. LED'in akım ışık şiddeti karakteristiği	15
Şekil 1.15. 5 mm LED ve güç LED'ine ilişkin 20000 saatlik lümen süreklilik eğrisi ...	16
Şekil 1.16. LED'lerde jonksiyon sıcaklığı normalize ışık akısı karakteristiği	16
Şekil 1.17. Farklı şekillerde düşük güçlü LED'ler	17
Şekil 1.18. LED'lerin güç tüketiminin yıllara göre değişimi.....	18
Şekil 1.19. Güç LED'in a) bileşenleri b) iç yapısı	19
Şekil 1.20. Dirençli basit LED sürücü yapısı.....	24
Şekil 1.21. Gerilim regülatörü ile yapılan LED sürücü	25
Şekil 1.22. Buck dönüştürücü devre yapısı.....	25
Şekil 1.23. Buck dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri	26
Şekil 1.24. Buck dönüştürücüde kondansatör akım ve çıkış gerilim dalga şekilleri	28
Şekil 1.25. Boost dönüştürücü devre yapısı.....	28
Şekil 1.26. Boost dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri	29
Şekil 1.27. Boost dönüştürücüde kondansatör akım dalga şekli.....	30
Şekil 1.28. Buck Boost dönüştürücü devre yapısı	31
Şekil 1.29. Buck Boost dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri.....	32
Şekil 1.30. Buck Boost dönüştürücüde kondansatör akım dalga şekli	32

Şekil 1.31. Flyback dönüştürücü devre yapısı	33
Şekil 1.32. Flyback dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri.....	34
Şekil 1.33. Flyback dönüştürücüde kondansatör akım dalga şekli	35
Şekil 2. 1. Doğrusal yüklerde güç faktörü	38
Şekil 2. 2. Doğrusal olmayan yüklerde güç faktörü.....	39
Şekil 2. 3. Güç faktörü düzeltilmesiz dirençli LED sürücü	42
Şekil 2. 4. AC yan indüktörlü güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapısı	43
Şekil 2. 5. Seri rezonans filtreli güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapısı	43
Şekil 2. 6. Güç faktörü düzeltilmesiz ön dirençli LED sürücü	44
Şekil 2. 7. İndüktans kullanarak GFD'li ön dirençli LED sürücü	45
Şekil 2. 8. Seri rezonans filtre kullanarak GFD'li ön dirençli LED sürücü.....	45
Şekil 2. 9. Güç faktörü düzeltilmesiz gerilim regülatörlü LED sürücü	45
Şekil 2. 10. İndüktans kullanarak GFD'li gerilim regülatörlü LED sürücü.....	45
Şekil 2. 11. Seri rezonans filtre kullanarak GFD'li gerilim regülatörlü LED sürücü.....	46
Şekil 2. 12. YGF'li Flyback LED Sürücü.....	47
Şekil 2. 13. DCM'de çalışan tek katlı flyback dönüştürücünün dalga şekilleri	48
Şekil 2. 14. Teorik dalga formları	50
Şekil 2. 15. Geniş çıkış gerilim aralıklarında V_s devresi	53
Şekil 2. 16. V_s dalga formu.....	54
Şekil 2. 17. Snubber devresi ve dalga formları	55
Şekil 2. 18. YGF Flyback LED sürücü devre şeması	57
Şekil 3.1. Ön dirençli Tip 1 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli.....	59
Şekil 3.2. Ön dirençli Tip 1 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	60
Şekil 3.3. Ön dirençli Tip 1 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenleri.....	60
Şekil 3.4. Ön dirençli Tip 2 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli.....	60
Şekil 3.5. Ön dirençli Tip 2 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	61
Şekil 3.6. Ön dirençli Tip 2 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenleri.....	61
Şekil 3.7. Ön dirençli Tip 3 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli.....	62
Şekil 3.8. Ön dirençli Tip 3 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	62

Şekil 3.9. Ön dirençli Tip 3 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenleri	63
Şekil 3.10. Gerilim regülatörlü Tip 1 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli.....	64
Şekil 3.11. Gerilim regülatörlü Tip 1 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	65
Şekil 3.12. Gerilim regülatörlü Tip 1 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenler	65
Şekil 3.13. Gerilim regülatörlü Tip 2 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli.....	66
Şekil 3.14. Gerilim regülatörlü Tip 2 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	66
Şekil 3.15. Gerilim regülatörlü Tip 2 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenler	67
Şekil 3.16. Gerilim regülatörlü Tip 3 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli.....	67
Şekil 3.17. Gerilim regülatörlü Tip 3 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	68
Şekil 3.18. Gerilim regülatörlü Tip 3 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenler	68
Şekil 3.19. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü simülasyonuna ait giriş akım ve gerilim dalga şekilleri	69
Şekil 3.20. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü simülasyonuna ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler	70
Şekil 3.21. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü simülasyonuna ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	70
Şekil 3.22. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli	71
Şekil 3.23. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler	71
Şekil 3.24. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	72
Şekil 3. 25. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait harmonik bileşenlerin IEC 61000-3-2 standartlarıyla karşılaştırılması	72
Şekil 3. 26. 90 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli	73
Şekil 3. 27. 90 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	73

Şekil 3.28. 90 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler	73
Şekil 3.29. 120 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli	74
Şekil 3.30. 120 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	74
Şekil 3.31. 120 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler	74
Şekil 3.32. 150 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli	75
Şekil 3.33. 150 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	75
Şekil 3.34. 150 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler	75
Şekil 3.35. 180 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli	76
Şekil 3.36. 180 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli	76
Şekil 3.37. 180 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler	76
Şekil 3.38. Flyback LED sürücüde verim ve güç faktörünün giriş gerilimine göre değişimi	77
Şekil 3.39. Flyback LED sürücüde giriş gücü ve THD'nin giriş gerilimine göre değişimi	77
Şekil 3.40. Flyback LED sürücüde giriş geriliminin giriş akımı ve LED akımına göre değişimi	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. LED ve diğer ışık kaynaklarının karşılaştırılması	20
Çizelge 1.2. LED ve diğer ışık kaynaklarının ömürleri	20
Çizelge 1.3. Güç LED'in kullanım alanları	23
Çizelge 2.1. IEC 61000 -3-2, A ve B sınıfı harmonik standartları sınır değerleri.	40
Çizelge 2.2. IEC 61000 -3-2, C ve D sınıfı harmonik standartları sınır değerleri.	41
Çizelge 2.3. Pasif filtreli GFD yapıları için filtre elemanlarının değerleri	44
Çizelge 2.4. Flyback LED sürücü tasarım parametreleri	56
Çizelge 2.5. Flyback LED sürücüye ait önemli parametreler	57
Çizelge 3.1. Ön dirençli yapılara ilişkin simülasyon sonuçları	58
Çizelge 3.2. Gerilim regülatörlü yapılara ilişkin simülasyon sonuçları.....	64
Çizelge 3.3. Farklı gerilim seviyelerinde uygulama sonuçları	76

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle birlikte LED (Light Emitting Diode- Işık Yayan Diyotlar) aydınlatma sistemleri de hızlı bir gelişme göstermiştir. Günümüzde LED aydınlatma sistemleri enerjiyi verimli kullanmaktadır. Bundan dolayı LED aydınlatma sistemleri; enerji ve çevre etkileşiminde ortaya çıkabilecek çevresel bozulmaların minimumda tutulabilmesi bakımından geleneksel aydınlatma kaynaklarına üstünlük göstermektedir. Bunun yanında LED ışık kaynaklarının uzun ömürlülük, yüksek dayanıklılık ve renk üretim kabiliyetleri gibi özelliklere sahip olması bu kaynakları eşsiz kılar. Son yıllarda LED ışık kaynaklarının maliyetlerinin hızlı bir şekilde düşmesi ve kolaylıkla temin edilebilmesinden dolayı LED aydınlatma sisteminin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Yakın gelecekte de LED aydınlatma sistemlerinin geleneksel aydınlatma sistemlerinin yerini alacağı öngörülmektedir [1, 2] .

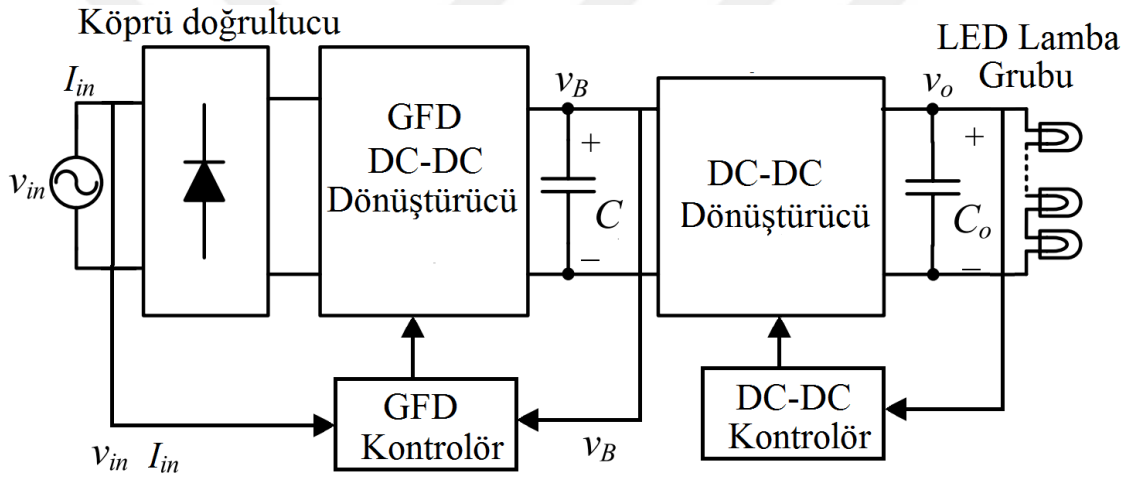
Aydınlatma sistemlerinde verimli bir elektronik malzeme olarak kullanılan güç LED'leri için özellikle sürücü devre yapısı oldukça önem kazanmaktadır. LED'lerde sürücü devrenin sabit bir çıkış akımı verebilmesi, yüksek verimliliğe, yüksek güç faktörüne ve uzun kullanım ömrüne sahip olması gibi bazı önemli özellikler göz önüne alınarak tasarımların gerçekleştirilmesi gerekmektedir [3].

Son yıllarda yüksek verimli, küçük boyutlu ve hafif olmalarından dolayı tek fazlı anahtarlama LED sürücü yapıları endüstride, ticarete, hava sanayinde ve konutlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yarı iletken teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sonucunda yeni anahtarlama güç dönüştürücü devre yapıları ve kontrol teknikleri oluşturulmaya başlanmıştır. Ancak güç dönüştürücü devrelerin yaygın kullanımı, yeni devre yapılarının ve kontrol tekniklerinin ortaya çıkması şebekeden çekilen darbeli akımın çoğalmışına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda ise hem giriş güç faktörü düşmekte hem de şebekeye yüksek derecede harmonik bileşenler enjekte edilmektedir [4, 5]

Enerjinin verimli kullanılması ve kaliteli bir güç tüketimi gerçekleştirmek için ulusal ve uluslararası düzeylerde, güç faktörü ve harmonik içerik konusunda çeşitli standartlar ve sınırlandırmalar getirilmiştir. Bu standartlar ve sınırlandırmalardan dolayı LED sürücülerde giriş akım harmonik içerikleri IEC 61000-3-2 sınıf C standartları ile belirtilen limitler arasında olmalıdır [6]. Bunun sonucu olarak güç faktörünü yükseltmek ve harmonik içeriği

düşürmek için birçok GFD (Güç Faktörü Düzeltme)'li LED sürücü devreleri geliştirilmeye başlanmıştır.

Genel olarak bir LED sürücü devrenin yapısı, bir köprü doğrultucu, bir DC-DC dönüştürücü ve bunların arasında bulunan DC link kapasitöründen oluşmaktadır. Ancak bu ilkel yapı düşük güç faktörü ve yüksek toplam harmonik içeriğe neden olmaktadır. Bu nedenle bu yapılarda değişik GFD metotları kullanılmaktadır. Bu metotlardan ilki pasif filtrelidir. Bu yapılar en temel güç faktörü düzeltme devre yapılarıdır. Bu yapılarla yüksek güç faktörü sağlamak ve IEC-61000-3-2 sınıf C standardına uyum sağlamak yeterince mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı köprü doğrultucu katında daha kompleks bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır [7].



Şekil 1.1. İki katlı YGF'li LED Sürücü [8]

Güç faktörü düzeltmek için iki adet güç dönüşüm katına sahip olan ve Şekil 1.1'de gösterilen yapı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu iki katlı LED sürücü yapısında ilk kat giriş akımını güç faktörü yönünden şekillendirebilen bir DC-DC dönüştürücü ve ikinci kat ise bir DC-DC dönüştürücü yapısından oluşmaktadır. İki katlı GFD yapısı birbirinden bağımsız iki kontrolör kullanılarak kontrol edilir. Bunun sonucunda GFD devrelerinin karmaşıklığı ve maliyeti artar ve özellikle de düşük güçlü uygulamalar için tercih edilmez [8].

Tek katlı LED sürücü devresinde, tek bir kontrolör ile hem güç faktörü düzeltme işlemi hem de çıkış gerilimi regülasyonu gerçekleştirilir. Tek bir kontrolör olması devrenin hem basit yapıda olmasını hem de maliyetinin düşük olmasını sağlar. Bu nedenle tek katlı LED sürücü

devreleri, kontrol kolaylığı, eleman azlığı ve maliyet açısından iki katlı devrelere kıyasla daha fazla tercih edilmektedir [9].

Güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapıları konusunda literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Yapılan araştırmanın **birinci basamağında**; güç faktörü düzeltmeli doğrultucu ile şebekeden çekilen harmonik bileşenli akımların içeriğini azaltan ve giriş güç faktörünü düzelterek güç LED'lerini süren boost dönüştürücülü harici ve flyback dönüştürücülü dahili güç faktörü düzeltmesine sahip iki farklı devre yapısı incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda bu iki yapının tasarım şartları değerlendirilmiştir. **İkinci çalışmada** ise güç LED'i ile aydınlatma uygulaması için güç katsayısı düzeltici AC/DC güç kaynaklarından geleneksel yapıdan farklılık gösteren tek katlı flyback ve SEPIC devreleri ele alınmıştır. Bu çalışmada da devrelerin analizi, tasarımı, deneylerinin yapılması ve performans analizleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın üçüncü aşamasında, güç faktörü kavramı ile güç faktörü düzeltme yöntemlerinden yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücüler incelenmiş, gelişmiş bir devrenin simülasyon çalışmaları yapılarak uygulama devresi gerçekleştirilmiştir. Son incelenen çalışmada, tek yada çok çıkışlı, tek fazlı anahtarlamalı güç kaynaklarının giriş bölümünde bulunan güç faktörü düzeltme katı için, mevcutta entegre kullanılarak yapılan aktif güç faktörü düzeltme çözümü yerine entegresiz aktif güç faktörü düzeltme devresi tasarlanmıştır. **Pspice Simülasyon Programı** kullanılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Daha sonra ise devrenin uygulaması yapılarak simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır [10-13]

Bu tez çalışması dört bölüm ve Ek'lerinden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümüdür. Bu bölümde; aydınlatmayla ilgili kavramlar, LED'in yapısı ve tarihsel gelişimi, elektriksel karakteristiği anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde LED'ler için pasif akım kontrol yöntemleri ve aktif akım kontrol yöntemleri ele alınmıştır.

İkinci bölüm materyal ve metot çalışmalarını içerir. Burada; güç faktörü tanımı yapılmış ve IEC 61000 -3-2 standart değerleri ele alınmıştır. Daha sonra ise güç faktörü düzeltmesiz LED sürücü yapısı, indüktans kullanarak güç faktörü düzeltme ve seri rezonans filtre ile güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapılarının çalışması incelenmiştir. Aktif güç faktörü düzeltmeli Flyback LED sürücü yapısının çalışması ele alınmış ve tasarım adımları sıralanarak sürücü devrenin tasarım parametreleri hesaplanmıştır.

Üçüncü bölüm bulgular ve tartışma bölümüdür. Bu bölümde tasarımı incelenen LED sürücülerin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. LED sürücü devrelerin giriş akımı(I_{in}), çıkış akımı (I_{LED}), çıkış gerilimi(V_{LED}), güç faktörü (GF), toplam harmonik içerik (THD) ve LED sürücünün verimliliği incelenmiştir. YGF'li Flyback LED sürücü devresinin farklı gerilim seviyelerinde uygulamaları gerçekleştirilerek sonuçlar analiz edilmiştir. Uygulaması yapılan devrenin ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölüm ise sonuç ve önerilerden oluşmaktadır. Bu bölümde tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen pasif filtreli LED sürücü ve YGF'li (Yüksek Güç Faktörlü) Flyback LED sürücü devreleri güç faktörü ve verim açısından karşılaştırılmıştır. Bu iki yapının birbirine göre üstün yönleri ele alınmıştır. YGF'li Flyback LED sürücü yapısının kullanım alanları için öneriler yapılmıştır.

1.1. Aydınlatmayla İlgili Kavramlar

Bu bölümde aydınlatmayla ilgili temel kavramlar ve aydınlatma bileşenleri ele alınacaktır. Bir aydınlatma sisteminin tasarımı gerçekleştirilirken karşımıza çıkacak olan tasarım parametreleri, bu kavramlar ve bileşenler ışığında değerlendirilmektedir. Bu sebeple bu kavramları ve bileşenleri anlamak ideal bir tasarımı gerçekleştirmenin ilk adımındır.

1.1.1. Işık

Işık, insanlar tarafından görülebilir bir miktar enerjinin taşındığı elektromanyetik bir yayılmadır. Planck- Einstein eşitliğine göre bir ışığın enerjisi frekansıyla orantılı olarak değişmektedir. Bu aşağıdaki eşitlikte ifade edilmiştir.

$$E = h \cdot \nu \quad (1.1.1)$$

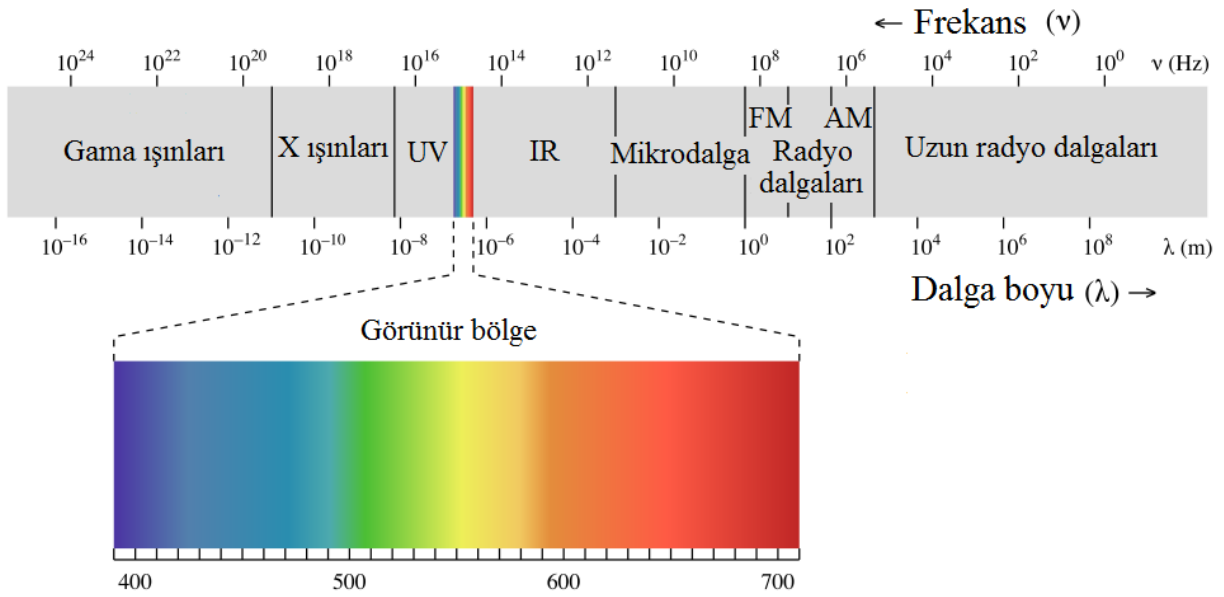
Burada h plank sabiti, f ise frekanstır. Ayrıca ışık hızı c , dalga boyu λ arasındaki bağıntıda $c = \nu \cdot \lambda$ şeklindedir. Buradan ışığın enerjisi (1.1.2)'deki gibi ifade edilir.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1.2)$$

Bu ifadeden dalga boyu küçük olan ışığın dalga boyu büyük olan ışığa göre enerjisinin daha büyük olduğu görülür [14].

1.1.2. Elektromanyetik spektrum

Farklı dalgalara sahip elektromanyetik dalgaların oluşturduğu elektromanyetik spektrum Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum [15]

İnsan gözü, elektromagnetik dalgaların görünür bölge olarak adlandırılan sınırlar içerisinde; 380-700 nm dalga boyları arasında belirlenen bantta duyarlıdır. Bu aralıkta insan gözünün duyarlılığı ışık miktarı ve dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir [16].

1.1.3. Renk sıcaklığı

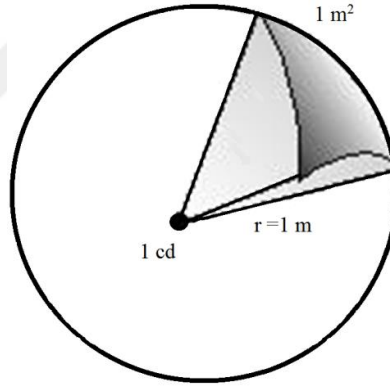
Renk sıcaklığı, bir ışık kaynağının spektral özelliklerini tespit etmenin basitleştirilmiş bir yolunu temsil eder. Kelvin ölçeğinde bir ölçü birimiyle ifade edilir. Bu, ışık kaynağının belirli bir tipinin tonunu gösterir. Örneğin bir beyaz ışığın "renk sıcaklığı" o beyaz ışığın renk tonunu ifade etmektedir. İnsan gözü, 2700 ve 20.000 K derece arasındaki sıcaklıkları beyaz ışık olarak algılamaktadır. Renk ve Kelvin sıcaklığı arasındaki ilişki bir siyah cisim ışımasındaki değişimler ile elde edilmektedir. Siyah cisim yeteri kadar ısıtıldığında ilk olarak

mat kırmızı ışık yaymaya başlar. Daha fazla ısıtıldığında, sarı sonra beyaz ve nihai olarakta, mavi ışık yaymaktadır. Bu belirtilen ışınım düzeni göz önüne alınarak; yüksek renk sıcaklığı mavi ışık ile düşük renk sıcaklığı ise sarı / kırmızı ışık ile ilişkilendirilmektedir [17].

1.2. Aydınlatma Tekniğinde Fotometrik Büyüklükler

1.2.1. Işık akısı

Bir yüzeye birim zamanda dik olarak düşen ışık miktarına ışık akısı denir. Genel olarak bir ışık kaynağının toplam ışık akısı ise uzayın muhtelif kısımlarına o kaynaktan yayılan kısmi ışık akılarının toplamı olarak tanımlanır. Işık akısı Φ sembolü ile gösterilir ve birimi lümen (lm)'dir. 1 lümen (lm), 1 m yarıçaplı kürenin merkezindeki 1 cd'lik kaynağın, 1 m^2 lik küre yüzeyine dik olarak verdiği akı olarak tanımlanır. Belitilen bu tanım Şekil 1.3'de gösterilmiştir [18].



Şekil 1.3. Işık akısı

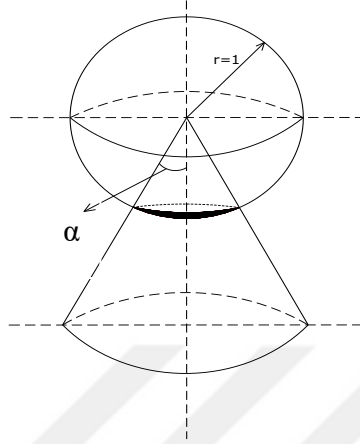
1.2.2. Katı açı

Katı açı, noktasal ışık kaynağı merkez olmak üzere yarıçapı $r = 1 \text{ m}$ olan bir küre göz önüne alarak koninin küre yüzeyinde ayırdığı yüzey parçasının alanını hesap etmek suretiyle ölçülür. Katı açı Ω sembolü ile gösterilir. Eğer bu yüzeyin alanı 1 m^2 ise, bu takdirde bu uzay parçasının katı açısına 1 steradyan (sr) denir. Radyan cinsinden düzlemsel açının birimi dairede yay olarak ölçülmesine karşılık katı açı, birim kürede yüzey olarak ölçülür [18]. Şekil 1.4'te katı açının tanım ifadesi gösterilmiştir. Şekil 1.4 için katı açı, (1.1.3)'teki bağıntıyla ifade edilir.

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

(1.1.3)

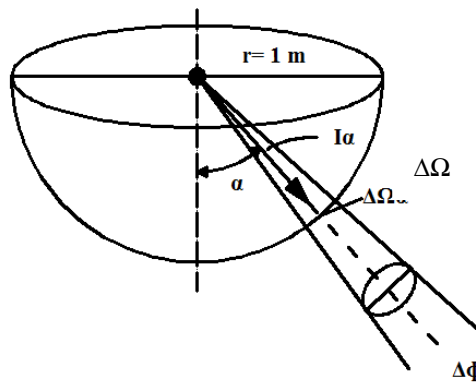
Bu bağıntıda S yüzey alanı r ise yarıçapı ifade etmektedir.



Şekil 1.4. Katı açının tanımı [18]

1.2.3. Işık şiddeti

Işık şiddeti, noktasal bir ışık kaynağının belirli bir doğrultuda birim uzay açısı içinde verdiği ışık akısı miktarı olarak tanımlanır. Işık şiddeti I harfiyle gösterilir ve birimi kandela'dır. Bir [19].



Şekil 1.5. Noktasal bir ışık kaynağında ışık şiddetinin ifadesi [19]

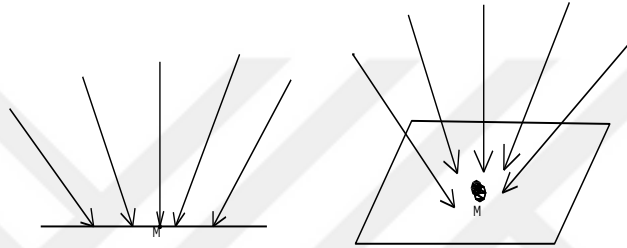
Noktasal bir ışık kaynağında herhangi bir α doğrultusundaki ışık şiddeti bu doğrultuyu içine alan bir $\Delta\Omega$ uzay açısından çıkan $\Delta\Phi$ ışık akısının $\Delta\Omega$ uzay açısına bölümü ile tanımlanır. Bu tanımın ifadesi Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Eğer ortam soğurumu yoksa ortalama ışık şiddeti

$(\Delta\Phi / \Delta\Omega)$ ' ya eşit olur. $\Delta\Omega$ sifira yaklaşırken, bu ortalama ışık şiddetinin limiti de anlık ışık şiddeti olarak tanımlanır [18]. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$I_{\alpha} = \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta\Omega} = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (1.1.4)$$

1.2.4. Aydınlık düzeyi

Aydınlık düzeyi E harfi ile gösterilir. Birimi lüks (lx)' tür. Aydınlık düzeyi, bir yüzeyin birim alanına düşen ışık akısı miktarıdır.



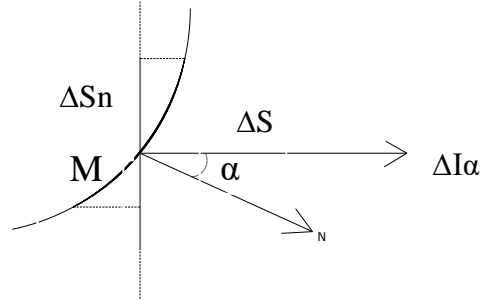
Şekil 1.6. Aydınlık düzeyinin tanımı [18]

Şekil 1.6'da bir yüzeyin bir M noktasındaki ortalama aydınlık düzeyi ifadesi gösterilmiştir. Burada M noktasının aydınlık düzeyi bu noktaya düşen $\Delta\Phi$ ışık akısının, Δs yüzeyine bölümü şeklinde ifade edilir. Δs yüzeyi sifira yaklaşırken, $(\Delta\Phi/\Delta s)$ oranının limiti bu noktadaki aydınlık düzeyini verir [18]. Yani;

$$E = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta s} = \frac{d\phi}{ds} \quad (1.1.5)$$

1.2.5. Parıltı

Bir yüzeyin M noktasının parıltısı, bu noktayı içine alan Δs yüzey elamanının bu doğrultuda oluşturduğu ΔI_{α} ışık şiddetinin, ΔS_n görünen alanına oranının limitidir.



Şekil 1.7. M noktasının α doğrultusundaki parıltısının tanımı [19]

Işık yayan bir yüzeyin bir M noktasının bu yüzeyin normali ile α açısı yapan doğrultudaki parıltısı Şekil 1.7’de gösterilmiştir. Parıltı L harfi ile gösterilir. Birimi cd/m^2 olarak ifade edilir.

Yukarıdaki tanımı bir eşitlik olarak;

$$L_{\alpha} = \lim_{\Delta S_n \rightarrow 0} \frac{\Delta I_{\alpha}}{\Delta S_n} = \frac{dI_{\alpha}}{dS_n} \quad (1.1.6)$$

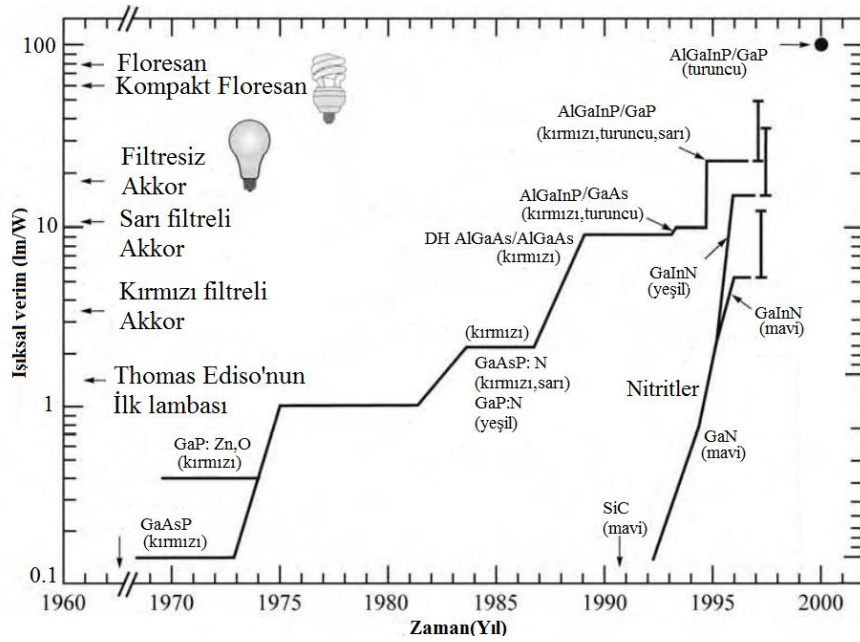
şeklinde ifade edebiliriz. Yüzeyin her noktasında parıltı aynı ise (1.1.7)’deki gibi ifade edilir [19].

$$L_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{S_n} \quad (1.1.7)$$

1.3. LED Işık Kaynaklarının Tarihsel Gelişimi

Henry J. Round, 1907 yılında bir yarı-iletken malzemedен ışık yayılması hakkında bilinen ilk çalışmayı yapmıştır. Round deneylerinde elektriksel uyarma sonucu Silisyum karbür (SiC) kristal yapıdaki yarı iletken malzemenin sarı ışık yaydığını gözlemlemiştir. İlk LED patentini ise Rus radyo teknisyeni Oleg Vladimiroviç Losev 1929 yılında almıştır. 1962 yılına gelindiğinde General Elektrik danışmanlarından Nick Holonyak ve S.F. Bevacqua , ilk kırmızı ışık yayan (GaAsP) LED patenti almışlardır [20]. 1972’de Holonyak’ın eski lisansüstü öğrencisi, M. George Craford, ilk sarı LED’i icat etmekle birlikte kırmızı ve kırmızı-turuncu LED’lerin parlaklığını on kat geliştirmiştir [21]. 1976 ‘da T.P Pearsall optik telekomünikasyon

uygulamaları için ilk yüksek parlaklıklı , yüksek verimli LED'i keşfetmiştir. Güç LED'indeki devrim ise 1991 yılında Shuji Nakamura tarafından yüksek parlaklı mavi Galyum Nitrat (GaN) LED'in icadıyla başlamıştır. Şekil 1.8'de LED'lerin geleneksel ışık kaynaklarına kıyasla gelişimi gösterilmiştir. Thomas Edison'un ilk bulduğu ampül Watt başına 1.4 lümenlik ışık akısı verirken bu geliştirilerek 14 lm/W'a yükseltilmiştir. Buradan LED'lerin performansının akkor lambalar ve kompakt floresan lambalardan yüksek olduğu görülmektedir [10]. O zamandan bu yana bu alandaki çalışmalar hızla devam etmiştir.



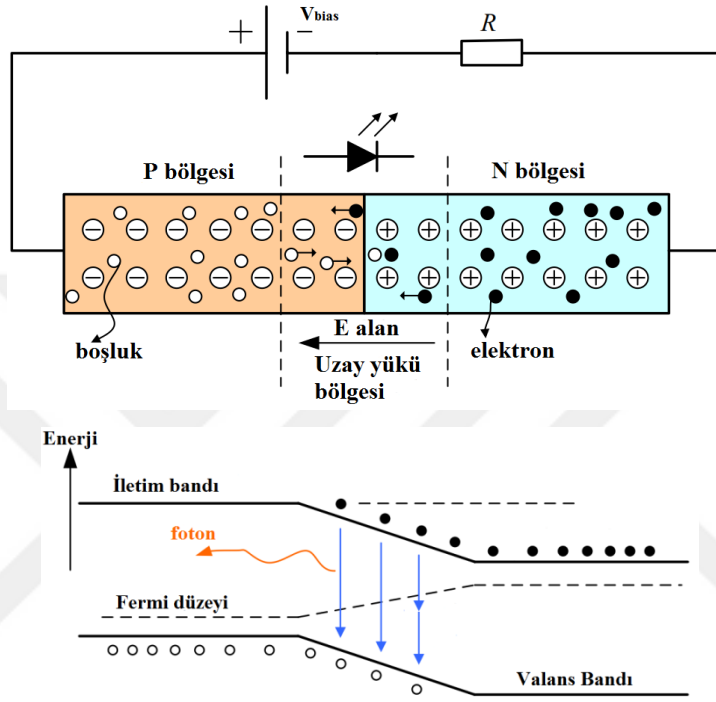
Şekil 1.8. LED'ler ve diğer ışık kaynaklarının zamanla gelişimleri [22]

1968 yılında, zorlukla 0.001 lm kırmızı ışık yayan ilk ticari LED (Işık Yayan Diyot) üretimi gerçekleştirilirken, günümüzde 200 lm'den fazla ışık yayan yüksek parlaklığa sahip beyaz LED'ler, ticari olarak bulunabilmektedir. Son zamanlarda, bir çip üzerinde birkaç LED jonksiyonu birleştirilmesiyle 1000 lm üzerinde ışık yayabilen LED yapıları elde edilebilmektedir [20].

1.4. LED'lerin Yapısı ve Çalışması

LED'ler elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştürebilen yarı iletken elemanlardır. Bir LED'in ana fonksiyonel bölümünü yarı iletken yapı oluşturmaktadır. LED'ler bir diyotta olduğu gibi akım akışının tek yönde gerçekleşmesine izin verirler. LED yapısı p-tipi bir yarıiletken malzeme ile n-tipi bir yarıiletken malzemenin yan yana getirilerek birleştirilmesiyle oluşur

[20]. Farklı katkılı materyallerden p tipi yarı iletkenin çoğunluk taşıyıcıları boşluklar ve azınlık taşıyıcıları elektronlar iken n tipi yarı iletkenlerde bu durum tam tersidir. Eğer Şekil 1.9’ daki gibi n-tipi yarı iletken güç kaynağının negatif tarafına, p-tipi yarıiletken ise güç kaynağının pozitif tarafına bağlanarak ileri yönde biaslanırsa pozitif taraftan negatif tarafa doğru elektrik akımı akar.



Şekil 1.9. LED’in p-n jonksiyonunu ileri yönde biaslamasının etkileri [23]

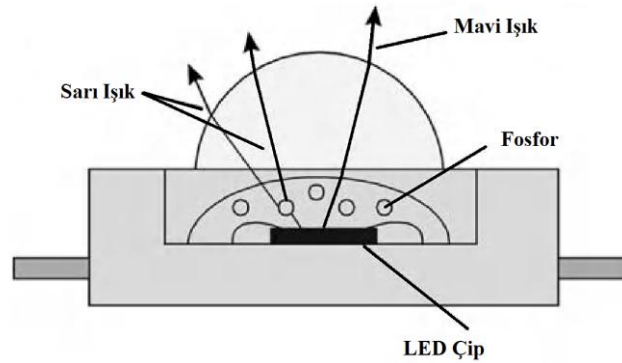
Bu sırada yayımlanan elektronlar uzay yükü bölgesinde bir boşluk ile karşılaştığında işgal ettiği yüksek enerjili iletim bandında düşük enerjili valans bandına düşer ve foton salınımı oluşturur. Buna ışınım birleşimi denir. Bu temel olarak LED’in ışık yayma prensibidir. Eğer ters biaslama yapılırsa diyotlarda olduğu gibi uzay yükü bölgesi genişleyecek ve çoğunluk taşıyıcıların aşamayacakları kadar büyük bir engel oluşturacaktır. Çoğunluk taşıyıcısı akımı etkin olarak sıfıra inecektir. Ancak azınlık taşıyıcılarından dolayı p-n jonksiyonları arasında bir ters doyma akımı akacaktır. Ters bias gerilimi artırıldığında kritik bir değer vardır bu bölgeye zener bölgesi denir. Bu süreçte yapı tersinir olup aşırı akıma izin verildiğinde yarı iletken yapı bozulur [23].

1.5. LED’lerde Beyaz Işık Üretimi

Günümüzde LED’lerde beyaz ışık üretimi için kullanılan üç yöntem vardır. Bunlardan ilki bir diyodun yaydığı kısa dalga boylu λ_1 ile bir fosforun yaydığı uzun dalga boylu λ_2 ’yi birleştirme işlemidir. İkincisi Ultraviyole yayan diyot çifti ile fosfor kullanılarak. Üçüncüsü farklı görünür dalga boyunda üç farklı diyot (en az) kullanarak gerçekleştirilir [20].

1.5.1. Mavi ışık çipi ve sarı fosfor ile beyaz ışık üretimi

İlk yöntem, tamamlayıcı dalga boylarında iki fotonun insan gözüne aynı anda geldiğinde beyaz bir ışık algılama prensibine dayanır. Bu yapıda kısa dalga boyu üreten bir diyot kullanılarak fosfor ile kaplı olan tabaka sayesinde kısa dalga boylu fotonlar emilerek uzun dalga boyuna dönüştürülmektedir [20]. Şekil 1.10’da mavi ışık çipi ve sarı fosfor ile beyaz ışık üreten yapının şematiği gösterilmiştir [24].

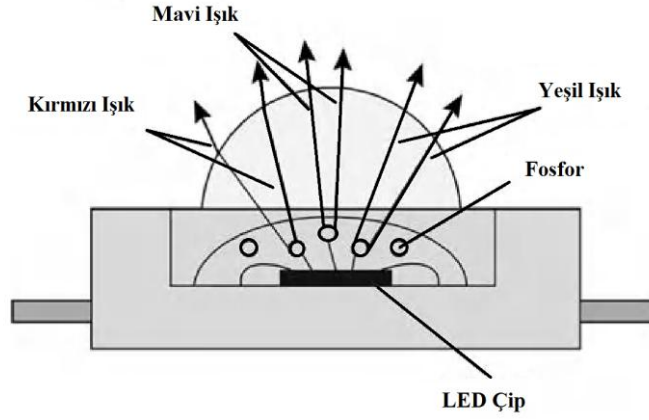


Şekil 1.10. Mavi ışık çipi ve sarı fosfor ile beyaz ışık üreten yapının şematiği [24]

1.5.2. Ultraviyole ışık çipi ve RGB fosfor ile beyaz ışık üretimi

İkinci yöntemde, morötesi (UV) bölgede ışık yayan bir diyodun ışınları (Ultraviyoleye yakın) ile fosfor tabaka uyarılarak Ultraviyole ışık görünür ışığa dönüştürülür. Şekil 1.11’de Ultraviyole ışık çipi ve RGB fosfor ile beyaz ışık üreten yapının şematiği gösterilmiştir. Aynı yöntem, floresan ışık kaynaklarında beyaz ışık üretiminde de kullanılmaktadır. Bu yöntemin temel avantajı çok yüksek kalitede beyaz ışık (iyi renk oluşturma) üretimidir [20]. Ancak şu anda bu yöntemdeki en büyük sorun ise Ultraviyole ışığın dönüşüm verimliliğinin yüksek

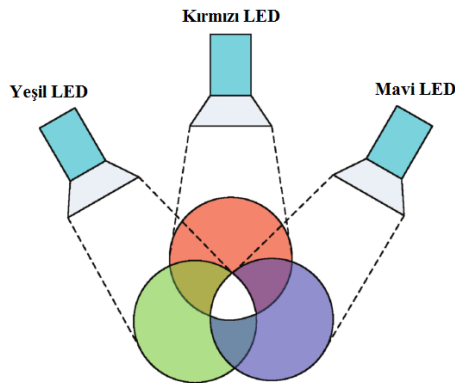
olmamasıdır. Bu nedenle bu yöntemde LED'in enerji tasarrufu avantajını göstermesi mümkün olamamaktadır [24].



Şekil 1.11. Ultraviyole ışık çip ve RGB fosfor ile beyaz ışık üreten yapının şematığı [24]

1.5.3. Farklı ışıkları karıştırarak beyaz ışık üretimi

Son olarak ise her biri temel renklerden oluşan üç adet LED'in (kırmızı, yeşil ve mavi) birlikte kullanılmasıyla beyaz ışık üretimidir. Her bir rengin oranına bağlı olan farklı renk sıcaklıklarında beyaz ışık üretimi gerçekleştirilebilir. Günümüzde daha fazla renk çeşitliliği elde etmeyi veya istenilen renk çeşitlerinin daha doğru olmasını sağlamak amacıyla genellikle üç kaynaktan daha fazla kaynak kullanılmaktadır [20]. Şekil 1.12'de farklı ışıkları karıştırarak beyaz ışık üretiminin şeması görülmektedir.

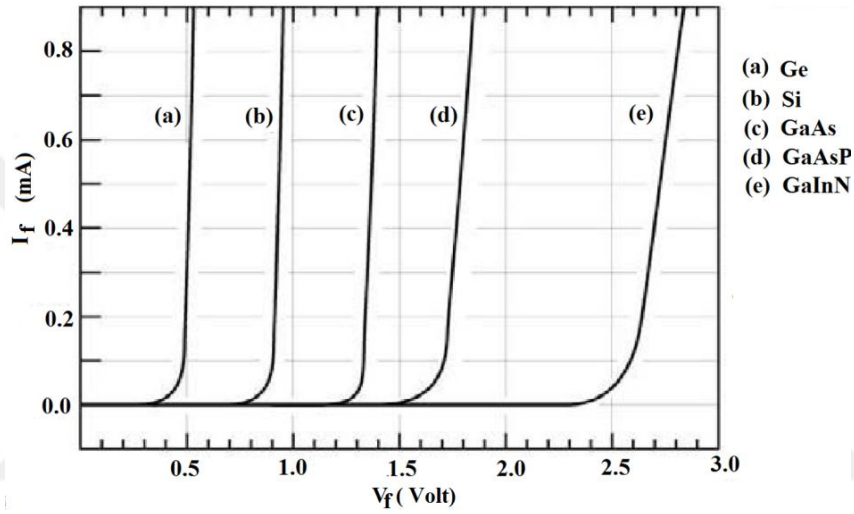


Şekil 1.12. Farklı renkli ışıkların karıştırılmasıyla beyaz ışık üretimi şeması [24]

1.6. LED'lerin Elektriksel ve Optik Karakteristikleri

1.6.1. Akım gerilim karakteristiği

Bir LED'te ışık, farklı katkılı iki yarı iletken malzemeden oluşan jonksiyon kısmından yayılır. Farklı maddelerden elde edilen yarı iletken elemanların çeşitli akım gerilim karakteristikleri mevcuttur. Şekil 1.13'de farklı yarı iletken malzemelere ilişki akım gerilim karakteristikleri verilmiştir.



Şekil 1.13. Farklı yarı iletken malzemelere ilişki akım gerilim karakteristikleri [20]

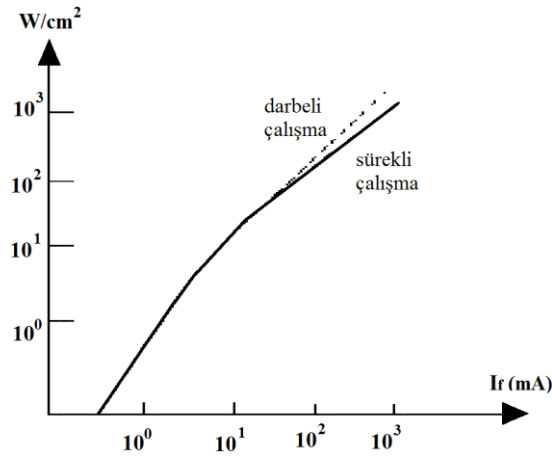
Burada akımla gerilim arasındaki ilişkiyi tanımlamak için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{\eta k T}} - 1 \right) \quad (1.1.8)$$

Bu bağıntıda; I_0 diyotun ters doyma akımını, k Boltzmann sabitini, η idealite faktörünü, V diyota uygulanan bias gerilimini, Q ise elektron şarj miktarını ve T_j Kelvin ölçeğinde jonksiyon sıcaklığını göstermektedir [20]. Standart diyotlarda olduğu gibi LED'lerde eşik gerilimin altında çalışmazlar. Eşik değere ulaşıldıktan sonra gerilimdeki küçük bir artışla LED akımında üstel bir artış olduğu denklem (1.1.8)'de gözlemlenmektedir. LED'lerin bu davranışlarından dolayı LED'ler sabit gerilimliden ziyade sabit akımlı LED sürücüyeye ihtiyaç duyarlar [25].

1.6.2. Akım ışık şiddeti karakteristiği

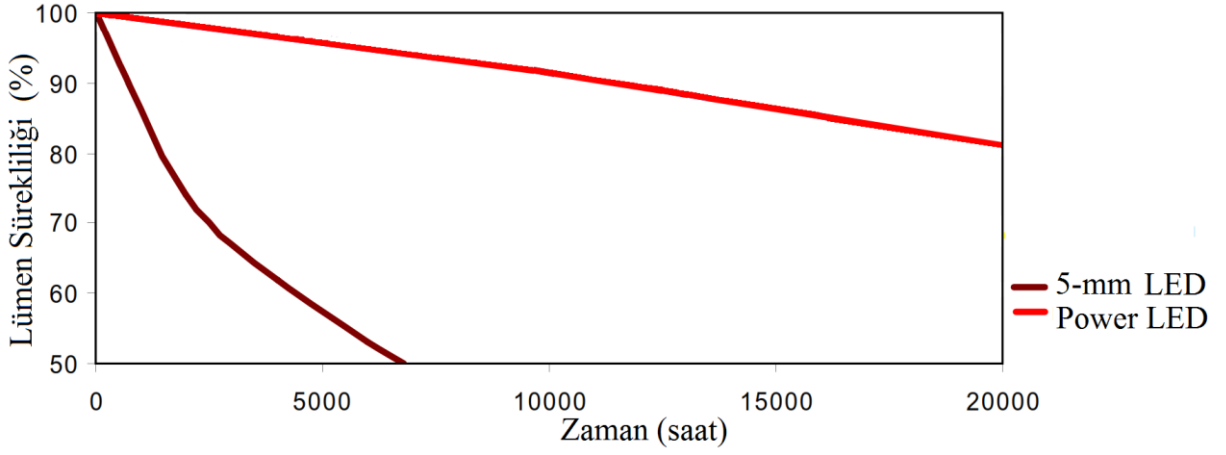
LED'lerin yaydığı ışık şiddeti, içinden geçen akım ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Şekil 1.14'te görüldüğü gibi bu doğrusal artış; akımın belirli bir değerine kadar devam etmektedir. Bu akım değerine eşik akım değeri denilmektedir. Eşik akım değerinden sonra ise eğri yatay eksene doğru bükülmektedir. Eğer diyota verilen akım değeri, eşik akım değerini aşarsa diyot aşırı ısınarak bozulur [26].



Şekil 1.14. LED'in akım ışık şiddeti karakteristiği [26]

1.6.3. Işık şiddeti zaman karakteristiği

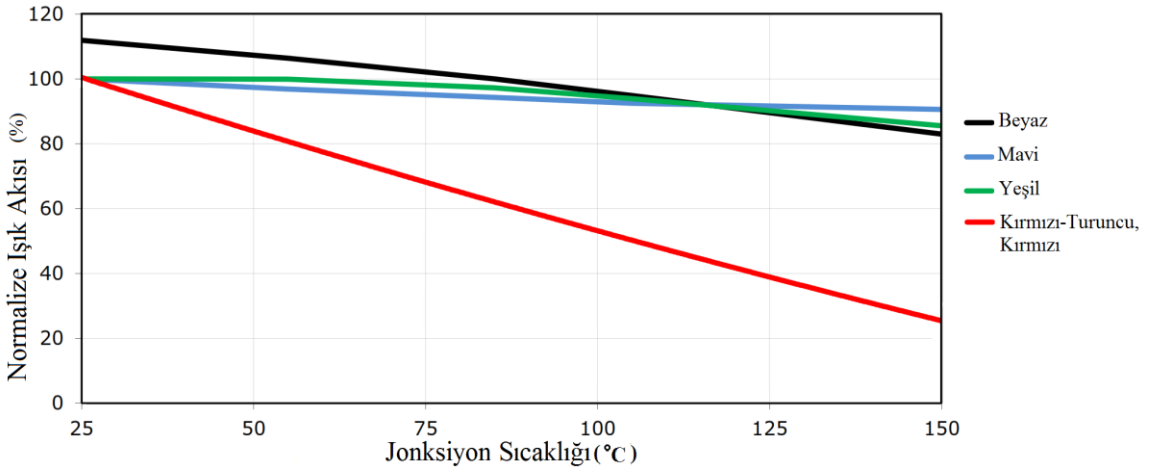
LED'lerin ışıksal verimi lm/W olarak ifade edilir. LED'lerin ilk kullanılmaya başlandığındaki ışıksal verim % 100 olup bu ışıksal verim zamanla orantılı olarak azalmaktadır. LED'lerin ömrü ışıksal verime ve ışık akısına bağlıdır. Buradan yola çıkarak yüksek güçlü LED'lerin ömrünü; ışık şiddetinin % 70'e düşmesine kadarki geçen süre olarak tanımlanabilir ve L70 olarak belirtebiliriz. Bunun nedeni, aydınlatmada bir ışık kaynağının şiddetindeki azalmayı algılayabilmenin sınırının yaklaşık % 70 olmasından kaynaklanmaktadır. Bu tanım düşük LED'lerde ise ışık şiddetinin % 50'ye düşmesine kadarki geçen süre olarak tanımlanarak L50 olarak uygulanmaktadır [27]. Şekil 1.15'te 5 mm LED ve güç LED'lerine ilişkin 20000 saatlik lümen süreklilik eğrisi verilmiştir.



Şekil 1.15. 5 mm LED ve güç LED'ine ilişkin 20000 saatlik lümen süreklilik eğrisi [28]

1.6.4. Sıcaklık ışık şiddeti karakteristiği

Aydınlatma uygulamalarında LED'in jonksiyon sıcaklığı ile ışık akısı (lm) ve ışıksal etkinliği (lm/W) arasında yakın bir ilişki vardır. Bundan dolayı Şekil 1.16'da olduğu gibi LED'in jonksiyon sıcaklığındaki artış LED'den çıkan normalize ışık akısında azalmaya neden olmaktadır [27].



Şekil 1.16. LED'lerde jonksiyon sıcaklığı normalize ışık akısı karakteristiği [29]

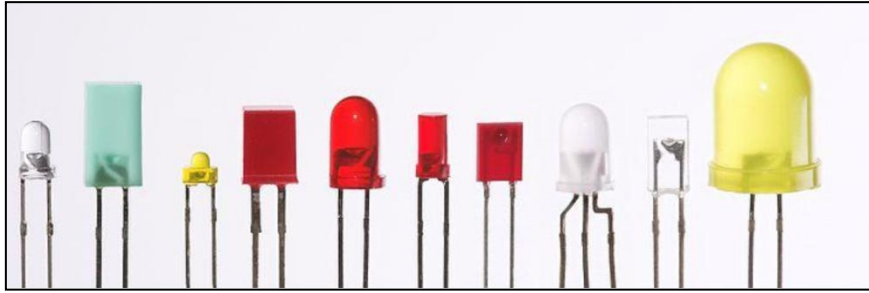
LED ışık kaynakları diğer ışık kaynaklarıyla kıyaslandığında son derece uzun çalışma ömrüne sahiptir. Ancak LED ışık kaynaklarında ısı etkisi LED'in lümen sürekliliğini, diğer bir ifadeyle LED'in ömrünü olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu nedenle LED ışık kaynaklarında termal tasarım çalışma ömrünün belirlenmesinde önemli bir faktördür [30].

1.7. LED Tipleri

LED'ler ilk kullanılmaya başlandıkları dönemlerde düşük parlaklıklarından dolayı genellikle göstergelerde kullanılmışlardır. Bu tip LED'lerin gücü genellikle 0.1 W'tan küçük olup düşük güçlü LED olarak isimlendirilmişlerdir. Mavi LED'lerin ortaya çıkması, özellikle mavi LED paketi ile sarı fosforun uyarılarak beyaz ışık üretiminin keşfiyle LED paketlerinin boyutları büyümüştür. Bunun yanında sürücü akımı ve LED'lerin parlaklıkları da artmıştır. Bu giriş akımının genellikle 100 mA'den fazla olduğu yüksek güçlü LED'lerin gelişimine imkan sağlamıştır [24]. LED'leri elektriksel güçlerine bağlı olarak düşük, orta ve yüksek güçlü olmak üzere üç ana gruba ayırabiliriz [31].

1.7.1. Düşük güçlü LED'ler

LED'in gücü 1W'ın altında olması durumunda düşük güçlü LED grubuna girer. Bu LED'lerin boyutları çok küçük olup birkaç milimetre çapındadır ve yapısı tek bir yarı iletken oluşur. Bu LED'ler küçük yapılarından dolayı aydınlatma uygulamaları için uygun değildir. Akımları genellikle 1 ile 20 mA değerleri arasındadır [32]. Şekil 1.17'de farklı şekillerde düşük güçlü LED'ler görülmektedir.



Şekil 1.17. Farklı şekillerde düşük güçlü LED'ler [33]

1.7.2. Orta güçlü LED'ler

LED'in gücü 1 ile 3 W arasında ise orta güçlü LED grubuna girer. Akımları genellikle 30 mA / 75 mA / 100 mA / 150 mA seviyelerindedir. Bu LED'ler genellikle yüksek parlaklık düzeyinin arzu edilmediği özel yerlerde kullanılırlar. Bunlara örnek olarak LED ışık panelleri, acil aydınlatma armatürleri ve otomobil sinyal lambaları verilebilir [31]

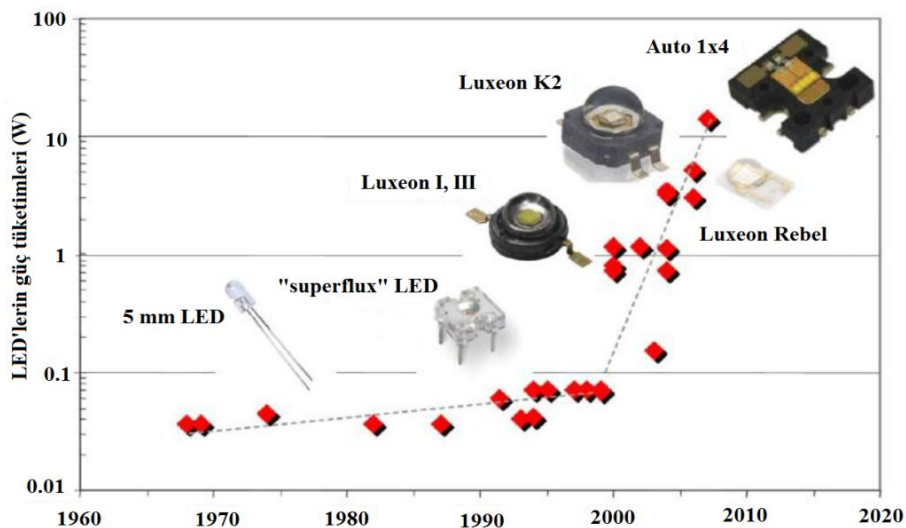
1.7.3. Yüksek güçlü LED'ler

LED gücünün 3W'tan fazla olması durumunda yüksek güçlü LED grubuna girer. Yüksek güçlü LED'lerde akım genellikle 350 mA/700 mA/ 1000mA seviyelerindedir. Ancak LED yapısında kullanılan yarıiletken malzeme yapısına bağlı olarak 100mA ile 1000mA akım değerleri arasında kullanılabilirler [32].

Yüksek ve orta güç seviyelerindeki güç LED'leri hızlı gelişen teknolojisi sayesinde aydınlatma uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek parlaklıklı mavi LED'in keşfiyle birlikte güç LED'lerinin gelişimi hızlanmıştır. Günümüzde, yüksek parlaklık ve güç seviyelerine sahip güç LED'leri temin edilebilmektedir.

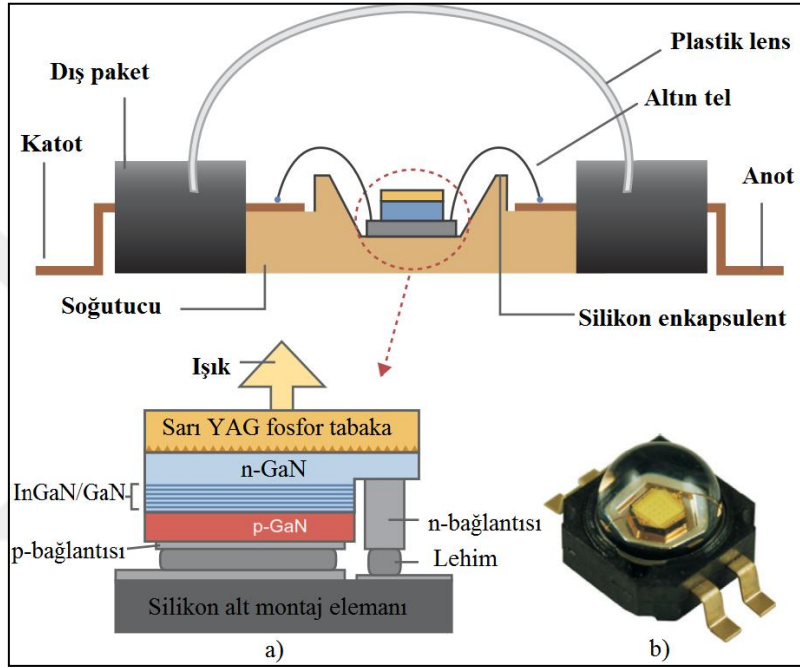
1.8. Güç LED'leri

Son yıllardaki LED üretim teknolojisindeki gelişmeler özellikle güç LED'lerinin ışık kalitesinin artmasını sağlamıştır. Güç LED'ler, geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre hem enerji verimliliği bakımından hem de Watt başına verdikleri ışık akıları bakımından üstündür. Tipik bir güç LED'i 1W ile 10W rasındanda güç tüketir [34]. Sürme akımı ise genellikle 350 mA/700 mA/ 1000mA seviyelerindedir. Şekil 1.18'de LED'lerin güç tüketiminin yıllara göre değişimi verilmiştir. Güç LED'in keşfiyle birlikte LED'lerin güç seviyesi önemli bir şekilde artış göstermiştir.



Şekil 1.18. LED'lerin güç tüketiminin yıllara göre değişimi [35]

LED ışık kaynakları uzun ömürlülük, yüksek dayanıklılık, düşük enerji tüketimi gibi avantajlarının yanı sıra renk üretim kabiliyetleri bu kaynakları eşsiz kılar. LED ışık kaynakları milyonlarca çeşit renk üretebilmesiyle birlikte çeşitli renk sıcaklıklarında beyaz ışık üretilmesini sağlar. Ayrıca LED’lerde karartma işlemi basit bir anahtarlamalı güç kaynağıyla yapılabilmektedir . Güç LED’lerinin bu avantajlarından dolayı uygulama alanları her geçen gün artmaktadır. Şekil 1.19 a’da bir güç LED’in bileşenleri ve iç yapısı Şekil 1.19 b’de ise bir güç LED gösterilmiştir.



Şekil 1.19. Güç LED'in a) bileşenleri b) iç yapısı [36]

1.8.1. Aydınlatma uygulamalarında güç LED'in avantajları

Aydınlatma uygulamalarında güç LED kullanımının bir çok avantajı vardır. Bunlar aşağıda verilmiştir;

Işık verimliliği : Günümüzde LED’lerde ışık verimliliği değeri 200 lm/W’ı aşmıştır. LED’ler genelsel aydınlatma kaynaklarından daha yüksek ışık verimliliklerine sahiptirler. Çizelge 1.1’de LED ve diğer ışık kaynaklarının ışık verimliliği ve güç verimliliği değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. LED ve diğer ışık kaynaklarının karşılaştırılması [37]

Işık Kaynağı	Işık Verimliliği (lm/W)	Güç Verimliliği (%)
Tungsten lamba	12.6–17.5	1.9–2.6
Floresan lamba	45–60	6.6–8.5
Halojen lamba	16–25	2.3–3.6
Xenon ark lamba	50–55	7.3–8
Ultra yüksek performanslı lamba	58–65	7.5–9
Güç LED	80–200	10

Ömür: LED’lerin ömürleri oldukça uzundur. LED’lerin kullanım ömürleri 50.000 ile 100.000 saat arasında değişmektedir. Bir akkor lambanın kullanım ömrü 750 saat ile 2.000 saat arasında, floresan lambanın ömrüsü ise 8.000 saat ile 10.000 saat arasında değişmektedir. Çizelge 1.2’de LED ve diğer ışık kaynaklarının kullanım ömürleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. LED ve diğer ışık kaynaklarının ömürleri [38]

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	50.000 –100.000

Yönlü ışık yayabilme: Geleneksel ışık kaynakları ışık enerjisini her yönde yayarlar. Birçok uygulamada bu, lamba tarafından üretilen ışığın bir kısmının boşa harcanmasına neden olur. Bu yüzden ışık enerjisinin istenilen yönde çıkışını sağlamak için genellikle bir optik sistem gereklidir. Ancak bu durumda ise ışık kayıpları oluşmaktadır. LED’ler düz bir yüzeye monte edildiklerinden küresel değil de daha fazla yarım küre şeklinde ışık yayarlar. Buda tüm aydınlatma uygulamalarında ışık kaybını azaltır [39].

Açma kapama zamanı: LED’ler açıldıklarında, neredeyse anında tam parlaklığa ulaşırlar. Ancak geleneksel ışık kaynakları açıldıktan hemen sonra tam parlaklık verememektedirler.

Geleneksel aydınlatma kaynaklarında bu süre dakikalarla ifade edilirken LED'lerde mikro saniyelerle ifade edilir [40].

Karartma (Dimming) : LED'lerin parlaklığı, darbe genişlik modülasyonu (PWM) veya LED ileri yön akımının ayarlanmasıyla değiştirilmektedir. Geleneksel verimli aydınlatma kaynaklarında (floresan ve HDI) karartma işleminin uygulanmasına birçok zorluklar mevcuttur. Ancak LED'lerde karartma işlemi kolay bir şekilde gerçekleştirilir. LED'lerde karartma işlemi gerçekleştirilirken parlaklığı ayarlamanın yanı sıra renk sıcaklığını ayarlama işlemide yapılır. Bu şekilde hem aydınlatma kontrolü hem de gerçek görüntü renkleri ortaya çıkarılmış olur [39, 41].

Soğuk ışık: LED aydınlatma uygulamalarında UV ve IR bölgede ışınım çok azdır. Geleneksel aydınlatma kaynaklarında ise IR ve UV bölgede ışınım ya ışık üretmek için gereklidir ya da kaçınılmaz bir bileşendir. Bu zararlı IR ışınımı insan cildi ve gözde yanıklara neden olurken, UV ışınımı ise sanat eserleri ve kumaşlara zarar verirler [40].

Renk: LED'ler yarı iletken malzeme yapısı ve gerilim düşümüne göre milyonlarca çeşit renk üretir. Bunun yanında geleneksel aydınlatma kaynaklarında olduğu gibi herhangi bir filtreye de ihtiyaç duymazlar.

Boyut: LED'ler küçük boyutlu olduklarından dolayı, geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre yenilikçi, düşük profilli, kompakt aydınlatma tasarımına imkân sağlamaktadır [27].

Darbelere karşı dayanım: LED'lerin filaman ve cam muhafazaları olmadıkları için şok ve titreşimlere karşı dayanıklıdırlar. Geleneksel aydınlatma kaynakları şok ve titreşimlerden etkilenirler. Bunun sonucu olarakta cam muhafaza veya flaman kırılabilir.

Çevreci ve sağlıklı ışık kaynağı: Floresan lambalar, cıva buharlı lambalar ve kompakt floresan lambalar cıva ve fosfor gibi zararlı ağır metaller içerir. Bu ağır metallerin insan sağlığı ve çevre üzerinde bir çok zararlı etkisi vardır. Bu lambaların kırılması durumunda, bu ağır metaller çevreye yayılır. Çevreye yayılan cıva doğada hiçbir zaman kaybolmaz. Ayrıca cıva buharına maruz kalan kişilerde ise merkezi sinir sistemi zarar görebilmektedir. Solunum yoluyla bu ağır metalleri ciğerlerine alan kişilerde kanser riski daha yüksektir. LED

aydınlatma sistemleri herhangi bir ağır metal veya zararlı bir madde içermediklerinden dolayı sağlıklı ve çevreci bir aydınlatma kaynağıdır [42].

1.8.2. Aydınlatma uygulamalarında güç LED'lerinin dezavantajları

Aydınlatma uygulamalarında güç LED kullanımının bazı dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

Yüksek kurulum maliyeti: LED aydınlatma kaynaklarında ilk kurulum maliyeti geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre daha yüksektir. Bunun sebebi LED aydınlatma kaynaklarının sürücü devre ve güç kaynağı ihtiyacı mevcuttur. Ancak LED aydınlatma kaynaklarının enerji tüketimi ve uzun kullanım ömrü göz önüne alındığında toplam maliyet bazında daha avantajlı olduğu görülmektedir [43].

Gerilim hassasiyeti: LED'ler eşik gerilim üzerinde ve eşik akım değerinin altında güç kaynaklarıyla beslenmelidir. Bu seri dirençler veya akım-regüleli güç kaynaklarıyla gerçekleştirilmektedir [43].

Sıcaklığa bağımlılık: LED'lerde çalışma ortamı sıcaklığı veya jonksiyon sıcaklığının artmasına bağlı olarak LED'lerin parlaklık ve ömrü azalır. Düşük ışık verimliliğine (< % 20) sahip LED'lerde daha fazla giriş gücü dönüşümü olacağından üretilen fazla ısıdan dolayıda jonksiyon sıcaklığı daha fazla artar [44]. Bu nedenle LED aydınlatma teknolojisinde termal tasarım son derece önemlidir.

1.8.3. Güç LED'lerinin kullanım alanları

Gelişen LED teknolojisiyle birlikte yüksek güç seviyelerinde güç LED'leri kullanılmaya başlanmıştır. Güç LED'leri sağladığı bir çok avantajdan dolayı diğer aydınlatma teknolojilerine kıyasla yaygın şekilde kullanılır. Bu nedenle günümüzde güç LED'leri evlerden laboratuvarlara, sanayiden askeri alana, dekoratif aydınlatmadan sokak aydınlatmasına kadar hem iç mekan ve hemde dış mekan aydınlatmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çizelge 1.3'te güç LED'in kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 1.3. Güç LED'in kullanım alanları [45]

Genel Aydınlatma Uygulamaları	Otomotiv Sektöründe
<ul style="list-style-type: none">• Sokak aydınlatmaları• Mülkiyet aydınlatmaları• Güvenlik aydınlatmaları• Dekoratif aydınlatmalar• Kanal aydınlatmaları• Spot aydınlatmalar• Duvar boyama aydınlatmaları• Renk karıştırma aydınlatmaları	<ul style="list-style-type: none">• Motorlu taşıt dış aydınlatmalarında• Acil araç aydınlatmalarında• Motorlu taşıt iç aydınlatmalarında• Motosiklet kuyruk ve fren lambalarında• Kamyon aydınlatmalarında
Portatif aydınlatma uygulamalarında	Elektronik ürünler ve Arka plan Aydınlatma uygulamalarında
<ul style="list-style-type: none">• Cep meşaleleri (Yüksek güç türleri de dahil olmak üzere)• Bisiklet farları ve arka lambaları• Tıbbi LED farlar	<ul style="list-style-type: none">• Tıbbi malzemelerde• Havacılık ve savunma sanayinde• LCD televizyon ve monitörlerde• Dizüstü ve netbook bilgisayar, vb• Taşınabilir cihazlar ve PDA'lar• Dijital fotoğraf makineleri ve video kameralarda• Klavyeler• Tam renkli ekranlar• Projektörler

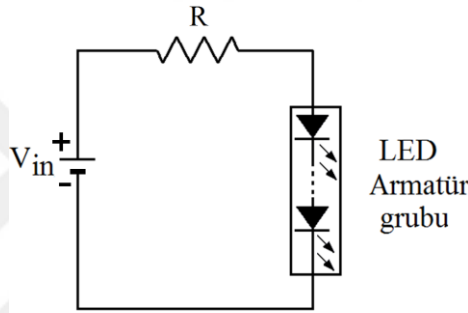
1.9. Güç LED Sürücü Devreleri

Güç LED sürme işlemi, bir sabit gerilim kaynaklarında aktif veya pasif akım kontrolü yapılarak gerçekleştirilir. Pasif akım kontrol yönteminde güç LED'lerini sürmek için direnç kullanılır. Aktif akım kontrol yönteminde ise DC DC dönüştürücü kullanılarak istenilen gerilim seviyesinde sabit akımlı sürücü devre tasarımı gerçekleştirilir [10]. Kullanım alanlarına göre güç LED sürme devreleri pasif akım kontrol yönteminde temel yapılar olan dirençli ve gerilim regülatörlü yapılar kullanılmaktadır. Aktif akım kontrol yöntemlerinde ise buck tipi, boost tipi, buck-boost tipi ve Flyback tipi anahtarlama dönüştürücü yapılar kullanılmaktadır.

1.9.1. Pasif Akım Kontrol Yöntemleri

1.9.1.1. Dirençle yapılan LED sürücü

LED'ler ışık yaymak için bir sabit akıma ihtiyaç duyarlar. Direnç kullanarak gerçekleştirilen basit sürücü yapısı Şekil 1.20'de gösterilmiştir. Bu yapıda akımı sınırlamak için direnç kullanılmıştır. Devreye ilk enerji uygulandığında LED'lerden sabit bir akım geçer. Ancak zaman geçtikçe LED'ler ısınmaya başlayacağından LED'lerin ileri yön gerilimi düşer. Bu yüzden LED'lerin üzerinden geçen akım artar. Dirençle yapılan sürücü devrede LED'ler bir süre sonra bozulabilir.



Şekil 1.20. Dirençle yapılan LED sürücü yapısı

Basit sürücü yapısında LED akımı,

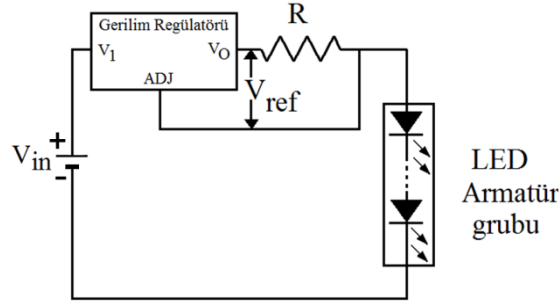
$$I = \frac{V_{in} - V_f \cdot n}{R} \quad (1.1.9)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada I, LED üzerinden geçen akımı, V_{in}, devreye uygulanan gerilim değerini, V_f, LED'in ileri yön gerilimini, n ise LED sayısını göstermektedir.

1.9.1.2. Gerilim regülatörü ile yapılan LED sürücü

Gerilim regülatörlü LED sürücü devre yapısı dirençli yapıya göre daha güvenli akım sınırlaması gerçekleştirir. Gerilim regülatörü ile gerçekleştirilen sürücü yapısı Şekil 1.21'de gösterilmiştir. Bu sürücü yapısında gerilim regülatörünün çıkışına bağlanan direnç yardımıyla

akım değeri sabit olmakta ve LED'ler ısınsa bile LED akımı değişmemektedir. Ancak bu sürücü yapısında gerilim regülâtörünün aşırı ısınmasından dolayı kayıp fazla olmaktadır.



Şekil 1.21. Gerilim regülâtörü ile yapılan LED sürücü

Gerilim regülâtörü ile yapılan LED sürücü yapısında LED akımı,

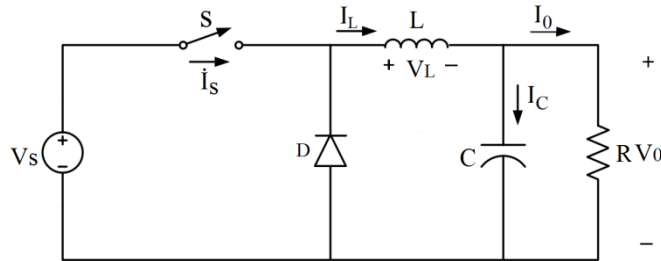
$$I_o = \frac{V_{REF}}{R} \quad (1.1.10)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

1.9.2. Aktif akım kontrol yöntemleri

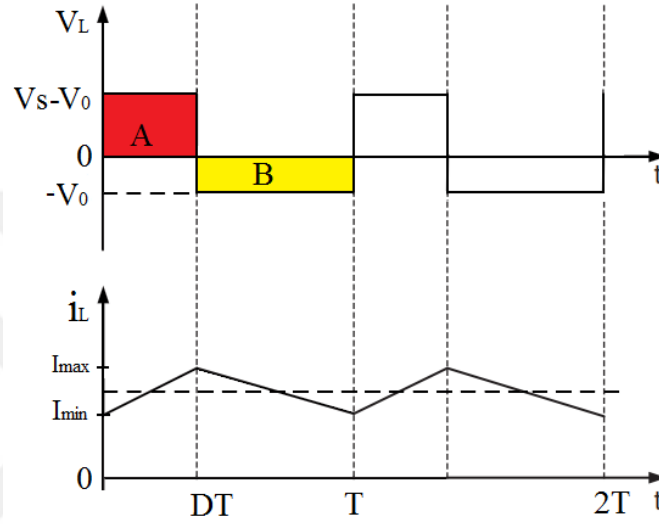
1.9.2.1. Buck dönüştürücü

Buck dönüştürücü yapısı, giriş geriliminden daha düşük seviyede bir ortalama çıkış gerilimi verir. Şekil 1.22'de buck dönüştürücü yapısı görülmektedir. Bu yapıda indüktans akımının sürekli aktığı sürekli akımdaki çalışma durumu incelenecektir.



Şekil 1.22. Buck dönüştürücü devre yapısı

S anahtarı bir yarı iletken anahtarlama elemanıdır. İlk olarak S anahtarının iletimde olduğu durumu ele alırsak; anahtarın iletimde kaldığı t_{on} süresi boyunca , endüktanstan akım akar ve diyot ters polarlanır. Bunun sonucu endüktans üzerinde $V_s - V_0$ gerilimi oluşur. Endüktans akımı ise doğrusal olarak artar. Anahtar kesime girdiğinde ise endüktansta biriken enerji diyot üzerinden akmaya devam eder. Bu durumda endüktans üzerinde gerilim $V_L = -V_0$ olur [46, 47]. Şekil 1.23’de endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri verilmiştir.



Şekil 1.23. Buck dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri [48]

Sürekli çalışma durumunda bir periyot boyunca endüktans üzerindeki ortalama gerilim sıfır olmak zorundadır. Yani Şekil 1.24’teki A ve B alanları birbirine eşittir. Buradan aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$(V_s - V_0)DT = V_0(T - DT) \quad (1.1.11)$$

$$\frac{V_0}{V_s} = D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.1.12)$$

Bu eşitlikten anlaşılacağı üzere, çıkış gerilimi anahtarın çalışma oranıyla (t_{on} süresi) doğrusal olarak değişmektedir [47]. Ayrıca çıkış gerilimi daima girişten küçük olmaktadır.

Şekil 1.23'deki endüktans akımının dalga biçiminden sürekli ve süreksiz durum çalışmanın sınırları, I_L 'nin tam sıfır olduğu anın periyot sonuna gelmesi hali şeklinde olur. Bu durumda B indisi sınırı belirtmek üzere endüktans akımı aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

$$I_{LB} = \frac{1}{2} I_{\max} = \frac{t_{\text{on}}}{2L} (V_s - V_0) = \frac{DT}{2L} (V_s - V_0) \quad (1.1.13)$$

Bu eşitlikte $V_0 = DV_s$ olduğundan sürekli akım iletimin sınırlarında endüktans akımı ise (1.1.14)'deki bağıntı ile bulunur.

$$I_{LB} = \frac{TV_s}{2L} D(1-D) \quad (1.1.14)$$

Sürekli akım durumunu sağlayan sınır yük akımının en büyük değeri $D=0.5$ değerinde oluşmaktadır. Bu durumda değer (1.1.15)'teki bağıntıda verilmektedir.

$$I_{LB,\max} = \frac{TV_s}{8L} \quad (1.1.15)$$

Buradan, endüktans akımının $I_{LB, \max}$ akım değerinden büyük olması dönüştürücünün sürekli iletim modunda, küçük olması durumu ise dönüştürücünün süreksiz iletim modunda çalışması anlamına gelir [47].

Şekil 1.24'te çıkış geriliminde meydana gelen dalgalanma ve kondansatör akım dalga şekli verilmiştir. Burada ΔQ 'luk ek yüklemeyi gösteren alan verilmiştir. Bu durumda iki tepe değer arası gerilim dalgalanmasından ΔV_0 ;

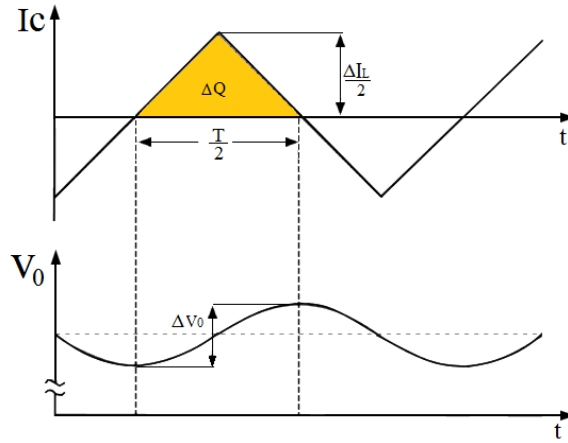
$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{\Delta I_L}{2} \frac{T}{2} \quad (1.1.16)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifadedeki ΔI_L , kesimdeki süre boyunca (1.1.17)'deki gibi ifade edilir.

$$\Delta I_L = \frac{V_0}{L} (1-D)T \quad (1.1.17)$$

(1.1.16)'daki bağıntıda ΔI_L yerine yazılırsa çıkış kapasitesi değeri aşağıdaki gibi ifade edilir [47].

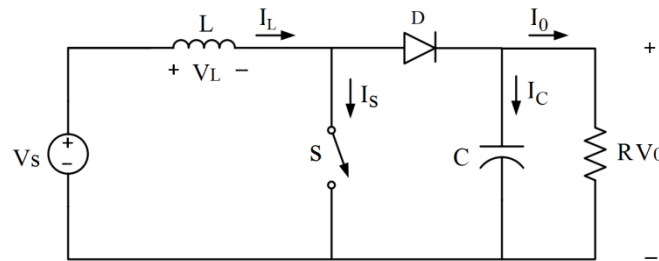
$$C = \frac{V_0(1-D)}{8Lf^2(\Delta V_0)} \quad (1.1.18)$$



Şekil 1.24. Buck dönüştürücüde kondansatör akım ve çıkış gerilim dalga şekilleri [47]

1.9.2.2. Boost dönüştürücü

Şekil 1.25'te boost dönüştürücü yapısı verilmiştir. Bu yapıda çıkış gerilimi daima giriş geriliminden daha büyüktür. Kontrollü S anahtarının iletime geçmesi durumunda, diyot ters polarlanır, çıkış devresi girişten ayrılır ve endüktansa enerji uygulanır. Yük akımı kapasitör tarafından sağlanır ve i_c akımı negatiftir. S anahtarının kesime girmesi durumunda ise yük hem girişten hemde endüktanstan beslenir [46, 47].



Şekil 1.25. Boost dönüştürücü devre yapısı [48]

Şekil 1.26’da boost dönüştürüye ait endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri verilmiştir. Buradan anahtarın kapalı olduğu sürede endüktans akım değerindeki artışın, anahtarın açık olduğu süredeki azalma ile eşit olması gerekmektedir.

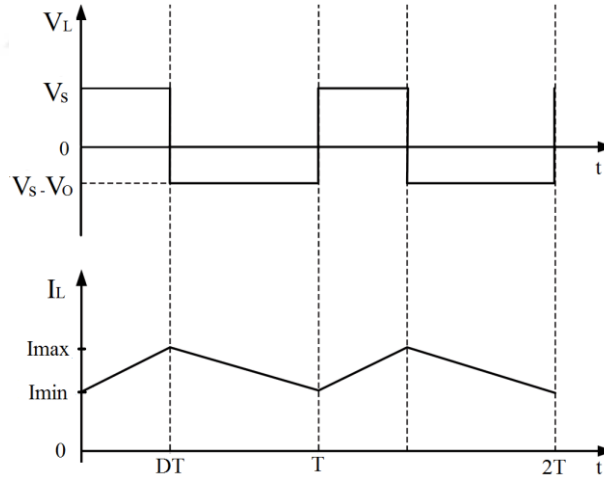
$$I_{\max} - I_{\min} = \left(\frac{V_s}{L} \right) DT \quad (1.1.19)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(\frac{V_s - V_0}{L} \right) (1-D) T \quad (1.1.20)$$

Buradan bu iki eşitliğin birbirine eşitlenmesi sonucu çıkış gerilim ifadesi (1.1.21)’deki bağıntı ile ifade edilir [46].

$$V_0 = \left(\frac{V_s}{1-D} \right) \quad (1.1.21)$$

Bu ifadeden çıkış geriliminin daima giriş geriliminden büyük olduğu görülür.



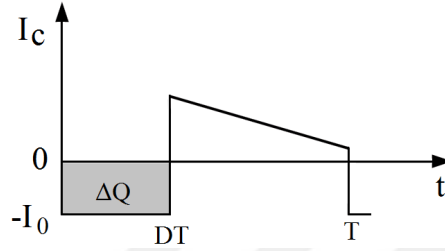
Şekil 1.26. Boost dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri [3]

Şekil 1.27’de endüktans akım dalga şeklinde görüldüğü gibi sürekli iletim modunda çalışması durumunda I_L kesim süresinin sonunda sıfıra gitmelidir. B indisi sınırı belirtmek üzere, endüktans akımının sınırdaki ortalama değeri ise aşağıdaki gibi elde edilir [47].

$$I_{LB} = \frac{1}{2} I_{\max} = \frac{t_{on} V_s}{2L} = \frac{TV_0}{2L} D(1-D) \quad (1.1.22)$$

1.1.22'deki ifadede endüktans akımıyla giriş akımının aynı olduğu göz önüne alınırsa sürekli akım durumunu sınırında, ortalama çıkış akımı aşağıdaki gibi olur.

$$I_{OB} = \frac{TV_0}{2L} D(1-D)^2 \quad (1.1.23)$$



Şekil 1.27. Boost dönüştürücüde kondansatör akım dalga şekli [48]

Şekil 1.27'de Boost dönüştürücüde bulunan kondansatör akım dalga şekli verilmiştir. Buradaki ΔQ alanından yola çıkarak çıkış kapasite değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta Q = \frac{V_0}{R} DT \quad (1.1.24)$$

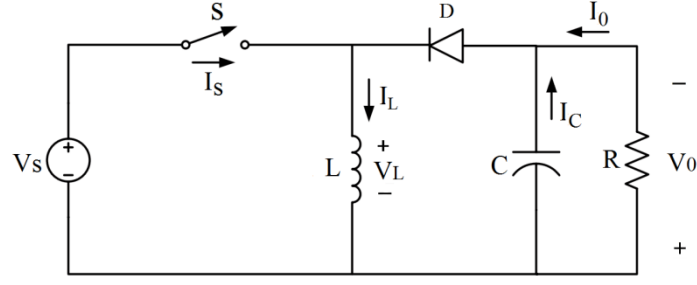
$$\Delta V_c = \frac{\Delta Q}{C} \quad (1.1.25)$$

Denklem (1.1.24)'de ΔQ değeri yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir [46].

$$C = \frac{V_0}{\Delta V_0 R} DT \quad (1.1.26)$$

1.9.2.3. Buck- Boost dönüştürücü

Buck boost dönüştürücü yapısı, giriş geriliminden daha büyük yada daha küçük genlikte çıkış geriliminin elde edilmesini sağlar. Ayrıca bu yapıda çıkış geriliminin polaritesini değiştirmekte mümkündür. Şekil 1.28'de bir buck boost dönüştürücü yapısı verilmiştir.



Şekil 1.28. Buck Boost dönüştürücü devre yapısı [48]

S anahtarının kapalı olması halinde diyot üzerine ters bir gerilim uygulandığı için diyot kesimde olacaktır. Kaynaktan endüktansa enerji aktarılacak ve bu durumda endüktans akımı I_L zamana bağlı olarak artacaktır. S anahtarının açılması durumunda, kaynaktan bağlantı kesilmiş olacaktır. Endüktans akımı I_L diyot akımına eşit olacaktır [46].

Endüktans akım ve gerilim değişimleri Şekil 1.29'da verilmiştir. Endüktans akım değişimleri için eşitlikler sırasıyla iletim kesim durumları için yazılır ise,

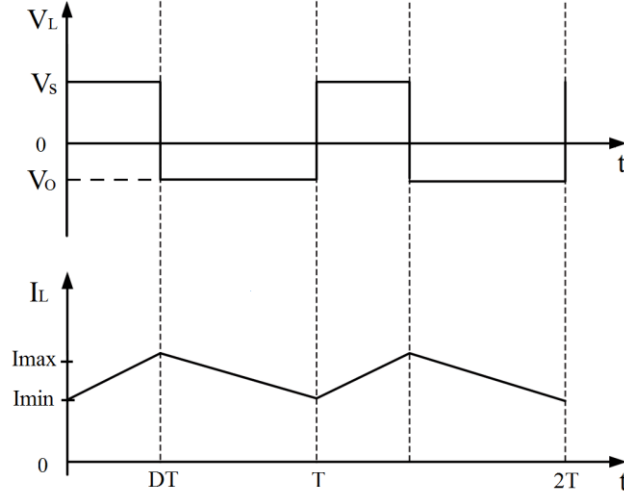
$$I_{\max} - I_{\min} = \left(\frac{V_s}{L} \right) DT \quad (1.1.27)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(\frac{-V_0}{L} \right) (1-D) T \quad (1.1.28)$$

I_L 'deki bu değişimler eşitlenirse giriş gerilimiyle çıkış gerilimi arasındaki aşağıdaki eşitlik elde edilir [46].

$$V_0 = \left(\frac{D}{1-D} \right) V_s \quad (1.1.29)$$

Buradan görev periyodunun 0.5'ten büyük olması durumunda çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük olurken, görev periyodunun 0.5'ten küçük olması halinde çıkış gerilimi giriş geriliminden küçük olur.



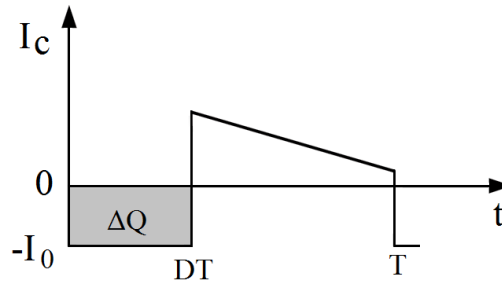
Şekil 1.29. Buck Boost dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri[48]

Şekil 1.29'daki endüktans akım dalga şeklinden sürekli akım çalışma durumu için i_L akımı kesim süresinin sonunda sıfıra gitmelidir. B indisi sınırı belirtmek üzere, endüktans akımının sınırdaki ortalama değeri i_{LB} aşağıda verilen bağıntıyla ifade edilir.

$$I_{LB} = \frac{1}{2} I_{max} = \frac{t_{on} V_s}{2L} = \frac{TV_s}{2L} D = \frac{TV_0}{2L} (1-D) \quad (1.1.30)$$

Burada 1.1.30'daki bağıntıda, sürekli akım durumu sınırında ortalama çıkış akımı aşağıda verilen bağıntıdaki gibi olur.

$$I_{OB} = \frac{TV_0}{2L} (1-D)^2 \quad (1.1.31)$$



Şekil 1.30. Buck Boost dönüştürücüde kondansatör akım dalga şekli [48]

Şekil 1.30'da kondansatör akım dalga şekli verilmiştir. Buradaki ΔQ alanından yola çıkarak çıkış kapasite değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta Q = \frac{V_0}{R} DT \quad (1.1.32)$$

$$\Delta V_C = \frac{\Delta Q}{C} = \left(\frac{V_0}{R} \right) \left(\frac{DT}{C} \right) \quad (1.1.33)$$

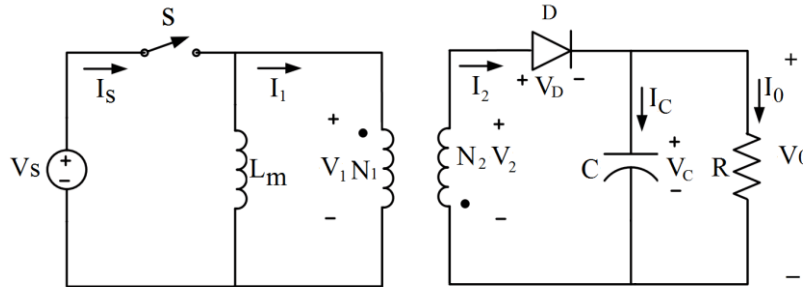
Denklem (1.1.33)'de ΔQ değeri yerine yazılırsa buradan kapasite değeri;

$$C = \frac{V_0}{\Delta V_0 R} DT \quad (1.1.34)$$

olarak elde edilir [46].

1.9.2.4. Flyback dönüştürücü

Flyback dönüştürücü giriş ile çıkış arasında bir elektriksel izolasyon katının bulunduğu bir dönüştürücü tipidir. Şekil 1.31'de basit bir flyback dönüştürücü yapısı gösterilmiştir. İlk olarak anahtarın kapalı olduğu DT süresince, I_1 akımı V_s/L_m oranıyla artar. Bu süre boyunca, D diyodu V_c ve V_2 'nin etkisiyle ters polarlanmış ve I_2 akımı sıfırdır. Anahtarın kapalı olduğu periyot sonunda I_1 değeri sıfıra düşer. Anahtarın açık olduğu sürede ise L_m mıknatıslanma endüktansı depolanan aynı manyetik enerjiyi devam ettirmek ister. Bu yüzden I_2 akımı bir değer alır. I_2 'nin sıfırdan büyük olmasından dolayı D diyodu V_D 'nin sıfır değeriyle ilettime geçer. V_2 'nin $-V_c$ 'ye eşit olması gerekir [46].



Şekil 1.31. Flyback dönüştürücü devre yapısı [48]

Şekil 1.31'da Flyback dönüştürücüde mıknatıslanma endüktansı temsil eden L_m 'ye ait gerilim ve akım değişimleri verilmiştir. Buradan sürekli çalışma durumu için bir periyot

boyunca endüktans üzerindeki ortalama gerilimin sıfır olması gerekir. Buradan aşağıdaki eşitlik yazılır ise,

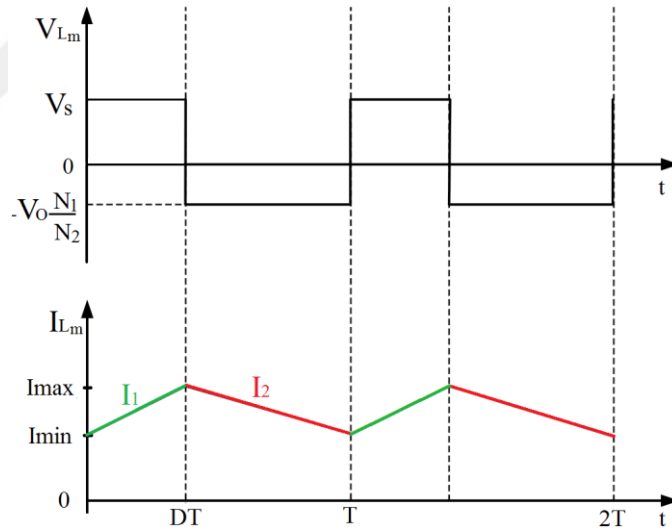
$$(V_s)DT = V_0 \frac{N_1}{N_2} (1-D)T \quad (1.1.35)$$

Çıkış gerilim ifadesi aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

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

(1.1.36)

Bu ifade buck boost dönüştürücüye ait çıkış gerilim ifadesine benzemektedir. Buradaki fark elektriksel izolasyonun manyetik kuplaj ile yapılmış olmasıdır.



Şekil 1.32. Flyback dönüştürücüde endüktans gerilim ve akım dalga şekilleri [46]

Sürekli akım durumunda çalışma, I_{min} değerinin elde edilmesiyle bulunur. Burada I_1 'in ortalama değeri öyle bir değer olmalı ki giriş gücü ortalaması ile çıkış gücü ortalaması eşit olabilsin.

$$P_{ogiriş} = V_s I_{1ort} = \frac{1}{2} V_s (I_{min} + I_{max}) D \quad (1.1.37)$$

$$P_{\text{oçıkış}} = \frac{(V_o)^2}{R} \quad (1.1.38)$$

Buradaki (1.1.37) ile (1.1.38) fadesi birbirine eşitlenip V_o ifadesi yerine yazılırsa aşağıdaki aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

$$I_{\text{max}} + I_{\text{min}} = \frac{2V_s}{R} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \left(\frac{D}{(1-D)^2} \right) \quad (1.1.39)$$

Şekil 1.32'deki akım grafiğinden $I_{\text{max}} - I_{\text{min}}$ değeri (1.1.40)'daki gibi elde edilir.

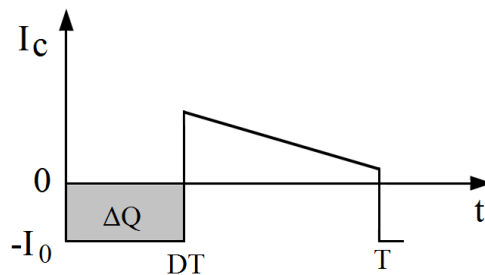
$$I_{\text{max}} - I_{\text{min}} = \frac{V_s}{L_m} DT \quad (1.1.40)$$

Böylece I_{min} değeri (1.1.41)'deki bağıntıyla ifade edilir.

$$I_{\text{min}} = \left(\frac{V_s}{R} \right) \left(\frac{D}{(1-D)^2} \right) - \left(\frac{V_s}{2L_m} \right) (DT) \quad (1.1.41)$$

$I_{\text{min}}=0$ yapılarak buradan sürekli çalışma durumu için minimum indüktans değerinin hesaplanması aşağıdaki eşitlikle yapılır.

$$L_{\text{mmin}} = \left(\frac{RT}{2} \right) (1-D)^2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad (1.1.42)$$



Şekil 1.33. Flyback dönüştürücüde kondansatör akım dalga şekli [46]

Şekil 1.33’de kondansatör akım dalga şekli verilmiştir. Buradaki ΔQ alanından yola çıkarak çıkış kapasite değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta Q = \frac{V_0}{R} DT \quad (1.1.43)$$

$$\Delta V_c = \frac{\Delta Q}{C} = \left(\frac{V_0}{R} \right) \left(\frac{DT}{C} \right) \quad (1.1.44)$$

Denklem (1.1.43)’de ΔQ değeri yerine yazılırsa buradan kapasite değeri (1.1.45)’deki bağıntı ile ifade edilir [46].

$$C = \frac{V_0}{\Delta V_c R} DT \quad (1.1.45)$$

2. MATERYAL VE METOD

2.1. LED Sürücülerde Güç Faktörü

Günümüzde, gerek endüstriyel amaçlı aydınlatma uygulamalarında, gerekse genel amaçlı aydınlatma uygulamalarında güç LED'leri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir AC kaynaktan beslenen güç LED'leri istenen gerilim seviyesinde ve akım değerinde çalışabilmesi için değişik topolojik yapılarda sürücü devrelerine ihtiyaç duyar.

Bir AC şebekede, akım-gerilim karakteristiği lineer olmayan yüklerin çektikleri sinüsoidal olmayan akımlar nedeniyle elektrik güç sistemlerinde akım ve gerilimlerin hem dalga şekli sinüs biçiminden uzaklaşır hem de akımla gerilim arasında faz farkı oluşur. Ancak AC şebekede toplam harmonik bozulmaların ve akımla gerilim arasındaki faz farkının olabildiğince küçük olması istenmektedir. Bu sayede kaliteli bir güç tüketimi gerçekleşmiş olacaktır. Bu güç faktörü düzeltmeli Güç LED sürücülerin kullanılmasıyla mümkün olacaktır. Avrupa da, aydınlatma uygulamalarında kullanılacak güç kaynakları için güç faktörü ve harmonik içerik IEC-61000-3-2 C sınıfı standardı ile belirlenirken Japonyada JIS 61000-3-2 standardıyla belirlenmektedir [16]. Bunların yanında Energy Star gibi ABD Enerji departmanı ve ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından oluşturulmuş programlarda ticari uygulamalar için güç faktörünün en az 0.9, mesken uygulamaları içinse en az 0.7 olması gerekmektedir [49]. Bu standartlar sayesinde son yıllarda LED'li aydınlatma uygulamalarında güç faktörü düzeltmeli sürücü devrelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Güç faktörü düzeltme teknikleri sayesinde standartlara uygun LED sürücü tasarımı gerçekleştirilebilmektedir; ancak LED sürücü tasarımında standarda uyumluluk sağlanırken, toplam maliyeti düşürmek ve sürücü performansını optimize etmek önemli hale gelmiştir.

2.2. Güç Faktörünün Tanımı

Doğrusal yük durumunda

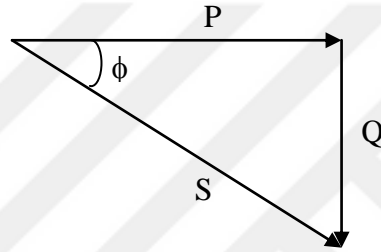
GF (Güç faktörü), AC şebekeye bağlı bir yük tarafından çekilen P aktif gücünün S görünür gücüne oranı olarak tanımlanır.

$$GF = \frac{P}{|S|} \quad (2.1.1)$$

AC şebeke gerilimi ile akımının ideal bir sinüsoidal olması durumunda klasik güç faktörü ifadesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$GF = \cos \phi \quad (2.1.2)$$

Burada ϕ akım ile gerilim arasındaki yerdeğiştirme faktörünü ifade etmektedir. Şekil 2.1'deki fazör diyagramda bu gösterilmiştir. Buradan doğrusal yük durumlarında güç faktörü düzeltme tanımını yerdeğiştirme faktörünü kompanze etmek şeklinde ifade edebiliriz [7].



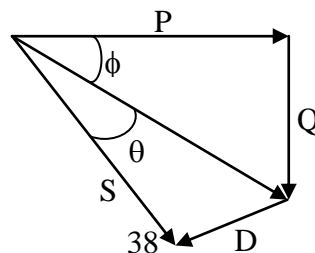
Şekil 2.1. Doğrusal yüklerde güç faktörü [50]

Doğrusal olmayan yük durumunda

Nonlineer yüklerde AC şebeke akımı sinüsoidal olmayacaktır. Bu nedenle klasik güç faktörü ifadesi geçerliliğini yitirecektir. Sinüsoidal gerilim ve sinüsoidal olmayan akım için güç faktörü ifadesi :

$$PF = \frac{V_{rms} \cdot I_{rms1} \cdot \cos \phi}{V_{rms} \cdot I_{rms}} = \frac{I_{rms1} \cdot \cos \phi}{I_{rms}} = K_d \cdot \cos \phi \quad (2.1.3)$$

Burada bozulma faktörü olarak tanımlanan $K_d = \cos \theta = I_{rms,1} / I_{rms}$ 'dir. Bu durumda güç faktörü bozulma faktörü ile yer değiştirme faktörüne bağlıdır [7].



Şekil 2.2. Doğrusal olmayan yüklerde güç faktörü [50]

Güç faktörü düzeltilmeli AC güç kaynaklarında bozulma faktörü, K_d ile giriş akım toplam harmonik bozulması, THD arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilebilir [51].

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{THD}^2}} \quad (2.1.4)$$

Giriş akım toplam harmonik bozulması IEC 61000-3-2 standartlarına göre aşağıdaki gibi tanımlanabilir [51].

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_n^2}}{I_1} \quad (2.1.5)$$

Burada I_1 ve I_n 1. harmonikten n. harmoniğe kadar akımların ayrı ayrı genlikleri ifade eder. Bu yüzden GF için genişletilmiş bir tanım, giriş akım değeri ayarlanarak yer değiştirme faktörü ve bozulma faktörü hesaplanarak aşağıdaki gibi ifade edilir

$$\text{PF} = \frac{\cos \phi}{\sqrt{1 + \text{THD}^2}} \quad (2.1.6)$$

Bu ifadede $\cos \phi = 1$ olduğu durumda yani akım ile gerilim arasındaki yer değiştirme faktörü olmadığında hem yüksek güç faktörü ve hemde düşük THD'nin her ikisi birden elde edilebilir [16].

2.3. IEC 61000 -3-2 Standartları

IEC 61000 -3-2 standartları: 2005 veya eşdeğeri olan EN 61000 -3-2 standartları: 2006 elektromanyetik uyumluluğa değinmektedir ve AC şebekede harmonik akım enjeksiyon geri dönüş seviyesini ayarlamayı amaçlamıştır. Bu standartlar göre 50 Hz 230V tek fazlı veya 400V 3 fazlı şebeke geriliminde her bir fazı 16A RMS anma akımına kadar tüm elektrik ve

elektronik ekipmanlara uygulanır. Uygulama alanlarına göre bu standartlar 4 sınıfa ayrılmakta ve bunların isimleri Sınıf A, B, C ve D'dir.

Sınıf A: Dengeli 3 fazlı cihazlar; D sınıfı olarak tanımlanan cihazlar haricindeki ev aletleri ; taşınabilir cihazlar hariç , karartmalı akkor lambalar, ses cihazları ve aşağıdaki sınıfların birinde belirtilenlerin dışında tüm diğer cihazlar.

Sınıf B: Taşınabilir cihazlar, Profesyonel olmayan ark kaynakları

Sınıf C: Aydınlatma cihazları

Sınıf D: Bilgisayar, Bilgisayar monitörleri, radyo veya TV alıcıları. Cihazın güç seviyesi 75 W üstünde ve 600W altında olmalıdır.

Aşağıda belirtilen durumlarda sınırlama yoktur

- Giriş gücü $P \leq 200$ W olan simetrik kontrollü ısıtma elemanları.
- Anma gücü 1kW eşit ya da daha az olan karartma cihazlarından bağımsız akkor lambalar için.

A sınıfı cihazların sınırları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. B sınıfı cihazlar için Çizelge 2.1'de sınırlar 1.5 ile çarpılır. Çizelge 2.1'de 2'den 40'a kadar gelen çift harmonik akımlar sabit değerlidir.

Çizelge 2.1. IEC 61000 -3-2, A ve B sınıfı harmonik standartları sınır değerleri [52].

	Sınıf A	Sınıf B
Harmonik Düzenlemeler n	Maksimum izin verilen harmonik akım (A)	Maksimum izin verilen harmonik akım (A)
Tek harmonikler		
3	2.3	3.45
5	1.4	1.695
7	0.77	1.155
9	0.40	0.6
11	0.33	0.495
13	0.21	0.315
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 8/n$	$0.225 \times 8/n$
Çift Harmonikler		
2	1.08	1.62
4	0.43	0.645

6	0.30	0.45
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \times 8/n$	$0.345 \times 8/n$

25W'dan daha fazla aktif güce sahip olan C sınıfı cihazlar için sınır değerler Çizelge 2.2'de verilmiştir. Bu çizelgede maksimum izin verilen harmonik akımlar temel giriş akımının yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Giriş gücü 25W'a eşit veya daha küçük güçlü C sınıfı teçhizat için;

- Çizelge 2.2 (sütun iki) sınırları geçerlidir

- Ya da üçüncü harmonik akım temel akımın % 86 geçemez ve beşinci harmonik akım % 61 geçemez

D sınıfı cihazlar için güç ile ilgili akımı (mA / W) cinsinden sınırlar Çizelge 2.2'de gösterilmiştir (üçüncü harmonik için yaklaşık 675W ulaşılacak) [52]

Çizelge 2.2. IEC 61000 -3-2, C ve D sınıfı harmonik standartları sınır değerleri [52].

	Sınıf C	Sınıf D	
Harmonik Düzenlemeler N	Maksimum izin verilen harmonik akımın temel frekansta giriş akımının yüzdesi olarak ifadesi (%)	Maksimum izin verilen harmonik akım watt başına (mA/W)	Maksimum izin verilen harmonik akım (A)
Tek harmonikler			
3	$30 \times \lambda^*$ (λ^* : Güç Faktörü değeri)	3.4	2.3
5	10	1.9	1.14
7	7	1.0	0.77
9	5	0.5	0.40
11	3	0.35	0.33
13	3	$3.85/n$	Çizelge 1.1'e bak
$15 \leq n \leq 39$	3	-	-
Çift Harmonikler			
2	2	-	-
4	-	-	-
6	-	-	-
$8 \leq n \leq 40$	-	-	-

2.4. LED Sürücülerde Güç Faktörü Düzeltmeli Yapılar

Tek fazlı güç faktörü düzeltme devreleri sayesinde Güç LED sürücülerini belirleyen uluslararası standartlara uygun olarak tasarlanır. Bu tasarımları gerçekleştirirken iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi indüktans ve kondansatör gibi pasif elemanların kullanıldığı pasif GFD'li LED sürücülerdir. Ancak bu yöntemin yüksek güç seviyelerinde

büyük boyut, ağırlık ve maliyet gibi birçok dezavantajları mevcuttur. Fakat elektromanyetik (EMI) girişimlerden arınmıştır. Diğer bir teknik ise AC şebekenin güç kalitesini artırmak için AC-DC konvertör tabanlı aktif GFD LED sürücü yapılarıdır. Bu çözüm boyut ve ağırlığı azaltarak yüksek giriş faktörü sağlamaktadır. Fakat bu defada EMI problemleri ortaya çıkmaktadır [53].

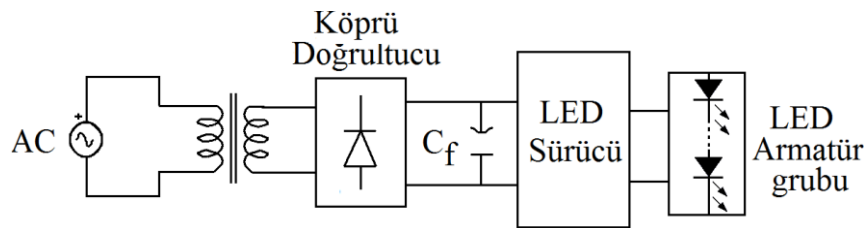
2.4.1. Pasif filtreli LED sürücüler

Bu yapılarda pasif elemanlar ve ek olarak köprü doğrultucu kullanılarak AC gerilim sabit bir DC gerilime dönüştürülür. Pasif GFD devre yapılarında, şebeke akımının şeklini değiştirmek suretiyle güç faktörü düzeltme işlemi gerçekleştirilir. Bu bölümde ön dirençli ve gerilim regülatörlü LED sürücü yapıları için GF düzeltme metotları ele alınmıştır.

- Güç faktörü düzeltilmesiz LED sürücüler (Tip 1)
- İndüktans kullanarak güç faktörü düzeltmeli LED sürücüler (Tip 2)
- Seri rezonans filtre kullanarak güç faktörü düzeltmeli LED sürücüler (Tip 3)

2.4.1.1. Güç faktörü düzeltilmesiz LED sürücüler

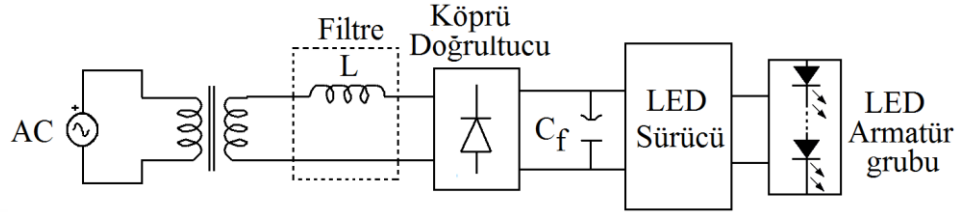
Tam dalga doğrultucu ve kondansatör filtreli dirençli LED sürücü yapısı Şekil 2.3'te görülmektedir. Köprü doğrultucu çıkış geriliminde meydana gelecek dalgalanmanın olabildiğince küçük olması istenir. Bu nedenle çıkıştaki C_f kapasitörü olabildiğince büyük seçilir. Bu kondansatör şebeke geriliminin maksimum olduğu civarlarda bir akım çeker. Periyodun kalan kısmında ise yük kondansatör tarafından beslenir. İhtiyaç duyulan enerjinin tamamı bu kısa süre içerisinde çekilen akımla şebekeden elde edilir. Bu yapılar şebekeden yüksek harmonik içeren akımlar çekerler [54]. Bu nedenle, bu yapılar şebekede güç kalitesinde ve güç katsayısında düşüşe sebep olurlar



Şekil 2.3. Güç faktörü düzeltilmesiz dirençli LED sürücü

2.4.1.2. İndüktans kullanarak güç faktörü düzeltmeli LED sürücüler

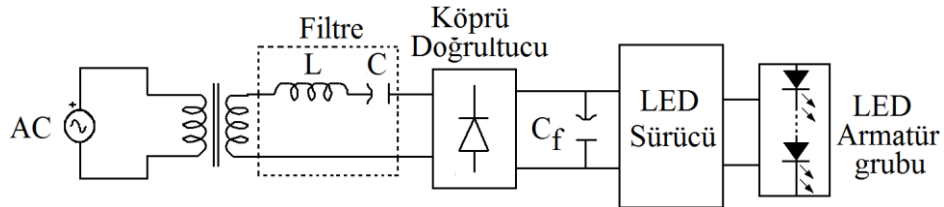
Köprü doğrultucunun AC tarafına bir indüktör eklemek suretiyle oluşan AC yan indüktörlü güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapısı Şekil 2.4'te görülmektedir. Bu yapı en temel yapılardan biridir. Bu yapıda güç faktörü en fazla 0.765 olabilmektedir. [11].



Şekil 2.4. AC yan indüktörlü güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapısı

2.4.1.3. Seri rezonans filtre kullanarak güç faktörü düzeltmeli LED sürücü

Şebekeden çekilen akımın şekli, giriş ve çıkışta alçak geçiren filtre kombinasyonları kullanılarak düzeltilebilir. Şekil 2.5'te GFD uygulaması için kullanılan bir seri rezonans filtre gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Seri rezonans filtreli güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapısı

L-C filtresi temel frekans bileşenine izin vermek ve harmonik bileşenleri engellemek için tasarlanmıştır. 50 Hz şebekeler için bu filtrelerde büyük boyutlu reaktif elemanlara ihtiyaç duyulacaktır. Bu yöntem ile yüksek güç faktörü değerleri elde edilebilmektedir [53].

Güç faktörü düzeltmede pasif yöntemler basitlik, güvenilirlik, sağlamlık, dalgalanma ve gürültüye duyarsızlık, elektromanyetik karışım (EMI) üretmeme ve yüksek frekans anahtarlama kayıplarına sahip olmama gibi faydaları vardır. Diğer taraftan şebeke frekanslı reaktif bileşenler kullanıldığı için filtre tabanlı çözümler, ağır ve hantal kalmaktadır.

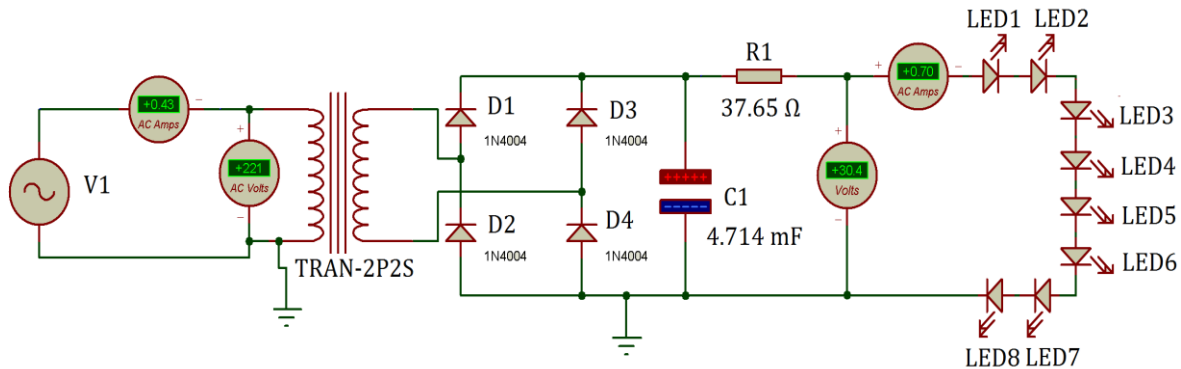
Ayrıca zorunlu standartları karşılamaının mümkün olmayabilir olması, eskime yüzünden performanslarının düşmesi ve sistemin kötü bir dinamik tepki vermesi bu yöntemin olumsuz yanlarıdır. Bu yöntemde, gerilim regülasyonu yoktur ve giriş akımının şekli yüke bağlıdır. Bunun yanında bu yöntemle şebeke akımının harmonik bileşeni azaltılmış olsa da, temel bileşen aşırı faz kayması gösterebilir ve buda güç faktörünü düşürür [55].

Bu bölümde pasif filtreli güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapıları için AC giriş geriliminin değerinin 220 V sabit olduğu ve çıkışta ise seri bağlı 8 adet (3.8 V/0.7 A) güç LED'in beslendiği duruma ilişkin PROTEUS programında gerçekleştirilen devre yapılarında kullanılan eleman değerleri Çizelge 2.3'te verilmiştir [7,53-55].

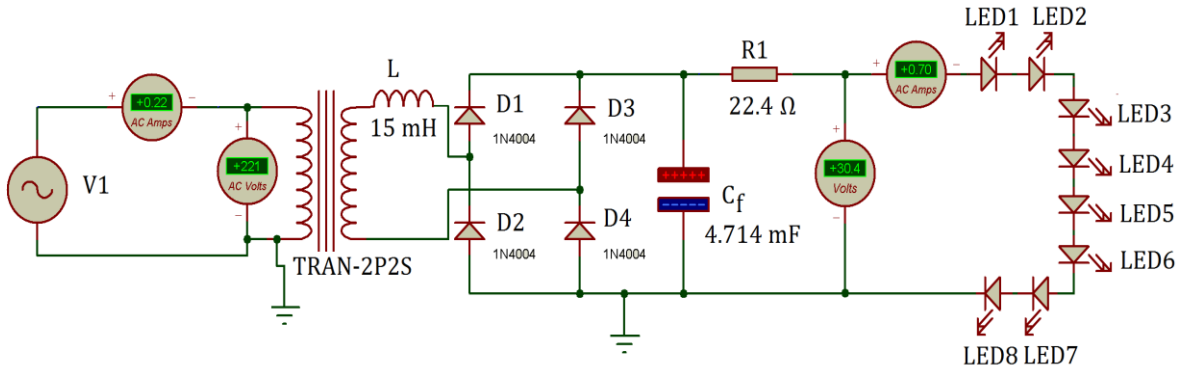
Çizelge 2.3. Pasif filtreli güç faktörü düzeltme yapıları için filtre elemanlarının değerleri

	Metod	R(Ω)	L (mH)	C (mF)	C _f (mF)
Ön Dirençli	TİP 1	37.65	-	-	4.71
	TİP 2	22.4	15	-	4.71
	TİP 3	24.2	102	82	4.71
Gerilim Regülâtörlü	TİP 1	1.78	-	-	4.71
	TİP 2	1.78	15	-	4.71
	TİP 3	1.78	102	82	4.71

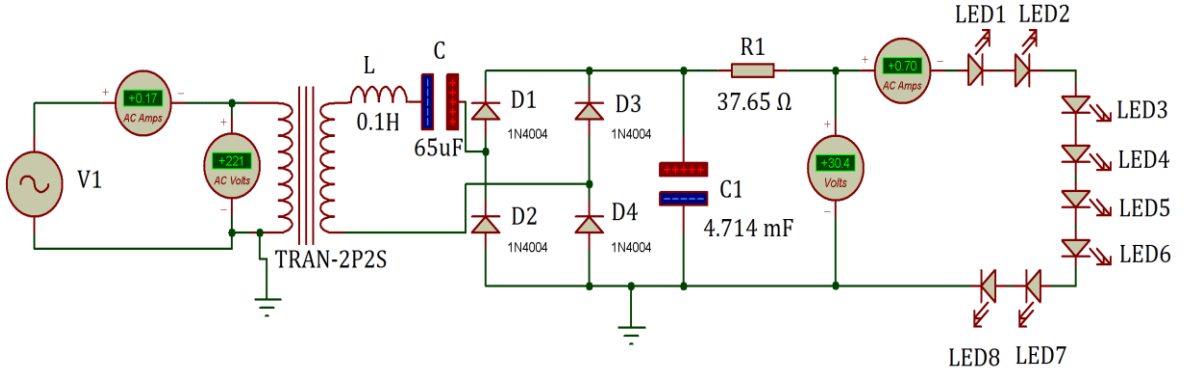
Burada bölüm 2.4.1.'de bahsi geçen ön dirençli ve gerilim regülâtörlü Tip 1, Tip 2, Tip 3 yapılarının PROTEUS ortamında gerçekleştirilen devre şemaları sırasıyla Şekil 2.6-11'de verilmiştir.



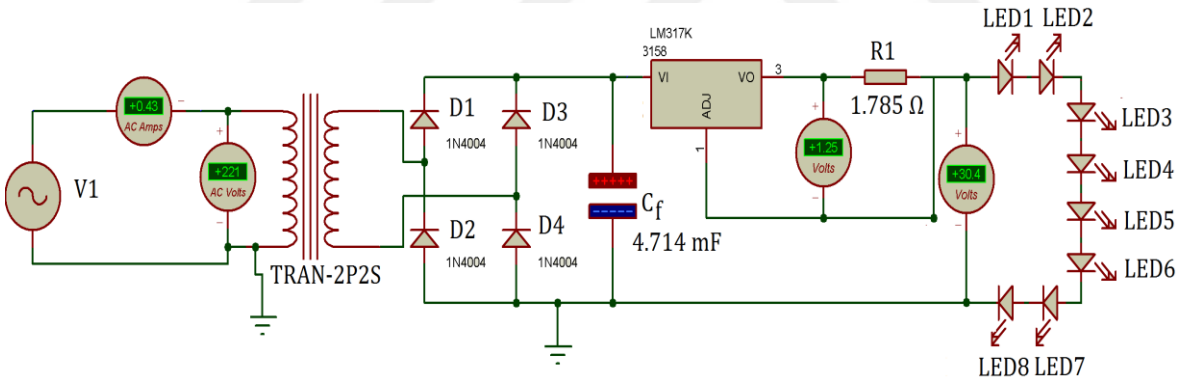
Şekil 2.6. Güç faktörü düzeltmesiz ön dirençli LED sürücü devresi



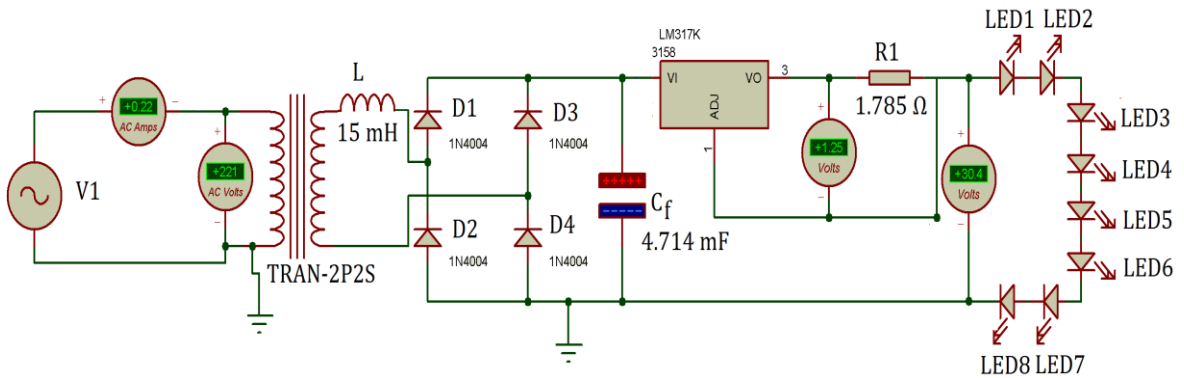
Şekil 2.7. İndüktans kullanarak GFD'li ön dirençli LED sürücü devresi



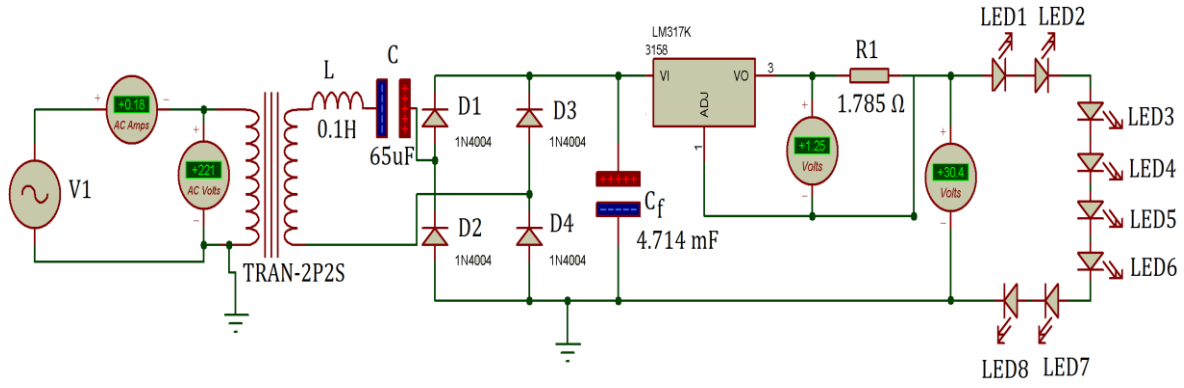
Şekil 2.8. Seri rezonans filtre kullanarak GFD'li ön dirençli LED sürücü devresi



Şekil 2.9. Güç faktörü düzeltilmesiz gerilim regülatörlü LED sürücü



Şekil 2.10. İndüktans kullanarak GFD'li gerilim regülatörlü LED sürücü devresi



Şekil 2.11. Seri rezonans filtre kullanarak GFD'li gerilim regülatörlü LED sürücü devresi

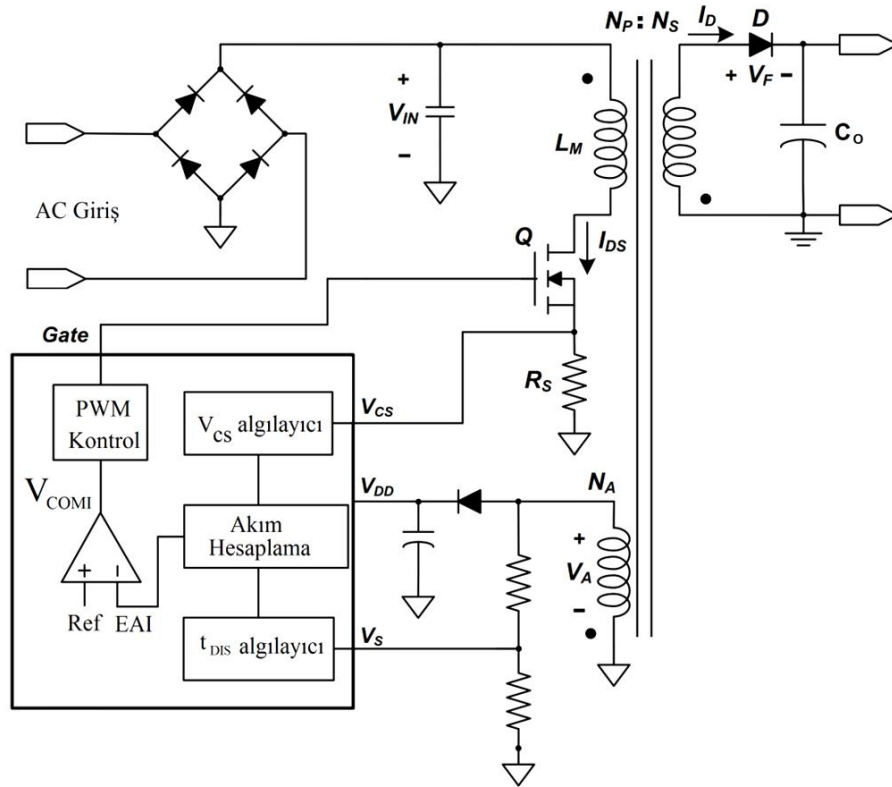
2.4.2. Aktif güç faktörü düzeltmeli LED sürücü

Aktif GFD metodu güç yarı iletken cihazlardaki gelişmeler sonucu MOSFET'ler ve IGBT'ler gibi anahtarlama cihazları kullanarak, hat akımının şekillendirilmesi sağlanmaktadır. Bir güç elektroniği sisteminde aktif GFD metoduyla bir yük tarafından çekilen güç miktarı kontrol edilerek güç faktörünün mümkün olduğunca birine yaklaştırılması sağlanır. Bir çok uygulamada aktif GFD metoduyla yükün giriş akımı kontrol edilerek akım dalga formunun şebeke gerilim dalga formuyla orantılı hale getirilmesi sağlanmaktadır. Aktif anahtarlar hat akımının şeklini sinüse yaklaştırmak ve kontrol edilebilir çıkış gerilimi elde etmek için reaktif elemanlar ile birlikte kullanılır.

Aktif GFD LED sürücü yapısındaki GFD katı, bir köprü doğrultucu ve bir DC / DC dönüştürücü yapısından oluşmaktadır. Bu yapı hat frekansından çok daha yüksek anahtarlama frekanslarında çalışmaktadır. Bir aktif GFD yapısında, köprü doğrultucu ile filtre kapasitörü arasında buck (düşürücü), boost (yükseltici), buck-boost (düşürücü-yükseltici) ya da Flyback (geri dönüşlü) dönüştürücü ilavesi bulunmaktadır. Tüm aktif dönüştürücü yapılarında anahtarlama frekansı şebeke frekansından oldukça yüksek olup çıkış gerilim dalgalanması şebeke frekansının iki katıdır ve çıkış gerilimi genellikle regüledir. Kullanılan dönüştürücü çeşidine bağlı olarak çıkış gerilimi yüksektir ya da düşürülebilir. Bu dönüştürücülerde bobin akımı sürekli ya da süreksiz olabilir. Sürekli iletim modunda (CCM) indüktör akımı bir anahtarlama döngüsünde asla sıfır olmaz iken kesintili iletim modunda (DCM) ise anahtarlama döngüsünün aralıkları boyunca bobin akımı sıfırdır. Bununla birlikte her dört tür dönüştürücüde bobin akımı sürekli olabilir [53, 55]

2.4.2.1. Flyback dönüştürücü temelli aktif güç faktörü düzeltme

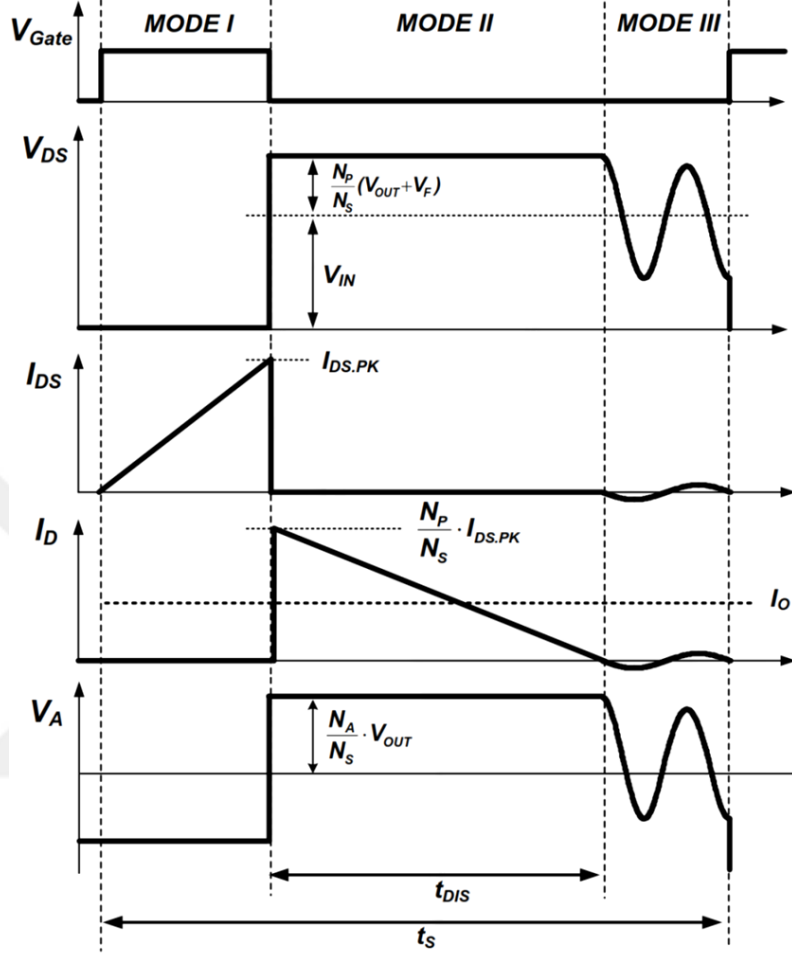
Flyback dönüştürücü yapısı, doğrultulmuş AC şebeke gerilimi ile LED dizisi arasında izolasyonu sağlayan bir DC-DC dönüştürücü temelli güç faktörü düzeltme devre yapısıdır. Bu devre yapısı Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. YGF’li Flyback LED Sürücü [57]

Primer ve sekonder sargılar arasındaki gerilim polarizasyonu şekilde noktalar ile gösterilmektedir. L_M, transformatörün manyetik endüktansını gösterir. Aktif güç anahtarı Q iletimde olduğu süre boyunca giriş gücü L_M endüktansına depolanır ve sonra Q anahtarı kesime girdiğinde ise bu güç yükte transfer edilir. Enerji depolama kondansatörü, C₀, LED armatürlere düzgün bir DC gerilim sağlamak için kullanılan bir elektrolitik kondansatördür. Flyback dönüştürücüde, primer sargı akımının sürekliliği bakımından sürekli iletim modu veya kesintili iletim modunda çalışabilir. Aktif güç anahtarı Q, yüksek frekanslarda anahtarlama durumunda giriş akımında aynı frekansta titreşimli bir dalga olur. Titreşimli akımın süresi ve genliği uygun bir kontrol yöntemi ile kontrol edilerek, giriş akımının ortalaması sinüse yaklaştırılabilir ve giriş gerilimiyle aynı fazda yapılabilir. Bu şekilde bire

yakın bir güç faktörü ve çok düşük bir toplam harmonik bozulma elde edilebilir. Şekil 2.13'te kesintili iletim modunda çalışan flyback transformatörün dalga şekilleri verilmiştir [56, 57]



Şekil 2.13. DCM'de çalışan tek katlı flyback dönüştürücünün dalga şekilleri [57]

LED aydınlatma uygulamalarında tek aşamalı GFD flyback dönüştürücü topolojisinin çalışması bir anahtarlama periyodu için üç moda incelenebilir.

Mod I

Bu çalışma modunda, Q anahtarı iletimde ve enerji transfer diyodu D kesimdedir. Flyback dönüştürücü AC şebeke gerilimi kaynağından beslenir. Burada doğrultulmuş şebeke gerilimi transformatörün primer tarafı indüktansına (L_M) uygulanmaktadır. MOSFET'in drain akımı I_{DS} , AC şebeke gerilimi ile orantılı olarak sıfırdan başlayarak tepe değerine ($I_{DS,PK}$) kadar lineer olarak artar. Sıfır akımda aktif güç anahtarını açmak için, GFD devresi DCM'de

çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu modda manyetik bobine enerji depolanır ve anahtar kesimde olduğu süre boyunca bu enerji çıkışa aktarılır. Anahtar kesime girdiğinde mod I sona erer ve mod II başlar.

Mod II

Q anahtarı kesimdedir ve enerji transfer diyodu D_0 iletime zorlanarak iletime geçmekte, transformatörün sargıları üzerinden akım akmaktadır. Transformatörün sekonder tarafından diyot akımı I_D , tepe değerden ($I_{DS,PK} \times (N_p/N_s)$) sifıra doğrusal olarak azalmaktadır. Bu arada, Flyback dönüştürücünün mıknatıslanma bobininde depolanan enerji deşarj süresi (t_{DIS}) boyunca çıkışa aktarılmıştır.

Mod III

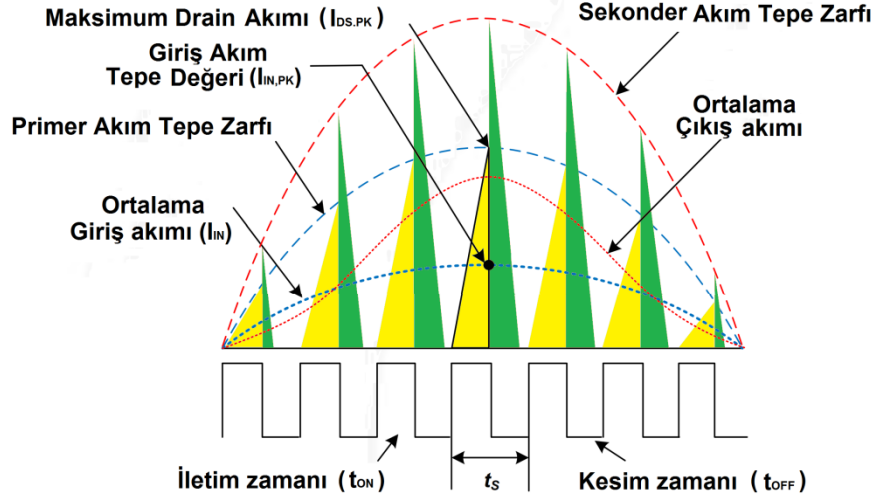
Diyot akımı sifıra ulaştığında transformatör yardımcı sargı gerilimi, MOSFET (Q) içerisindeki etkin kapasite ve primer tarafı indüktansı arasında rezonans dolayısıyla osilasyona başlar. Çıkış akımı, drain akımı tepe değeri ve indüktör akımı deşarj zamanı kullanılarak öngörülebilir. Çünkü kararlı halde diyot akımının ortalaması çıkış akımıyla aynıdır. Aktif Q anahtarı, V_{gate} sürme sinyali ile tekrar uyarılırsa bu mod sona erer ve devre bir sonraki döngünün Mod I'ine döner. Bu yapı, sabit anahtarlama frekansı ve sürekli görev döngüsünde DCM'de çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Giriş akımı doğal olarak AC hat kaynağının sinüs dalga formunu izler. Bunun bir sonucu olarak, beslenen şebekeden yüksek bir güç faktörü elde edilebilir.

Flayback dönüştürücü apı için tasarım adımları

Birinci adım: Transformatörün primer tarafı indüktans seçimi (L_M)

Flayback yapıda AC giriş gerilimi köprü doğrultucu yardımıyla DC'ye dönüştürülür. Bu dönüştürücüde farklı kontrol entegreleri LED aydınlatma uygulamaları için kullanılmaktadır. Kullanılan (FL7733A) kontrol entegrelerinde, osilatörün lineer frekans veya kesintili iletim mod (DCM) kontrolünde çalışması, iletim kayıplarını azaltmakta ve çıkış geriliminin geniş bir aralığında DCM modunda çalışmanın sürdürülmesini sağlamaktadır. Bu sayede tek katlı flyback yapılarında yüksek güç faktörü ve düşük toplam harmonik içerik elde edilmektedir.

DCM modunda sabit anahtarlama iletim zamanı ve sabit frekansta çalışan flyback yapı çalışması Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Mosfetin iletim zamanı (t_{ON}) ve anahtarlama periyodu (t_s) sürekli. Giriş akımı (I_{IN}) giriş gerilimi (V_{IN}) ile orantılı olduğu için yüksek güç faktörü elde edilebilmektedir.



Şekil 2.14. Teorik dalga formları [57]

Anahtarın iletimde olduğu süre boyunca giriş gerilimi manyetik bobine (L_M) uygulanmıştır. Bu nedenle MOSFET'in maksimum tepe anahtar akımı ($I_{DS,PK}$) gerilimin tepe noktasında meydana gelir. İlk olarak t_{ON} süresi belirlenmiştir. Minimum giriş gerilimi ve tam yük durumunda MOSFET'in $I_{DS,PK}$ akımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_{DS,PK} = \frac{t_{ON} V_{IN,PK}}{L_M} \quad (2.1.7)$$

Burada $V_{IN,PK}$, giriş gerilim tepe değeri ve t_{ON} , minimum giriş geriliminde maksimum iletim zamanıdır. Eşitlik 2.1.7 kullanılarak tepe giriş akımı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_{IN,PK} = \frac{1}{2} (t_{ON}) \left(\frac{V_{IN,PK}}{L_M} t_{ON} \right) f_s \quad (2.1.8)$$

$I_{IN,PK}$ ve $V_{IN,PK}$ eşitlik (2.1.9) ve (2.1.10)'da ifade edilmiştir. Burada $I_{IN,RMS}$ ve $V_{IN,RMS}$ giriş gerilim ve akımının etkin değerini ifade etmektedir.

$$I_{IN,PK} = \sqrt{2}I_{IN,RMS} \quad (2.1.9)$$

$$V_{IN,RMS} = \sqrt{2}V_{IN,RMS} \quad (2.1.10)$$

L_M değerini hesaplamak için t_{ON} süresini hesaplamak gerekir. Bunun içinde eşitlik (2.1.8) ve (2.1.10) kullanılarak t_{ON} aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{ON}^2 = \frac{2L_M I_{IN,RMS}}{V_{IN,RMS} f_s} \quad (2.1.11)$$

Giriş gücünü ifadesi;

$$P_{IN} = V_{IN,RMS} I_{IN,RMS} = \frac{P_o}{\eta}$$

(2.1.12)

Burada P_o çıkış gücünü ifade eder.

Eşitlik (2.1.11) ve (2.1.12)'yi kullanarak L_M değeri ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir [57] .

$$L_M = \frac{\eta (V_{IN,RMS})^2 f_s t_{ON}^2}{2P_o}$$

(2.1.13)

İkinci adım: Algılama direnci (R_S) ve primer sekonder sargı oranının (N_{PS}) seçimi

Çıkış akımı transformatörün primer ve sekonder sargıları arasındaki N_{PS} dönüşüm oranıyla doğru orantılı ve algılama direnci (R_S) ile ters orantılıdır. Sistemi kısa devre veya aşırı yükten korumak için V_{CS} belirlenerek, FL7733A ile periyot periyot akım limit seviyesi uygulanır. Bu tipik olarak (değer: 0.85V) periyot akım limit seviyesi tam yüklü durumda CS tepe

geriliminden ($V_{CS,PK}$) 15-20% daha yüksek olarak ayarlanmaktadır. MOSFET tepe akımı ($I_{SW,PK}$) $V_{CS,PK}$ tepe gerilimi değerine aşağıdaki gibi dönüştürülür.

$$V_{CS,PK} = I_{SW,PK} R_S \quad (2.1.14)$$

Primer sekonder sarım oranının çıkış akımı ve algılama direnciyle olan ilişkisi aşağıdaki gibidir [57].

$$N_{PS} = \frac{I_o R_s}{0.125} \quad (2.1.15)$$

Üçüncü adım: Yardımcı sargı sekonder sargı dönüştürme oranı (N_{AS}) ve yardımcı sargı primer sargı dönüştürme oranı (N_{AP}) seçimi

V_{dd} 23V olduğunda, FL7733A aşırı gerilim korumadan (OVP) dolayı anahtarlama işlemini durdurur. Burada N_{AS} ve N_{PS} oranları (2.1.16) ve (2.1.17) verilen bağıntılarla ifade edilir.

$$N_{AS} = \frac{V_{DD,OVP}}{V_{O,OVP}} = \frac{23}{V_{O,OVP}}$$

(2.1.16)

$$N_{AP} = \frac{N_{AS}}{N_{PS}} \quad (2.1.17)$$

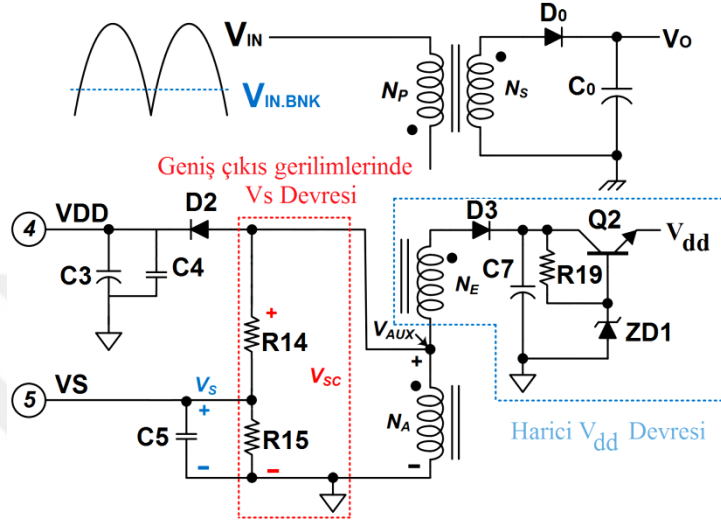
Dördüncü adım: Transformatör tasarımı

Primer sarım sayısı Faraday kanununa göre belirlenir. $N_{P,MIN,PK}$ primer sargısı üzerindeki minimum şebeke giriş gerilimi tepe değeri ve maksimum iletim zamanına göre sabittir. Transformatörün primer tarafında nüvenin doyuma ulaşmaması için minimum sarım sayısı aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$N_{P,MIN} = \frac{V_{IN,MIN,PK} t_{ON}}{B_{sat} A_e}$$

(2.1.18)

Burada A_e mm² cinsinden nüvenin kesit alanı ve B_{sat} ise Tesla cinsinden doyma akı yoğunluğudur. Sıcaklık yükseldiğinde doyma akı yoğunluğu azalacaktır. Bu nedenle transformator kapalı bir kasa içinde kullanıldığı takdirde, yüksek sıcaklık özellikleri göz önünde bulundurularak tasarım işlemi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 2.15. Geniş çıkış gerilim aralıklarında V_s devresi

V_{DD} , geniş çıkış gerilim aralıkları boyunca uygun bir şekilde beslenmelidir. V_{DD} , N_E dış sargısı eklenerek beslenebilir ve harici V_{DD} devre yapısı Şekil 2.15'te görüldüğü gibi bir gerilim regülâtöründen oluşmaktadır. Burada N_E aşağıdaki gibi tasarlanmalıdır.

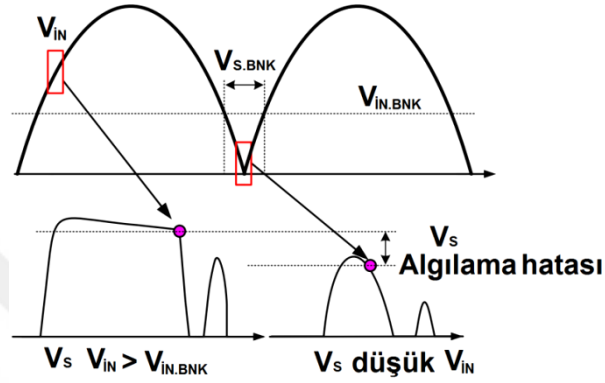
$$N_E = \frac{(8.75 + V_{CE,Q1} + V_{F,D3})}{(V_{F,D0} + V_{min,out})} \quad (2.1.19)$$

Bu ifade minimum çıkış geriliminde $V_{CE,Q1}$, Q_1 'in kolektör emiter saturasyon gerilimi $V_{F,D3}$, D_3 'ün ileri yön gerilimi ve $V_{F,D0}$, D_0 'ın ileri yön gerilimidir [57, 58].

Beşinci adım: Geniş çıkış gerilim aralıklarında V_s devresi

R_{14} , R_{15} dirençlerinin seçiminde ilk göz önüne alınması gereken nominal güçte ve 65 kHz anahtarlama frekansında çalışmak için V_s geriliminin diyot akımı iletim zamanı sonun da 2.45 V olmasıdır. İkinci dikkat edilmesi gereken hususta V_s tıkama gerilimidir.

Çıkış gerilimi Şekil 2.15'te görüldüğü gibi yardımcı sargı ve V_s pinine bağlı bir direnç bölücü tarafından tespit edilir. Ancak DC link kapasitörü olmadan tek aşamalı Flyback dönüştürücüde küçük L_M akımdan dolayı tüm hat döngüsü boyunca, yardımcı sargı gerilimi yansıtılmış çıkış gerilimine kenetlenmiş olamaz buda Şekil 2.16'da görüldüğü gibi gerilim ölçüm hatalarına neden olur.



Şekil 2.16. V_s dalga formu

V_s , geniş çıkış gerilim uygulamaları için 0,6 ile 3 V değerleri arasında muhafaza edilmelidir. Şekil 2.15'de gösterildiği gibi, buda ek V_s devresi kullanarak mümkün olmaktadır. Bu devre yapısında R_{14} ve R_{15} dirençleri değerleri aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$R_{14} = N_{AP} \frac{V_{IN,BNK}}{I_{VS,BNK}} \quad (2.1.20)$$

Burada $V_{in,bnk}$ V_s tıkama gerilimi için hat gerilim seviyesidir ve $I_{vs,bnk}$ ise V_s tıkama gerilimi için akım seviyesidir. R_{15} direncinin hesabı ise aşağıdaki şekilde yapılır [57].

$$R_{15} \geq \frac{R_{14} * 2.45}{V_{SC} - 2.45} \quad (2.1.21)$$

Altıncı adım: MOSFET seçimi

Transformatörün sarım oranı belirlenirken MOSFET'in drain gerilimi ele alınır. Drainde meydana gelecek aşırı gerilim V_{os} olarak ifade edildiği varsayılarak, maksimum drain gerilimi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V_{DS(MAX)} = V_{IN,MAX.PK} + \frac{N_p}{N_s}(V_{o,ovp} + V_{F,D0}) \quad (2.1.22)$$

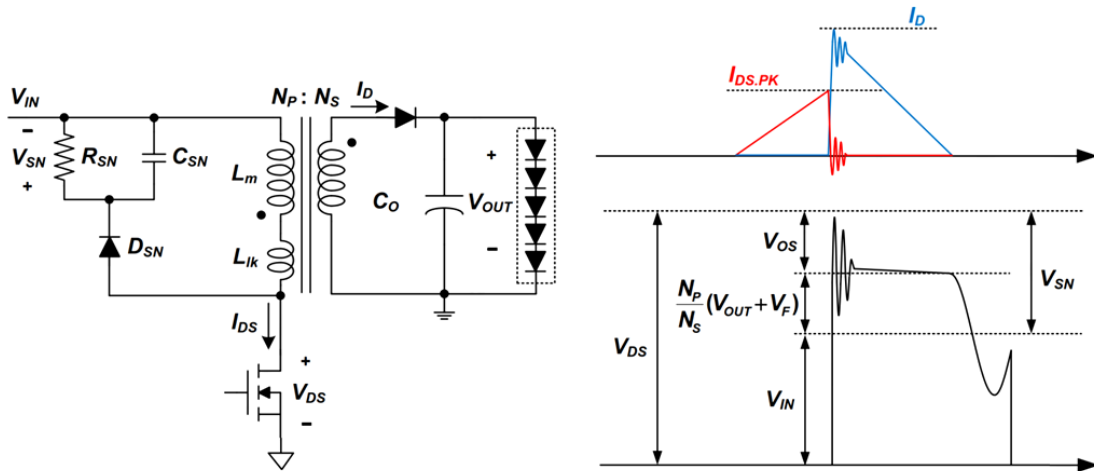
Burada $V_{IN,MAX.PK}$ maksimum giriş geriliminin tepe değeridir. MOSFET'in RMS akımı ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$I_{DS,rms} = I_{PK} * \sqrt{\frac{t_{ON} * f_s}{6}} \quad (2.1.23)$$

Seçilen MOSFET gerilim ve akım sınır değerleri elde edilen bu değerlerden bir emniyet kat sayısına göre yukarıda olmalıdır [57].

Yedinci adım: Primer tarafta RCD Snubber tasarımı

Tek katlı Flyback LED sürücü devresi güç MOSFET'i kesime girdiğinde transformatörün kaçak endüktansından dolayı drain'de ani gerilim yükselmeleri olur. MOSFET üzerindeki bu aşırı gerilim çığ etkisine yol açarak cihaza zarar verir. Bu nedenle, gerilimi sınırlamak için ek bir devre kullanmak gerekir [57,59].



Şekil 2.17. Snubber devresi ve dalga formları [57]

Tam yüklü durumda snubber kapasitör gerilimi aşağıda verilen bağıntıyla ifade ile verilir. Şekil 2.17’de böyle bir RCD snubber devresi ve devreye ait dalga formu gösterilmiştir. MOSFET drain gerilimi, snubber diyotun katod gerilimini aştığı zaman snubber diyodu ilettime geçerek kaçak indüktans akımını absorbe eder. Snubber devresi analiz edildiğinde, snubber kapasitörünün geriliminin bir anahtarlama periyodunca değişmeyeceği kadar büyük bir kapasiteye sahip olduğu kabul edilir.

$$V_{SN} = V_{RO} + V_{OS} \quad (2.1.24)$$

Snubber devresinde güç kaybı ise aşağıdaki gibidir.

$$P_{SN} = \frac{V_{SN}^2}{R_{SN}} = \frac{1}{2} L_{lk} I_{DS,PK}^2 \frac{V_{SN}}{V_{SN} - V_{RO}} f_s \quad (2.1.25)$$

Burada L_{lk} kaçak indüktans, V_{sn} tam yükte snubber kapasitör gerilimi ve R_{sn} snubber direncidir. Anahtarlama frekansında kaçak endüktans primer sargıda ölçülür; bu esnada tüm diğer sargılar kısa devre edilir. Uygun elektrik gücü oranına sahip snubber direnci güç kaybı da göz önüne alınarak seçilmelidir. Snubber kapasitör gerilimindeki maksimum dalgalanma (2.1.26)’daki bağıntıyla ifade edilir. Bu bağıntıda genellikle %5 ile % 20 arasında gerilim dalgalanmasına sahip olacak bir kapasitör tercih edilir [57].

$$\Delta V_{SN} = \frac{V_{SN}}{C_{SN} R_{SN} f_s} \quad (2.1.26)$$

Bu tasarım adımlarını incelendikten sonra aktif filtreli YGF’li LED sürücü yapısının tasarımını gerçekleştirmek için kullanılan tasarım parametreleri Çizelge 2.4’te sunulmaktadır.

Çizelge 2.4. Flyback LED sürücü tasarım parametreleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim	
Giriş	Gerilimi	$V_{IN,MIN}$	90	Volt
		$V_{IN,MAX}$	305	Volt
	Frekansı	f_{in}	50	Hz
Çıkış	Gerilimi	$V_{OUT,MIN}$	25	Volt
		$V_{OUT,MAX}$	55	Volt
	Akım	$I_{OUT,NOM}$	0.58	Amper

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde pasif filtreli LED sürücülerin ve YGF Flyback yapının simülasyon çalışmalarına ait sonuçlar sunulmaktadır. Pasif filtreli güç faktörü düzeltmeli LED sürücü yapıları için AC giriş geriliminin değerinin 220 V sabit olduğu ve çıkışta ise seri bağlı 8 adet (3.8 V/0.7 A) güç LED'in olduğu duruma ilişkin simülasyonlar PROTEUS'ta gerçekleştirilmiştir. YGF Flyback yapının ise giriş geriliminin değerinin 220 V sabit olduğu ve çıkışta ise seri bağlı 8 adet (4 V/0.6 A) LED'in olduğu duruma ilişkin simülasyonlar POWER SUPPLY WEB DESIGNER programında gerçekleştirilmiştir. YGF'li Flyback yapının farklı giriş gerilim seviyelerinde uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

3.1. Pasif Filtreli LED sürücüler

Bölüm 2.2.1'de verilen ön dirençli ve gerilim regülatörlü LED sürücü devre yapılarına ilişkin farklı güç faktörü düzeltme metotlarına ilişkin simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

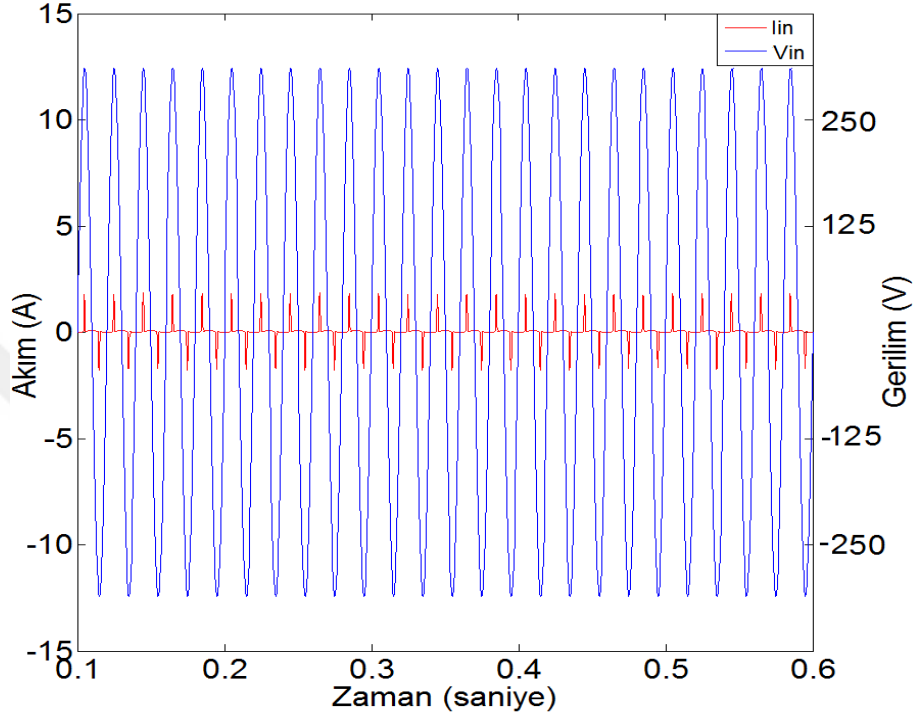
3.1.1. Ön dirençli LED sürücü yapıları

Bu bölümde ön dirençli ve daha sonrada gerilim regülatörlü yapılar ele alınmıştır. Burda ön dirençli yapılarla ilişkin simülasyon sonuçları Tablo 1'de sunulmaktadır. Sonuçlardan ön dirençli yapılarda güç faktörünün 0.448 ile 0.937 arasında, toplam harmonik bozulma değerinin % 19.47 ile % 198.14 arasında ve verim değerinin ise % 51.36, % 58.7 ve % 61.95 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

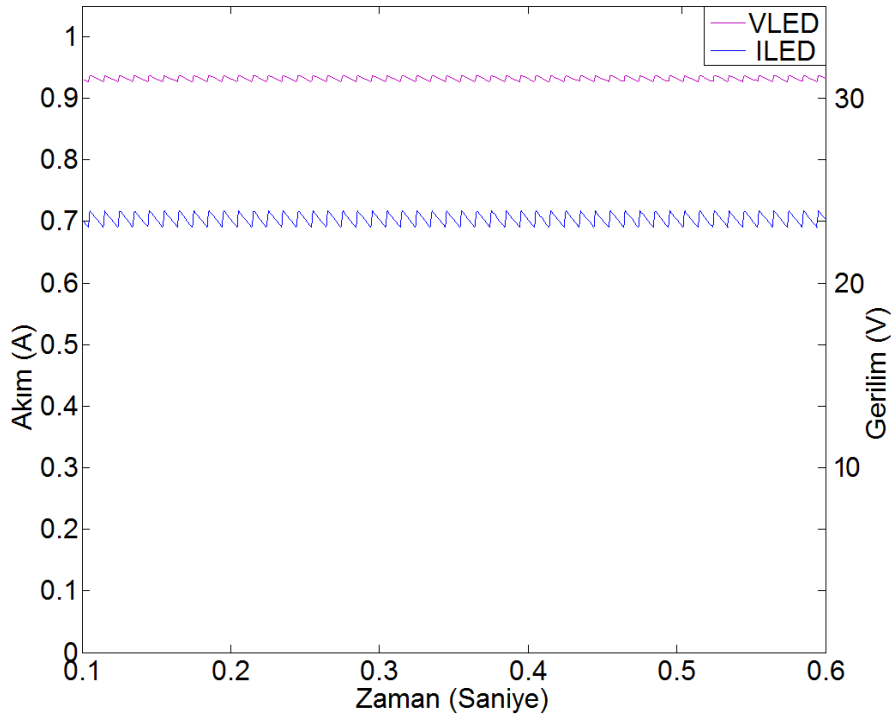
Çizelge 3.1. Ön dirençli yapılara ilişkin simülasyon sonuçları

	Metod	I_{in} (A)	G.F	THD (%)	Verim (%)
Ön Dirençli	TİP 1	0.43	0.448	198.14	51.36
	TİP 2	0.22	0.726	49.2	61.95
	TİP 3	0.18	0.937	19.47	58.7

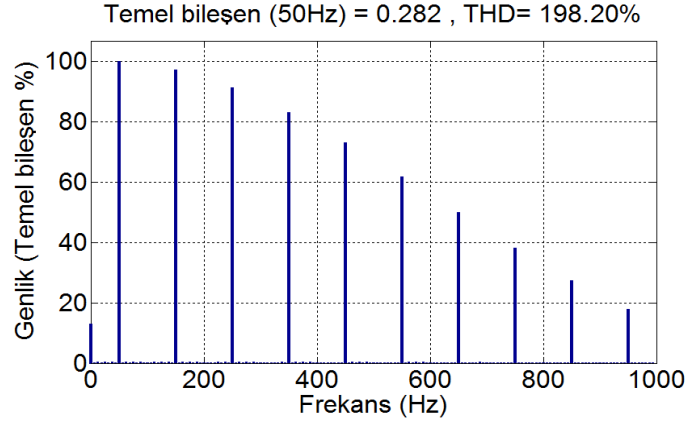
İlk olarak ön dirençli Tip1 yapısı incelenmiştir. Bu yapıya ilişkin giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı ve çıkış gerilimine ait dalga formları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Ayrıca giriş akım ve gerilim verilerinden yararlanarak MATLAB programında toplam harmonik bileşen analizi Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.1. Ön dirençli Tip 1 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli

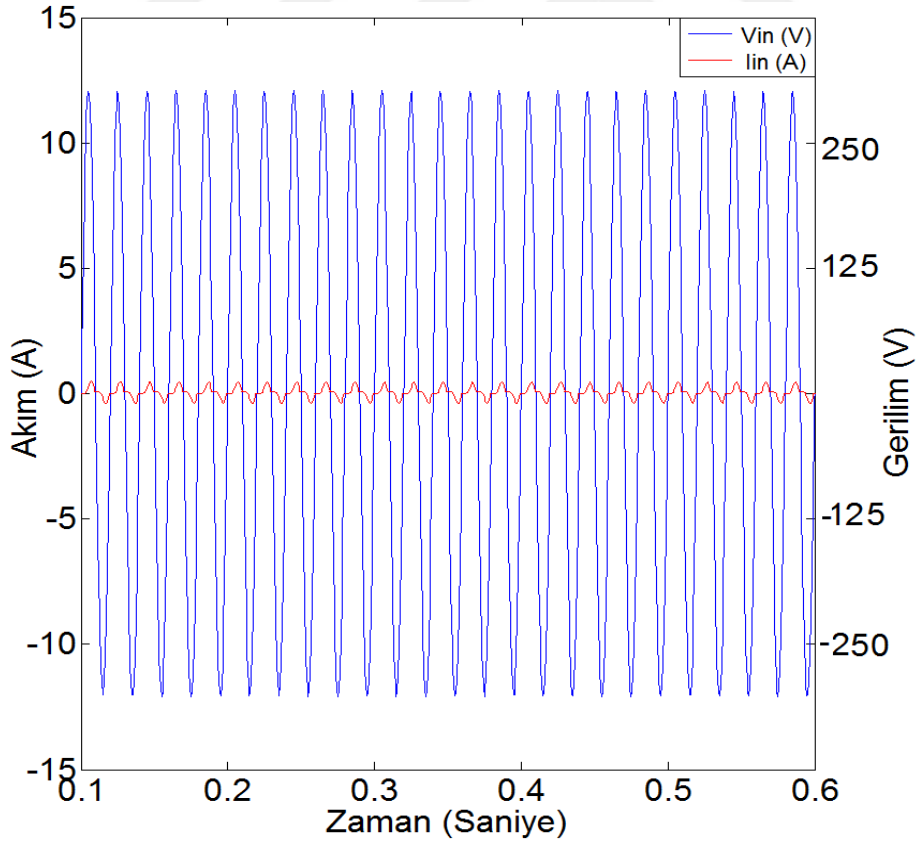


Şekil 3.2. Ön dirençli Tip 1 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

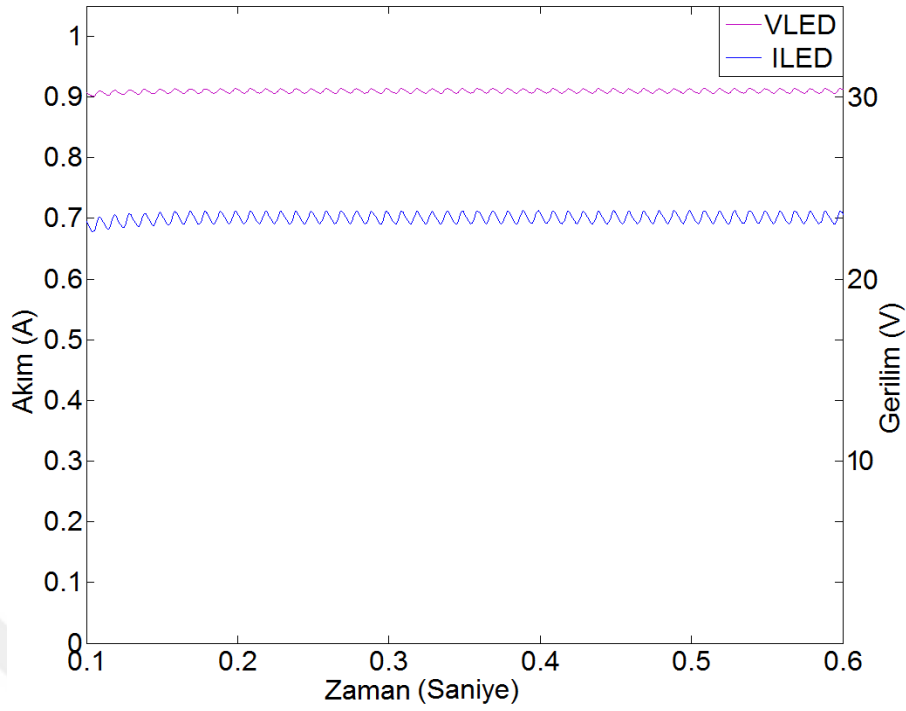


Şekil 3.3. Ön dirençli Tip 1 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenleri

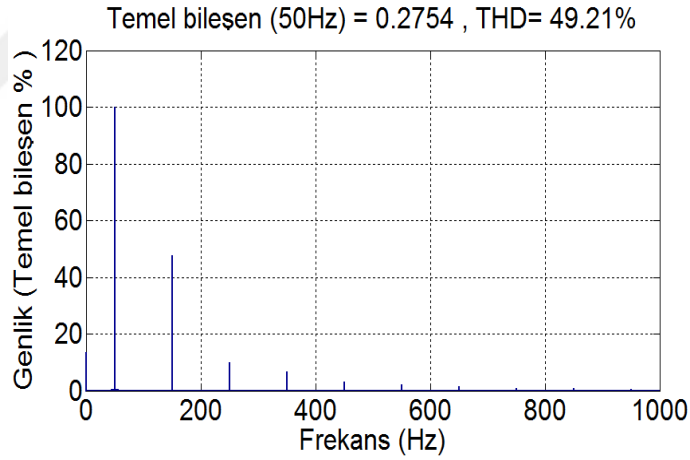
İkinci olarak ön dirençli Tip 2 yapısı incelenmiştir. Bu yapıya ilişkin giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı ve çıkış gerilimine ait dalga formları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmiştir. Ayrıca toplam harmonik bileşen analizi ise Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4. Ön dirençli Tip 2 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli

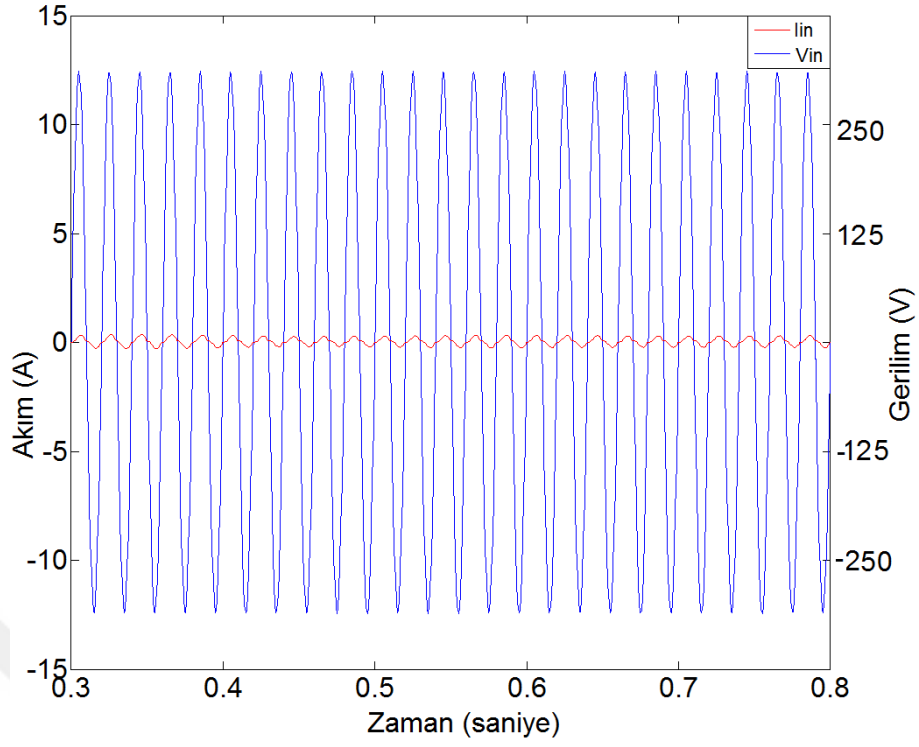


Şekil 3.5. Ön dirençli Tip 2 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

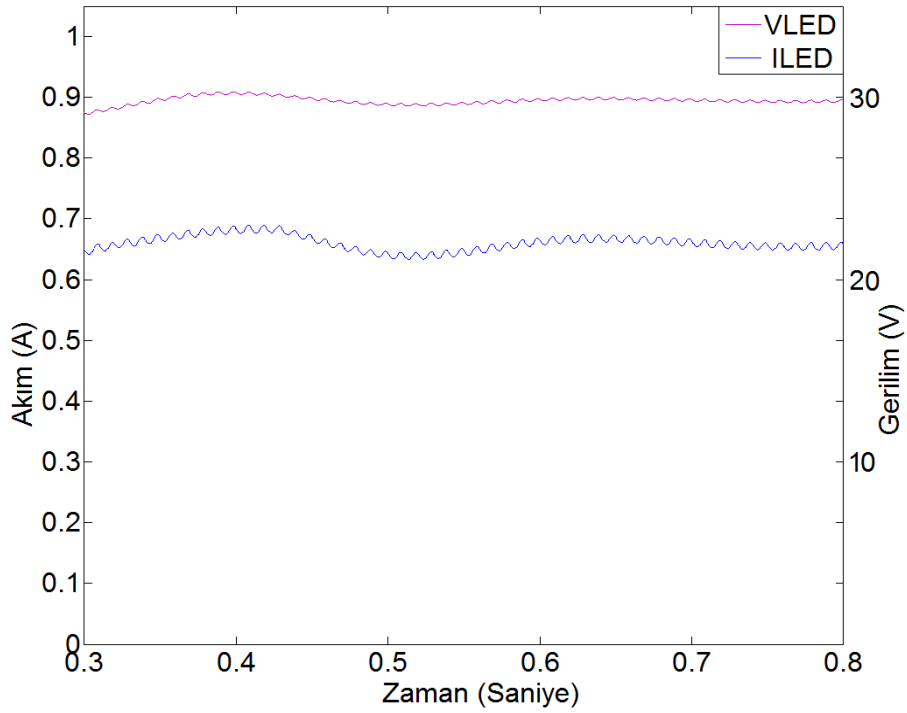


Şekil 3.6. Ön dirençli Tip 2 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenleri

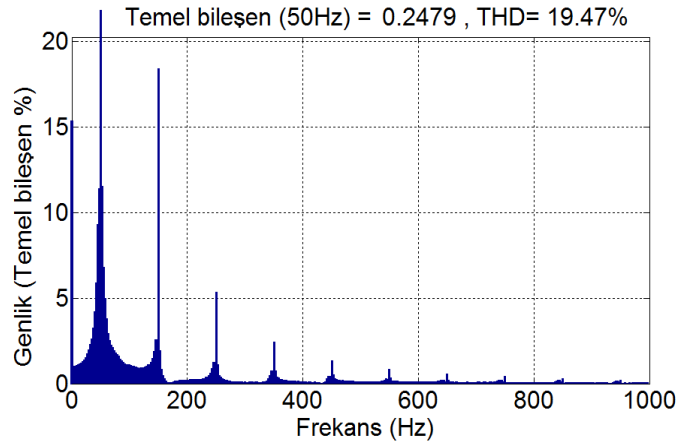
Üçüncü olarak ön dirençli Tip 3 yapısı incelenmiştir. Bu yapıya ilişkin giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı ve çıkış gerilimine ait dalga formları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir. Ayrıca giriş akım ve gerilim verilerinden yararlanarak gerçekleştirilen toplam harmonik bileşen analizi ise Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Ön dirençli Tip 3 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli



Şekil 3.8. Ön dirençli Tip 3 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli



Şekil 3.9. Ön dirençli Tip 3 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenleri

Ön dirençli yapılardan Tip 1 yapısının güç faktörü 0.448 olduğu ve toplam harmonik bozulma değerinin ise % 198.14 olduğu gözlenmiştir. Tip 2 yapısının ise Tip 1 yapısına kıyasla daha iyi bir güç faktörü ve toplam harmonik içerik değerine sahip olduğu görülmüştür. Tip 2 yapısı için güç faktörü 0.726 olduğu ve toplam harmonik bozulma değerinin ise % 49.2 olduğu gözlenmiştir. Tip 3 yapısında ise güç faktörü 0.937 ve toplam harmonik içerik değeri % 19.47 olmaktadır.

IEC 61000-3-2 sınıf C standartlarına göre birinci harmonik bileşen temel bileşenin % 30'unu, beşinci harmonik bileşen % 10'unu, yedinci harmonik bileşen % 7'sini, dokuzuncu harmonik bileşen % 5'ini diğer tek bileşenler ise % 3'ünü aşmamalı ikinci harmonik bileşen ise % 2'sini aşmamalıdır. Ancak ön dirençli Tip 1 ve Tip 2 yapıları güç faktörü ve harmonik içerik konusunda sağlanması gereken standartlara uyumluluk göstermemekte yalnızca ön dirençli Tip 3 yapısı bu standarta uyumluluk göstermektedir. Ön dirençli yapılara ilişkin verim değerleri % 51.36, % 58.7 ve % 61.95 seviyelerindedir. Buradan bu yapıların çok düşük verimlerde çalıştığı gözlemlenmiştir.

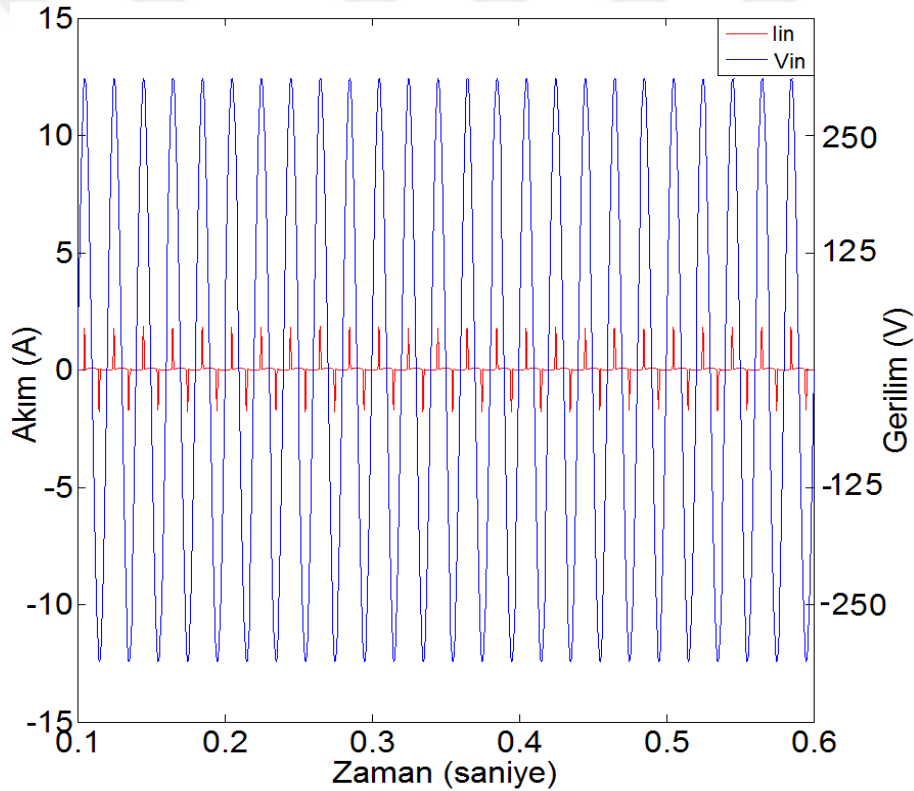
3.1.2. Gerilim regülatörlü LED sürücü yapıları

Gerilim regülatörlü yapılara ilişkin simülasyon sonuçları ise Tablo 2'de sunulmaktadır. Burada gerilim regülatörlü yapılarda güç faktörünün 0.448 ile 0.93 arasında, toplam harmonik bozulma değerinin % 18.39 ile % 198.2 arasında ve verim değerinin ise % 51.36, % 59.11 ve % 62.13 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

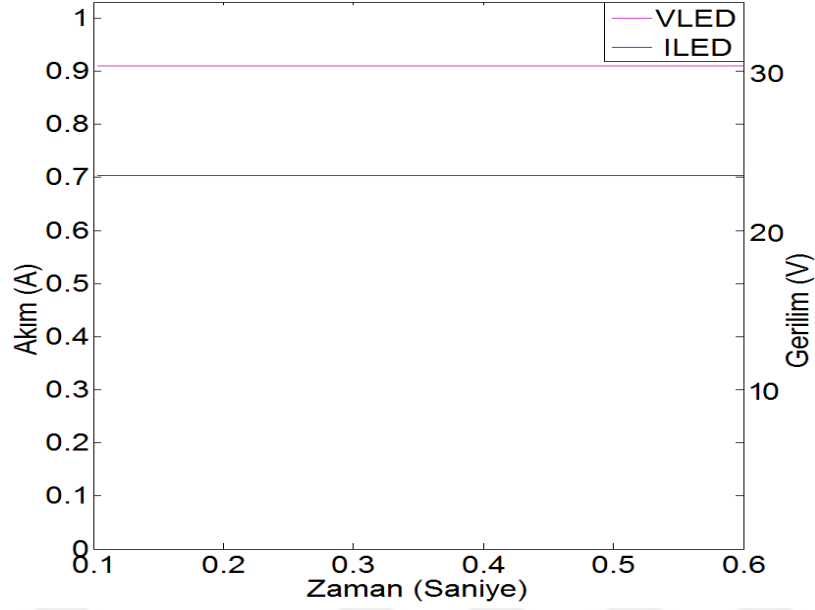
Çizelge 3.2. Gerilim regülatörlü yapılara ilişkin simülasyon sonuçları

	Metod	I_{in} (A)	G.F	THD (%)	Verim (%)
Gerilim Regülatörlü	TİP 1	0.43	0.448	198.2	51.36
	TİP 2	0.22	0.724	49	62.13
	TİP 3	0.18	0.93	18.39	59.11

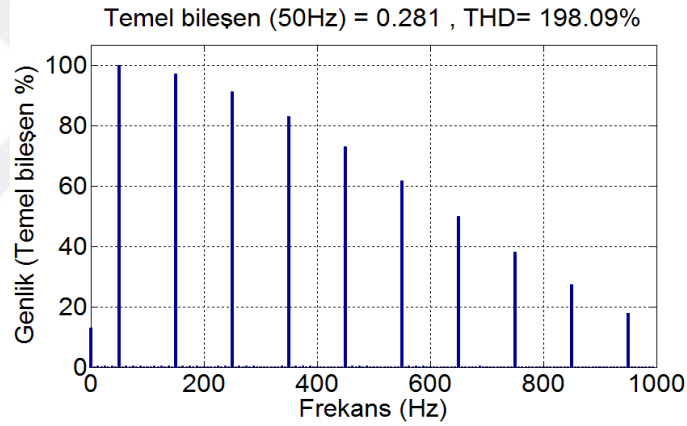
İlk olarak gerilim regülatörlü Tip1 yapısı incelenmiştir. Bu yapıya ilişkin giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı ve çıkış gerilimine ait dalga formları Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir. Ayrıca giriş akım ve gerilim verilerinden yararlanarak MATLAB programı aracılığı ile elde edilen toplam harmonik bileşen analizi şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Gerilim regülatörlü Tip 1 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli

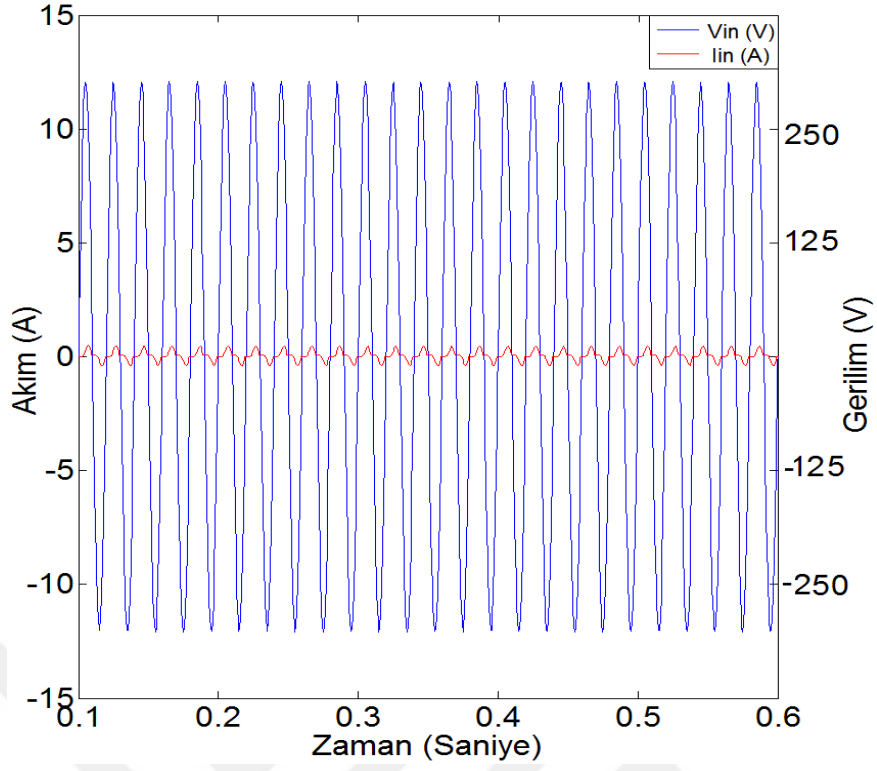


Şekil 3.11. Gerilim regülatörlü Tip 1 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

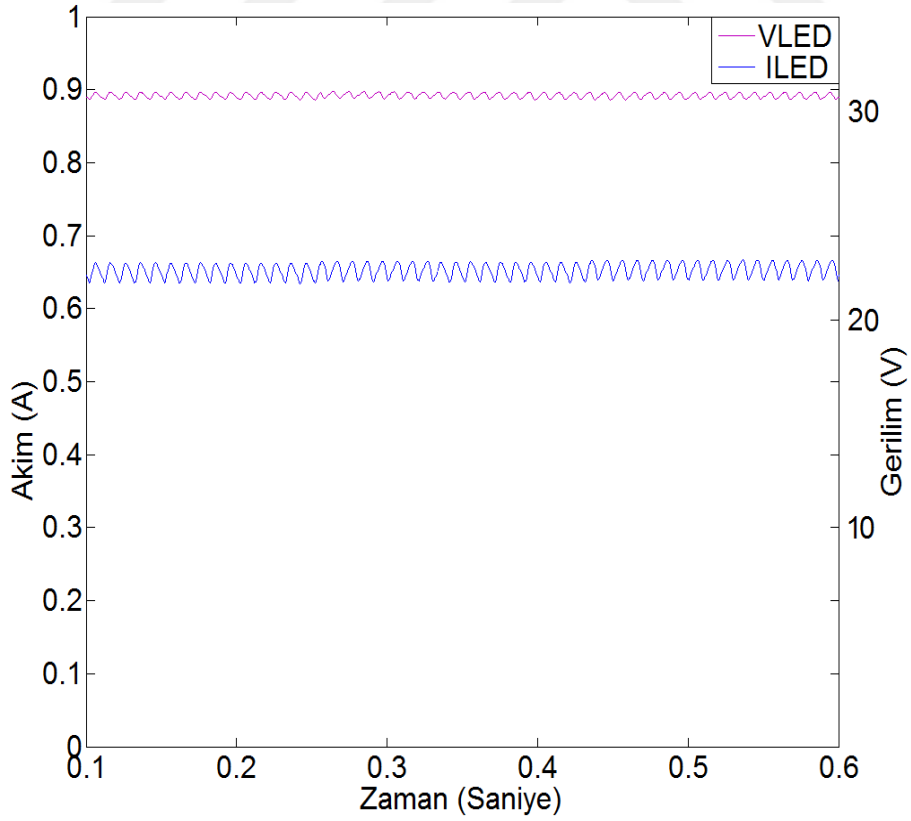


Şekil 3.12. Gerilim regülatörlü Tip 1 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenler

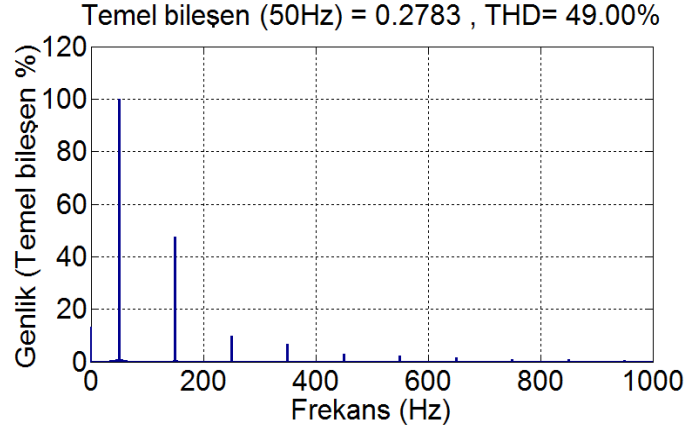
İkinci olarak gerilim regülatörlü Tip 2 yapısı incelenmiştir. Bu yapıya ilişkin giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı ve çıkış gerilimine ait dalga formları Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir. Ayrıca toplam harmonik bileşen analizi ise Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Gerilim regülatörlü Tip 2 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli

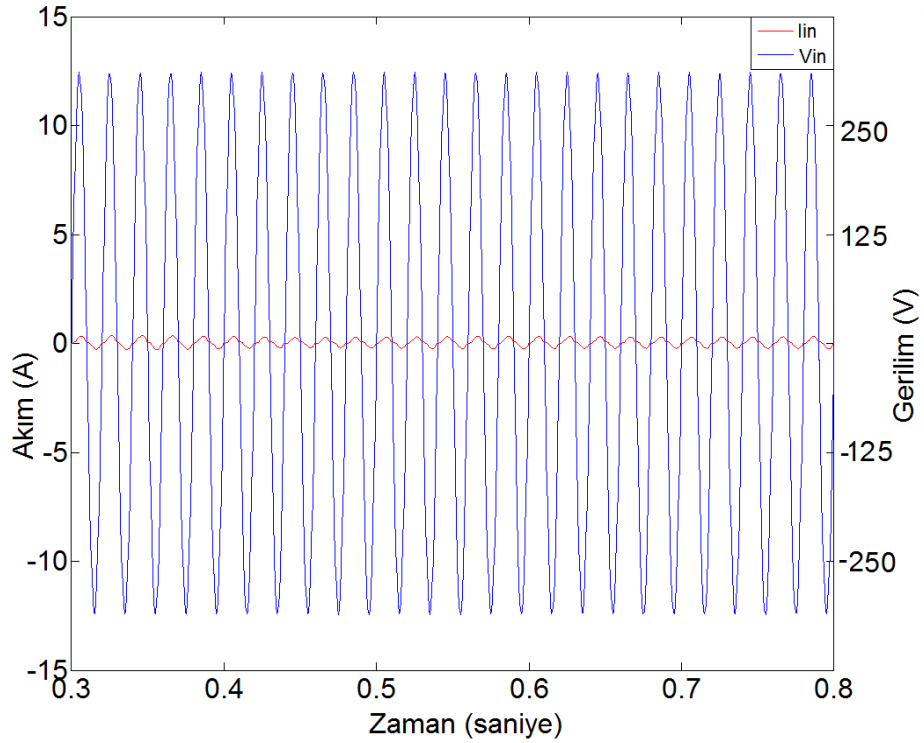


Şekil 3.14. Gerilim regülatörlü Tip 2 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

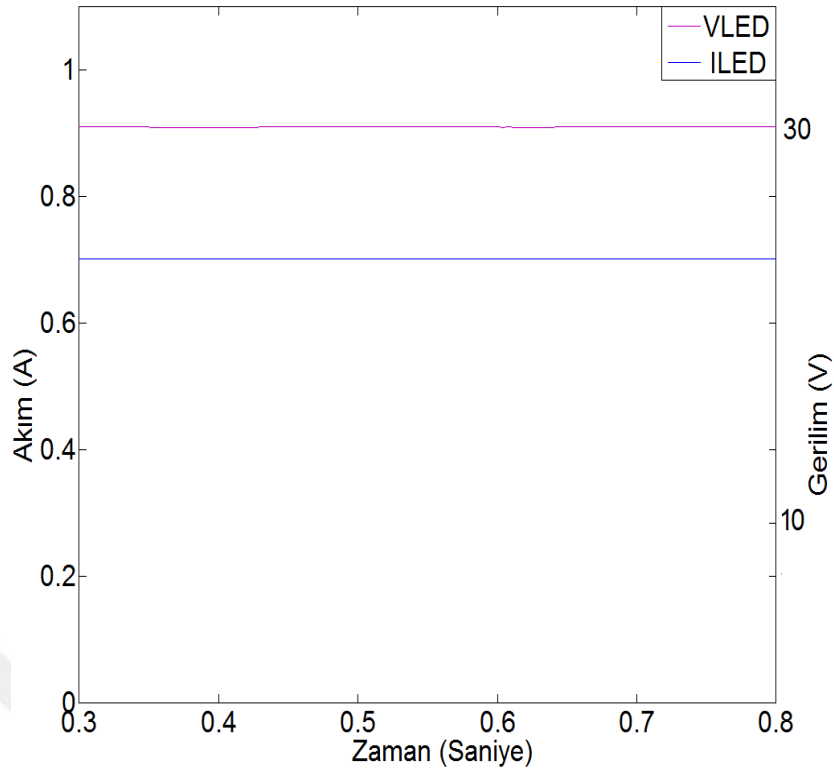


Şekil 3.15. Gerilim regülatörlü Tip 2 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenler

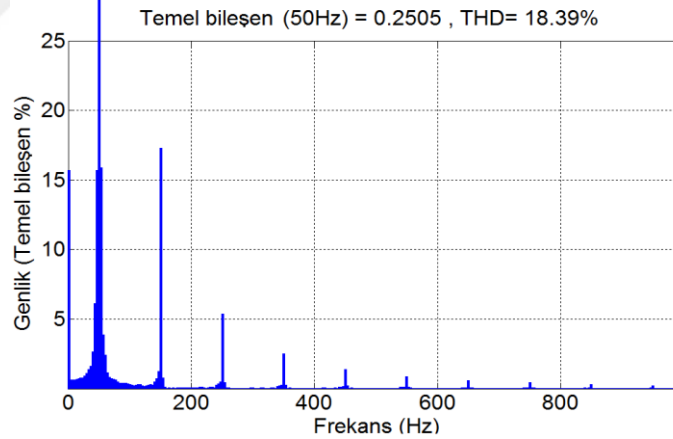
Üçüncü olarak gerilim regülatörlü Tip 3 yapısı incelenmiştir. Bu yapıya ilişkin giriş akımı ve giriş gerilimi ile çıkış akımı ve çıkış gerilimine ait dalga formları Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de verilmiştir. Ayrıca giriş akım ve gerilim verilerinden yararlanarak gerçekleştirilen toplam harmonik bileşen analizi ise Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.16. Gerilim regülatörlü Tip 3 yapısına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli



Şekil 3.17. Gerilim regülatörlü Tip 3 yapısına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli



Şekil 3.18. Gerilim regülatörlü Tip 3 yapısına ait temel bileşen yüzdesine göre harmonik bileşenler

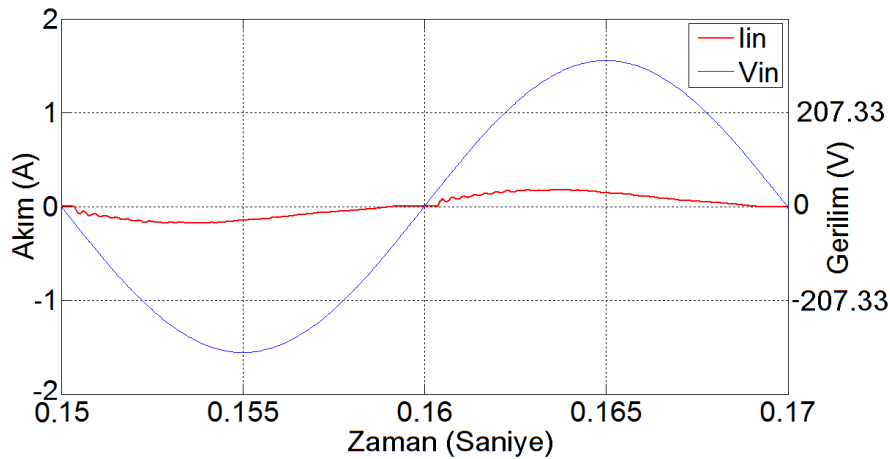
Gerilim regülatörlü yapılardan Tip 1 yapısının güç faktörü 0.448 olduğu ve toplam harmonik bozulma değerinin ise % 198.2 olduğu gözlenmiştir. Tip 2 yapısı için güç faktörü 0.726 olduğu ve toplam harmonik bozulma değerinin ise % 49 olduğu gözlenmiştir. Tip 3 yapısında ise güç faktörü 0.937 ve toplam harmonik içerik değeri % 18.39 olmaktadır.

IEC 61000-3-2 sınıf C standartlarına göre giriş akımının birinci harmonik bileşen temel bileşenin % 30'unu, beşinci harmonik temel bileşenin bileşen % 10'unu, yedinci harmonik bileşen temel bileşenin % 7'sini, dokuzuncu harmonik bileşen temel bileşenin % 5'ini diğer tek bileşenler ise temel bileşenin % 3'ünü aşmamalıdır. Çift bileşenlerde ise yalnızca ikinci harmonik bileşen temel bileşenin % 2'sini aşmamalıdır. Ancak gerilim regülatörlü Tip 1 ve Tip 2 yapıları güç faktörü ve harmonik içerik konusunda sağlanması gereken standartlara uyumluluk göstermemekte yalnızca gerilim regülatörlü Tip 3 yapısı bu standarta uyumluluk göstermektedir. Gerilim regülatörlü yapılara ilişkin verim değerleri % 51.36, % 59.11 ve % 62.13 gibi çok düşük verimlerde çalıştığı gözlemlenmiştir.

3.2. Aktif Güç Faktörü Düzeltmeli Flyback LED Sürücü

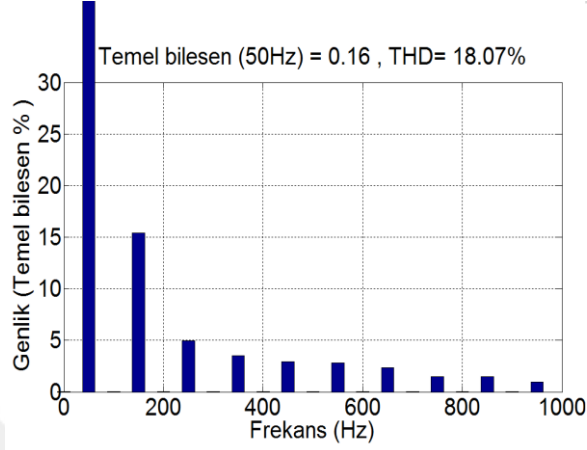
3.2.1. Simülasyon sonuçları

Flyback dönüştürücü yapısı, doğrultulmuş AC şebeke gerilimi ile LED dizisi arasında izolasyonu sağlayan bir DC-DC dönüştürücü temelli güç faktörü düzeltme devre yapısıdır. YGF'li Flyback LED sürücü devresi için öncelikle 220 V giriş gerilimi için simülasyon ve uygulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak simülasyon sonuçlarından elde edilen giriş akım ve giriş gerilim dalga şekilleri Şekil 3.19'da verilmiştir.



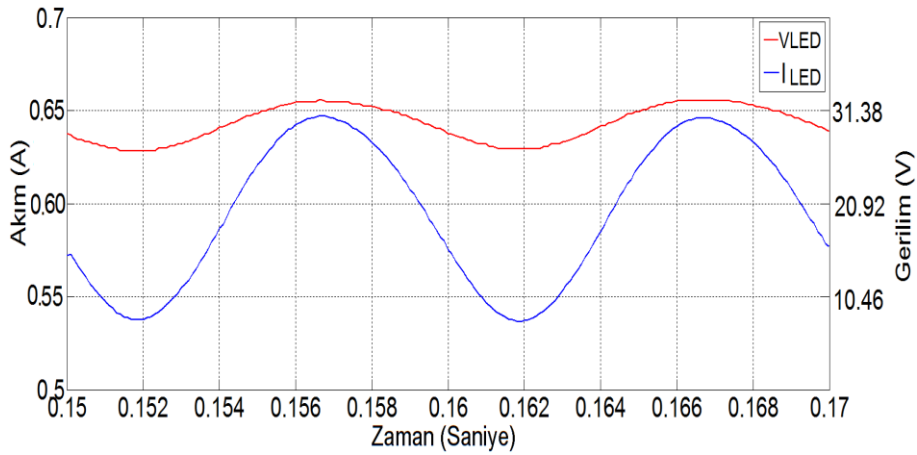
Şekil 3. 19. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü simülasyonuna ait giriş akım ve gerilim dalga şekilleri

Şekil 3.20’de verilen giriş akımı ve gerilimi için güç faktörü değeri 0.93 ve akıma ilişkin toplam harmonik bozulma değeri ise % 18.07 ‘dir. Şekil 3.20’de giriş akımına ait harmonik temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşen spektrumu verilmiştir.



Şekil 3. 20. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü simülasyonuna ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler

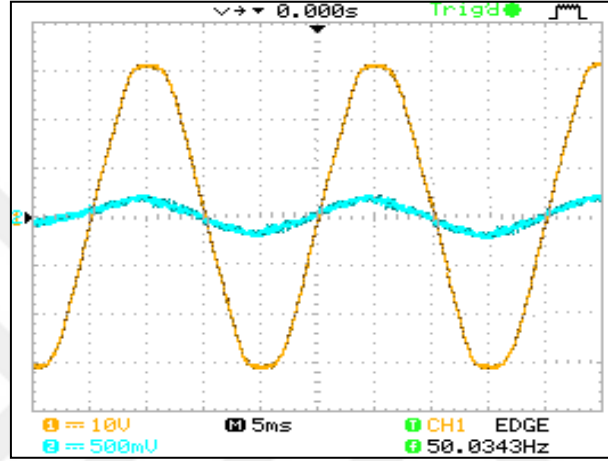
Bu yapıya ilişkin gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarından elde edilen çıkış akım ve gerilim değişimi Şekil 3.21’de verilmiştir. Buradan çıkış geriliminin ortalama değerinin 30.2 V ve çıkış akımı ise 590 mA olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3. 21. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü simülasyonuna ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

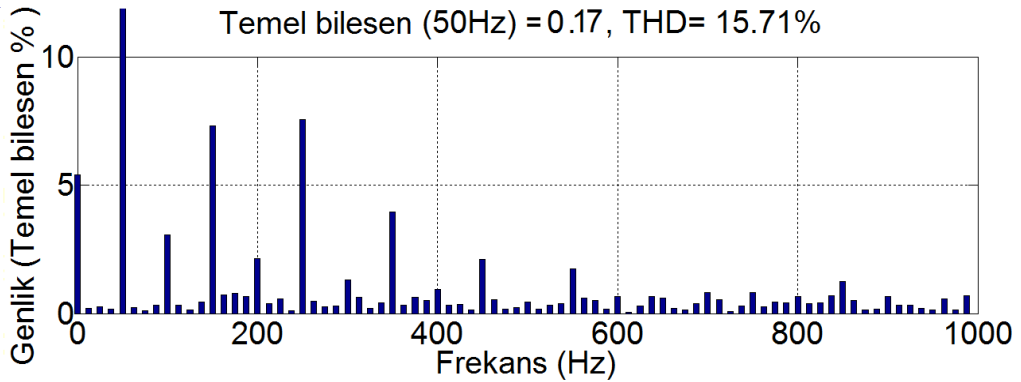
3.2.2. Uygulama sonuçları

YGF Flyback LED sürücü devrenin çıkışında 8 adet güç LED yükü için uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlarda elde edilen giriş akım ve gerilim dalga şekli osiloskop görüntüsü Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Şekil 3.22’den giriş akımıyla giriş gerilimi arasında 22°’lik bir faz farkı olduğu görülür. Şekil 3.23’te ise giriş akımına ait harmonik spektrumu verilmiştir.



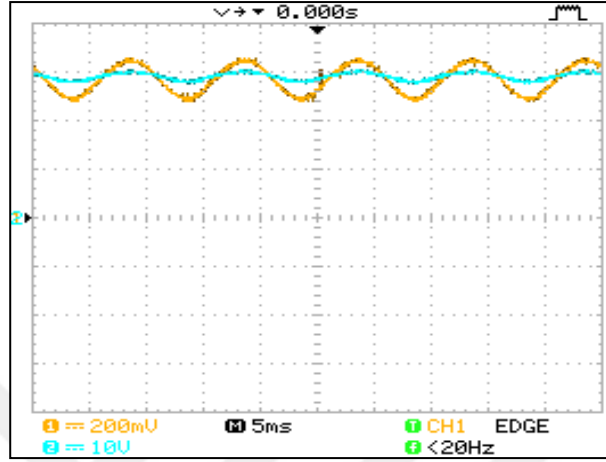
Şekil 3. 22. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli

Deneysel sonuçlara göre giriş akım ve gerilim verilerini kullanarak gerçekleştirilen analizde güç faktörü değerinin 0.928 ve toplam harmonik bozulma değerinin % 15.71 olduğu görülmüştür.



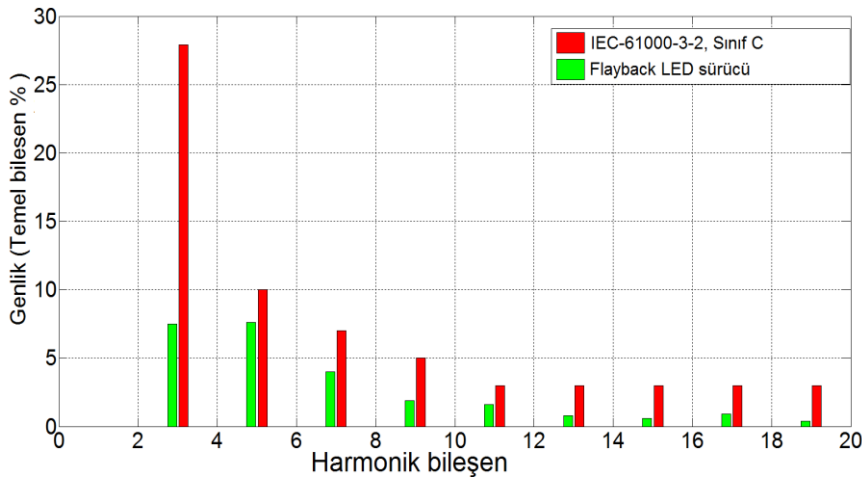
Şekil 3. 23. . 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler

DeneySEL sonuçlara ait çıkış akım ve çıkış gerilim değışimi Şekil 3.24'te verilmiştir. Çıkış geriliminin ortalama değeri 30.6 V ve ortalama çıkış akımı ise 576 mA'dir. Şekil 3.24'ten görüldüğü üzere çıkış geriliminde ve çıkış akımında bir miktar dalgalanma söz konusudur. Bu dalgalanma çıkış akımında % 15, çıkış geriliminde % 10 dalgalanma olmaktadır.



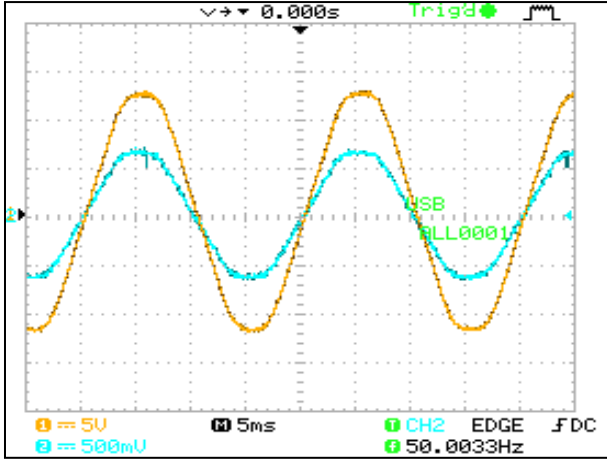
Şekil 3. 24. . 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga Şekli

Gerçekleştirilen YGF'li Flyback LED sürücü yapısının IEC 61000-3-2 sınıf C standartlarına uygunluğu Şekil 3.25'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan harmonik bileşenlerin standartlarda verilen sınırlamalara göre çok küçük değerde olduğu anlaşılmaktadır.

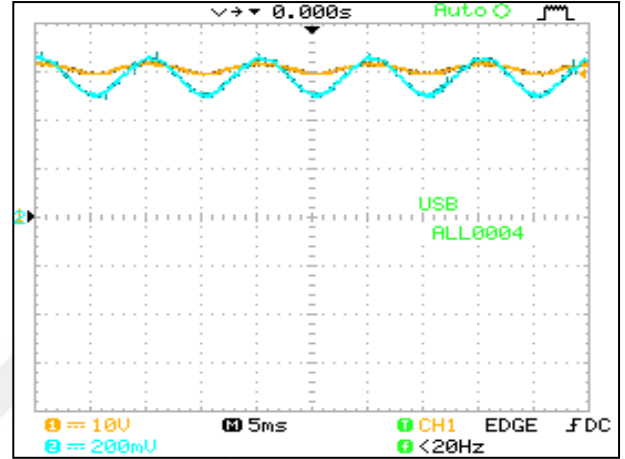


Şekil 3. 25. 220 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait harmonik bileşenlerin IEC 61000-3-2 standartlarıyla karşılaştırılması

YGF'li Flyback LED sürücü farklı gerilim seviyesinde çalıştırılmış ve giriş akımı giriş gerilimi görüntüleri osiloskop ortamından alınmıştır. Ayrıca alınan giriş akım ve gerilim verilerini kullanarak gerçekleştirilen analizde temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler gösterilmiştir.

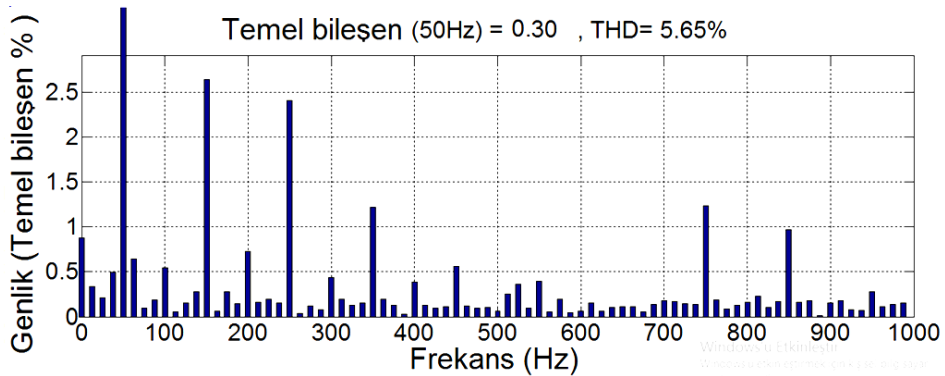


Şekil 3. 26. 90 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli



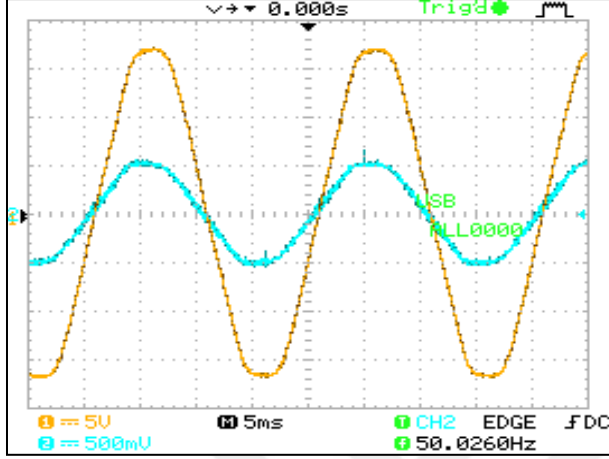
Şekil 3. 27. 90 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

İlk olarak giriş geriliminin 90 V olduğu duruma ilişkin giriş gerilimi ve akımı dalga şekli Şekil 3.26'da görülmektedir. Burada giriş akımıyla giriş gerilimi arasında $8,1^\circ$ 'lik bir faz farkı olduğu görülmektedir. Çıkış akımı ve gerilimi dalga şekli ise Şekil 3.27'de görülmektedir. Giriş akımına ilişkin harmonik bileşen analizi Şekil 3.28'de görüldüğü gibi MATLAB aracıyla yapılmıştır. Şekil 3.28'den giriş akımının THD'sinin % 5.65 olduğu görülür.

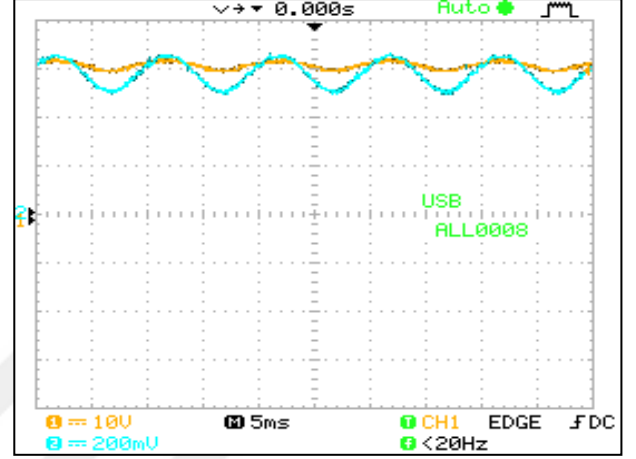


Şekil 3. 28. 90 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler

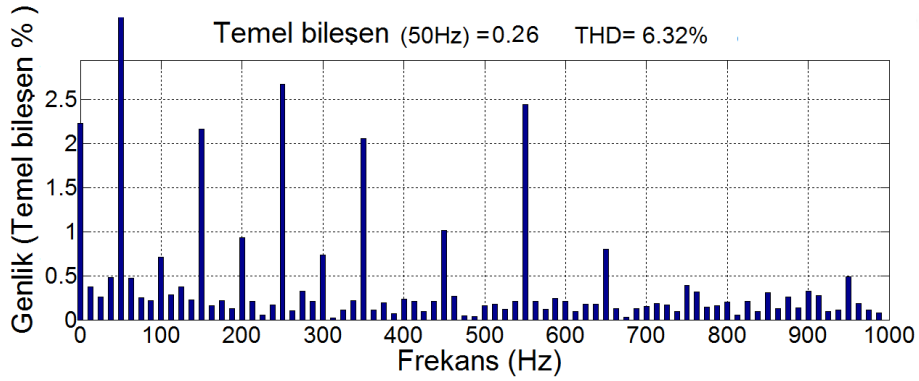
İkinci olarak giriş geriliminin 120 V olduğu duruma ilişkin giriş gerilimi ve akımı dalga şekli Şekil 3.29'da, çıkış akımı ve gerilimi dalga şekli ise Şekil 3.30'da görülmektedir. Şekil 3.29'da giriş akımıyla gerilimi arasında 8,8 °'lik bir faz farkı olduğu gözlenmektedir. Giriş akımına ilişkin harmonik bileşen analizi ise Şekil 3.31'de görülmektedir. Buradan giriş akımının THD'sinin % 6.32 olduğu görülür.



Şekil 3. 29. 120 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli

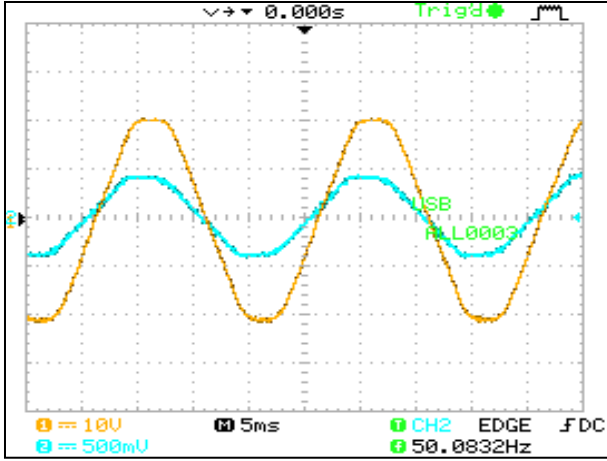


Şekil 3. 30. 120 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

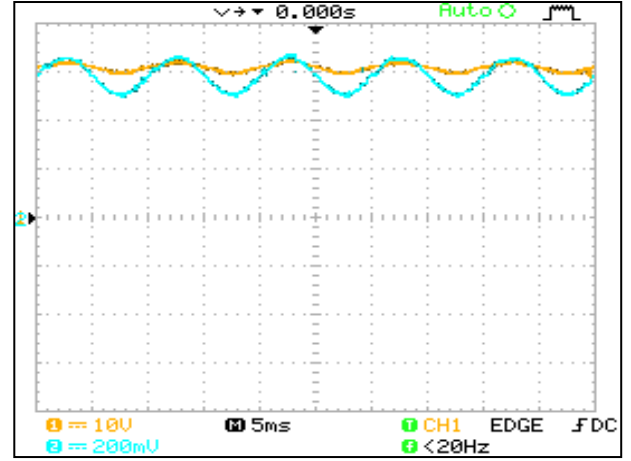


Şekil 3. 31. 120 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler

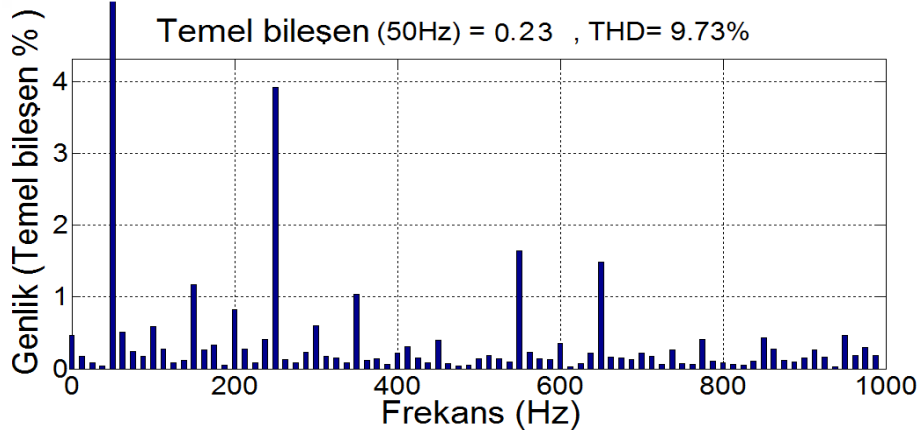
Üçüncü olarak giriş geriliminin 150 V olduğu duruma ilişkin giriş gerilimi ve akımı dalga şekli Şekil 3.32'de, çıkış akımı ve gerilimi dalga şekli ise Şekil 3.33'te görülmektedir. Giriş akımına ilişkin harmonik bileşen analizi ise Şekil 3.34'te görülmektedir. Buradan giriş akımının THD'sinin % 9.73 olduğu Şekil 3.34'te görülmektedir.



Şekil 3. 32. 150 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli

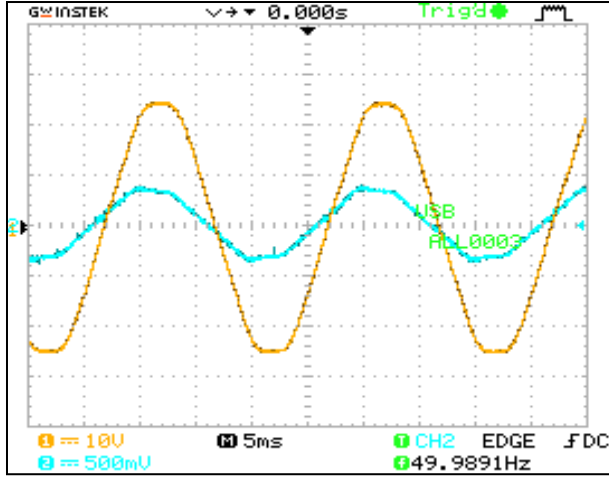


Şekil 3. 33. 150 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli

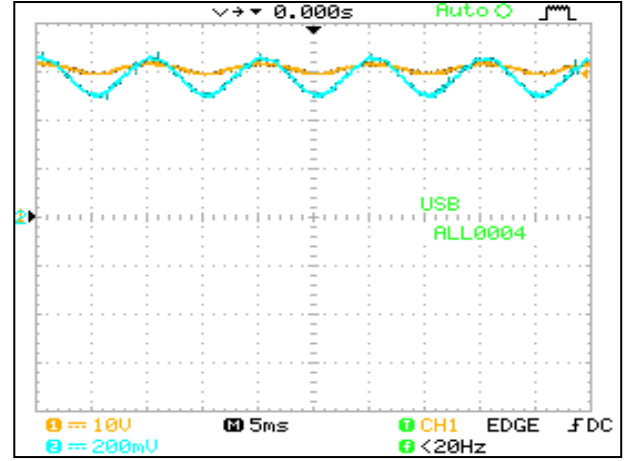


Şekil 3. 34. 150 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler

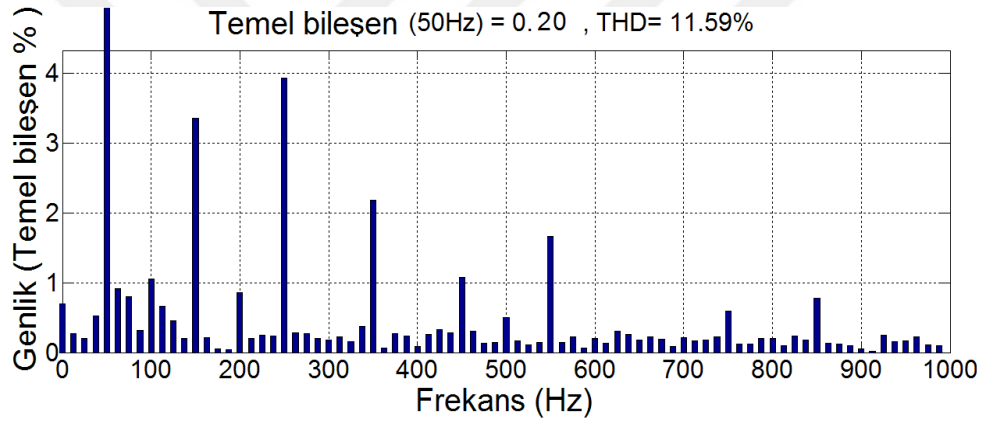
Dördüncü olarak giriş geriliminin 180 V olduğu duruma ilişkin giriş gerilimi ve akımı dalga şekli Şekil 3.35’de, çıkış akımı ve gerilimi dalga şekli ise Şekil 3.36’da görülmektedir. Giriş akım ve gerilimine ilişkin harmonik bileşen analizi ise Şekil 3.37’de görülmektedir. Giriş akım ile gerilimi arasında faz farkı $18,2^\circ$ ve giriş akımı THD değeri % 11.59’dur.



Şekil 3. 35. 180 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait giriş akım ve gerilim dalga şekli



Şekil 3. 36. 180 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait çıkış akım ve gerilim dalga şekli



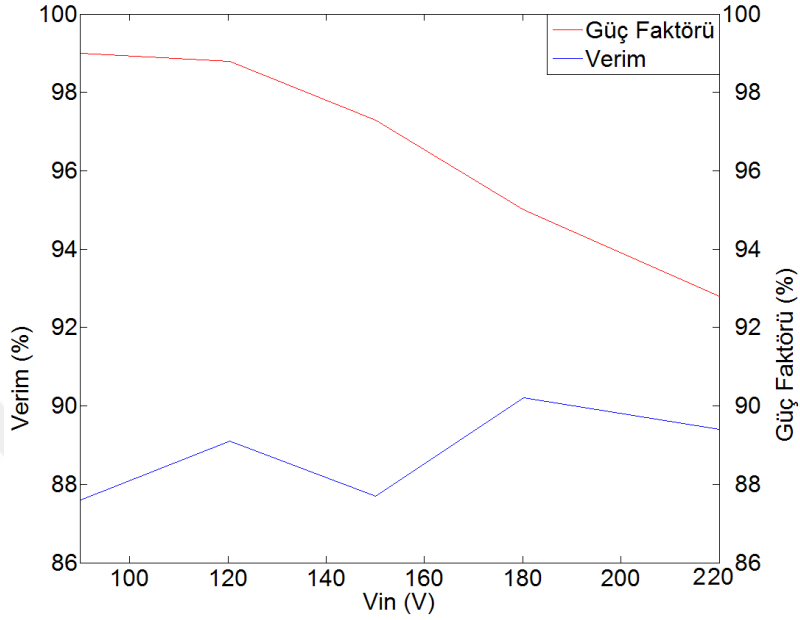
Şekil 3. 37. 180 V giriş geriliminde Flyback LED sürücü uygulamasına ait temel bileşenin yüzdesine göre harmonik bileşenler

YGF'li Flyback LED sürücü farklı gerilim seviyelerinde çalıştırılması durumlarında alınan deneysel sonuçlara ilişkin giriş akımı(I_{in}), çıkış akımı (I_{LED}), çıkış gerilimi(V_{LED}), güç faktörü (GF), toplam harmonik içerik (THD) ve LED sürücünün verimliliği verileri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Farklı gerilim seviyelerinde uygulama sonuçları

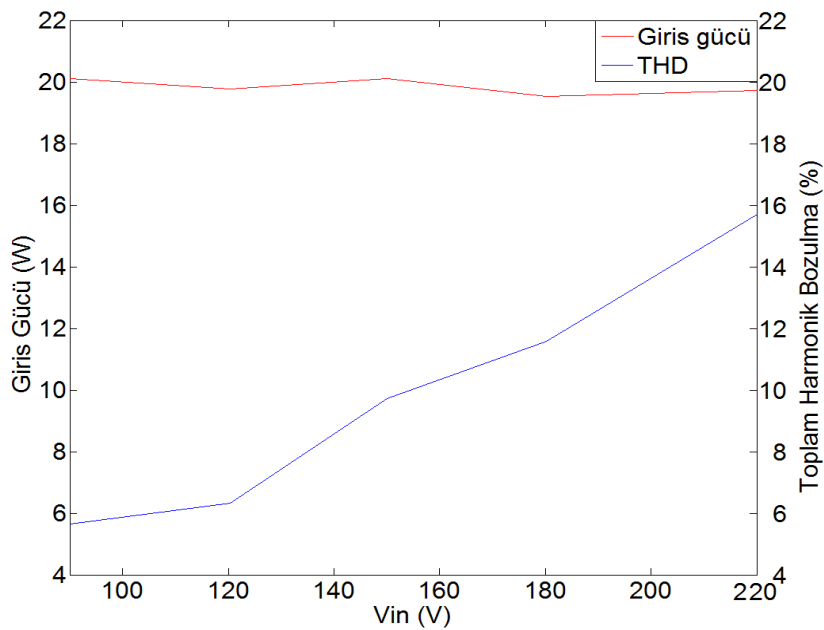
V_{inrms} (V)	I_{inrms} (mA)	V_{LED} (V)	I_{LED} (mA)	P_{out} (W)	P_{in} (W)	Verim (%)	PF	THD (%)
90	225.7	30.6	576	17.63	20.11	87.6	0.990	5.65
120.43	166.2	30.6	576	17.63	19.78	89.1	0.988	6.32
150	137.7	30.6	576	17.63	20.1	87.7	0.973	9.73
180.14	114.2	30.6	576	17.63	19.54	90.2	0.95	11.59
220	96.6	30.6	576	17.63	19.72	89.4	0.928	15.71

Çizelge 3.3'ten yararlanarak ilk olarak LED sürücü devrenin giriş gerilim değişimine göre GF ve verim değişimi Şekil 3.38'de görülmektedir. Burada giriş gerilimindeki artışla güç faktörü değeri azalmaktadır. 90V ile 220 V giriş gerilimi aralığında LED sürücünün % 87.6'dan daha yüksek verimlerde çalıştığı görülmektedir.



Şekil 3.38. Flyback LED sürücüde verim ve güç faktörünün giriş gerilimine göre değişimi

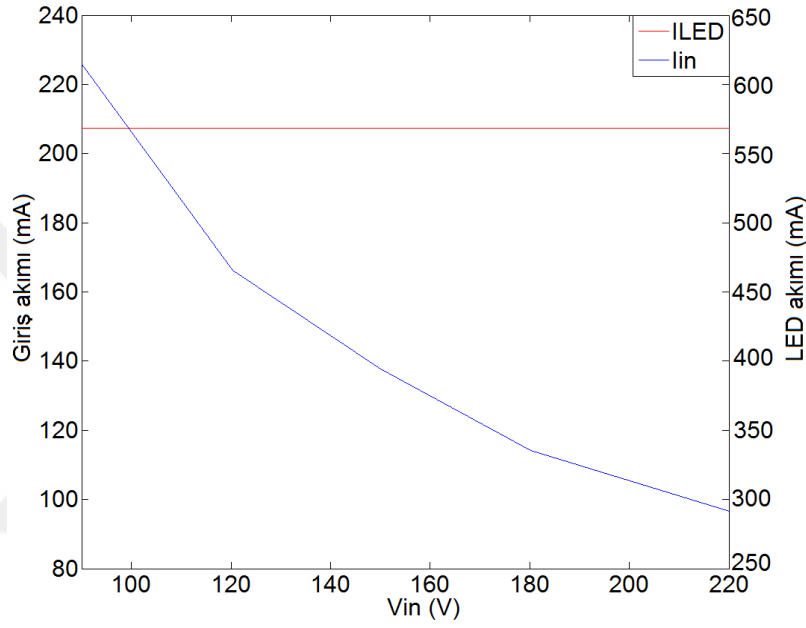
İkinci olarak giriş gerilim değişimine göre THD ve giriş gücü değişimi Şekil 3.39'da görülmektedir.



Şekil 3.39. Flyback LED sürücüde giriş gücü ve THD'nin giriş gerilimine göre değişimi

Giriş gerilimindeki artışla giriş akımındaki toplam harmonik bozulma değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca devrede giriş geriliminde artışa karşın giriş akımının değerinin azalması nedeniyle giriş gücünün 20w dolaylarında değişim gösterdiği görülmektedir.

Son olarakta Flyback LED sürücü devrenin giriş gerilim değişimine göre LED akımı ve giriş akımı değişimi Şekil 3.40'da görülmektedir. Giriş gerilimindeki artışla giriş akımının azaldığı, çıkışta LED akımının sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 3. 40. Flyback LED sürücüde giriş geriliminin giriş akımı ve LED akımına göre değişimi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde ac-dc dönüştürücü devrelere olan ihtiyacın giderek artması; yeni devre yapıları ve kontrol tekniklerinin oluşturulmasına neden olmuştur. Bunun sonucu olarak şebekede hem giriş güç faktörü düşmekte ve hem de şebekeye yüksek derecede harmonikler enjekte edilmektedir. Yapılan çalışmalar sonunda şebekeden kaliteli bir güç tüketimini gerçekleştirmek ve enerjiyi verimli kullanmak için farklı güç faktörü düzeltme metotları ortaya çıkmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında; bir LED sürücü devresinin AC giriş gerilimi 90-220V arasında değişirken sistemin güç kalitesinin arttırılması ve verimli bir enerji tüketimi sağlanması için oluşturulacak şartlar araştırılmıştır. Bu çerçevede ilk olarak pasif filtreli güç faktörü düzeltme devre yapıları incelenmiş, bu devre yapılarına ilişkin tasarım parametreleri belirlenmiştir. Giriş gerilimim 220 V olduğu ve çıkışta 8 adet (3.8V/0.7A) güç LED'in seri bağlandığı yapıya ilişkin simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmaları sonuçlarında bu pasif filtreli yapılar için güç faktörünün 0.448 ile 0.93 arasında, toplam harmonik bozulma değerinin % 17.84 ile % 198.14 arasında ve verim değerinin ise % 51.36 ile % 62.13 arasında değiştiği görülmektedir. Pasif filtreli Tip 1 ve Tip 2 yapılarının güç faktörü değerlerinin küçük olduğu ve IEC 61000-3-2 sınıf C standartına uyum sağlamadığı görülmektedir. Tip 3 yapısının güç faktörü değerlerinin yüksek olduğu ve IEC 61000-3-2 sınıf C standartına uyum sağladığı anlaşılmaktadır. Ancak pasif filtreli LED sürücü yapılarının hepsi düşük verimlerde çalışmaktadır. Pasif filtreli LED sürücü yapılar; kullanım kolaylığı, güvenilirlik, sağlamlık, dalgalanma ve gürültüye duyarsızlık, elektromanyetik girişim (EMG) üretmeme ve yüksek frekans anahtarlama kayıplarının giderilmesi yönünden faydaları vardır.

Ancak, bu yapılarla IEC 61000-3-2 sınıf C standartlarını karşılamamanın her yapı için mümkün olmayacağı ve yüksek verimlilikte çalışamayacağı anlaşılmaktadır.

İkinci olarak aktif güç faktörü düzeltme yöntemlerinden biri olan YGF'li Flyback LED sürücü devre yapısı ele alınarak çalışma prensipleri incelenmiştir. Daha sonra 90-220V giriş gerilim aralığı için çıkış geriliminin 25-55 V arasında olduğu ve çıkış akımının 580 mA olduğu bir devre için tasarım parametreleri belirlenmiştir. Tasarımı yapılan LED sürücü devrenin çıkışında 24 W'lık (8x3W) yük olduğu duruma ilişkin önce simülasyon çalışması yapılmıştır. Ardından bu yapıya ilişkin farklı gerilim seviyelerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Flyback LED sürücü devresinde giriş akımı (I_{in}), çıkış akımı (I_{LED}), çıkış

gerilimi (V_{LED}), güç faktörü (GF), toplam harmonik içerik (THD) ve LED sürücünün verimlilik değerleri elde edilmiştir. AC giriş gerilimi 220 V olduğu durumda gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarıyla deneysel çalışma sonuçlarının uyumlu olduğu gözlenmiştir. Ancak deneysel çalışma sonuçlarında THD değerinin biraz daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi ise giriş gerilimini ayarlamak için kullanılan ototrafo indüktansından kaynaklanmaktadır.

Elde edilen veriler ile grafikler oluşturulmuştur. Bu oluşturulan grafiklerden Flyback LED sürücü devrenin 90-220V giriş gerilim aralığında farklı giriş gerilimlerdeki uygulamalarında üç ana sonuç unsuru gözlemlenmiştir. Bunlardan ilki giriş gerilim değerinin yükselmesiyle giriş akımının azaldığı ancak buna karşın LED akım ve geriliminin sabit olduğu belirlenmiştir. İkincisi, giriş gerilim değerinin yükselmesiyle GF değerinin azaldığı ve THD değerinin ise arttığı görülmüştür. Üçüncüsü ise, farklı giriş gerilim değerlerinde flyback sürücü devresinin yüksek verimlerde çalıştığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak tek katlı Flyback LED sürücüler ile yüksek güç faktörü ve düşük toplam harmonik içerik sağlanmıştır. Giriş akımı harmonik bileşenlerinin, IEC 61000-3-2 sınıf C standartları ile belirtilen limitler arasında olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra tasarımların uluslararası standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmesi sonucu AC giriş geriliminin yüksek olduğu orta ve yüksek güçlü aydınlatma uygulamaları için Flyback LED sürücü devrelerin yüksek verimlerde çalıştığı görülmüştür. Ayrıca Flyback LED sürücü yüksek anahtarlama frekanslarında çalıştığından dolayı küçük boyutlu reaktif elemanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle bu LED sürücü yapıları küçük boyutludur.

Bu çalışmada güç LED'lerini sürmek için YGF'li Flyback devrenin tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda farklı topolojik yapılarıdaki (Buck, Boost, Buck Boost) devre yapıları ile hem güç faktörü düzeltme işlemi, hem de çıkış gerilimi regülasyonu gerçekleştirildiği tek katlı güç faktörü düzeltmeli yapıları için farklı çalışma modlarında (CCM, DCM, CrM) tasarımları üzerinde çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bu çalışmalarda basit yapı ve düşük maliyetli şekilde tasarlanan devre yapılarının orta ve yüksek güçlü LED aydınlatma uygulamaları üzerinde araştırma geliştirme çalışmaları yapılabilecektir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Liping J., Yingchao Z., Youquan J., Yongchang Z., Zhengming Z., “One Stage Flyback-Type Power Factor Correction Converter for LED Driver”, International Conference on Electrical Machines and Systems, 2173 – 2176, Güney Kore, Ekim 2013.
- [2] Cheng, H. L., Cheng, C. A., Chang, C., “A Novel Single-Stage HPF AC/DC Converter with Integrated Buck-Boost and Flyback Converters”, IEEE 2nd International Symposium on Next-Generation Electronics, 146-149, Çin, Şubat 2013.
- [3] Dong, H., Xie, X., Peng, K., Li, J., Zhao, C., “Feed-forward Dynamic Compensation Control for Single-stage PFC LED Driver to Eliminate Flicker to Human Eyes during AC Input Voltage Variation”, 40th Annual Conference of the IEEE, USA, 1460 – 1465, Kasım 2014.
- [4] Zaohong, Y., Sen, P. C., “Recent Developments in High Power Factor Switch-mode Converters”, Electrical and Computer Engineering IEEE Canadian Conference, Kanada, 477 – 480, Fransa, Mayıs 1998.
- [5] Bodur, H., Akboy, E., Aksoy, İ., “Tek Aşamalı Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi”, Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Türkiye, 168-172, Ekim 2011.
- [6] Hu, Y., Huber, L., Jovanović, M. M., “Single-Stage Flyback Power-Factor-Correction Front-End for HB LED Application”, Industry Applications Society Annual Meeting, USA, 1-8, Ekim 2009.
- [7] Grigore, V., "Topological Issues in Single-phase power factor correction", Doktora Tezi, Helsinki University of Technology, 2001.
- [8] Alireza, R. G., Javad, S. M., Babak, A. “Single-Stage Soft-Switching PFC Converter Based on DCVM Buck and Flyback Converters”, 4th Power Electronics, İran, 218-223, Şubat, 2013.
- [9] Nha, Q. T., Alam, M. M., “Single-Stage Quasi Z-Source Flyback Power Factor Correction Converter” Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID), Çin, 1-5, Ağustos 2012.
- [10] Yılmaz, H., “Tek Katlı Flyback Ve Sepic Gkd’lerin güç LED’iyle Aydınlatma Uygulaması İçin Tasarımı Gerçeklenmesi ve Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi,

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

- [11] Yanık, G., “Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [12] Lüleci, İ. M., “Tek Faz Anahtarlamalı Güç Kaynakları İçin Düşük Maliyetli Aktif Güç Çarpanı Düzeltmesinin Teorisi Ve Pratik Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [13] Gürbüz, Y., “Güç Faktörü Düzeltmeli Güç LED Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [14] Lenk, R., Lenk, C., 2011. Practical lighting desing with LED. IEEE Press, 2011, ISBN: 978-1-118-00820-1, New York, pp. 28-38.
- [15] <http://www.bilgi724.com/wp-content/uploads/2016/03/elektromanyetik-spektrum.png/> (Erişim Tarihi: Haziran 2016).
- [16] Vaquero, D. G., “Off-Line Supply of Solid-State Lamps. Lamp Modelling, Application o The İntegrated Buck-Flyback Converter and Propesel of a New Optimised Dimming Scheme”, University of Oviedo, 2013.
- [17] Khanna, V. K., 2014. Fundemantels of Solid State Lighting, CRC Press, ISBN. 978-1-4665-6109-0, New York, pp. 31-43.
- [18] Ünal, A., 2009. “Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları”, Birsen yayınevi, ISBN. 978-975-511-382-7 İstanbul, s. 20-25.
- [19] Yaman, Y., 2007. “Uygulamalı Aydınlatma Tekniği”, Birsen yayınevi, ISBN. 978-975-511-422-4, İstanbul, s. 21-38.
- [20] Mottier, P., 2009. LEDs for Lighting Applications, John Wiley & Sons, ISBN. 978-1-84821-145-2, London, pp. 3-25.
- [21] https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/advanced_physicsprize2014_2.pdf/ (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2015).
- [22] Schubert, E. F., 2003. Light-emitting diodes, ISBN. 978-052-153-351-5, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- [23] Qu, X., “Development and Design Light Emitting Diodes (LED) Lighting power Supplies”, Doktora Tezi, Hong Kong Polytechnic University departmen of electronic and information engineering, 2009.

- [24] Liu, S., Luo, X., 2011. LED Packaging For Lighting Applications, Chemical Industry Press, ISBN 978-0-470-82785-7, Noida, pp. 211-232.
- [25] http://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2013/01/OSRAM-OS_LED_FUNDAMENTALS_Electrical-Characteristics-of-LEDs_v1_03-07-11_SCRIPT.pdf, (Erişim Tarihi: Kasım 2015).
- [26] Akbulut, M., Gül, Ö., “LED’li Işık Kaynaklarının Karakteristiklerini Belirlemeye Yönelik Ölçmeler”, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, 125-130, İzmir, Mayıs 2009.
- [27] Erol Y., Canbolat, T. “Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesil Power Led Teknolojileri”, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu", 239-242, Elazığ, , Ekim 2011.
- [28] http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/ASSIST-LEDLife_revised2007.pdf (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
- [29] www.cree.com/xlamp_data_sheets/xbd.pdf (Erişim Tarihi: Aralık 2015).
- [30] Narendran, N., Gu, Y., 2005. Life of LED-based white light sources, Journal of Display Technology 1, 167-171.
- [31] Mach, L., Clemens J., Poppe, A., 2014. Thermal Management for LED Applications, Springer Science-Business media, ISBN 978-1-4614-5090-0, New York, pp. 7-18.
- [32] Krarti, M., 2012. Weatherization and Energy Efficiency Improvement for Existing Homes, CRC Press, ISBN 978-1-4398-5163-0, Boca Raton, pp. 89-91.
- [33] <http://www.indiamart.com/keyoperation/led-lights.html>, (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
- [34] https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Lumex_67/PDF/Lumex_HP_Leds_TechNotes.pdf?redirected=1 (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- [35] Dupuis, R. D., Krames, M. R., “History, Development and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes”, Journal Of Lightwave Technology 26, 1154-1171.
- [36] Ginley, D. S., Cahen, D., 2012. Fundamentals of Materials For Energy and Environmental Sustainability, ISBN. 78-1-107-00023-0, Cambridge University Press, New york, pp. 145-160.
- [37] Song, B. M., Han, B., Bar-Cohen, A., Sharma R., Arik, M., “Prediction Model for Actively Cooled LED-Based Luminaire Hierarchical Life”, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies 33, 728-737.

- [38] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lifetime_white_leds.pdf, (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- [39] http://www.cool.conserva-tion-us.org/byorg/us-doe/led_advantage.pdf (Erişim Tarihi: Mart 2016).
- [40] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_advantage.pdf (Erişim Tarihi: Mart 2016).
- [41] Hsia, S. C., Lai, S. Y., Ciou, J. J., “High-Power Led Dimming Driver With Multi-Level Current For Smart Street Lighting System”, 22nd ITC Specialist Seminar on Energy Efficient and Green Networking, 56-60, USA, Kasım 2013.
- [42] Farsakoğlu, Ö. F., Hasırcı, H. Y., Atik, İ., Çelik, İ. “Determination of the effect on the environment and energy efficiency of led and conventional lighting systems”, International Refereed Journal of Engineering and Sciences 2, 134-148.
- [43] http://www.luminanz.co.uk/tech_disadvantages.php, (Erişim Tarihi: Aralık 2015).
- [44] Chi, W. H., Chou, T. L., Han, C. N., Chiang, K. N., “Analysis of Thermal Performance of High Power Light Emitting Diodes Package”, 10th Electronics Packaging Technology Conference, 533-538, Singapur, Aralık 2008.
- [45] <http://www.aroweurope.com/markets-solutions/markets/lighting/application-areas.html>, (Erişim Tarihi: Aralık 2015).
- [46] Gürdal, O., 2000. Güç Elektroniği, Nobel Yayıncılık, ISBN 9789755911472, Ankara.
- [47] Mohan, N., Undeland T. M., Robbins, W. P., 2003, Güç Elektroniği. Literatür Yayıncılık, ISBN. 975-8431-99-4, İstanbul.
- [48] Rashid, M. H., 2011. Power Electronics Handbook Devices, Circuits, And Applications. ISBN. 978-0-12-382036-5, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, Florida.
- [49] https://www.energystar.gov/ia/partners/product_specs/program_reqs/Final_Luminaires_Program_Requirements.pdf (Erişim Tarihi: Kasım 2015).
- [50] Benaissa, A., Fellah, M. K., Massoum, A., “Harmonic reduction based on active solutions”, Electronic Journal (Technical Acoustics) 12, 1-11.
- [51] Garcia, O., Cobos, J. A., Prieto, R., Alou, P., Uceda, J., “Single Phase Power Factor Correction: A Survey” IEEE Transactions on Power Electronics 3, 749-755.
- [52] http://www.epsma.org/pdf/PFC%20Guide_November%202010.pdf. (Erişim Tarihi: Mart 2016).

- [53] Anand, A. G., "Single and Three Phase Power Factor Correction Techniques using Scalar Control", Yüksek Lisans Tezi, Department of Electrical Engineering Indian Institute of Science Bangalore, 2005.
- [54] Basu, S. "Single Phase Active Power Factor Correction Converters Methods for Optimizing EMI, Performance and Costs", Doktor Tezi, Chalmers University of Technology, 2006.
- [55] Sahoo, N., "Investigation of Power Factor Correction in Single Phase AC-DC Converters", Yüksek Lisans Tezi, Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, 2009.
- [56] Chuang, Y. C., Ke, Y. L., Chuang, H. S., Hu, C. C. "Single-Stage Power-Factor-Correction Circuit with Flyback Converter to Drive LEDs for Lighting Applications", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1-9, USA, Ekim 2010.
- [57] https://www.fairchildsemi.com/application_notes/AN/AN-5076.pdf. (Erişim Tarihi: Mayıs 2016).
- [58] <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-4140.pdf>. (Erişim Tarihi: Haziran 2016).
- [59] P. Meng, X. Wu, J. Yang, Chen, H. "Analysis and Design Considerations for EMI and Losses of RCD Snubber in Flyback Converter Applied", Power Electronics Conference and Exposition, 2010.

EK-1

ÖZGEÇMİŞ

1.GENEL

T.C. KİMLİK NO	: 55390350594		
ADI SOYADI	: İbrahim ÇELİK		
YAZIŞMA ADRESİ	: Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 79000, Kilis- Türkiye		
DOĞUM TARİHİ ve YERİ	: 11.09.1988 /KOCAELİ		
TEL:	0348 8142666/1836		
E-POSTA:	ibrahimcelik@kilis.edu.tr	FAKS:	

2.EĞİTİM (Son aldığınız dereceden / diplomadan başlayarak yazınız)

Öğrenim Dönemi	Derece (*)	Üniversite	Öğrenim Alanı
2007-2012	Lisans	Fırat Üniversitesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği
2014-	Yüksek Lisans	Kilis 7 Aralık Üniversitesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği

(*) Diploma Türü (Lisans, Y.Lisans, vb.)

3.AKADEMİK ve MESLEKİ DENEYİM

Görev Dönemi	Ünvan	Üniversite	Bölüm
2014-	Arş. Gör.	Kilis 7 Aralık Üniversitesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği

4. PROJE DENEYİMİ

Yer Aldığınız Proje Sayısı	Proje yürütücüsü olarak	Araştırmacı olarak
Kurumsal (BAP vb.)		3
Ulusal		
Uluslararası		

5. BİLİMSEL YAYINLAR* (ISI kapsamında)

1.	
2.	

ISI: International Science Index (SCI-Expanded, SSCI ve AHIC kapsamında)

* Yazarlar, Makale, Dergi, Cilt-sayı-sayfa, yıl sırasında yazılacak.

6. BİLİMSEL YAYINLAR* (ISI haricinde)

1.	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Hasırcı H. Y. , "Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kilis İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli", Akademik Bilim Mühendislik Dergisi (ABMUD), Vol.1 No.1, sayfa, 43-49, 2016.
2.	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Atik İ., Çelik I."Energy Optimization of the Current-Limiting

	Power LED Drivers in Various Powers”, GAU Journal of Social and Applied Sciences, Vol. 7, 2015, p. 122-132
3.	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Atik İ., Hasırcı Y. H., “Determination Power Correction Parameters of Buck and Buck Boost LED drivers for LED lighting”, GAU Journal of Social and Applied Sciences, Vol. 7, 2015, p. 133-144
4.	Ö. Faruk FARSAKOĞLU, H. Yusuf HASIRCI, İpek ATİK, İbrahim ÇELİK, “LED Ve Geleneksel Aydınlatma Sistemlerinin Çevre Üzerindeki Etkileri ve Enerji Verimliliğinin Belirlenmesi” UHMFD, Ocak / Şubat / Mart-Nisan Kış Bahar Dönemi Cilt: 2 Sayı: 3 Yıl: 2015, p.: 134-148

* Yazarlar, Makale, Dergi, Cilt-sayı-sayfa, yıl sırasında yazılacak.

7. DİĞER BİLİMSEL AKTİVİTELER* (KONGRE, SEMPOZYUM, SEMİNER, KONFERANS)

*Yazarlar, Bildiri başlığı, Toplantı adı, Cilt-sayı-sayfa, yıl sırasında yazılacak.

1.	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Hasırcı H. Y.” Analysis of Flyback Based Power Factor Correction Circuit for Power LED Applications”, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16), Kilis, March 19-20, 2016
2.	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Hasırcı H. Y.” Investigation of Passive and Low Power Active AC-DC Converter Circuits for Power Factor Correction in Single Phase”, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16), Kilis, March 19-20, 2016
3.	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Çelik I. “Analysis of Efficiency Conditions of LED Driver Circuits Based On DC-DC Converters”, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16), Kilis, March 19-20, 2016
4.	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Çelik I. “ Importance of Solar Energy in Electricity Production from Renewable Energy Sources and the Solar Energy Potential of Gaziantep City ”, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16), Kilis, March 19-20, 2016
5.	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Hasırcı H. Y. ” Electrical Energy Production from Solar Energy and The Potential of Solar Energy in Kilis ”, International Conference on Renewable Energy Technologies and Applications (RETA’16) , İstanbul, March 5-6, 2016
6.	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Çelik I.”10 W DC-DC Converter Based LED Driver Circuit Design”, 4th International Conference on Computer Science and Communication Engineering, Albania, Durris, November 6-7, 2015
7.	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Atik İ., Çelik I.”Energy Optimization of the Current-Limiting Power LED Drivers in Various Powers”, Second International Symposium on Engineering Artificial Intelligence& Applications, Cyprus, 4-7 November, 2014
8.	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Atik İ., Hasırcı Y. H., “Determination Power Correction Parameters of Buck and Buck Boost LED drivers for LED lighting”, Second International Symposium on Engineering Artificial Intelligence& Applications, Cyprus, 4-7 November, 2014