

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YÜKSEK GÜÇ FAKTÖRLÜ DÜŞÜRÜCÜ-YÜKSELTİCİ LED  
SÜRÜCÜNÜN TASARLANMASI VE GERÇEKLENMESİ**

**ERDAL ŞEHİRLİ**

**KOCAELİ 2016**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

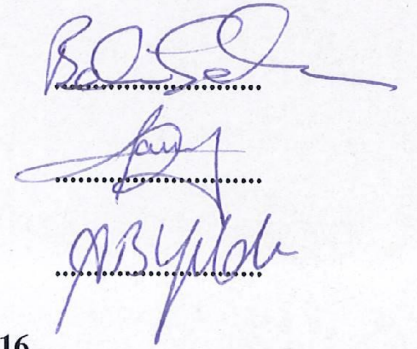
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK GÜÇ FAKTÖRLÜ DÜŞÜRÜCÜ-YÜKSELTİCİ LED  
SÜRÜCÜNÜN TASARLANMASI VE GERÇEKLENMESİ

ERDAL ŞEHİRLİ

Prof. Dr. Bekir ÇAKIR  
Danışman, Kocaeli Üniversitesi  
Doç. Dr. İsmail AKSOY  
Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Ali Bekir YILDIZ  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.01.2016



## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son yıllarda, güç ledlerinin avantajlarından dolayı aydınlatmada kullanılması sonucu, güç ledlerini daha verimli olarak süren devrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sürücü devreleri, şebeke gerilimi ile besleniyorsa enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak için güç faktörünün yüksek ve harmoniklerin düşük olması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tezde, yüksek güç faktörlü düşürücü-yükseltici güç ledi sürücü devresinin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, uygulaması yapılan doğrusal düzenleyici tabanlı sürücü devresi ile avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

Desteklerinden dolayı öncelikle danışmanım Prof. Dr. Bekir Çakır'a, hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen aileme ve Kastamonu Üniversitesi camiasına teşekkürlerimi sunarım.

Aralık – 2015

Erdal ŞEHİRLİ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ .....	1
1.GÜÇ LEDLERİ.....	4
1.1.Ledlerin Tarihçesi.....	4
1.2.Güç Ledinin Avantaj, Dezavantajları ve Kullanım Alanları .....	7
1.3.Güç Ledinin Yapısı ve Çalışması .....	8
1.4.Beyaz Işık Elde Edilmesi .....	12
1.5.Güç Ledi Karakteristikleri .....	16
1.5.1.Gerilim-akım karakteristiği .....	16
1.5.2.Akım-aydınlatma şiddeti karakteristiği.....	17
1.5.3.Gerilim-aydınlatma şiddeti karakteristiği .....	17
1.5.4.Akım-sıcaklık karakteristiği.....	18
1.5.5.Aydınlatma şiddeti-sıcaklık karakteristiği .....	19
1.5.6.Gerilim-sıcaklık karakteristiği .....	19
1.6.Güç Ledi Modeli .....	20
1.6.1.DA (statik) direnç.....	21
1.6.2.AA (dinamik) direnç .....	21
1.6.3.Ortalama AA direnç .....	22
1.6.4.Güç ledi elektriksel eşdeğer devresi.....	22
2.LED SÜRÜCÜLER .....	23
2.1.Pasif Akım Kontrolü .....	23
2.2.Aktif Akım Kontrolü.....	24
2.2.1.Akım sınırlayıcı.....	24
2.2.2.Doğrusal güç kaynaklı sürücüler.....	25
2.2.3.Anahtarlamalı güç kaynaklı sürücüler .....	26
2.2.3.1.Düşürücü dönüştürücü .....	26
2.2.3.2.Yükseltici dönüştürücü.....	28
2.2.3.3.Düşürücü-yükseltici dönüştürücü.....	29
2.2.4.Yüksek güç faktörlü sürücüler .....	31
2.2.4.1.Düşürücü GFD dönüştürücü .....	33
2.2.4.2.Yükseltici GFD dönüştürücü.....	33
2.2.4.3.Düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücü.....	34
3.UYGULAMALAR .....	38
3.1.Doğrusal Güç Kaynaklı Sürücü.....	38
3.2.Düşürücü-Yükseltici GFD Sürücü .....	41
3.3.Bulgular ve Tartışma .....	45

4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	46
KAYNAKLAR .....	47
EKLER .....	52
KİŞESEL YAYIN VE ESERLER .....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ledlerin 50 yıllık gelişimi.....	6
Şekil 1.2. Doğrudan bant aralıklı yarıiletkenin bant diyagramı .....	8
Şekil 1.3. Ledlerin yaydığı sıcaklıkla değişen monokromatik spektrumu .....	10
Şekil 1.4. İyi bilinen yarı iletkenler için dalga boyu ve bant aralığı enerjisi grafiği .....	10
Şekil 1.5. Görünür spektrum ve dalga boyları .....	11
Şekil 1.6. İki farklı malzeme ve genel olarak verim- dalga boyu grafiği.....	11
Şekil 1.7. Paketleme şekillerine göre led yapısı.....	12
Şekil 1.8. Jonksiyon sıcaklığı ve yaşam ömrü grafiği.....	12
Şekil 1.9. Üç renk kullanarak beyaz ışık üretimi .....	13
Şekil 1.10. UV kullanarak beyaz ışık üretimi .....	13
Şekil 1.11. Mavi led ile fosfor dalga boyu dönüştürücü kullanarak beyaz ışık üretimi .....	14
Şekil 1.12. Fosfor tabakasının uzağa konmasıyla beyaz ışık üretimi .....	14
Şekil 1.13. İkinci yarı iletken tabaka eklenmesiyle beyaz ışık üretimi .....	14
Şekil 1.14. Organik boyalar kullanılarak beyaz ışık üretimi.....	15
Şekil 1.15. Gerilim-akım karakteristiği.....	16
Şekil 1.16. Akım-aydınlatma şiddeti karakteristiği.....	17
Şekil 1.17. Gerilim-aydınlatma şiddeti karakteristiği .....	18
Şekil 1.18. Akım-sıcaklık karakteristiği .....	18
Şekil 1.19. Aydınlatma şiddeti-sıcaklık karakteristiği .....	19
Şekil 1.20. Gerilim-sıcaklık karakteristiği .....	20
Şekil 1.21. Gerilim-akım karakteristiği.....	20
Şekil 1.22. Akım-direnç karakteristiği .....	21
Şekil 1.23. Güç ledi elektriksel eşdeğer devresi .....	22
Şekil 2.1. Pasif akım kontrolü .....	23
Şekil 2.2. Akım sınırlayıcı .....	24
Şekil 2.3. Doğrusal güç kaynağı prensip şeması.....	25
Şekil 2.4. LM317 düzenleyicili sürücü devresi.....	25
Şekil 2.5. Düşürücü dönüştürücü .....	26
Şekil 2.6. Düşürücü dönüştürücü; a) anahtar iletimde b) anahtar kesimde.....	27
Şekil 2.7. Düşürücü dönüştürücü osiloskop görüntüsü .....	27
Şekil 2.8. Yükseltici dönüştürücü .....	28
Şekil 2.9. Yükseltici dönüştürücü; a) anahtar iletimde b) anahtar kesimde.....	28
Şekil 2.10. Yükseltici dönüştürücü osiloskop görüntüsü .....	29
Şekil 2.11. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü .....	29
Şekil 2.12. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü a) anahtar iletimde, b) anahtar kesimde .....	30
Şekil 2.13. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü osiloskop görüntüsü .....	30
Şekil 2.14. İki aşamalı GFD prensip şeması .....	31
Şekil 2.15. Tek aşamalı GFD prensip şeması .....	32
Şekil 2.16. Düşürücü GFD dönüştürücü .....	33

Şekil 2.17. Yükseltici GFD dönüştürücü .....	33
Şekil 2.18. Düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücü .....	34
Şekil 3.1. Uygulama ortamı .....	38
Şekil 3.2. Doğrusal güç kaynaklı sürücü devresi .....	38
Şekil 3.3. Şebeke akımı THB'si .....	39
Şekil 3.4. Şebeke gerilimi THB'si .....	40
Şekil 3.5. Şebeke akımı ve gerilimi dalga şekilleri .....	40
Şekil 3.6. Güç ledi akım ve gerilimi .....	40
Şekil 3.7. Düşürücü-yükseltici GFD sürücü devresi .....	41
Şekil 3.8. Mikrodenetleyicili düşürücü-yükseltici GFD sürücü devresi .....	42
Şekil 3.9. DGA üretimi için mikro denetleyiciye yüklenecek kod .....	43
Şekil 3.10. $\pi$ filtreli düşürücü-yükseltici GFD devresi .....	43
Şekil 3.11. Şebeke akımı THB'si .....	44
Şekil 3.12. Şebeke gerilimi THB'si .....	44
Şekil 3.13. Şebeke akımı ve gerilimi dalga şekli .....	44
Şekil 3.14. Güç ledi akımı ve gerilimi .....	45

## **TABLolar DİZİNİ**

Tablo 1.1. Beyaz ışık üretme yöntemleri avantaj-dezavantajları.....	15
Tablo 2.1. İki ve tek aşamalı GFD doğrultucuların karşılaştırılması.....	32



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Kondansatör, (F)
$C_T$	: Zamanlama Kondansatörü, (F)
D	: Darbeleme Oranı
d	: Akaç
$D_B$	: Sınır Darbeleme Oranı
E	: Enerji, (J)
$E_c$	: İletim Bandı Enerjisi, (J)
$E_g$	: Band Enerjisi, (J)
$E_v$	: Valans Bandı Enerjisi, (J)
eV	: Elektronvolt, (J)
$f_s$	: Anahtarlama Frekansı, (Hz)
g	: Kapı
h	: Plank Sabiti, (J.s)
$I_i$	: Akım, (A)
$I_{ADJ}$	: Ayar Akımı, (A)
$I_{DM}$	: Tepe Diyot Akımı, (A)
$i_o$	: Çıkış Akımı, (A)
k	: Dalga Vektörü
$k_B$	: Boltzman Sabiti, (J.K <sup>-1</sup> )
L	: Bobin, (H)
$M_{VDC}$	: Dönüştürücü DA Gerilim Transfer Fonksiyonu
$m_e$	: Sabit Elektron Kütleli, (kg)
$m_t$	: Etkin Elektron Kütleli, (kg)
$P_o$	: Çıkış Gücü, (W)
R	: Direnç, ( $\Omega$ )
$R_L$	: Yük Direnci, ( $\Omega$ )
$R_T$	: Zamanlama Direnci, ( $\Omega$ )
$r_{av}$	: Ortalama Direnç, ( $\Omega$ )
$r_D$	: DA direnç, ( $\Omega$ )
$r_c$	: Filtre Kondansatörü Eşdeğer Direnci, ( $\Omega$ )
S	: Anahtar
s	: Kaynak
$T, t$	: Sıcaklık, ( $^{\circ}C$ )
$T_{amb}$	: Ortam Sıcaklığı, ( $^{\circ}C$ )
V	: Gerilim, (V)
$V_{C_{pp}}$	: Kondansatörün Tepeden Tepeye Gerilim Dalgalanması, (V)
$V_{Dm}$	: Diyot Ters Tepe Gerilimi, (V)
$V_I$	: Giriş Geriliminin DA Bileşeni, (V)
$V_T$	: Eşik Gerilimi, (V)
$V_a$	: AA Giriş Gerilimi, (V)
$V_{in}$	: Giriş Gerilimi, (V)
$V_r$	: Dalgalanma Geriliminin Tepeden Tepeye Değeri, (V)

$V_{rccp}$	: Eşdeğer Seri Direncin Tepeden Tepeye Gerilim Dalgalanması, (V)
$V_{ref}$	: Referans Gerilimi, (V)
$V_{sm}$	: Anahtar Tepe Gerilimi, (V)
$V_{out}$	: Çıkış Gerilimi, (V)
$V_+$	: Pozitif Gerilim, (V)
$V_-$	: Negatif Gerilim, (V)
$\nu$	: Foton Frekansı, (Hz)
$\Delta I_D$	: Diyot Akımı Değişimi, (A)
$\Delta i_L$	: Bobin Akımı Değişimi, (A)
$\Delta V_D$	: Diyot Gerilimi Değişimi, (V)
$\lambda$	: Dalga Boyu, (nm)
$\eta$	: Verim

### Kısaltmalar

AA	: Alternatif Akım
AlGaAs	: Alüminyum Galyum Arsenit
AlGaInP	: Alüminyum Galyum İndiyum Fosfit
AlInGaP	: Alüminyum Galyum İndiyum Fosfit
AN0	: Mikrodenetleyici Birinci Analog Girişi
CCP1	: Mikrodenetleyici Birinci Darbe Genişlik Ayarı Çıkışı
CRI	: Color Rendering Index (Renk Oluşturma İndeksi)
DA	: Doğru Akım
DGA	: Darbe Genişlik Oranı
EMI	: Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
ESR	: Equivalent Series Resistance (Eşdeğer Seri Direnç)
FWHM	: Full Width at Half Maximum (Yarı Maksimumda Tam Genişlik)
GaAs	: Galyum Arsenit
GaAsP	: Galyum Arsenit Fosfit
GaInN	: Galyum İndiyum Nitrat
GaN	: Galyum Nitrat
GaP	: Galyum Fosfür
GFD	: Güç Faktör Düzeltimi
IEC	: International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IEEE	: Institute of Electrical and electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
InGaN	: İndiyum Galyum Nitrit
IR	: Infrared (Kızıl Ötesi)
KİM	: Kesintili İletim Modu
kHz	: Kilo Hertz
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
OLED	: Organic Light Emitting Diode (Organik Işık Yayan Diyot)
RGB	: Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)
SİM	: Sürekli İletim Modu
SıİM	: Sınır İletim Modu
SiC	: Silisyum Karbür
THB	: Toplam Harmonik Bozunumu
TS	: Türk Standartı

UV : Ultraviyoleet (Morötesi)  
Zn : Çinko  
Zn-O : Çinko Oksit

## **YÜKSEK GÜÇ FAKTÖRLÜ DÜŞÜRÜCÜ-YÜKSELTİCİ LED SÜRÜCÜNÜN TASARLANMASI VE GERÇEKLENMESİ**

### **ÖZET**

Son yıllarda, aydınlatmada güç ledlerinin yüksek verimlerinden dolayı kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte, güç ledlerini uygun şartlarda çalıştırabilmek için sürücü devrelerine de ihtiyaç duyulmaktadır ve bu sürücü devreleri şebekeden beslendiğinde, enerji verimliliğini sağlaması için, akım harmoniklerinin düşük, güç faktörlerinin yüksek olması gerekmektedir. Bu çalışmada, öncelikle güç ledlerinin gerilim-akım, akım-aydınlatma şiddeti, gerilim-aydınlatma şiddeti, akım-sıcaklık, aydınlatma şiddeti-sıcaklık ve gerilim-sıcaklık karakteristikleri yapılan ölçümler sonucu elde edilmiştir. Ayrıca, doğrusal düzenleyici ve yüksek güç faktörlü düşürücü-yükseltici dönüştürücü tabanlı güç ledi sürücü devresi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamalar sonucunda, şebeke akımı, şebeke gerilimi dalga şekilleri ve harmonikleri, güç faktörleri ve güç ledleri üzerindeki akım ve gerilimler karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güç Faktörü, Güç Ledleri, Led Sürücüler.

## **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF HIGH POWER FACTOR BUCK-BOOST LED DRIVER**

### **ABSTRACT**

In recent years, using of power leds in lighting have become common due to their highest efficiency. However, to operate power leds at convenient situations, led driver circuits are required and when these led drivers are fed by grid, in order to provide energy efficiency, lower current harmonics and higher power factor should be obtained. In this research, firstly, forward voltage-forward current, forward current-illumination, forward voltage-illumination, forward current-temperature, illumination-temperature and forward voltage-temperature characteristics of power led are derived by measurements. Furthermore, linear regulator and high power factor buck-boost converter based power led drivers are implemented. By means of the applications, waveforms and harmonics of grid voltage and grid current, power factors and power led current and voltage are compared.

**Keywords:** Power Factor, Power Leds, Led Drivers.

## GİRİŞ

Sanayileşmenin ve insan refah düzeyinin artması sonucu elektrik enerjisine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır ve elektrik enerjisi kullanımında aydınlatma da büyük bir yer kaplamaktadır. Ayrıca, elektrik enerjisi kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır ve fosil yakıtların karbon salınımlarından dolayı çevreye olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı elektrik enerjisi verimli kullanılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda aydınlatma da verimli bir şekilde yapılmalıdır.

Aydınlatma yapılırken kullanılan lambalar ve armatürlerin verimlerinin düşük olması ve led diyotların verimlerinin yüksek olması nedeniyle, son yıllarda aydınlatma da led diyotların kullanımı cazip hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak, aydınlatma için güç ledleri kullanan armatürler ve bu armatürlerin sürücülerinin tasarlanması önemli bir konu haline gelmiştir, bu konu hakkında çalışmalar yapılmakta ve devam edeceği de aşikârdır.

Bu nedenlerden dolayı, led ile aydınlatma ve sürücülerini konusuna yoğunlaşmış ve bu hususta ülkemizdeki eksiklikleri giderecek bir tez hazırlanmaya çalışılmıştır.

Tezin bölümleri aşağıda özetlendiği gibidir;

Tezin birinci bölümü olan giriş bölümünde, konunun önemi ve tezi oluşturan bölümlerin açıklanmasına, bu konu ile ilgili ulusal ve uluslararası yapılan çalışmaların belirtilmesine yer verilmiştir.

İkinci bölümde, güç ledinin yapısı, çalışması, çeşitleri, akım-gerilim, akım-aydınlatma şiddeti, gerilim-aydınlatma şiddeti, ısı-akım ve ısı-aydınlatma şiddeti karakteristikleri çıkarılmıştır ve güç ledinin elektriksel eşdeğer devre modeli elde edilmiştir.

Üçüncü bölümde ise güç ledlerinin neden bir sürücü devreye ihtiyacı olduğu açıklanarak, pasif, aktif ve yüksek güç faktörlü sürücü devreleri detaylı olarak açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, güç ledleri için pasif ve aktif sürücü devre uygulamaları gerçekleştirilmiştir, uygulamalardan elde edilen bulgular belirtilmiş ve bulgular ışığında tartışmalar gerçekleştirilmiştir.

Beşinci bölümde ise yapılan uygulamalar sonucunda uygulama devrelerinin avantajları ve dezavantajları ayrıntılı bir şekilde açıklanarak tezin sonuçları ve gelecek çalışmalar için öneriler belirtilmiştir.

Bu tezde, öncelikle kullanılan güç ledinin, akım-gerilim, akım- aydınlatma şiddeti, gerilim- aydınlatma şiddet, sıcaklık-akım, sıcaklık-gerilim ve sıcaklık-aydınlatma şiddeti karakteristikleri ve led eşdeğer modeli elde edilmiştir. Daha sonra, doğrusal düzenleyiciye sahip güç ledi sürücü devresi ile düşürücü-yükseltici dönüştürücü kullanan güç ledi sürücü devrelerinin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Her iki sürücü devresi kullanılırken, kaynak gerilimi ve akımının harmonikleri, güç faktörleri ölçülmüş, güç ledi üzerindeki gerilimler ve akımların dalga şekilleri gösterilmiş ve avantaj-dezavantajları belirtilmiştir. Ayrıca, uygulaması gerçekleştirilen sürücü devresi TS EN 6001-2-3 C standardını sağlamaktadır.

Güç ledleri, ledli aydınlatma ve sürücüleri konusunda literatürde yapılan çalışmaların bazıları bu bölümde verilmiştir.

[1-2]'de güç ledlerinin tarihçesi, yapımında kullanılan malzemeler, modellenmesi, çalışma prensibi, çeşitleri, termal ve akım-gerilim karakteristikleri, optik özellikleri ve paketleme şekilleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Tek, 4 ve 16 led çipi içeren paketlerin jonksiyon ve ortam sıcaklığı bakımından performansları [3]'de karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, en yüksek sıcaklığın, tek çip içeren güç ledi paketlerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

[4]'de güç ledlerinin verimlerinin yüksek oluşu nedeniyle, gerek yeryüzü gerekse uzayda tarımsal bitki yetiştiriciliği ile ilgili yapılmış çalışmalar düzenlenmiştir. Ayrıca [5-6]'da ise sokak aydınlatmasında verimi yükseltmek için güç ledlerinin kullanıldığı uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Güç ledlerinin sürülme gereksinimi, kullanılan sürücü çeşitleri, sürücülerde kullanılacak elemanların seçimi, avantaj ve dezavantajları ayrıntılı bir şekilde [7]'de

açıklanmıştır. [8]'de ise doğrultucu ve DA-DA dönüştürücü kullanan sürücü çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir.

DA-DA doğrusal düzenleyici ve düşürücü, yükseltici anahtarlamalı dönüştürücülerin kullanıldığı güç ledi sürücü uygulamaları [9-12]'de gerçekleştirilmiştir.

[13]'de ise doğrultucu çıkışına bağlanan DA-DA Cuk dönüştürücü tabanlı bir led sürücü tasarımı ve mikro denetleyici vasıtasıyla açık döngülü uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Güç faktörü düzeltme işleminin yükseltici dönüştürücü ile gerçekleştirildiği ve diğer bir DA-DA dönüştürücünün sabit akım sağladığı iki aşamalı bir led sürücü uygulaması [14]'de yapılmıştır.

[15-17]'de geri dönüşlü tabanlı farklı topolojilere sahip yüksek güç faktörlü led sürücü uygulamaları gerçekleştirilmiştir. [18]'de ise Cuk tabanlı yüksek güç faktörlü bir led sürücü çalışması yapılmıştır.

Kesintili iletim durumunda çalışan, güç faktörü düzeltmeli Sepic dönüştürücü tabanlı bir led sürücü uygulaması [19]'de ve Sepic ile Cuk dönüştürücünün birleştirilmesi ile gerçekleştirilen yüksek güç faktörlü sürücü ise [20]'de yapılmıştır.

Düşürücü ve geri dönüşlü dönüştürücünün birleştirilmesi ile gerçekleştirilen yüksek güç faktörlü bir led sürücü uygulaması da [21]'de yapılmıştır. [22]'de yüksek güç faktörlü, elektrolitik kondansatör içermeyen, üç anahtarlı geri dönüşlü dönüştürücü kullanan bir led sürücü devresi tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Led sürücüler için yüksek güç faktörlü, yumuşak anahtarlama teknikleri kullanan birleştirilmiş, düşürücü ve düşürücü-yükseltici dönüştürücü [23]'de tasarlanmıştır. Verimi, güç faktörü ve toplam harmonik bozunum sonuçları oldukça iyi olmasına rağmen kullanılan anahtar sayısının fazlalığı maliyetini arttırmaktadır. Ülkemizde, [24-26]'da ki tezlerde, geri dönüşlü, Sepic, düşürücü-yükseltici ve düşürücü dönüştürücü tabanlı led sürücü uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Ancak, yapılan uygulamalarda denetleyici olarak, hazır led sürücü entegreleri kullanılmıştır.



## 1. GÜÇ LEDLERİ

Güç ledleri, elektriksel işlev bakımından diyotlar ile aynı özelliklere sahip, diyotların bir çeşidi olan, led diyotların verimlerinin artırılarak geliştirilmesi sonucu elde edilen ve günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan elemanlardır.

Bu bölümde ledlerin tarih içindeki gelişimi, güç ledlerinin yapısı, çalışması, avantaj-dezavantajları, kullanım alanları, güç ledleri ile beyaz ışık elde etme yöntemleri, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları açıklanacaktır. Aynı zamanda, uygulamada kullanılacak olan güç ledlerinin karakteristikleri ve güç ledinin eşdeğer devresi de çıkarılacaktır.

### 1.1. Ledlerin Tarihi

Yarı iletken kullanılarak ışık elde edilmesi 20. Yüzyılın başlarına kadar gitmektedir. Bununla birlikte, yapılan çalışmalarda SiC, GaAs, AlGaAs, GaAsP, GaP, GaN, GaInN, AlGaInP gibi değişik malzemeler kullanılmıştır ve gelişime göre kullanılan malzemeler değişmiş ve çeşitlilik göstermiştir. Bilinen ilk çalışma 1907 yılında Henry Joseph Round tarafından gerçekleştirilmiştir. Yaptığı bu çalışmada, carborundum yani silicon carbide (SiC)'e gerilim uygulanması sonucunda farklı gerilimlerde farklı renkte ışıklar elde edildiğini belirtmiştir. Daha sonra, Lossev 1928 de, SiC metal yarı iletken doğrultucu ile ilgili detaylı bir çalışma yapmış ve bazı diyotlarda ters polarmada, bazı diyotlarda ise hem ileri hem de ters polarmada ışık yayıldığını fark etmiştir. 1960'ın sonlarında, mavi ledlere öncülük eden p-n birleşimli elemanların üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak, optik verimleri %0,005 gibi düşük bir değerde elde edilmiştir. Ayrıca, SiC ürünler daha dikkatli şekilde hazırlanmıştır. Bununla birlikte, SiC ledlerin verimleri en fazla % 0,03 ve 470 nm de mavi ışıklı olarak üretilebilmiştir. Bu ledler, 1990'ların başında ticari olarak satılmalarına rağmen, artık mevcut değildir [1,27].

SiC ve II-IV tipi yarıiletkenler doğada bulunduğu için o dönemlerde yaygın olarak kullanılmışlardı ve ilk led bu nedenle bu malzemelerden yapılmıştı. 1950'lerin

başında doğada bulunmayan ancak insan eliyle yapılmış III-IV yarıiletken birleşiminin optik olarak çok aktif olduğu kanıtlanmış ve böylece modern led teknolojisinin başlangıcı olmuştur. 1950'lerin ortalarında III-IV birleşimi GaAs diyotlarda kullanılmaya başlanmıştır. 1962 yılında, GaAs tabanlı 870-980nm lik infrared ledler ve laserler yapılmış ve GaAs, AlGaAs/GaAs ile ilgili çalışmalar 1960'ların başından itibaren süregelmiştir. Woodal ve Rupprecht, Zn difüzyonu yerine Si katkılandırma kullanarak GaAs ledlerin veriminin beş kat daha yükseldiğini yaptıkları çalışmalar ile fark etmişlerdir. Bu nedenle, GaAsP ve AlGaAs malzemelerinin katkılandırılması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, infrared ışınım yayılımı 870nm olan ilk ticari GaAs led Texas Instruments tarafından 1960'larda satışa çıkarılmıştır. Günümüzde, kızılötesi GaAs/AlGaAs ledler, görüntü ve ses uzaktan kumandalarında, yerel alan haberleşme ağlarında kullanılmaktadır. Ayrıca, kırmızı AlGaAs/AlGaAs ledler, GaAsP/GaAs kırmızı ledlerden daha yüksek ama AlGaInP/GaAs kırmızı ledlerden daha düşük verime sahip olarak yüksek parlaklıkta görülebilir ışık yayan ledler olarak kullanılmaya devam etmektedirler [1].

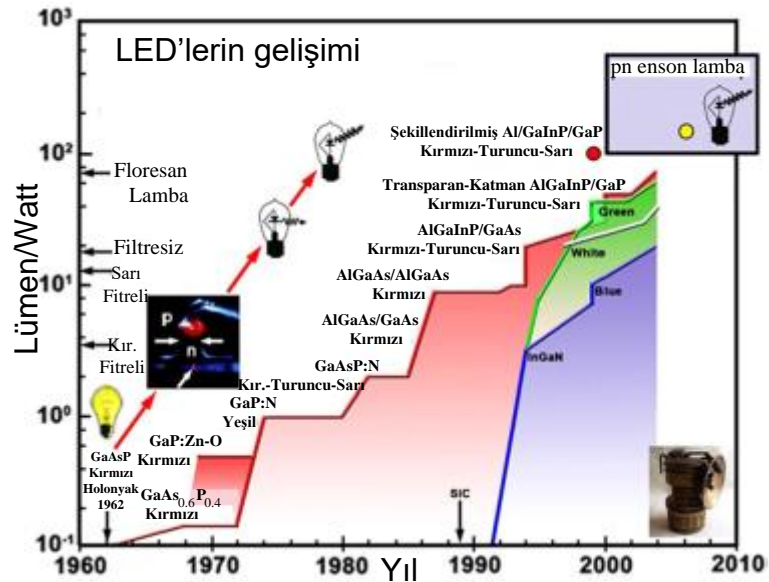
Görünür ışık yayan ledlerin tarihi 1962'ye kadar uzanır. Bu tarihte, Holonyak ve Bevacqua'nın yaptıkları çalışmada GaAsP birleşiminden düşük sıcaklıklarda ve oda sıcaklığında görünür ışık yayıldığını göstermişlerdir. Aynı zamanda GaAs üzerine GaAsP kullanarak led üretilmesi yönünde çalışmalar da yapmışlardır. Ayrıca fosfor oranının %45-50 yi geçmesi halinde led in veriminin aşırı derecede düştüğünü de tespit etmişlerdir. Ticari olarak üretilmiş ilk GaAsP led General Elektrik firması tarafından 1960'ların başında piyasaya sürülmüştür. Bununla birlikte, GaAs üzerine N katkılı GaAsP kullanılması sonucu sarı led ve kalın GaAsP tampon katmanın kırmızı ledlerde parlaklığı arttırdığı da keşfedilmiştir. Günümüzde, bu tür malzeme düşük parlaklıklı kırmızı led gösterge lambaları uygulamalarında kullanılmaktadır [1].

Yine, 1960'ların başında Bell laboratuvarlarında Ralph Logan ve arkadaşları GaP tabanlı kırmızı ve yeşil ledleri üretmişlerdir. Yapılan bu çalışmalar sonucu, bipolar ve alan etkili transistörlerde kullanılan yarı iletkenlerin ledlerde kullanımının da uygun olduğu anlaşılmıştır. GaP tabanlı ledlerin verimlerinin artırılması üzerine çalışılmış Zn-O katkılı GaP üzerine n tipi GaP gibi değişik katkılandırma deneyleri ile verimin artırıldığı görülmüştür. Bununla birlikte, n katkılı GaAsP malzeme ile

kırmızı, turuncu, sarı ışık yayını da sağlanabilmesine karşın, günümüzde n katkı GaP malzeme, gösterge lambası gibi düşük parlaklıklı uygulamalarda ana malzeme olarak kullanılmaktadır [1].

1960'ların sonunda, GaAsP içeren kırmızı ve n katkı GaP içeren yeşil ledlerin kullanıma hazır olması renkli televizyon yapımının önünü açmıştır. Ancak bunun için mavi parlak lede de ihtiyaç duyulmuştur. Bunun üzerine, Amerika Radyo ve Televizyonundaki araştırmalar mavi led üzerine olmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu, 1972 yılında Mg katkı GaN malzeme kullanan 430nm de mavi ve mor ışık yayan ledler üretilmiştir. Ama üretilen bu ledler verimleri düşük olduğu için kullanılmamışlardır. Ancak, 1989'da Akasaki, yaptığı çalışmalar ile p tipi katkı GaN malzeme kullanan, verimi yüksek led üretmiştir ve günümüzde kullanılan ledlerin temelini oluşturmuştur. Ek olarak, safir yüzey kullanılması ile ultraviyole ve mavi spektral aralıkta ışık yayan ledlerin üretilebileceğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, devam eden çalışmalarla GaInN malzeme ile %10 verimli ledler üretilmiştir. [1,28].

Şekil 1.1.'de ledlerin 50 yıllık gelişimi ve bu gelişim boyunca kullanılan malzeme yapıları, verimler baz alınarak gösterilmiştir [28].



Şekil 1.1. Ledlerin 50 yıllık gelişimi

## 1.2. Güç Ledinin Avantaj, Dezavantajları ve Kullanım Alanları

Güç ledleri kullanımının diğer aydınlatma türlerine göre sağladığı bir takım avantajlar vardır. Bu avantajlar aşağıda belirtilmiştir [29-31].

- Yüksek çalışma ömrü
- Dayanıklılık
- Boyut avantajı
- Enerji verimliliği
- Çevre dostu (civa gibi maddeler kullanılmadığı için)
- Düşük sıcaklıklarda çalışabilme
- Anahtarlamalı çalışabilme
- Anında ışık verebilmesi
- Kontrol edilebilir olması (kontrol edilirken ışığın renginin değişmemesi)
- IR ya da UV ışıklar yaymaması
- Yönlü ışık yayımı (yansıtıcıya ihtiyacı olmadan istenilen yöne odaklanabilmesi)
- Renk filtresine gerek olmadan istenilen ışığın sağlanması
- Güvenli olmaları (Işıkları azalarak ömürlerinin tükenmesi, diğer lambalar gibi patlamamaları)

Güç ledlerinin belirtilen avantajları yanında bir takım dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar aşağıda belirtildiği gibidir [29-31].

- Kurulum maliyeti yüksektir. (Ancak, enerji tasarrufu ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında, avantajlıdır.)
- Çalışmaları ortamın sıcaklığına bağlıdır. Yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda, led paketleri ısınabilir bu nedenle, soğutucuya ihtiyaç duyarlar.

Güç ledlerinin belli başlı kullanım alanları aşağıda sıralandığı gibidir [29-31].

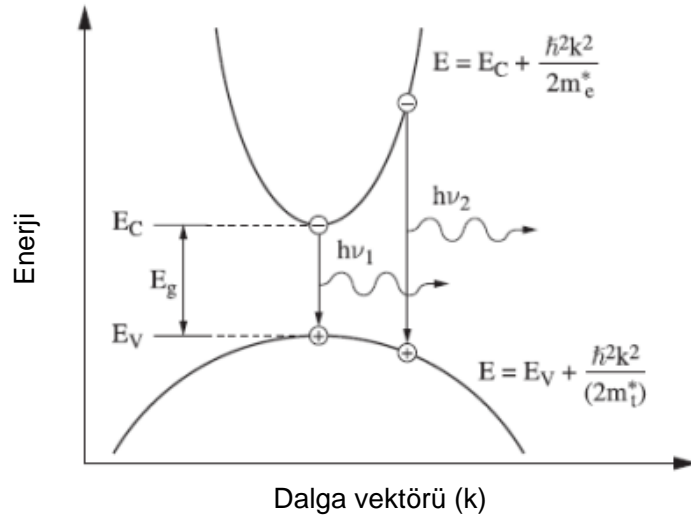
- Kabin altı ve kabin içi aydınlatma
- Ayarlanabilir görev aydınlatması
- Soğutma dolabı aydınlatması
- Genel iç ve dış aydınlatma
- Asansör aydınlatması
- Gömülü aydınlatma

- Vurgu/efekt ve sanat ekran aydınlatması
- Adım ve patika aydınlatma
- Mutfak ve vitrin aydınlatması
- Otomotiv endüstrisi
- Sinyal göstergeleri, nümerik ve alfa nümerik ekranlarda
- Arka plan aydınlatmada ve taşınabilir belleklerde
- Projektörlerde, tabelalarda, el fenerlerinde ve trafik lambalarında

### 1.3. Güç Ledinin Yapısı ve Çalışması

Ledler, elektrik akımının sadece tek yönde geçmesine izin veren ve içerisinden akım geçerken ışık yayan devre elemanlarıdır. Ledler normal diyotlar gibi p-n birleşimini oluşturmak için katkılandırılmış yarı iletken malzemelerden oluşur. Kararlı durumda, elektron ve oyuklar jonksiyona etki etmezler. Diğer diyotlarda olduğu gibi led jonksiyonu doğru polarmalandırıldığında, akım anottan katoda doğru kolayca akar. Ancak, ters yönde akım geçirmez. Elektronlar n tipi malzemeden p tipi malzemeye geçtiğinde, elektron-oyuk birleşim işlemi, elektroluminans olarak adlandırılan fotonlar üretir ve bunun sonucunda yarı iletken yüzey ışık yayar [1-2,7].

Şekil 1.2.'de doğrudan bant aralıklı, yarı iletkenin bant diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Doğrudan bant aralıklı yarıiletkenin bant diyagramı

En düşük iletim bandına yerleştirilmiş bir elektron ile en yüksek valans bandına ( $k=0$ ) yerleştirilmiş bir oyuğun yeniden birleşimi boyunca, Denklem (1.1)'de belirtilen frekansta bir foton yayılır. Burada 'h' Plank sabitidir.

$$h\nu_1 = E_g = E_c - E_v \quad (1.1)$$

Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi  $k \neq 0$  için, elektron oyuk birleşiminden yayılan foton,  $\nu_1$  den çok az farklı bir  $\nu_2$  frekansı gösterir. Bu nedenle, led merkez frekansı  $\nu_1$  ve  $\Delta V_{fwhm}$  de bir ışın yayar. Bu genişlik, enerji aralığı  $E + \Delta E$  içindeki kullanılabilir elektron ve bu enerji aralığı içindeki yarı iletkenin enerji durumları yoğunluğu bağımlılığı göz önüne alınarak tahmin edilebilir. T sıcaklığında,  $E_g$  bant aralığı enerjisi ile çalışan bir jonksiyon için, elektron yoğunluğu Boltzman kanunu ile verilir ve  $\exp(-E/k_B T)$  ile orantılıdır. Aynı şartlarda, enerji seviye yoğunluğu,  $(E - E_g)^{1/2}$  ile orantılıdır. Teorik olarak FWHM, Denklem (1.2) ile gösterilir [2].

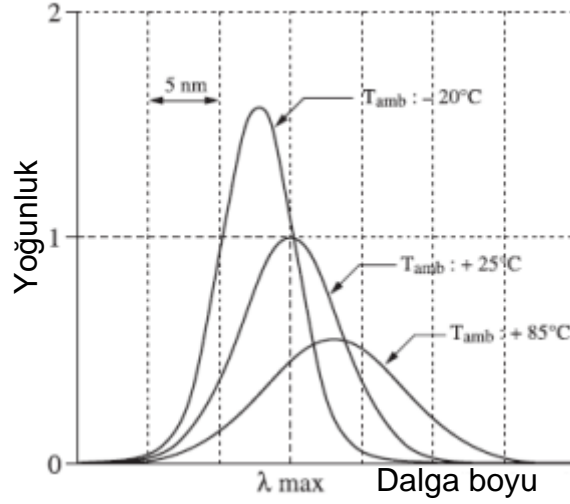
$$\Delta E_{FWHM} = h E_{FWHM} = 1,8 k_B T \quad (1.2)$$

Oysa, maksimum yoğunluk Denklem (1.3)'de,  $\nu_{max} = \nu_1$  frekansında elde edilir.

$$\nu_{max} = \frac{E_g}{h} + \frac{k_B T}{2h} = \frac{c}{\lambda_{max}} \quad (1.3)$$

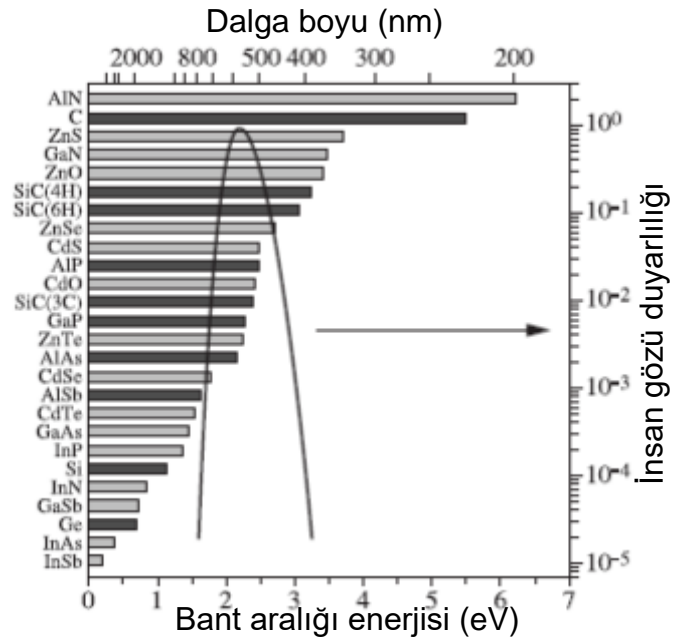
Böylece,  $25^\circ C$  de  $E_g = 2,5 eV$  ile çalışan bir jonksiyon için,  $\lambda_{max} \approx 490 nm$  ve  $\Delta \lambda_{FWHM} \approx 9 nm$  olarak elde edilir. Bu nedenle, ışık yarı tek renkli olarak düşünülür, çünkü uygulamada, dünyadaki ışıklarda,  $20 nm$  den daha büyük genliğe sahip ışıklar vardır. İlk ticari ledin kırmızı olmasına rağmen, bugün neredeyse bütün canlı renkler gerçekleştirilebilir [2].

Denklem (1.2) ve Denklem (1.3) ile verilen değerler jonksiyon sıcaklığına bağlıdır. Bu yüzden, led rengi, eğer jonksiyon sıcaklığı zamanla değişirse, değişebilir. Sıcaklık arttığında, spektrum daha uzun dalga boyuna doğru değişir (örneğin, kehribar kırmızıya döner). Bu değişim,  $0,1 nm/^\circ C$  seviyesindedir. Şekil 1.3.'de sıcaklıkla dalga boyu değişimi gösterilmiştir [2].



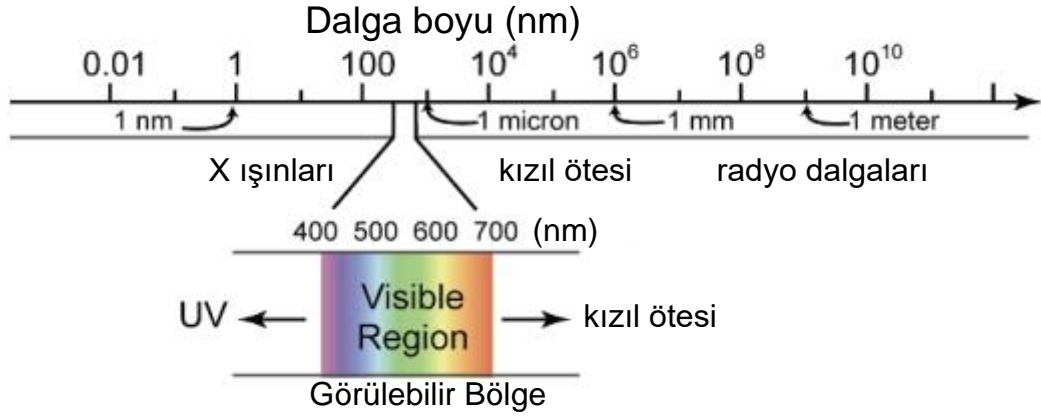
Şekil 1.3. Ledlerin yaydığı sıcaklıkla değişen monokromatik spektrumu

Şekil 1.4. yarı iletkenler için bant aralığı enerjisi ve dalga boylarını göstermektedir. Kızılötesinden, yakın ultraviyoleye bütün dalga boyları gerçekleştirilebilmektedir. Teknolojik nedenlerden sadece doğrudan bant aralıklı yarı iletkenler yüksek parlaklıklı ledlerde kullanılabilirlerdir. Dolaylı bant aralığı yarı iletkenleri günümüzde hala çok sınırlıdır [2].



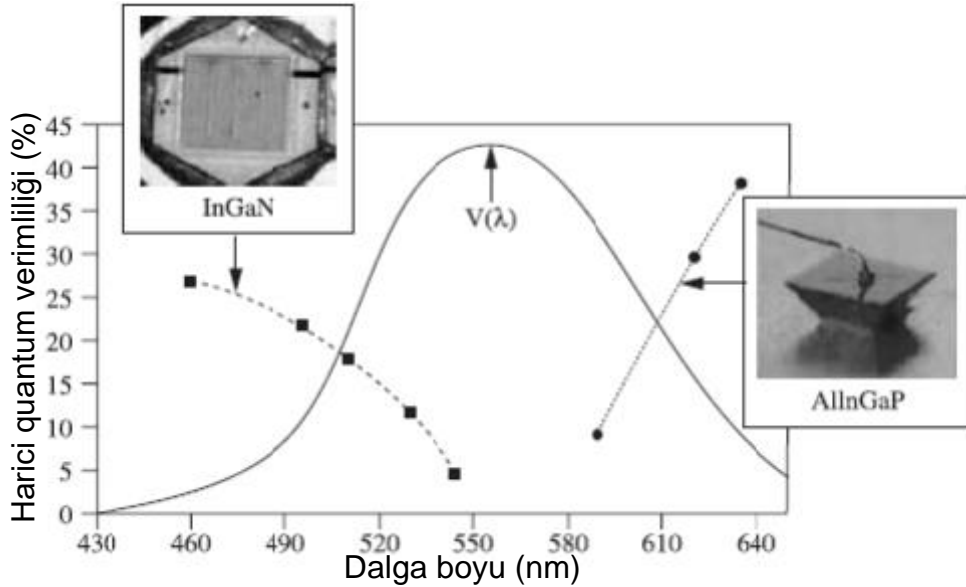
Şekil 1.4. İyi bilinen yarı iletkenler için dalga boyu ve bant aralığı enerjisi grafiği

Şekil 1.5.'de ise elektromanyetik spektrum ve bu spektrum içerisinde görünebilen ışık bölgesi de gösterilmektedir. Şekil 1.4. ve Şekil 1.5. yardımı ile hangi yarı iletkenin hangi rengi verdiği tespit edilebilir.



Şekil 1.5. Görünür spektrum ve dalga boyları

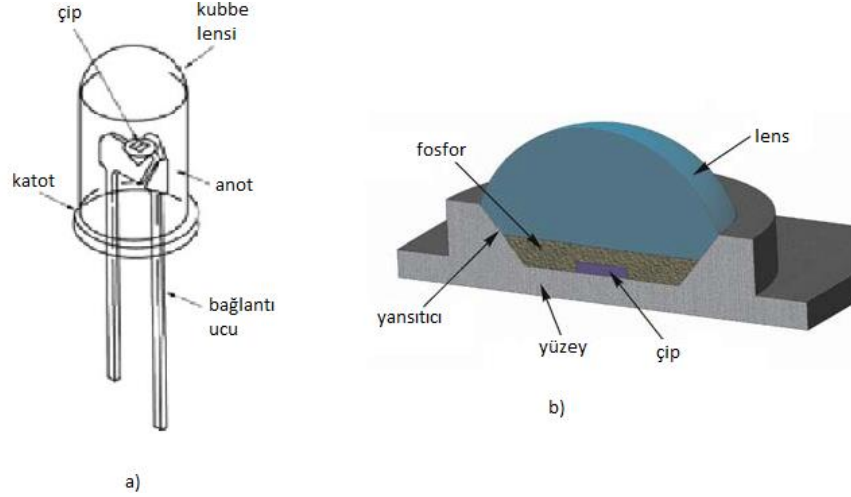
Dikkat edilmelidir ki, luminans verimliliği bir renkten başka bir renge göre değişmektedir. Bu durum, Şekil 1.6.'da gösterilmiştir. Ayrıca, bu şekil günümüzde en çok kullanılan iki yarı iletken ailesi (InGaN ve AlInGaP) için maksimum insan gözü duyarlılığına yakın dalga boylarında verimliliğin hızla düştüğünü de göstermektedir [2].



Şekil 1.6. İki farklı malzeme ve genel olarak verim- dalga boyu grafiği

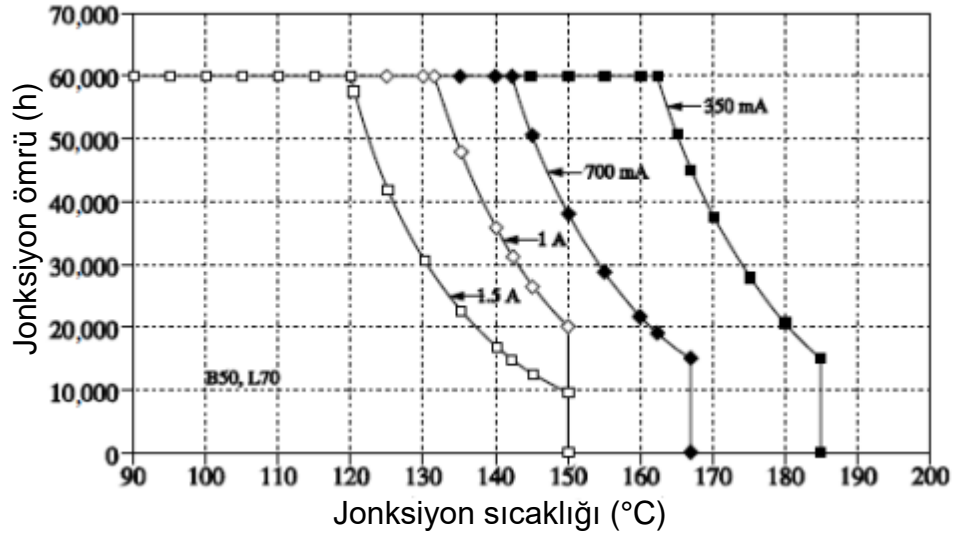
Şekil 1.7.'de piyasada bulunan basit ve güç ledlerinin yapısı gösterilmektedir. Temel olarak, çip fosfor tabaka, lens ve anot-katot uçlarından oluşmaktadır [2,4,32].





Şekil 1.7. Paketlenme şekillerine göre led yapısı

Bununla birlikte, güç ledlerinin çalışma ömrünü etkileyen en önemli etkenler, jonksiyon sıcaklığı ve içerisinden geçen akımdır. Bu nedenle, jonksiyon sıcaklığının artmasını önlemek için ledlerin yüzeyi soğutucu bir tabakaya monte edilmiştir. Şekil 1.8. ise yaşam ömrünün, jonksiyon sıcaklığı ve akım ile olan ilişkisini göstermektedir [2]. Jonksiyon sıcaklığı ve akım arttıkça led ömrü azalmaktadır.

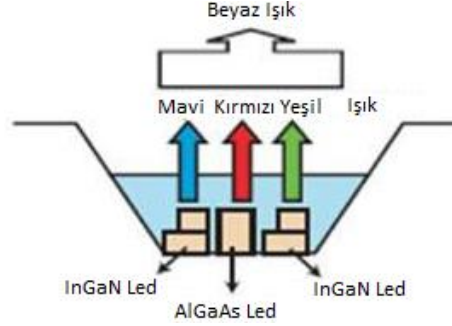


Şekil 1.8. Jonksiyon sıcaklığı ve yaşam ömrü grafiği

#### 1.4. Beyaz Işık Elde Edilmesi

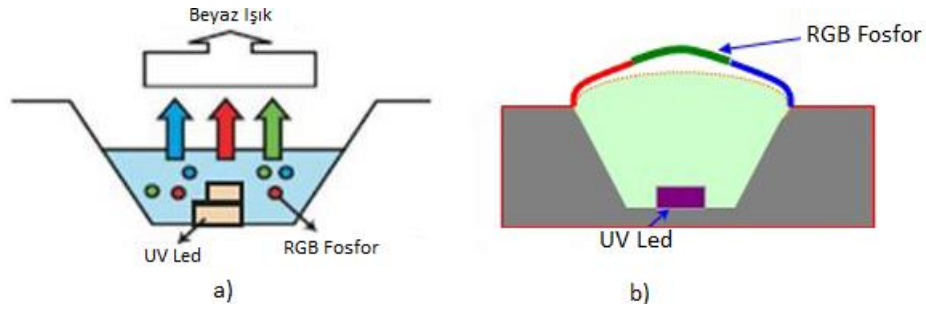
Ledler kullanılarak beyaz ışık üretilmesi mümkündür. Bununla birlikte, beyaz ışık üretilirken aynı anda farklı renklerin kullanılması, ultraviyole led ile fosfor kullanılması ve dalga boyu dönüştürücülerin kullanılması gibi farklı yöntemler bulunmaktadır [1-2,33-36].

Yöntemlerden birisi, iki ya da üç rengin aynı anda kullanılmasıdır. Örnek olarak Şekil 1.9.'da gösterilen prensip şemasında, kırmızı, yeşil ve mavi ışık kaynaklarının aynı anda kullanılmasıyla beyaz ışık elde edilebilir. Ancak, bu yöntem beyaz ışık yayan ledin üretilmesini karmaşık hale getirir [1-2,34].



Şekil 1.9. Üç renk kullanarak beyaz ışık üretimi

İkinci yöntemde ise, ultra viyole ışık yayan ledin, kırmızı, yeşil ve mavi fosfor ile birlikte kullanılmasıdır. Böylece, beyaz ışık elde edilmiş olur. UV yayılım için AlGaInN tabanlı ledler kullanılır ve 380-400nm de gerçekleştirilen yayılım görülebilir spektruma oldukça yakındır. Şekil 1.10.'da bu tip led prensip yapısı gösterilmiştir. Ancak, UV ışığın beyaz ışığa dönüştürülürken oluşan yüksek enerji kaybı bu ledlerin en büyük dezavantajıdır [1-2,33-34].

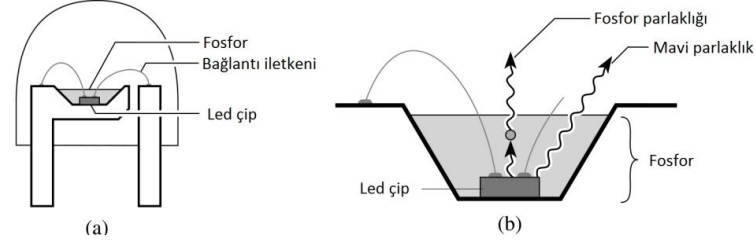


Şekil 1.10. UV kullanarak beyaz ışık üretimi

Üçüncü yöntem ise dalga boyu dönüştürücülerin kullanılmasıdır. Bu yöntemde dönüştürücü olarak fosfor, ikinci bir yarıiletken tabaka ya da organik boya molekülleri kullanılır [1-2,35-36].

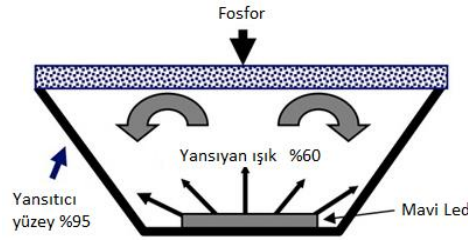
İlk yöntemde, mavi ışık yayan ledin önüne bir fosfor tabakası eklenir. Şekil 1.11.'de örnek yapı verilmiştir. Böylece, fosfor tabakasından geçen mavi ışık, beyaz olarak hissedilir. Günümüzde beyaz ışık elde edilirken en çok bu yöntem kullanılır. Ancak,

kırmızı spektrumun azlığı bazen problem olarak görülür. Bu problemin önüne geçmek için de kırmızı led çipler eklenir ya da çoklu fosfor yaklaşımı kullanılır [1].



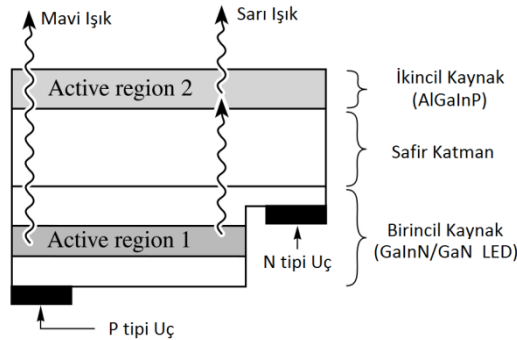
Şekil 1.11. Mavi led ile fosfor dalga boyu dönüştürücü kullanarak beyaz ışık üretimi

Bununla birlikte, Şekil 1.12.'de gösterildiği gibi fosfor tabakasının uzağa konulması sonucu beyaz ışığın elde edilmesi oldukça ilgi çekmektedir. Fosfor tabakasının uzağa konulması sayesinde ısınma azaltılmış ve verim yükseltilebilmiştir [1-2,35].



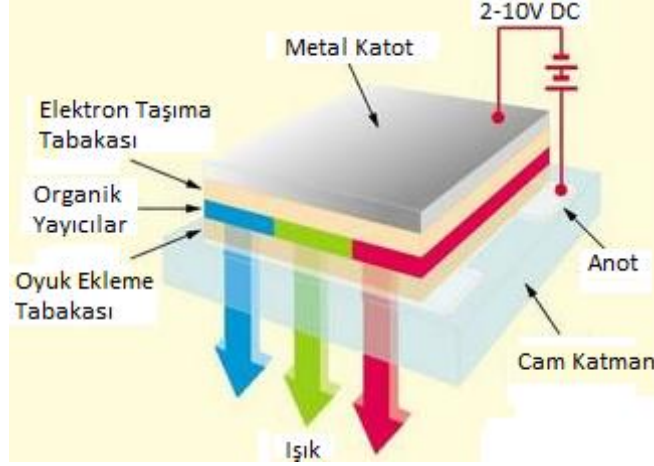
Şekil 1.12. Fosfor tabakasının uzağa konmasıyla beyaz ışık üretimi

Dönüştürücü olarak ikinci bir yarıiletken tabaka eklenmesi ise ikinci bir dalgaboyu dönüştürücü yöntemdir. Bu yöntemde, Şekil 1.13.'de gösterildiği gibi, birincil kaynak GaInN/GaN led üzerine safir katman eklenir ve daha sonra AlGaInP ikincil kaynak eklenerek beyaz ışık elde edilmeye çalışılır. Beyaz ışık elde edilirken bu iki kaynağın yoğunluklarının oranının hesaplanması önemlidir [1].



Şekil 1.13. İkinci yarı iletken tabaka eklenmesiyle beyaz ışık üretimi

Üçüncü dalgaboyu dönüştürücü seçeneği ise, dönüştürücü olarak organik boyaların kullanılmasıdır. Şekil 1.14.'de bu tip beyaz led yapısı gösterilmektedir ve OLED olarak bilinmektedirler. Bununla birlikte, organik boyaların yaşam süresinin kısıtlı olması bu ledlerin en büyük dezavantajıdır [2,36].



Şekil 1.14. Organik boyalar kullanılarak beyaz ışık üretimi

Ledler ile beyaz ışık üretilirken kullanılan temel yöntemlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 1.1.'de gösterilmiştir [2].

Tablo 1.1. Beyaz ışık üretme yöntemleri avantaj ve dezavantajları

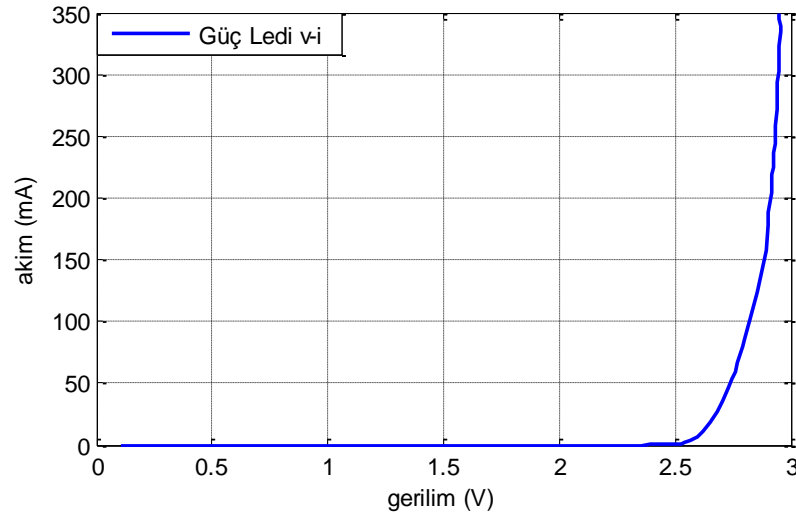
Beyaz ışık üretme yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
RGB uygulaması	Dinamik renk kontrolü	Karmaşık elektronik kontrol
	Milyonlarca renk üretim olasılığı	Sıcaklığa duyarlı renkler
		Akı homojenlik gerekliliği
		Küçük CRI
UV Led ile RGB katman kullanılması	İyi renk istikrarı	Azalan aydınlık verimi
	Geniş beyaz aralığı	Küçük çıkış gücü
		UV paketleme
Dalga boyu dönüştürücü kullanılması	İyi aydınlık verimi	Sınırlı renk çeşitliliği
	Kanıtlanmış topoloji	Benzer renk çiplerini toplamak için üretim zincirinin sonundaki elemanların ayıklanması
	Çeşitli renk sıcaklıkları (ılık ya da serin tonlar)	Renkli ayla etkisi
	İyi renk çeviri endeksi (CRI 70-90)	

## 1.5. Güç Ledi Karakteristikleri

Güç ledinin devrede nasıl davranacağını, aydınlatma şiddetinin nasıl değişeceğini ve çalışma noktasının ne olacağını belirlemek için güç ledinin karakteristiklerinin çıkarılması gerekmektedir. Bu nedenle, güç ledinin akım-gerilim, akım- aydınlatma şiddeti, gerilim- aydınlatma şiddeti, sıcaklık-akım, sıcaklık-gerilim ve sıcaklık-aydınlatma şiddeti karakteristikleri yapılan ölçümler sonucu elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerde, Fluke15B ve Fluke17B multimetre ile Lutron1102 lüksmetre kullanılmıştır ve elde edilen ölçüm değerleri EK A-B’de verilmiştir.

### 1.5.1. Gerilim-akım karakteristiği

Güç ledine seri olarak bir ampermetre ve anot-katot uçlarına da bir voltmetre bağlanarak giriş gerilimi sıfırdan başlanmak suretiyle artırılarak akım-gerilim karakteristiği çıkarılmıştır. Şekil 1.15.’de akım-gerilim karakteristiği görülmektedir.



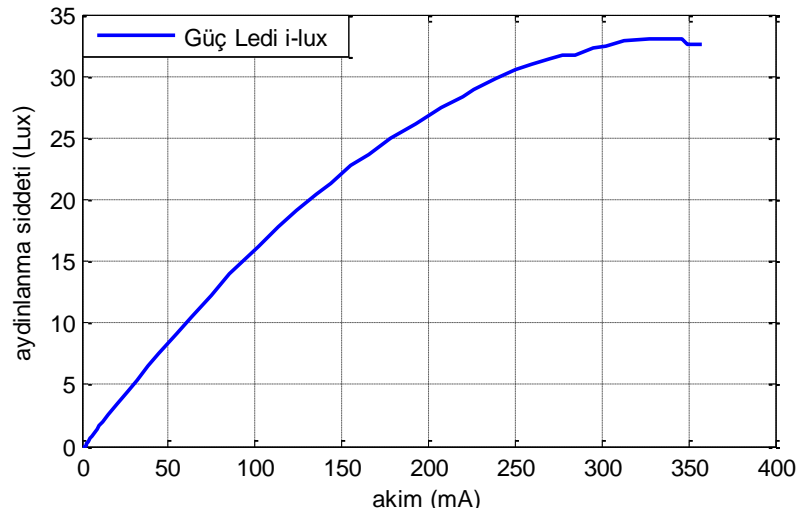
Şekil 1.15. Gerilim-akım karakteristiği

Şekil 1.15.’den görüleceği gibi, karakteristik diyot karakteristiğine çok benzemektedir. Eşik gerilimi yapılan ölçümlerle 2,391V olarak tespit edilmiştir ve bu gerilimden itibaren güç ledi akım geçirmeye başlamıştır. Kullanılan güç ledi beyaz renkte ışık vermektedir. Güç ledi eşik gerilimi, ışık rengine göre değişiklik göstermektedir [37]. Ayrıca gerilim değerinin artırılması ile güç ledi akımı artmaktadır. Gerilimdeki ufak bir artış akımda yüksek bir artışa neden olmaktadır.

Güç ledinin anot-katodunda 2,952V luk bir gerilim uygulandığında 350mA akım çekilmektedir.

### 1.5.2. Akım-aydınlatma şiddeti karakteristiği

Şekil 1.16.'da güç ledi akım-aydınlatma şiddeti karakteristiği görülmektedir. Bu karakteristik çıkarılırken güç ledinin akımı bir ampermetre ile ve güç ledinin aydınlatma şiddeti ise bir lüksmetre ile ölçülmüştür. Lüksmetre güç ledine 72cm uzaklığa ve dik olarak yerleştirilmiştir.

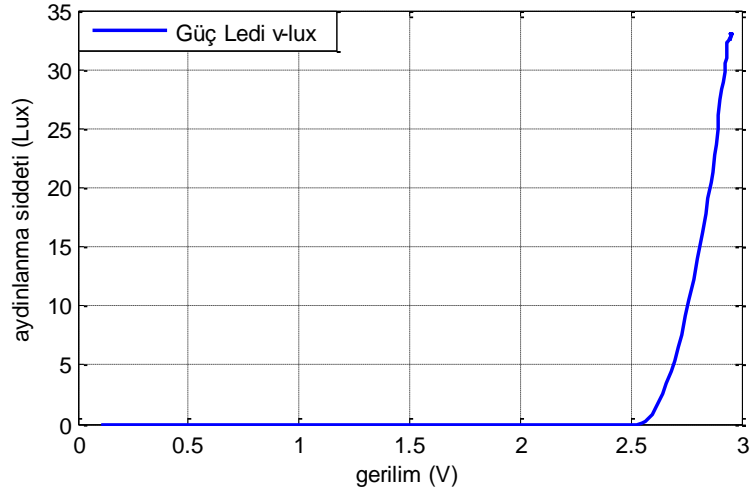


Şekil 1.16. Akım-aydınlatma şiddeti karakteristiği

Şekil 1.16.'dan da görüleceği gibi aydınlatma şiddeti ile akım başlangıçta doğrusal olarak değişmektedir. Ancak, güç ledi akımı arttıkça aydınlatma şiddeti aynı oranda değişmemektedir ve artışı azalmaktadır. Güç ledinin maksimum akım değeri 350mA ve sonrasında aydınlatma şiddeti az da olsa düşmeye başlamaktadır.

### 1.5.3. Gerilim-aydınlatma şiddeti karakteristiği

Şekil 1.17.'de gerilim-aydınlatma şiddeti karakteristiği görülmektedir. Bu karakteristik elde edilirken, güç ledinin anot-katot gerilimi bir voltmetre ile ve aydınlatma şiddeti ise lüksmetre ile ölçülmüştür. Lüksmetre akım-aydınlatma şiddeti karakteristiğinde olduğu gibi, 72cm uzaklığa ve dik olarak yerleştirilmiştir.

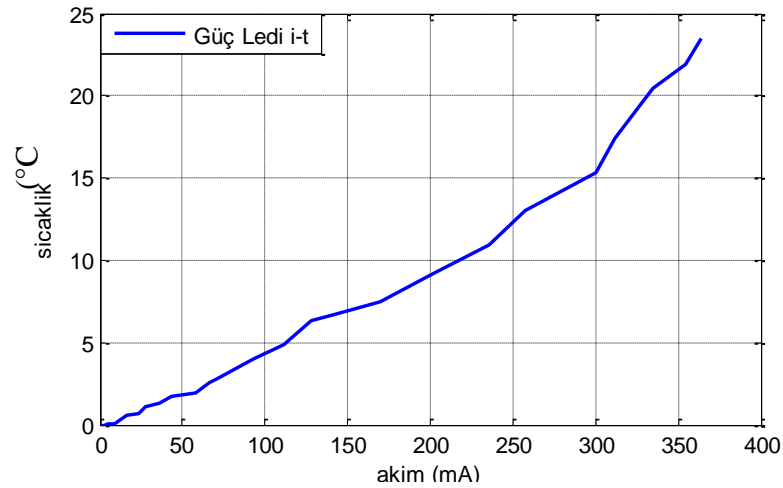


Şekil 1.17. Gerilim-aydınlatma şiddeti karakteristiği

Şekil 1.17.'de görüldüğü gibi, akım-gerilim karakteristiğine benzer şekilde, yaklaşık 2,391V civarında güç ledi, bir ışık vermektedir. Akım-aydınlatma şiddeti belirli değerler aralığında doğrusal olarak değiştiği için, bu karakteristikte aydınlatma şiddeti başlangıçta akım gibi değişmektedir, gerilim arttıkça aydınlatma şiddeti akıma göre daha doğrusal olarak değişir ancak gerilim daha da yükseldiğinde 2,95V civarına geldiğinde, akım şiddetindeki yükselme azalmaktadır.

#### 1.5.4. Akım-sıcaklık karakteristiği

Güç ledine seri bir ampermetre bağlanarak ve güç ledinin yaklaşık 2mm üzerine bir termokupl konularak akım-sıcaklık karakteristiği Şekil 1.18.'de ki gibi elde edilmiştir. Ölçümler yapılırken oda sıcaklığındaki güç ledi sıcaklığı değeri, termokuplun gösterdiği değerden çıkartılarak güç ledi sıcaklığı elde edilmiştir.

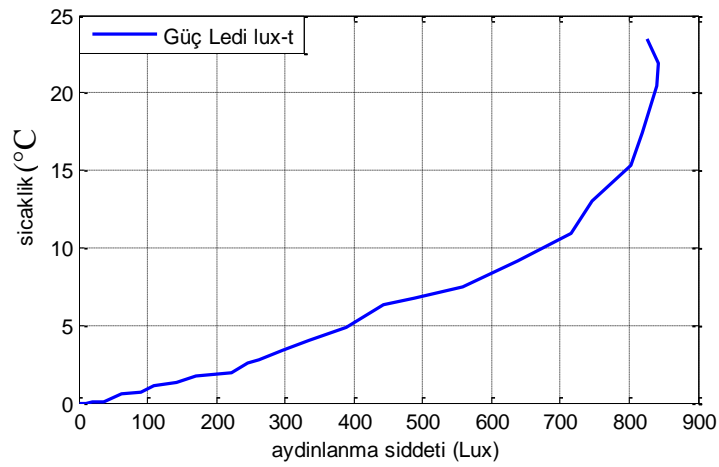


Şekil 1.18. Akım-sıcaklık karakteristiği

Akım-sıcaklık karakteristiğinden görüleceği gibi, akımın düşük değerlerinde sıcaklık değerinin yükselmesi az iken, güç ledi akımı arttığında sıcaklık daha çok yükselmektedir.

### 1.5.5. Aydınlatma şiddeti-sıcaklık karakteristiği

Şekil 1.19.'da aydınlatma şiddeti-sıcaklık karakteristiği görülmektedir. Akım-sıcaklık karakteristiğinde olduğu gibi bir termokupl ve güç ledinin 13cm uzağına dik olarak bir lüks metre konularak ölçüm yapılmıştır.



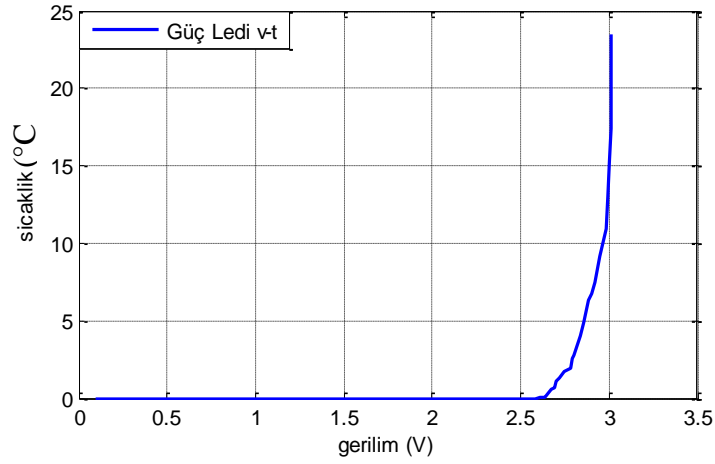
Şekil 1.19. Aydınlatma şiddeti-sıcaklık karakteristiği

Güç ledi, akımının artmasına göre sıcaklık ve aydınlatma şiddeti değerleri alınmıştır. Düşük akım değerlerinde, Şekil 1.19.'dan görüleceği gibi, aydınlatma şiddeti düşük ve sıcaklık artışı daha düşük değerde ölçülmüştür. Bununla birlikte, akım değeri arttığında, aydınlatma şiddeti artmakta ve sıcaklık değeri yükselmektedir. Akım değeri maksimum değeri olan 350mA civarı ve üstüne çıktığında, aydınlatma şiddeti azalmaktadır. Ancak sıcaklık değeri aşırı derecede yükselmektedir.

### 1.5.6. Gerilim-sıcaklık karakteristiği

Gerilim- sıcaklık karakteristiği Şekil 1.20.'de olduğu gibidir. Bu karakteristik, güç ledinin anot-katod gerilimi bir voltmetre ve sıcaklığı yaklaşık 2mm uzaklığa yerleştirilen bir termokupl kullanılarak elde edilmiştir.



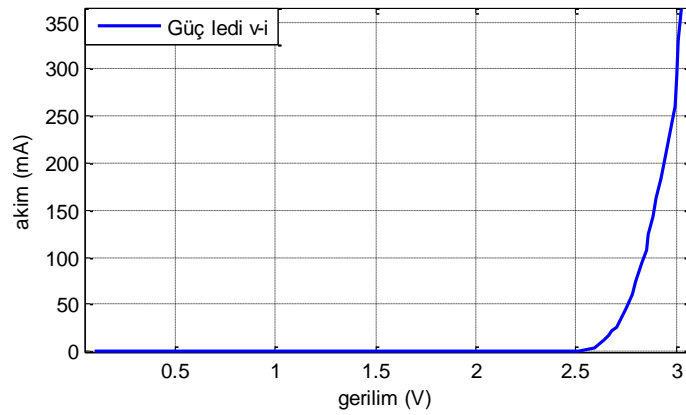


Şekil 1.20. Gerilim-sıcaklık karakteristiği

Gerilim-sıcaklık karakteristiğinden görüleceği gibi güç ledi iletme geçtiğinde sıcaklık değeri düşük, gerilim arttığında sıcaklık yükselmektedir. Ayrıca, güç ledi maksimum gerilim değerinde ise gerilim daha fazla artmazken sıcaklık aşırı derecede yükselmektedir.

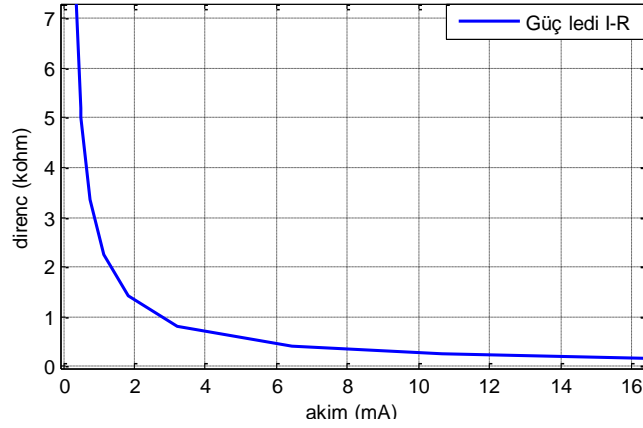
### 1.6. Güç Ledi Modeli

Şekil 1.21.'de güç ledi V-I karakteristiği tekrar gösterilmektedir. Ek-A ve Ek-B'de karakteristik çizimi için yapılan ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu karakteristik kullanılarak güç ledinin DA, AA ve ortalama dirençleri tespit edilmiştir ve eş değer devresi çıkarılmıştır.



Şekil 1.21. Gerilim-akım karakteristiği

Şekil 1.22.'de ise elde edilen V-I karakteristiğinden ani direnç değerleri hesaplanmış ve güç ledi akım ile direnç değişim eğrisi çizilmiştir.



Şekil 1.22. Akım-direnç karakteristiği

### 1.6.1. DA (statik) direnç

Herhangi bir çalışma noktasındaki direnç değeridir. DA kaynak gerilimine göre direnç değeri değişiklik gösterir ve düşük kaynak geriliminde direnç yüksek, uygulanan gerilim yükseldikçe direnç değeri azalır. Örnek olarak, uygulanan gerilim, 2,391V iken güç ledinden geçen akım 0,01mA dir. DA direnç ise Denklem (1.4) ile belirtilmiştir [38].

$$R_D = V_D / I_D = 2,391 / 0,01\text{mA} = 239\text{k}\Omega \quad (1.4)$$

Uygulanan gerilim, 2,95V iken güç ledinden geçen akım 344,8mA olmaktadır. DA direnç ise Denklem (1.5) ile bulunmuştur.

$$R_D = V_D / I_D = 2,95 / 344,8\text{mA} = 8,5\Omega \quad (1.5)$$

### 1.6.2. AA (dinamik) direnç

Uygulanan gerilim sinüs olarak değişiyor ise buna AA direnç denir. Örnek olarak, güç ledi akımının 300mA olarak çalıştığı kabul edilsin, ancak ölçümleri yaparken elimizde bulunan en yakın değer 285,9mA dir. Bununla birlikte, bu akımın yaklaşık 7mA lik salınım yaptığı düşünülürse, ölçümlerden alınan değer ile AA direnç Denklem (1.6)'da olduğu gibi bulunur [38].

$$\Delta I_d = 293,1 - 279,1 = 14\text{mA}, \quad \Delta V_d = 2,944 - 2,941 = 0,003\text{V}$$

$$r_D = \Delta V_D / \Delta I_D = 0,003 / 14\text{mA} = 0,21\Omega \quad (1.6)$$

### 1.6.3. Ortalama AA direnç

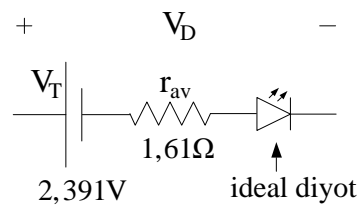
Güç ledinin çalıştığı maksimum ve minimum değerler arasındaki direnç değeridir. Ayrıca, bu değer güç ledi modellenirken kullanılan seri direnç değeridir. Bu direnç hesaplanırken, güç ledi içerisinde geçen ilk akım değeri 0,01mA ile maksimum değer 349mA değeri kullanılmıştır ve bu direnç değeri Denklem (1.7) ile bulunmuştur [38].

$$\Delta I_d = 349 - 0,01 = 348,99 \text{ mA}, \quad \Delta V_d = 2,953 - 2,391 = 0,5623 \text{ V}$$

$$r_D = \Delta V_D / \Delta I_D = 0,562 / 348,99\text{mA} = 1,61\Omega \quad (1.7)$$

### 1.6.4. Güç ledi elektriksel eşdeğer devresi

Şekil 1.23.'de güç ledinin eşdeğer devresi gösterilmektedir. Güç ledinin eşdeğer devresi çıkarılırken, güç ledinin içerisinde akım akmaya başlayan gerilim değeri, eşik gerilimi olarak bir gerilim kaynağı şeklinde gösterilir. Ayrıca, ortalama AA direnç değeri ise direnç değeri olarak belirtilir ve led sembolüne seri olarak bağlanır [1-2,7,38].



Şekil 1.23. Güç ledi elektriksel eşdeğer devresi

Güç ledi bulunan devre ile ilgili işlemler yapılırken, ledi ideal kabul etmek yerine Şekil 1.23.'deki eşdeğer devre modelini kullanmak gerçeğe daha yakın sonuçlar verecektir.

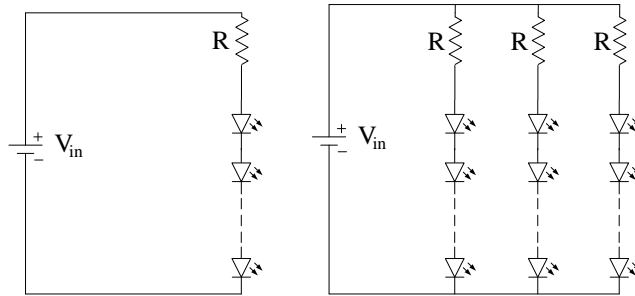
## 2. LED SÜRÜCÜLER

Bu bölümde güç ledleri için kullanılan sürücü yapıları tanıtılacak ve sürücü gerekliliği belirtilecektir. Genel olarak sürücüler, pasif akım kontrolü ve aktif akım kontrolü temelinde sınıflandırılabilirler [7]. Bununla birlikte, literatürde anahtarlamalı güç kaynağı kullanan sürücüleri aktif sürücüler başlığında açıklayan kaynaklar olduğu gibi ayrı bir başlık altında açıklayan kaynaklar da vardır [2].

Şekil 1.15.'de güç ledi gerilim-akım karakteristiği gösterilmiştir. Bu gerilim-akım karakteristiğinden anlaşılacağı gibi gerilimdeki küçük bir değişiklik güç ledi akımında büyük değişikliklere yol açmaktadır. Güç ledi akımının maksimum değerinden daha yüksek değerler aldığı anda ise Şekil 1.18'deki akım-sıcaklık karakteristiğinden görüleceği gibi sıcaklık aşırı derecede artmaktadır. Uzun süre içerisinde yüksek akım geçen güç ledi, güç kaybı nedeni ile tahrip olması kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenden dolayı, güç ledinin akımının kontrol edilmesi gerekmektedir [7].

### 2.1. Pasif Akım Kontrolü

Pasif akım kontrolünde güç ledine seri bir direnç bağlamak suretiyle gerilim-akım karakteristiği eğimi azaltılmaya çalışılır. Bu sayede, gerilimin değişmesi sonucu akım aşırı bir şekilde değişmez. Şekil 2.1.'de üç paralel kol ve tek bir kol olan örnek pasif akım kontrolü devreleri gösterilmiştir [7].



Şekil 2.1. Pasif akım kontrolü

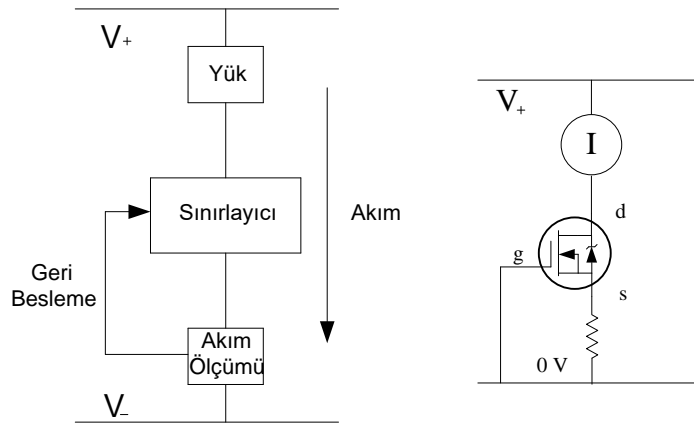
Pasif akım kontrolünde elektromanyetik gürültü (EMI) yoktur, ucuzdur ve basittir. Ancak, seri direnç kullanıldığı için verimi düşüktür ve güç kaybı yüksektir, ayrıca giriş gerilimine bağlıdır [7].

## 2.2. Aktif Akım Kontrolü

Pasif akım kontrolünde seri direnç kullanılması sonucu verimin düşük olması nedeniyle, aktif akım kontrollü sürücüler tercih edilmektedir. Bununla birlikte, aktif akım kontrollü sürücüler de geri besleme ve yarı iletken elemanlar kullanır. Genel olarak, bu tip sürücüler; akım sınırlayıcı, doğrusal güç kaynaklı ve anahtarlama güç kaynaklı olmak üzere üç başlık altında açıklanabilirler [7].

### 2.2.1. Akım sınırlayıcı

Şekil 2.2.'de akım sınırlayıcı yapısı görülmektedir. Bu yapıda, sınırlayıcı olarak kullanılan MOSFET ya da bipolar transistör gibi bir yarı iletken, anahtar ve geri besleme için de bir akım sensörü kullanılmaktadır. Eğer ölçülen akım güç ledinden geçmesi gereken değerden yüksek ise sınırlayıcı devreyi açar ya da gerilimi azaltır [7].



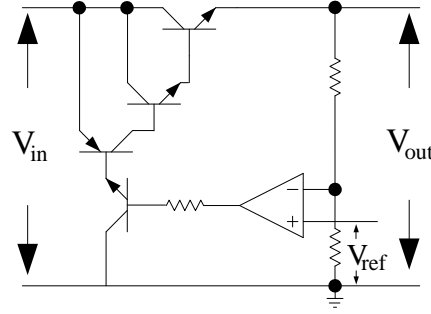
Şekil 2.2. Akım sınırlayıcı

Aynı şekilde, kanal ayarlamalı tip MOSFET bu işi gerçekleştirebilmektedir. Kanal ayarlamalı tip MOSFET, kapı-kaynak gerilimi sıfır olduğunda iletimdedir. Bununla birlikte, güç ledi üzerinden geçen akım artmaya başladığında, kaynak ucuna bağlı olan direnç üzerindeki gerilim düşümü artar, dolayısı ile kapı-kaynak arasındaki gerilim negatif olarak yükselmeye başlar. Eğer akım artmaya devam ederse, kapı-kaynak negatif gerilimi yükselmeye devam edecek ve MOSFET kesime gidecektir.

Böylece, güç ledi akımı sınırlanabilecektir [7]. Akım sınırlayıcının avantajları olarak ucuz olması, EMI olmaması, geniş gerilim aralığında kullanılabilmesi sayılabilir ancak verimi düşüktür [7].

### 2.2.2. Doğrusal güç kaynaklı sürücüler

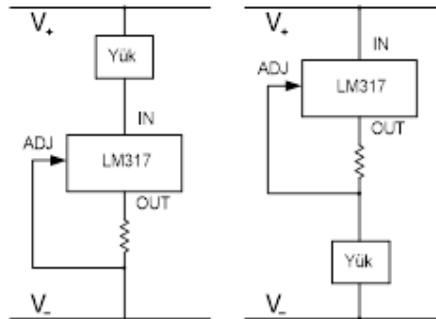
Şekil 2.3.'de doğrusal güç kaynağının prensip yapısı görülmektedir. Doğrusal güç kaynağı yük için sürekli bir gerilim sağlar.



Şekil 2.3. Doğrusal güç kaynağı prensip şeması

İşlemsel yükseltecin negatif bağlantı ucundan çıkış gerilimi ölçülür, pozitif bağlantı ucundaki istenilen gerilim değeri ile karşılaştırarak, darlington olarak bağlanmış transistörden oluşan akım kaynağını istenilen çıkış gerilimi sağlayacak şekilde ayarlar. Bununla birlikte doğrusal güç kaynağı düşürücü olarak çalışır [7].

Şekil 2.4.'de ise piyasada yaygın olarak kullanılan doğrusal güç kaynağı olarak çalışan LM317 entegresi kullanılarak yapılan sürücü devresi görülmektedir.



Şekil 2.4. LM317 düzenleyicili sürücü devresi

LM317 entegresi çıkış ve ayar ucu arasında 1,25V var iken bir düzenleme yapar. Ek olarak, LM317 entegresine seri bağlanan direnç devrenin akımını ölçmek için kullanılır ve bu direnç üzerinde 1,25V gerilim düşümü olduğu zaman akım düzenleme işlemi gerçekleştirilir. Akım sınırı Denklem (2.1)'de verildiği gibidir. İstenilen akım değeri için bir direnç seçilir [7].

$$I = 1,25 / R_1 \quad (2.1)$$

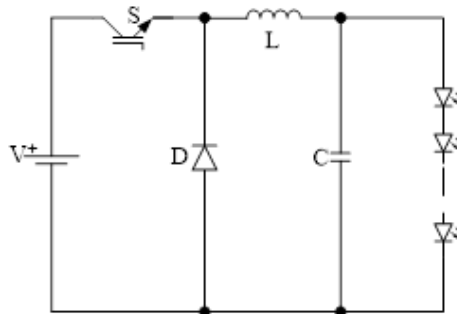
Doğrusal güç kaynaklarının yapısı basittir, akımları ayarlanabilmektedir ve EMI yoktur. Ancak güç kaybı yüksek olduğu için verimi düşüktür.

### 2.2.3. Anahtarlamalı güç kaynaklı sürücüler

Doğrusal güç kaynaklarının verimlerinin düşük olması nedeniyle anahtarlamalı güç kaynaklı sürücüler yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Genel olarak, DA-DA anahtarlamalı dönüştürücülerin çoğu güç ledi sürücüsü olarak kullanılmaktadır [7,9-12]. Bununla birlikte, bu bölümde temel yapılar olan düşürücü, yükseltici ve düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücü yapıları açıklanacaktır.

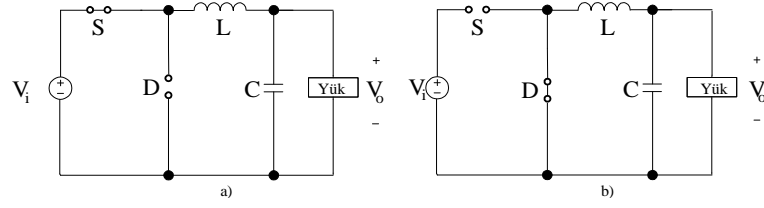
#### 2.2.3.1. Düşürücü dönüştürücü

Şekil 2.5.'de düşürücü dönüştürücü yapısı görülmektedir. Bu dönüştürücü yüksek frekansta çalışan MOSFET, TRANSİSTÖR gibi yarıiletken bir S anahtarı, L bobini, D diyotu, C kondansatörü ve yük olarak güç ledlerinden oluşmaktadır. Çıkış gerilimi, giriş geriliminden düşük değerde olarak elde edilmektedir [39].



Şekil 2.5. Düşürücü dönüştürücü

Şekil 2.6.'da anahtarın açık ve kapalı olma durumları gösterilmektedir ve düşürücü dönüştürücünün çalışması bu şekil üzerinden açıklanacaktır.

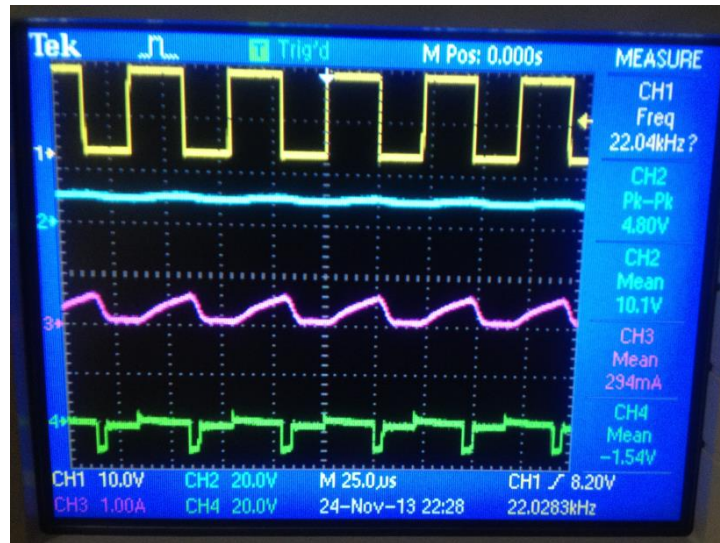


Şekil 2.6. Düşürücü dönüştürücü; a) anahtar iletimde  
b) anahtar kesimde

Bu dönüştürücü, L bobininin enerji aktarımı prensibine göre çalışır. S anahtarı iletimde iken L bobini enerjilenir, akımı doğrusal olarak artar ve güç ledlerine kaynaktan enerji akışı sağlanır. S anahtarı kesimde iken L bobininin akımı doğrusal olarak azalır, devresini D üzerinden tamamlar ve enerjisini güç ledlerine aktarır. Denklem (2.2)'de dönüştürücünün çıkış gerilimi eşitliği verilmiştir. Bu denklemde bulunan D, darbeleme oranı, yani iletim süresinin toplam periyoda oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$V_o = D \cdot V_i \quad (2.2)$$

Şekil 2.7.'de düşürücü dönüştürücü uygulamasına ait osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilde sırasıyla, darbeleme oranı, çıkış gerilimi, bobin akımı ve bobin gerilimi gösterilmiştir, ayrıca bobin akımı grafiğinden de görüleceği gibi düşürücü dönüştürücü KİM'de çalıştırılmıştır. Yapılan uygulamada giriş gerilimi 16V olarak alınmış ve 122 $\mu$ H bobin, 470 $\mu$ F kondansatör, IRF540N tipi MOSFET ve MUR460 tipi DİYOT kullanılmıştır [40-48].

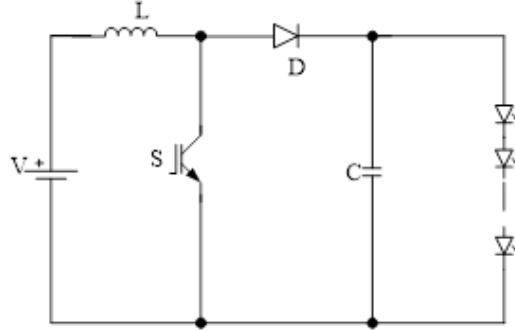


Şekil 2.7. Düşürücü dönüştürücü osiloskop görüntüsü



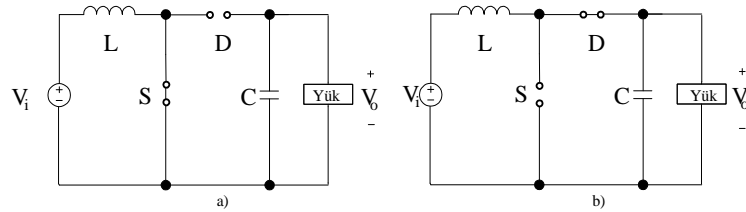
### 2.2.3.2. Yükseltici dönüştürücü

Şekil 2.8.'de yükseltici dönüştürücü yapısı görülmektedir, yüksek frekansta çalışan MOSFET, TRANSİSTÖR gibi S anahtarı, L bobini, D diyot, C kondansatörü ve yükten oluşmaktadır. Çıkış gerilimi, giriş gerilimine göre daha yüksek olarak elde edilmektedir.



Şekil 2.8. Yükseltici dönüştürücü

Şekil 2.9.'da anahtarın açık ve kapalı olma durumları gösterilmektedir ve yükseltici dönüştürücünün çalışması bu şekil üzerinden açıklanacaktır.



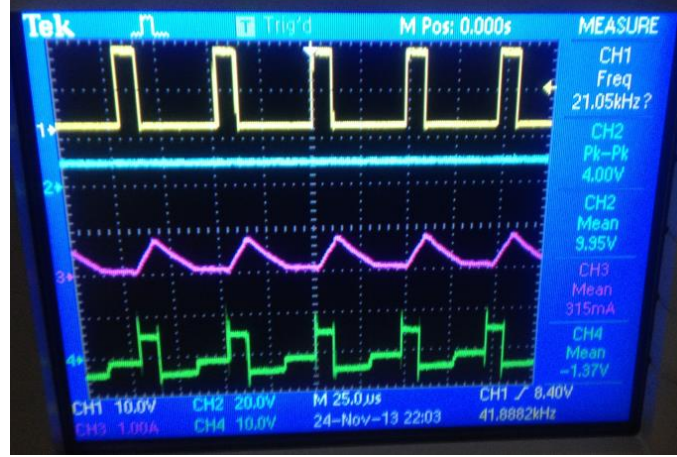
Şekil 2.9. Yükseltici dönüştürücü; a) anahtar iletimde  
b) anahtar kesimde

Bu dönüştürücü, L bobininin enerji aktarımına göre çalışır. S anahtarı iletimde iken L bobini enerjilenir, akımı doğrusal olarak artar ve C kondansatörü güç ledleri üzerinden deşarj olur. S anahtarı kesimde iken L bobininin akımı doğrusal olarak azalır, devresini D üzerinden tamamlar ve kaynakla birlikte enerjisini güç ledlerine aktarır. Ayrıca, çıkış gerilimi eşitliği Denklem (2.3)'de verilmiştir [39].

$$V_o = \frac{V_i}{1-D} \quad (2.3)$$

Şekil 2.10.'da gerçekleştirilen yükseltici dönüştürücü uygulamasına ait osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilde sırasıyla, darbeleme oranı, çıkış gerilimi, bobin akımı

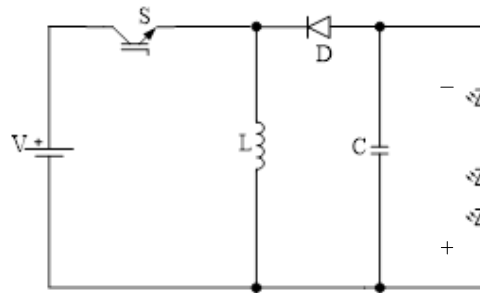
ve bobin gerilimi gösterilmiştir, ayrıca bobin akımı grafiğinden de görüleceği gibi yükseltici dönüştürücü KİM’de çalıştırılmıştır. Yapılan uygulamada giriş gerilimi 6V olarak alınmış ve 122 $\mu$ H bobin, 470 $\mu$ F kondansatör, IRF540N tipi MOSFET ve MUR460 tipi DİYOT kullanılmıştır [40-48].



Şekil 2.10. Yükseltici dönüştürücü osiloskop görüntüsü

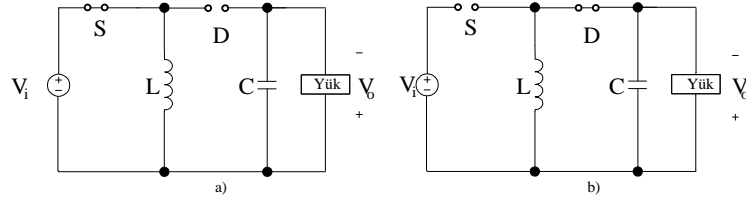
### 2.2.3.3. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü

Şekil 2.11.’de düşürücü-yükseltici dönüştürücü yapısı görülmektedir, yüksek frekansta çalışan MOSFET, TRANSİSTÖR gibi S anahtarı, L bobini, D diyotu, C kondansatörü ve yükten oluşmaktadır. Çıkış gerilimi, giriş gerilimine göre daha yüksek ya da düşük olarak elde edilebilmektedir. Ancak, çıkış gerilimi girişe göre ters polaritelidir.



Şekil 2.11. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü

Şekil 2.12.’de anahtarın açık ve kapalı alma durumları gösterilmektedir ve düşürücü-yükseltici dönüştürücünün çalışması bu şekil üzerinden açıklanacaktır.

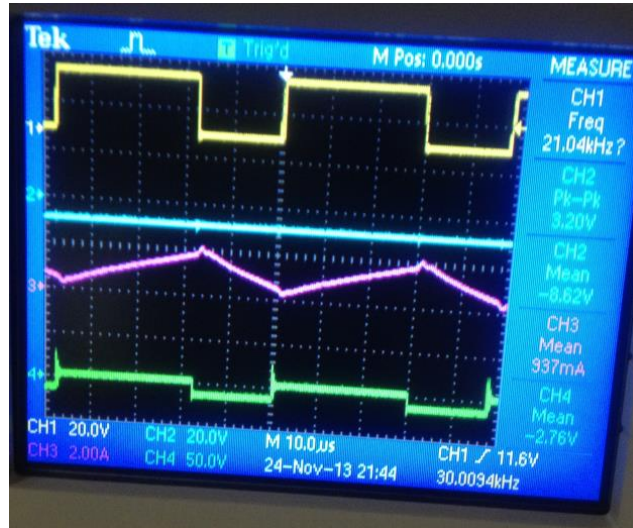


Şekil 2.12. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü a) anahtar iletimde, b) anahtar kesimde

S anahtarı iletimde iken L bobini enerjilenir, akımı doğrusal olarak artar ve C kondansatörü güç ledleri üzerinden deşarj olur. S anahtarı kesimde iken L bobininin akımı doğrusal olarak azalır, devresini D üzerinden tamamlar ve enerjisini güç ledlerine aktarır. Denklem (2.4)'de çıkış gerilimi verilmiştir [39].

$$V_o = \frac{D \cdot V_i}{(1-D)} \quad (2.4)$$

Şekil 2.13.'de gerçekleştirilen yükseltici dönüştürücü uygulamasına ait osiloskop görüntüsü verilmektedir. Şekilde sırasıyla, darbeleme oranı, çıkış gerilimi, bobin akımı ve bobin gerilimi gösterilmiştir, ayrıca bobin akımı grafiğinden de görüleceği gibi düşürücü-yükseltici dönüştürücü SıİM'de çalıştırılmıştır. Yapılan uygulamada giriş gerilimi 4,5V olarak alınmış ve 122µH bobin, 470µF kondansatör, IRF540N tipi MOSFET ve MUR460 tipi DİYOT kullanılmıştır [40-48].



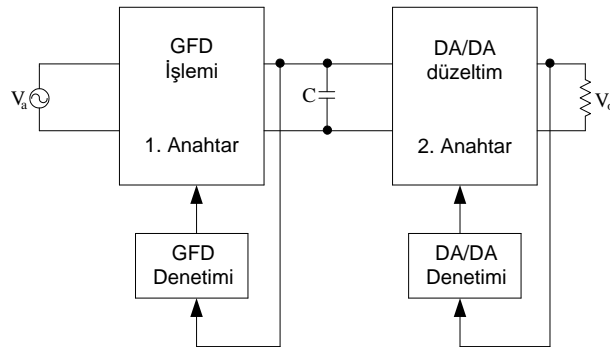
Şekil 2.13. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü osiloskop görüntüsü

#### 2.2.4. Yüksek güç faktörlü sürücüler

Güç ledleri DA gerilimle çalışmalarına rağmen genellikle AA olan şebeke üzerinden beslenirler. Bu nedenle, AA gerilimin DA olarak dönüştürülmesi gereklidir. Bu dönüştürme işlemi gerçekleştirilirken çoğu zaman kontrolsüz doğrultucular kullanılır. Ancak, kontrolsüz doğrultucular vasıtasıyla yapılan doğrultma sonucu güç ledleri beslenirse, şebeke akımı dalga şekli sinüs olmaktan uzaklaşmaktadır, şebeke akımı üzerinde harmonikler oluşmakta ve güç faktörü azalmaktadır. IEC/TS 61000-3-4, IEEE 519-1992 gibi standartlar harmonik sınırlarını belirleyen, üretici firmaların uyması gereken standartlardır [49-50]. Bu standartların sağlanabilmesi ve şebekenin bozulmaması için güç faktörünün düzeltilmesi gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için de verimi yüksek olduğu için yüksek güç faktörlü AA-DA sürücüler kullanılmaktadır [51-52].

Güç faktörü düzeltmeli AA-DA doğrultucu yapılarının, özellikle tek fazlıları genellikle, kontrolsüz bir doğrultucu devresi ve bu doğrultucu devresine bağlanmış yüksek frekansta çalışan DA-DA dönüştürücü yapısı ile gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, tek fazlı güç faktörü düzeltmeli AA-DA doğrultucular, tek ve iki aşamalı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [51-53].

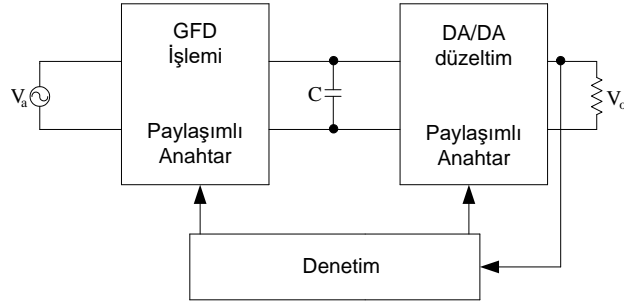
İki aşamalı AA-DA güç faktörü düzeltmeli dönüştürücü Şekil 2.14.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.14. İki aşamalı GFD prensip şeması

Bu tip dönüştürücülerde, birinci aşamada güç faktörü düzenlenmekte, şebekeden çekilen akımın sinüs ve gerilimle aynı fazlı olarak çekilmesi sağlanmaktadır. Daha sonra ikinci aşamada, çıkış geriliminin düzenlenmesi sağlanır [51,53]. İki aşama prensibini kullanan güç ledi sürücü devresi uygulaması [5] da gerçekleştirilmiştir.

Tek aşamalı AA-DA güç faktörü düzeltmeli dönüştürücü Şekil 2.15.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Tek aşamalı GFD prensip şeması

Tek aşamalı yapıda güç faktörü ve gerilim düzeltimi aynı denetim devresi ile birlikte gerçekleştirilmektedir [51,53]. Bu yapıyı kullanan bir güç ledi sürücü uygulaması [15] de yapılmıştır.

Tablo 2.1.'de tek ve iki aşamalı AA-DA güç faktörü düzeltmeli dönüştürücülerin karşılaştırılması yapılmaktadır [53].

Tablo 2.1. İki ve tek aşamalı GFD doğrultucuların karşılaştırılması

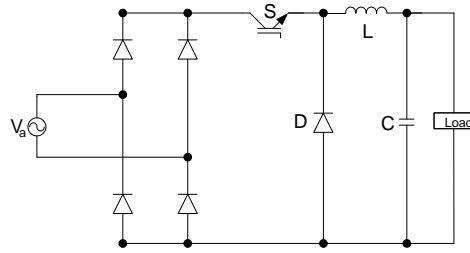
Özellik	İki Aşamalı GFD Dönüştürücüler	Tek Aşamalı GFD Dönüştürücüler
GFD Kalitesi	Yüksek	Düşük
Regülasyon Kalitesi	Yüksek	Düşük
Uluslararası standartları sağlama	Sağlanır	Sadece düşük güçlerde
Kontrol kolaylığı	Karmaşık	Basit
Devre yapısı basitliği	Karmaşık	Basit
Bastırma Kondasatörü Gerilimi	Sabit	Değişken
Güç Aralığı	Herhangi	300W altındaki güçlerde
Maliyet	Yüksek	Düşük
Verim	Orta	Düşük
THB	Düşük	Orta
Ağırlık	Düşük	Düşük

Yapılan karşılaştırmadan da anlaşılacağı gibi iki aşamalı daha avantajlı olmasına rağmen, maliyetinin yüksekliği nedeniyle 300W altındaki güçlerde tek aşamalı yapı tercih edilmektedir [51, 53].

Tek aşamalı AA-DA güç faktörü düzeltmeli dönüştürücüler, kontrolsüz doğrultucunun çıkışına DA-DA dönüştürücü yapıları bağlanarak gerçekleştirilebilmektedir [51-53]. Bu bölümde, temel yapılar olan düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücü yapıları açıklanacaktır.

#### 2.2.4.1. Düşürücü GFD dönüştürücü

Şekil 2.16.'da düşürücü GFD dönüştürücü yapısı gösterilmektedir. Kontrolsüz doğrultucunun çıkışına düşürücü DA-DA dönüştürücü bağlanmıştır.

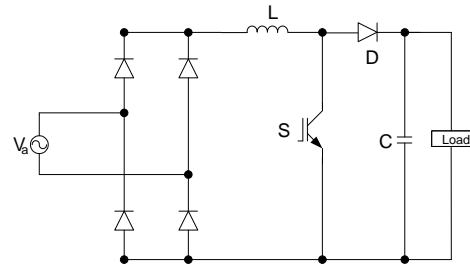


Şekil 2.16. Düşürücü GFD dönüştürücü

S anahtarının yüksek frekansta çalışması sonucu doğrudan güç faktörü düzenlenmektedir. KİM'de daha verimli çalışmaktadır. Ancak sıfır geçiş bozunumları oluşmaktadır [52].

#### 2.2.4.2. Yükseltici GFD dönüştürücü

Yükseltici GFD dönüştürücü yapısı Şekil 2.17.'de gösterilmektedir. Kontrolsüz doğrultucunun çıkışına yükseltici DA-DA dönüştürücü eklenmiştir.

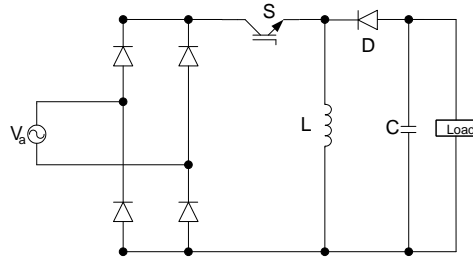


Şekil 2.17. Yükseltici GFD dönüştürücü

S anahtarının yüksek frekanslı çalışması sonucu güç faktörü düzeltilmekte ve çıkış gerilimi de ayarlanmaktadır. SİM’de en verimli çalışan yapıdır [52].

### 2.2.4.3. Düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücü

Şekil 2.18.’de düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücü yapısı gösterilmektedir. Kontrolsüz doğrultucu çıkışına düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücünün bağlanması ile oluşturulmaktadır, çalışması düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücü ile aynıdır.



Şekil 2.18. Düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücü

S anahtarının yüksek frekanslı çalışması sonucu güç faktörü doğrudan düzeltilmekte ve çıkış gerilimi ayarlanmaktadır. KİM için en verimli yapıdır, sıfır geçiş bozunumları oluşmamaktadır [52].

Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün KİM durumu çalışması için;  $P_{out}=8W$ ,  $V_o=11V$ ,  $V_{aetkin}=10-14V$ ,  $V_r/V_o<1\%$  değerlerinde örnek bir tasarım Denklem (2.5-2.26) ile yapılmıştır [39].

Minimum ve maksimum yük akımları Denklem (2.5) - (2.6) ile bulunur.

$$P_{omax} = V_o I_{omax} = 11 I_{omax} = 8, \Rightarrow I_{omax} = 0,727A \quad (2.5)$$

$$P_{omin} = V_o I_{omin} = 11 I_{omin} = 0, \Rightarrow I_{omin} = 0A \quad (2.6)$$

Minimum, maksimum yük dirençleri Denklem (2.7) ve (2.8) ile tespit edilir.

$$R_{Lmin} = V_o / I_{omax} = 11 / 0,727 = 15,13\Omega \quad (2.7)$$

$$R_{Lmax} = V_o / I_{omin} = 11 / 0 = \infty \Omega \quad (2.8)$$

Minimum, nominal ve maksimum transfer fonksiyonları, Denklem (2.9) – (2.11) ile bulunur.

$$M_{VDcmin} = V_o / V_{Imax} = 11 / (14\sqrt{2}) = 11 / 19,8 = 0,555 \quad (2.9)$$

$$M_{VDcnom} = V_o / V_{Inom} = 11 / (12\sqrt{2}) = 11 / 16,97 = 0,65 \quad (2.10)$$

$$M_{VDcmax} = V_o / V_{Imin} = 11 / (10\sqrt{2}) = 11 / 14,14 = 0,78 \quad (2.11)$$

$\eta = 85\% \Rightarrow$  minimum, maksimum, nominal darbeleme oranları Denklem (2.12) – (2.14) hesaplandığı gibidir.

$$D_{min} = M_{VDcmin} / (M_{VDcmin} + \eta) = 0,55 / (0,55 + 0,85) = 0,39 \quad (2.12)$$

$$D_{nom} = M_{VDcnom} / (M_{VDcnom} + \eta) = 0,65 / (0,65 + 0,85) = 0,43 \quad (2.13)$$

$$D_{max} = M_{VDcmax} / (M_{VDcmax} + \eta) = 0,78 / (0,78 + 0,85) = 0,46 \quad (2.14)$$

Anahtarlama frekansı  $f_{sw} = 63\text{kHz}$  iken KİM için maksimum bobin değeri, Denklem (2.15)'deki gibi hesaplanır.

$$L_{max} = R_{Lmin} (1 - D_{max})^2 / (2f_s) = 15,13 \cdot (1 - 0,46)^2 / (2 \cdot 63 \cdot 10^3) = 35 \mu\text{H} \quad (2.15)$$

$L$ ,  $L_{max}$ 'tan küçük olmalı ve bu yüzden  $L = 30 \mu\text{H}$  alınabilir.

Tam yükte;  $R_L = R_{Lmin}$  olduğu için darbeleme oranları Denklem (2.16) – (2.18)'deki gibi hesaplanır.



$$D_{\max} = M_{VDc\max} \sqrt{\frac{2f_s L}{\eta R_{L\min}}} = 0,46 \sqrt{\frac{2.63 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{0,85 \cdot 15,13}} = 0,249 \quad (2.16)$$

$$D_{\text{nom}} = M_{VDc\text{nom}} \sqrt{\frac{2f_s L}{\eta R_{L\min}}} = 0,43 \sqrt{\frac{2.63 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{0,85 \cdot 15,13}} = 0,233 \quad (2.17)$$

$$D_{\min} = M_{VDc\min} \sqrt{\frac{2f_s L}{\eta R_{L\min}}} = 0,39 \sqrt{\frac{2.63 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{0,85 \cdot 15,13}} = 0,21 \quad (2.18)$$

Maksimum darbeleme oranı ile Denklem (2.19)'daki işlemin toplamı, Denklem (2.20)' de gösterildiği gibi 1'den küçük olduğu için tasarım geçerlidir [39].

$$D_{l\max} = \sqrt{\frac{2f_s L}{\eta R_{L\min}}} = \sqrt{\frac{2.63 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{0,85 \cdot 15,13}} = 0,542 \quad (2.19)$$

$$D_{\max} + D_{l\max} = 0,249 + 0,542 = 0,791 < 1 \quad (2.20)$$

Yarıiletkenlerin akım ve gerilim stresleri, Denklem (2.21) ve (2.22) ile bulunur.

$$I_{s\max} = I_{D\max} = \Delta i_{L\max} = \frac{(V_{l\max} \cdot D_{\min})}{f_s L} = \frac{11 \cdot 0,21}{63 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-6}} = 1,2 \text{ A} \quad (2.21)$$

$$V_{s\max} = V_{D\max} = V_o + V_{l\max} = 11 + 19,8 = 30,8 \text{ V} \quad (2.22)$$

Çıkış gerilim dalgalanması, Denklem (2.23) ve (2.24) ile tespit edilir.

$$V_r = 0,01 V_o = 0,11 \text{ V} \quad (2.23)$$

$$V_{rcpp} = V_{cpp} = \frac{V_r}{2} = 0,055 \text{ V} \quad (2.24)$$

Maksimum ESR ise Denklem (2.25) ile bulunur.

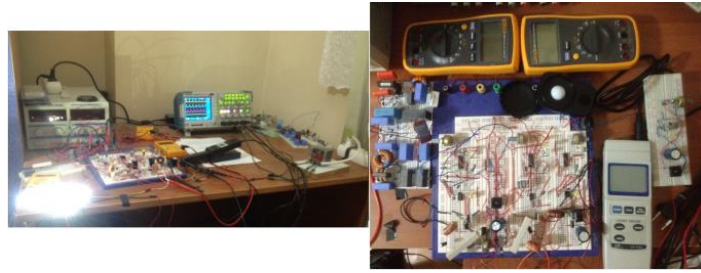
$$r_{c\max} = \frac{V_{rcpp}}{I_{D\max}} = \frac{2}{1,2} = 1,66 \Omega \quad (2.25)$$

Denklem (2.26) vasıtasıyla da minimum filtre kondansatörü değeri tespit edilir.

$$C_{\min} = \frac{D_{\max} V_o}{f_s \cdot R_{L\min} \cdot V_{\text{cpp}}} = \frac{0,249 \cdot 11}{63 \cdot 10^3 \cdot 15,13 \cdot 0,055} = 51,2 \mu\text{F} \quad (2.26)$$

### 3. UYGULAMALAR

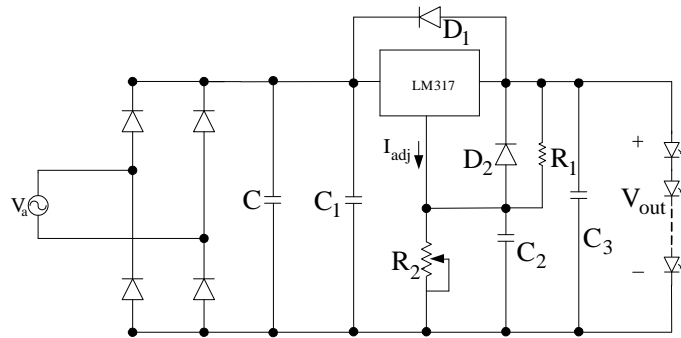
Bu tezde, güç ledi sürücüsü olarak doğrusal güç kaynaklı ve düşürücü-yükseltici GFD sürücü uygulamaları yapılmıştır. Yük olarak, üç adet birbirine seri bağlı güç ledi, iki paralel kol olarak birleştirilmiş ve kullanılmıştır. Ayrıca, her iki sürücü de 220/24V düşürücü transformator bağlanarak şebekeden beslenmiştir. Şebeke 220V ve 50Hz dir. Bununla birlikte, her iki sürücü devresi için şebeke gerilimi, akımı, güç ledi akımı ve gerilimi karşılaştırmaları yapılmıştır. Güç faktörü ve THB'ler TPS2024B osiloskopu ile ölçülmüştür. Şekil 3.1.'de ise uygulamaların yapıldığı düzenekler gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Uygulama ortamı

#### 3.1. Doğrusal Güç Kaynaklı Sürücü

Uygulama devresi, Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Bu devreden de görüleceği gibi şebeke gerilimi kontrolsüz bir doğrultucu vasıtasıyla doğrultulmaktadır, filtre kondansatörü ile DA gerilim elde edilmiştir ve daha sonra LM317 entegresi kullanılarak güç ledlerine ayarlı DA gerilim sağlanmaktadır [54].



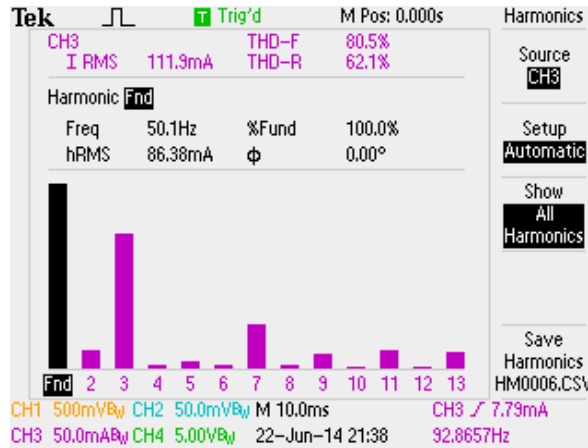
Şekil 3.2. Doğrusal güç kaynaklı sürücü devresi

Şekil 3.2.'de LM317 nin etrafında kullanılan diyotlar, doğrusal düzenleyiciyi kısa devreden korumak için kullanılmaktadırlar ve D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> olarak 1N4001 kodlu diyotlar kullanılmıştır. Ayrıca, C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, kondansatörleri sırasıyla, 2200µF, 0,1µF, 10µF ve 1µF değerindedirler. R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ise sırasıyla 240Ω direnç ve 5kΩ'luk potansiyometredir.

Çıkış gerilimi, Denklem (3.1)'de verilen eşitlik ile bulunmaktadır. Burada R<sub>2</sub> ayarlı bir dirençtir. R<sub>2</sub> değerinin değiştirilmesi ile güç ledleri üzerindeki gerilim ayarlanmaktadır.

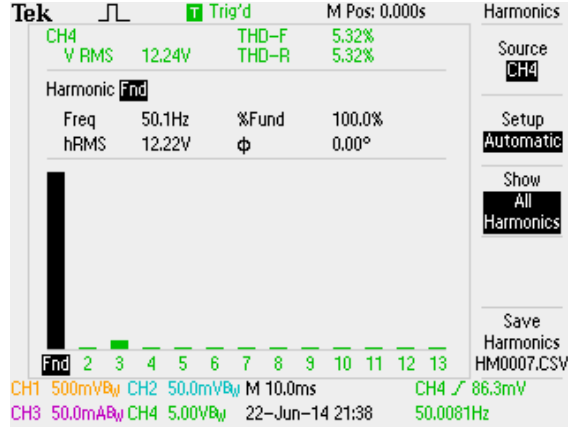
$$V_{out}=1,25V\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)+I_{adj}R_2 \quad (3.1)$$

Şekil 3.3.'de doğrusal düzenleyici kullanıldığında kaynak akımı harmonik içeriği gösterilmektedir. Görüldüğü gibi akım harmonikleri %80,5 dir.



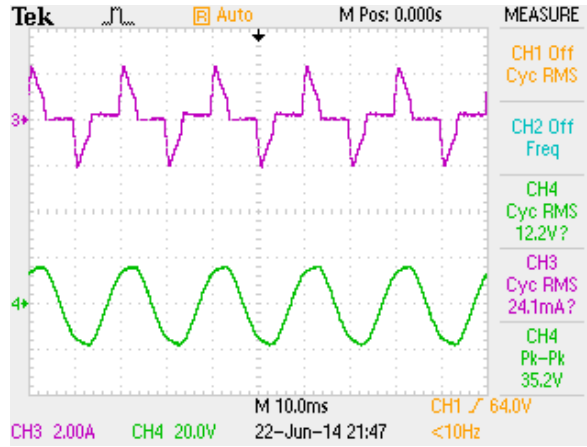
Şekil 3.3. Şebeke akımı THB'si

Şekil 3.4.'de ise kaynak gerilimi harmonik içeriği gösterilmektedir. Gerilim harmonikleri düşük olup %5,32 seviyesindedir.



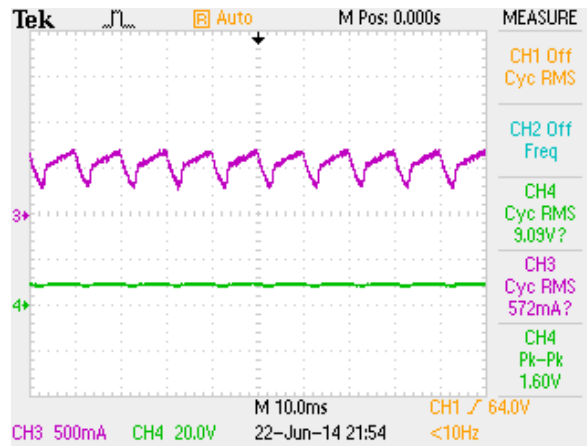
Şekil 3.4. Şebeke gerilimi THB'si

Şekil 3.5.'de kaynak akımı ve kaynak geriliminin dalga şekli gösterilmektedir. Ayrıca, güç faktörü 0,701 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Şebeke akımı ve gerilimi dalga şekilleri

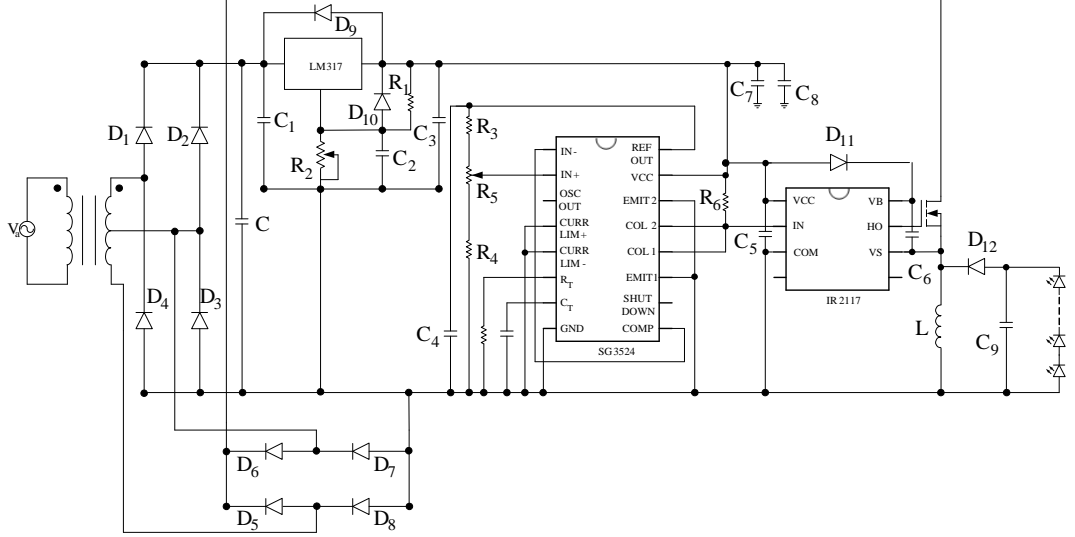
Şekil 3.6.'da ise güç ledi akım ve gerilimi gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Güç ledi akım ve gerilimi

### 3.2. Düşürücü-Yükseltici GFD Sürücü

Düşürücü-yükseltici GFD uygulama devresi Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.

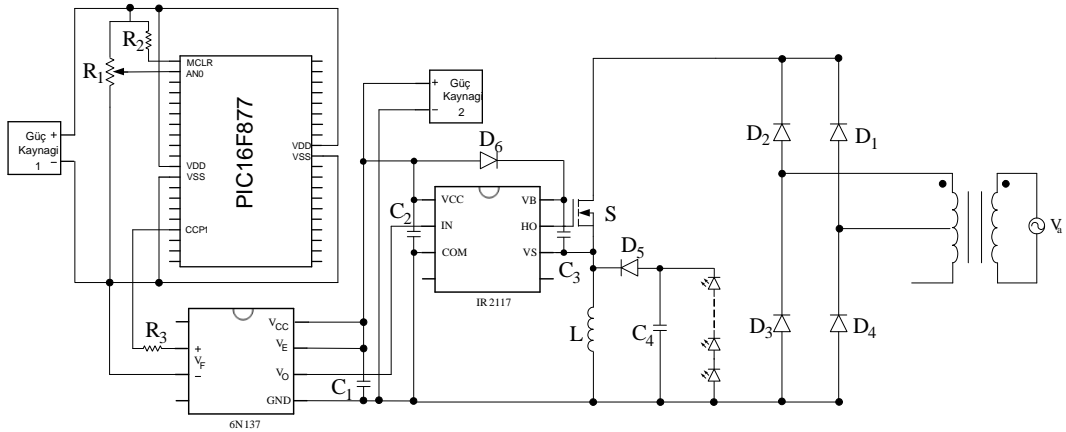


Şekil 3.7. Düşürücü-yükseltici GFD sürücü devresi

Şekil 3.7.'de gösterildiği gibi sekonderi orta uçlu bir trafo kullanılmıştır. Orta uca göre iki adet köprü tipi doğrultmaç devresi bağlanmıştır. Birinci köprü tipi doğrultmaç devresine SG3524 DGA entegresi ve IR2117 MOSFET sürücü entegresi monte edilmiştir. Bu entegrelere sabit bir DA gerilim sağlaması için bir adet LM317 gerilim düzenleyicisi de kullanılmıştır. SG3524 entegresinde bulunan potansiyometre sayesinde darbe genişlik ayarı yapılabilmektedir, IR540N MOSFET'nin iletim süresi ve güç ledlerinin gerilimleri ayarlanabilmektedir. İkinci köprü tipi doğrultmaç devresine güç devresi bağlanmıştır, doğrultulmuş sinüs gerilimi, doğrudan düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücüye uygulanmıştır. Dönüştürücü, SG3524 entegresinin  $R_T$  ve  $C_T$  bacaklarına bağlanan direnç ve kondansatörler sayesinde 63kHz anahtarlama frekansında çalışmaktadır. Burada,  $C$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $D_9$ ,  $D_{10}$  elemanlarının değerleri doğrusal güç kaynaklı sürücülerdekilere aynıdır.  $C_4$ ,  $C_5$ ,  $C_6$ ,  $C_7$ ,  $C_8$ ,  $C_9$ ,  $C_T$  kondansatörleri sırasıyla, 0,1 $\mu$ F, 1 $\mu$ F, 470nF, 0,1 $\mu$ F, 10 $\mu$ F, 1000 $\mu$ F, 2,2nF değerindedirler.  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ,  $R_T$  ise sırasıyla 2k $\Omega$ , 2k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 2k $\Omega$ , 9,8k $\Omega$  değerlerine sahiptir.  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_5$ ,  $D_6$ ,  $D_7$ ,  $D_8$ , olarak 1N4001 kodlu diyotlar,  $D_{11}$  ve  $D_{12}$  diyotları için ise UF1010, MUR460 kodlu diyotlar kullanılmıştır.

Ayrıca, Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi, mikro denetleyici kullanarak da DGA sinyalleri elde edilmiştir. Mikro denetleyici olarak, PIC16F877 denetleyicisi

kullanılmıştır. Bu denetleyici 5V güç kaynağından beslenmiştir. AN0 bacağına bağlanan potansiyometre ile yazılan açık döngülü kod vasıtasıyla, CCP1 bacağından elde edilen DGA sinyali ayarlanabilmektedir. Ayrıca, mikro denetleyici bir opto koplör vasıtasıyla güç devresinden yalıtılmıştır. Opto koplör olarak 6N137 kullanılmıştır ve IR2117 MOSFET sürücü entegresi ile birlikte ayrı bir kaynaktan beslenmişlerdir. Yalıtımın tam olarak sağlanabilmesi için kontrol ve güç devrelerinin şaselerinin farklı olması gerekmektedir. DGA sinyallerinin ayarlanması sayesinde, MOSFET iletim süresi ayarlanmış ve sonuç olarak çıkış gerilimi denetlenmiştir. Eleman değerleri ise  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  için sırasıyla 0,1 $\mu$ F, 1 $\mu$ F, 0,1 $\mu$ F, 1000 $\mu$ F'lık kondansatörler,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  için de sırasıyla 10k $\Omega$ , 4,65k $\Omega$ , 62 $\Omega$ 'luk dirençler,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  için ise 1N4001 kodlu  $D_5$ ,  $D_6$  için ise UF1010, MUR460 kodlu diyotlar ve L için ise 30 $\mu$ H'lik bobin kullanılmıştır [40-48,55].



Şekil 3.8. Mikrodenetleyicili düşürücü-yükseltici GFD sürücü devresi

Ek olarak, açık döngülü uygulamada, DGA üretimi için mikro denetleyiciye yüklenecek kod Şekil 3.9.'da belirtildiği gibidir [56-57].

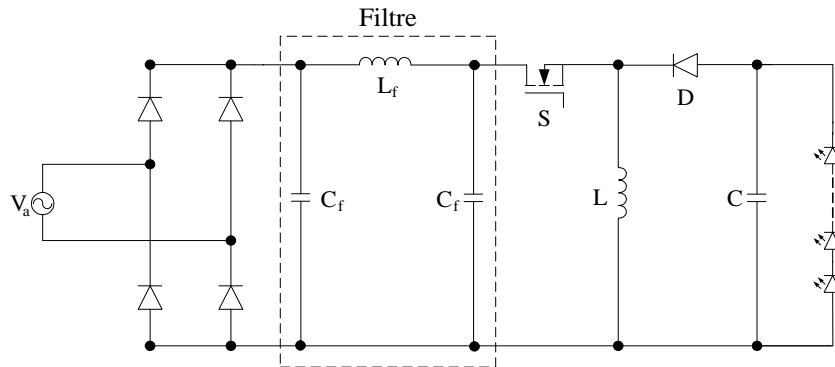
```

/* File: analogpwm.c
 * Author: erdal
 * Created on March 16, 2014, 6:40 PM */
#include <xc.h>
void main(void) {
    unsigned char dusuk;
    TRISC=0;
    TRISA=0;
    TRISB=1;
    ADCON1=0x0E;
    ADCON0=0x41;
    PR2=9; /*100khz*/
    T2CON=4;
    for(;;)
    {
        ADCON0=0x45;
        while((ADCON0&4)!=0);
        dusuk=ADRESL>>2;
        CCPR1L=ADRESH;
        CCP1CON=0x0C+dusuk;
    }return; }

```

Şekil 3.9. DGA üretimi için mikro denetleyiciye yüklenecek kod

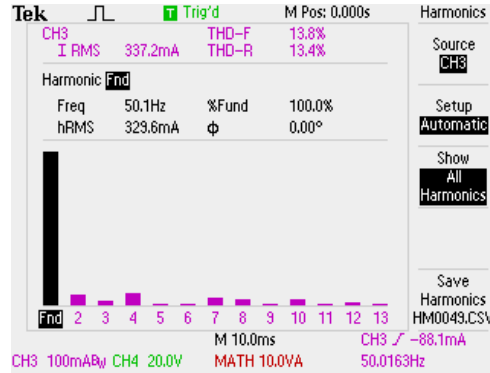
Bunun yanı sıra, yapılan ölçümler EMI filtre bağlanarak alınmıştır, uygulamalarda Şekil 3.10.'daki  $\pi$  tipi filtre kullanılmıştır ve  $C_f$ ,  $L_f$  değerleri sırasıyla 68nF ve 15mH dir [58].



Şekil 3.10.  $\pi$  filtrelili düşürücü-yükseltici GFD devresi

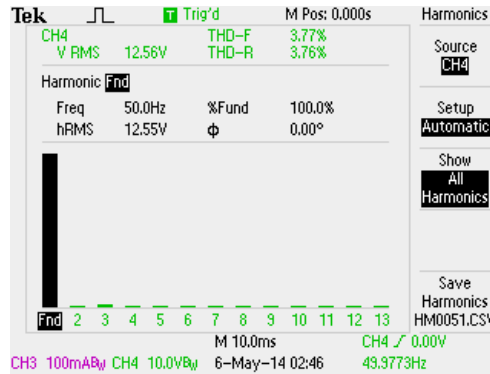


Şekil 3.11.'de şebeke akımının THB'si gösterilmektedir. Görüldüğü gibi THB %13,8 olarak elde edilmiştir.



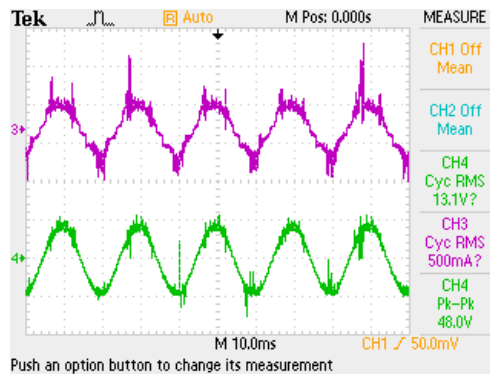
Şekil 3.11. Şebeke akımı THB'si

Şekil 3.12.'de şebeke gerilimi THB'si gösterilmektedir. Şebeke gerilimi THB'si %3,77 olarak ölçülmüştür.



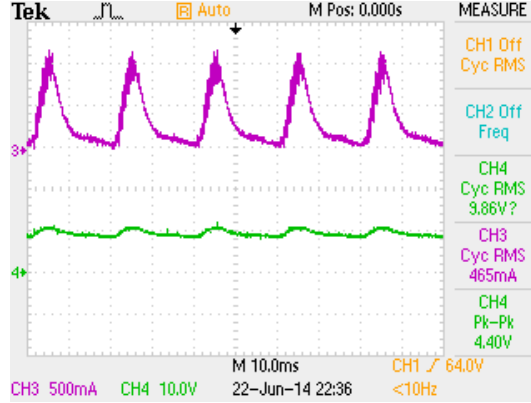
Şekil 3.12. Şebeke gerilimi THB'si

Şekil 3.13.'de ise şebeke akımı ve geriliminin dalga şekilleri gösterilmiştir. Ayrıca, güç faktörü 0,958 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.13. Şebeke akımı ve gerilimi dalga şekli

Şekil 3.14.'de ise güç ledlerinin akımı ve gerilimi gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Güç ledi akımı ve gerilimi

### 3.3. Bulgular ve Tartışma

Güç ledleri için doğrusal tabanlı ve düşürücü-yükseltici GFD tabanlı sürücü devrelerinin uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Her iki sürücü devresi de 220/24V luk bir trafo üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Doğrusal tabanlı sürücü kullanıldığında şebeke akımı harmoniği %80,5, şebeke gerilimi harmoniği %5,32 ve güç faktörü ise 0,701 olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, kullanılan entegrede aşırı ısınmalar gerçekleşmiştir. Ancak, EMI filtresi kullanılmamıştır. Diğer yandan, düşürücü-yükseltici GFD sürücü kullanıldığında ise şebeke akımı harmoniği %13,8, şebeke gerilimi harmoniği %3,77 ve güç faktörü 0,958 olarak ölçülmüştür. Ek olarak, EMI filtre kullanımı gereklidir. Ayrıca, düşürücü-yükseltici GFD sürücü uygulaması açık döngülü olarak gerçekleştirilmiştir. [52]'de belirtildiği gibi düşürücü-yükseltici GFD sürücünde daha yüksek güç faktörü elde edilmiştir. Ayrıca, doğrusal tabanlı sürücüdeki entegrenin aşırı ısınması, [7,39,54]'de söylendiği gibi güç kaybının yüksek olduğunu gösterir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, öncelikle güç ledinin, akım-gerilim, akım- aydınlatma şiddeti, gerilim-aydınlatma şiddet, sıcaklık-akım, sıcaklık-gerilim ve sıcaklık-aydınlatma şiddeti karakteristikleri ve güç ledi eşdeğer devre modeli elde edilmiştir. Daha sonra, doğrusal güç kaynaklı ve düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücülü güç ledi sürücü devresi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamalar sonucunda, güç faktörü, akım ve gerilim harmonikleri bakımından düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücülü sürücü devresinin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, yapılan uygulama TS EN 6001 3-2 C standartını da sağlamaktadır. Ancak, maliyeti doğrusal güç kaynaklı sürücüye göre daha fazladır. Bununla birlikte, doğrusal güç kaynaklı dönüştürücü de EMI filtre kullanmaya gerek yoktur. Ama doğrusal güç kaynaklı sürücü devresinde kullanılan entegre aşırı derecede ısınmaktadır, bu da veriminin düşük olmasına neden olmaktadır.

Düşürücü-yükseltici GFD dönüştürücülü sürücünün daha avantajlı olduğu aşikârdır. Ancak, bu tezde bu sürücü açık döngülü olarak uygulanmıştır, güç ledi akımı denetlenmemiştir. İleriki uygulamalarda güç ledi akımının denetlenmesi öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Schubert E. F., *Light Emitting Diodes*, 1st ed., Cambridge Press, New York, 2003.
- [2] Mottier P., *Leds for Lighting Applications*, 1st ed., Wiley, London, 2009.
- [3] Kim B. H., Moon C. H., Comparison of the Thermal Performance of the Multichip Led Packages, *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 2012, **2**(11), 1832-1837.
- [4] Yeh N., Chung J. P., High-Brightness Leds-Energy Efficient Lighting Sources and Their Potential in Indoor Plant Cultivation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, **13**(8), 2175-2180.
- [5] Arias M., Lamar D. G., Sebastian J., Balocco D., Diallo A. A., High-Efficiency Led Driver without Electrolytic Capacitor for Street Lighting, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2013, **49**(1), 127-137.
- [6] Juntunen E., From Led Die to a Lighting System: Performance Improvement in Led Lighting by means of Thermal Management and Smart Control, Doctoral Thesis, University of Oulu, VTT Technical Research Centre of Finland, Oulu, 2014.
- [7] Winder S., *Power Supplies for Led Driving*, 1st ed., Elsevier, Oxford, 2008.
- [8] Arias M., Vazquez A., Sebastian J., An Overview of the AC-DC and DC-DC Converters for Led Lighting Applications, *Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, 2012, **53**(2), 156-172.
- [9] Lun W. K., Loo K. H., Tan S. C., Lai Y. M., Tse C. K., Bilevel Current Driving Technique for Leds, *IEEE Transaction on Power Electronics*, 2009, **24**(12), 2920-2932.
- [10] Lan S., Tan C. M., Degradation Model of a Linear-mode Led Driver and Its Application in Lifetime Prediction, *IEEE Transaction on Device and Materials Reliability*, 2014, **14**(3), 904-913.
- [11] Hsieh Y. T., Juang Y. Z., Analysis and Suppression of Overcurrent in Boost Led Drivers, *Journal of Display Technology*, 2013, **9**(5), 388-395.
- [12] Hu Y., Jovanovic M. M., Led Driver with Self-Adaptive Drive Voltage, *IEEE Transaction on Power Electronics*, 2008, **23**(6), 3116-3125.

- [13] Mohammed L., Saudin N., Hamid N. F. A., Ramly N. H., Isa Z. M., Ahamad N. B., Cuk Converter as a Led Lamp Driver, *IEEE International Conference on Power and Energy*, Kota Kinabalu, Malezya, 2-5 December 2012.
- [14] Zhang F., Ni J., Yu Y., High Power Factor AC-DC Led Driver with Film Capacitors, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2013, **28**(10), 4831-4840.
- [15] Hu Y., Huber L., Jovanovic M., Single-Stage, Universal-Input AC/DC Led Driver With Current-Controlled Variable PFC Boost Inductor, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2012, **27**(3), 1579-1588.
- [16] Lamar D. G., Arias M., Rodriguez A., Fernandez A., Hernando M. M., Sebastian J., Single-Stage Design-Oriented Analysis and Performance Evaluation of a Low-Cost High-Brightness Led Driver Based on Flyback Power Factor Corrector, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2013, **60**(7), 2614-2626.
- [17] Xie X., Wang J., Zhao C., Qiang L., Shirong L., Single-Stage, A Novel Output Current Estimation and Regulation Circuit for Primary Side Controlled High Power Factor Single-Stage Flyback LED Driver, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2012, **27**(11), 4602-4612.
- [18] Pal S., Singh B., Shrivastava A., Chandra A., Al-Haddad K., Improved Power Quality Opto-Couplerless Cuk Converter for Flickerless LED Lighting, *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Montreal, Canada, 20-24 September 2015.
- [19] Ali M., Orabi M., Ahmed M. E., Elaroudi A., Design Considerations of a Single-Stage LED Lamp Driver with Power Factor Correction, *2<sup>nd</sup> International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS)*, Sharjah, UAE, 15-17 November 2011.
- [20] Cosetin M. R., Bolzan P. C., Luz P. C. V., Dasilva M. F., Alanso J. M., Doprado R. N., Dimmable Single-Stage Sepic-Cuk Converter for Led Lighting with Reduced Storage Capacitor, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Vancouver, Canada, 5-9 October 2014.
- [21] Paul E., Aleyas M. V., Oommen A. P., A Single Stage High Power Factor Supply Based on Integrated Buck Flyback Converter, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2013, **2**(1), 680-688.
- [22] Chen W., Hui R. S. Y., Elimination of an Electrolytic Capacitor in AC/DC Light-Emitting Diode (LED) Driver with High Input Power Factor and Constant Output Current, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2012, **27**(3), 1598-1607.
- [23] Cheng H. L., Lin C. W., Design and Implementation of a High-Power-Factor Led Driver With Zero-Voltage Switching-On Characteristics, *IEEE Transaction on Power Electronics*, 2014, **29**(9), 4949-4958.

- [24] Gürbüz Y., Güç Faktörü Düzeltmeli Güç LED Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2012, 315926.
- [25] İnal İ., Buck Tabanlı Güç Led Sürücülerinin Aydınlanma Verimliliklerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 2012, 318447.
- [26] Yılmaz H., Design, Application and Comparison of Single Stage Flyback and Sepic PFC AC/DC Converters for Power LED Lightning Application, Master Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2012, 318852.
- [27] Loebner E. E., Subhistories of the Light Emitting Diode, *IEEE Transactions on Electronic Devices*, 1976, **23**(7), 675-699.
- [28] Holonyak N., The III-V Alloy p-n Diode Laser and LED Ultimate Lamp, *Proceedings of IEEE*, 2013, **101**(10), 2158-2169.
- [29] [http://www.lumec.com/learning-enter/led/advantages\\_and\\_disadvantages.html](http://www.lumec.com/learning-enter/led/advantages_and_disadvantages.html), (Ziyaret tarihi: 22 Nisan 2015).
- [30] Giamello N., LEDs for Lighting Applications: An Overview, Sharp Microelectronics of the America, [http://www.sharpleds.com/resources/leds\\_for\\_lighting\\_overview.pdf](http://www.sharpleds.com/resources/leds_for_lighting_overview.pdf), (Ziyaret tarihi: 22 Nisan 2015).
- [31] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led\\_advantage.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_advantage.pdf), (Ziyaret tarihi: 22 Nisan 2015).
- [32] Liu Z., Liu S., Wang K., Luo X., Status and Prospects for Phospor-Based White Led Packaging, *Frontiers of Optoelectronics in China*, 2009, **2**(2), 119-140.
- [33] <http://www.displaybly.com/led-news/led-backlight-color-production-theory/>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [34] [http://www.sneresearch.com/eng/info/show.php?c\\_id=5011&pg=1&s\\_sort=&sub\\_cat=&s\\_type=&s\\_word](http://www.sneresearch.com/eng/info/show.php?c_id=5011&pg=1&s_sort=&sub_cat=&s_type=&s_word), (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [35] <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/feb/remote-phosphor-offers-alternative-to-white-leds>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [36] <http://www.electroschematics.com/5178/organic-led-the-exciting-display-device/>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [37] [http://www.oksolar.com/led/led\\_color\\_chart.htm](http://www.oksolar.com/led/led_color_chart.htm), (Ziyaret tarihi: 21 Ağustos 2015).
- [38] Boylestad R., Nashelsky L., *Electronic Devices and Circuit Theory*, 7th ed., Prentice Hall, Ohio, 1998.

- [39] Kazmierczuk M. K., *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*, 1st ed., Wiley, Singapore, 2008.
- [40] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sg2524.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [41] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292D.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [42] <http://www.fke.utm.my/lab2/power-e/buckboost.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [43] <http://www.vishay.com/docs/88686/mur440-e3.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [44] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2117.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [45] <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-978.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [46] <http://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-6076.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [47] Merello A., Bootstrap Network Analysis: Focusing on the Integrated Bootstrap Functionality, International Rectifier, <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1123.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [48] Balogh L., Design and Application Guide for High Speed MOSFET Gate Drive Circuits, Texas Instruments, <http://www.radio-sensors.se/download/gate-driver2.pdf>, (Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2016).
- [49] IEEE 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, *IEEE Industry Applications Society*, New Jersey, 1993.
- [50] <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119101057118066116071115048075113053116074069085056110116084114068113> (Ziyaret tarihi: 21 Ağustos 2015).
- [51] Bodur H., Akboy E., Aksoy İ., Tek Aşamalı Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi, *Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 5-7 Ekim 2011.
- [52] Grigore V., Topological Issues in Single-Phase Power Factor Correction, Doctoral Thesis, Helsinki University of Technology, Institute of Intelligent Power Electronics, Espoo, 2001.

- [53] Zhang J., Jovanovich M. M., Lee F. C., Comparison Between CCM Single Stage and Two Stage Boost PFC Converters, *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC'99)*, Dallas, USA, 14-18 March 1999.
- [54] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [55] <http://www.vishay.com/docs/84732/6n137.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).
- [56] Dođan İ., *Pic C Motor Kontrol Projeleri*, 1. basım, Bileşim Yayınları, Ankara, 2004.
- [57] Dođan İ., *Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control*, Elsevier Science & Technoogy, 1st ed., Oxford, 2002.
- [58] <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-FEBL028.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2015).



## **EKLER**

## EK-A

Akım-gerilim, akım-aydınlatma şiddeti, gerilim-aydınlatma şiddeti karakteristikleri çizilirken yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler.

Tablo EK.A.1. Akım-gerilim, akım-aydınlatma şiddeti, gerilim-aydınlatma şiddeti karakteristikleri çıkarılırken yapılan ölçüm sonuçları

	Akım-gerilim Karakteristiği		Akım ve gerilim-aydınlatma şiddeti Karakteristiği		
	İleri Gerilim (V)	İleri Akım (mA)	İleri Gerilim (V)	İleri Akım (mA)	Aydınlatma Şiddeti (Lux)
1	0.106	0	0.105	0	0
2	0.236	0	0.240	0	0
3	0.317	0	0.347	0	0
4	0.432	0	0.448	0	0
5	0.513	0	0.570	0	0
6	0.611	0	0.676	0	0
7	0.725	0	0.757	0	0
8	0.854	0	0.870	0	0
9	0.902	0	0.983	0	0
10	0.951	0	1.095	0	0
11	1.064	0	1.206	0	0
12	1.145	0	1.257	0	0
13	1.225	0	1.321	0	0
14	1.321	0	1.465	0	0
15	1.465	0	1.561	0	0
16	1.595	0	1.641	0	0
17	1.642	0	1.77	0	0
18	1.722	0	1.883	0	0
19	1.868	0	1.975	0	0
20	1.974	0	2.070	0	0
21	2.085	0	2.182	0	0
22	2.164	0	2.262	0	0
23	2.260	0	2.325	0	0
24	2.356	0	2.390	0.01	0
25	2.391	0.01	2.42	0.03	0
26	2.423	0.03	2.451	0.09	0
27	2.438	0.06	2.485	0.3	0
28	2.453	0.1	2.526	1.06	0
29	2.465	0.16	2.552	2.22	0.05
30	2.474	0.21	2.564	3	0.21
31	2.485	0.31	2.565	3.13	0.23
32	2.499	0.48	2.574	3.95	0.39
33	2.5	0.5	2.585	5.04	0.61
34	2.513	0.75	2.6	6.23	0.85
35	2.527	1.13	2.612	9	1.38

36	2.544	1.81	2.619	10.39	1.67
37	2.565	3.19	2.627	11.98	1.98
38	2.595	6.42	2.642	15.38	2.61
39	2.621	10.65	2.661	20.45	3.49
40	2.654	18.32	2.680	26.20	4.46
41	2.681	26.57	2.695	31.77	5.40
42	2.710	36.61	2.711	37.89	6.46
43	2.733	46.8	2.726	44	7.51
44	2.748	53.5	2.748	54.5	9.17
45	2.76	60	2.764	63.1	10.50
46	2.771	66.5	2.784	74.2	12.26
47	2.796	80.3	2.803	85.5	13.95
48	2.801	85.3	2.826	101.6	16.25
49	2.825	102.2	2.840	113.3	17.82
50	2.854	123.8	2.850	123.7	19.09
51	2.892	157.3	2.861	135.1	20.43
52	2.903	178	2.867	143.2	21.35
53	2.906	188.7	2.878	155.5	22.74
54	2.917	203.7	2.884	165.1	23.70
55	2.919	218.7	2.893	177.7	24.91
56	2.922	224.6	2.894	192.7	26.09
57	2.928	236.7	2.905	207.5	27.43
58	2.930	244	2.913	219.8	28.41
59	2.933	259	2.916	226.6	28.87
60	2.940	271.4	2.923	238.5	29.75
61	2.941	279.1	2.929	250.4	30.52
62	2.942	285.9	2.931	259.9	30.94
63	2.944	293.1	2.933	269.7	31.45
64	2.947	302.5	2.936	277	31.75
65	2.950	312.9	2.936	284.3	31.75
66	2.951	318.5	2.937	295.1	32.31
67	2.952	323.2	2.941	302.3	32.43
68	2.957	335.3	2.946	313.1	32.84
69	2.959	338.8	2.953	327.7	33.06
70	2.950	344.8	2.956	337.8	33.04
71	2.953	349	2.954	346.3	33.08
72	-	-	2.951	349.4	32.57
73	-	-	2.954	357.2	32.53

## EK-B

Akım-sıcaklık, aydınlatma şiddeti-sıcaklık, gerilim-sıcaklık karakteristikleri çıkarılırken yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler.

Tablo EK B.1 Akım-sıcaklık, aydınlatma şiddeti-sıcaklık, gerilim-sıcaklık karakteristikleri çıkarılırken yapılan ölçüm sonuçları

	İleri Gerilim (V)	İleri Akım (mA)	Aydınlatma Şiddeti (Lux)	Sıcaklık (°C)
1	0.1	0	0	0
2	0.3	0	0	0
3	0.7	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1.5	0	0	0
6	1.7	0	0	0
7	1.9	0	0	0
8	2.1	0	0	0
9	2.39	0.01	0.03	0
10	2.43	0.03	0.04	0
11	2.48	0.12	0.29	0
12	2.51	0.37	2.07	0
13	2.56	1.38	4.53	0
14	2.58	2.84	10	0
15	2.61	5.07	18.87	0.1
16	2.64	9.31	35.41	0.1
17	2.67	16.01	61.4	0.6
18	2.69	23.61	91.4	0.7
19	2.7	28.08	108.6	1.1
20	2.72	36.41	141.3	1.3
21	2.75	43.7	169.3	1.7
22	2.78	58.4	221.3	1.9
23	2.79	65.9	246.6	2.6
24	2.80	70.9	263.1	2.8
25	2.82	81.5	298.2	3.4
26	2.84	93.3	335.7	4
27	2.86	111.3	389.1	4.9
28	2.88	127.9	444	6.3
29	2.90	143.5	487	6.7
30	2.92	169.5	558	7.5
31	2.95	200.9	638	9.2
32	2.98	235.2	716	10.9
33	2.99	257	746	13
34	3	299.8	803	15.3
35	3.01	311.5	819	17.4
36	3.01	335	840	20.5
37	3.01	354.4	842	21.9
38	3.01	363.7	826	23.5

## KİŞESEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Yılmaz E., **Şehirli E.**, Çakır B., Yüksek Güç Faktörlü Led Sürücü Tasarımı, *Proje Tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı*, Sinop, 22-24 Mayıs 2014.
- [2] **Şehirli E.**, Altınay M., Çakır B., Comparison of Single-phase Linear and Buck-Boost Led Driver, *Light & Engineering*, 2015, **23**(3), 78-84.

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kastamonu`da doğdu. İlk, orta öğrenimini Kastamonu`da tamamladı. 2001 yılında Kastamonu Anadolu Teknik Lisesi Elektrik Bölümü`nden birincilikle mezun olarak, aynı yıl Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümü`nü kazandı. 2004 yılında ise girmiş olduğu KPSS sınavını kazanarak, 2005 yılında Boğaziçi Üniversitesi`ne Elektrik Teknisyeni olarak atandı. 2006 yılında Elektrik Öğretmeni olarak okulunu bitirdi. 2009 yılında yüksek lisans öğrenimini Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı`nda tamamladı. 2009 Mart ayında çalıştığı Boğaziçi Üniversitesi`nden Kastamonu Üniversitesi`nin yapmış olduğu Öğretim Görevliliği sınavını kazanması sonucunda ayrıldı ve Kastamonu Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Endüstriyel Elektronik Programına Öğretim Görevlisi olarak atandı, halen bu görevini sürdürmektedir.