

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LİNEER YAPILI LED ARMATÜRLERİ İÇİN YÜKSEK
VERİMLİLİĞE VE YÜKSEK GÜÇ YOĞUNLUĞUNA SAHİP
SABİT AKIM GÜÇ KAYNAĞI TASARIMI**

MEHMET CANER BAŞOL

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LİNEER YAPILI LED ARMATÜRLERİ İÇİN YÜKSEK
VERİMLİLİĞE VE YÜKSEK GÜÇ YOĞUNLUĞUNA SAHİP
SABİT AKIM GÜÇ KAYNAĞI TASARIMI

MEHMET CANER BAŞOL

Doç. Dr. Serhat YILMAZ

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Yaşar BİRBİR

Jüri Üyesi, Marmara Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Murat AYZ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 11.02.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Aydınlatma sektörünün LED teknolojisine geçmesiyle birlikte, LED sürücülere olan ihtiyaç gün ve gün artmaktadır. Literatürde sabit akım anahtarlamalı mod güç kaynağı olarak geçen ve en çok tercih edilen türü olan lineer LED sürücülere odaklı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez ile birlikte; yüksek verimlilikli, güç yoğunluğu yüksek ve aynı zamanda ilgili standartlar uygun lineer LED sürücü tasarımı yapılarak literatürdeki eksikler giderilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada katkısı olan ve tüm test sürecinde yardımlarını eksik etmeyen ekip arkadaşlarım Macit Aydın'a, Koray Yılmaz KAYA'ya ve Ömer PEPEÇ'e teşekkür etmek isterim.

Teknik konularda olduğu kadarıyla, bu zorlu süreçte bana manevi destek olan Sn. Halil Alper Onay'a ve Volkan Süel'e teşekkürlerimi sunmak isterim.

Yıl içerisinde yaşadığımız zorlu süreci bir an olsun bana hissettirmemeye çalışan ve her anımda destek olan annem Leyla Başol ve ağabeyim Murat Cihan Başol'a şükranlarımı sunarım.

Tez süresince teknik - idari konularda olduğu kadar manevi olarak da destek olan danışman hocam Doç. Dr. Serhat Yılmaz'a bu vesileyle teşekkürlerimi tekrar sunmak isterim.

Fiziki olanaklarını kullanmam için bana izin veren ve destek olan Akım Metal'e de teşekkürlerimi sunmak isterim.

Bu çalışma, kanser sebebiyle kaybettiğim babam Ergin Başol'a ve Covid-19 hastalığına yenik düşen babaannem Şevkiye Başol'a adanmıştır.

Mart – 2021

Mehmet Caner BAŞOL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. LED SÜRÜCÜLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	3
1.1. Literatür Araştırması	5
1.2. LED Sürücülerde Kullanılan Topolojiler	6
1.2.1. Düşürücü (buck) topolojisi	8
1.2.2. Yükseltici (boost) topolojisi	9
1.2.3. Düşürücü – yükseltici (buck – boost) topolojisi.....	10
1.2.4. Geri dönüşlü (flyback) topolojisi	11
1.2.5. İleri yönlü (forward) topolojisi	11
1.2.6. LLC rezonans topolojisi	12
1.2.7. Direk sürme yapısındaki LED sürücü devreleri	13
1.3. LED Sürücüler için Temel Kavramlar	14
1.3.1. Galvanik izolasyon	14
1.3.2. Sabit akım veya sabit çıkış gerilimi	16
1.3.3. Çıkış akım dalgalanması	18
1.3.4. Ömür hesaplaması	20
1.4. LED Sürücü Standartları ve Regülasyonları	21
1.4.1. Elektromanyetik uyumluluk (EMC) standartları.....	22
1.4.1.1. Bağışıklık testleri	22
1.4.1.2. Emisyon testleri	27
1.4.2. Düşük gerilim yönetmeliği (LVD) standartları	31
1.4.2.1. Yüksek gerilim izolasyon testi.....	31
1.4.2.2. Yüksek gerilim toprak bağlantı testi.....	32
1.4.3. RoSH regülasyonu.....	32
1.4.4. REACH regülasyonu.....	33
1.4.5. Eco design ve ErP (energy related products) regülasyonları	33
1.5. Lineer Armatürler ve Lineer LED Sürücüler Hakkında Genel Bilgi	34
2. DEVRE TASARIMI VE SİMÜLASYONLAR	36
2.1. İsterlerin Belirlenmesi	36
2.2. Topoloji Seçimi	37
2.3. Entegre Seçimi	38
2.4. Entegrenin Çalışma Mantığı.....	39
2.5. Endüktans Tasarımı ve Güç Eleman İsterlerinin Belirlenmesi	41
2.5.1. Endüktans tasarımı	41
2.5.2. Anahtarlama elemanı ve çıkış diyotu seçimi.....	46
2.5.3. Çıkış elektrolitik kapasitesinin seçimi.....	48

2.5.4. Çevre birimlerinin tasarımı	49
2.5.4.1. İlk başlama durumunda kullanılacak komponent seçimi.....	49
2.5.4.2. Birincil taraf sabit akım kontrolü için komponent seçimi	50
2.5.4.3. Açık devre koruma devresi için komponent seçimi.....	51
2.6. Çıkış Akım Dalgalanmasını Azaltıcı Devre Tasarımı.....	52
2.7. Devre Simülasyonları ve Sonuçlar	54
2.7.1. SMPS devresinin simülasyonu.....	55
2.7.2. Çıkış akım dalgalanmasını azaltıcı devresinin simülasyonu.....	56
2.7.3. ANSYS PExpert - endüktans güç kaybı simülasyonu	58
3. DENEYSEL ÖLÇÜMLER VE SONUÇLAR	61
3.1. Komponent Seçimi ve PCB Tasarımı	61
3.1.1. Güç elemanlarının seçimi.....	61
3.1.2. EMC filtrelerinin seçimi.....	62
3.1.2.1. Ortak mod gürültü için filtre seçimi	62
3.1.2.2. Diferansiyel mod gürültü için filtre seçimi.....	63
3.1.2.3. EMI kapasite seçimi.....	64
3.1.2.4. Varistör seçimi.....	64
3.1.3. PCB tasarımı	65
3.1.4. Lineer LED sürücünün tasarım çıktıları.....	67
3.2. Elektriksel Testler ve Osiloskop Görüntüleri.....	68
3.3. EMC ve LVD Testleri	70
3.3.1. EMC testleri	70
3.3.1.1. Işınsal emisyon testi (radiated emission).....	70
3.3.1.2. İletimsel emisyon testi (conducted emission).....	71
3.3.1.3. Surge gerilim testi.....	72
3.3.1.4. Burst (EFT) gerilim testi.....	72
3.3.1.5. Giriş gerilim çökmesi (DIPS) testi.....	72
3.3.2. LVD testleri.....	72
3.3.2.1. Yüksek gerilim toprak bağlantı testi.....	72
3.4. Termal Testler	73
3.5. Ömür Tespit Çalışmaları	74
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	80
EKLER.....	82
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	84
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. LED sürücü sınıflandırması	4
Şekil 1.2. SMPS topolojilerinin galvanik izolasyona göre sınıflandırılması	7
Şekil 1.3. SMPS topolojilerinin güç değerine göre sınıflandırılması.....	8
Şekil 1.4. Düşürücü (Buck) topolojisi.....	8
Şekil 1.5. Düşürücü (Buck) topolojisi – senkron doğrultucu yapısı	9
Şekil 1.6. Yükseltici (Boost) topolojisi.....	9
Şekil 1.7. Düşürücü – yükseltici (Buck – Boost) topolojisi.....	10
Şekil 1.8. Geri dönüşlü (Flyback) topolojisi	11
Şekil 1.9. İleri yönlü (Foward) topolojisi.....	12
Şekil 1.10. LLC rezonans dönüştürücüsü	12
Şekil 1.11. Direk LED sürme devresi	13
Şekil 1.12. Yetersiz galvanik izolasyonda çarpılma durumu.....	15
Şekil 1.13. Galvanik izolasyon için PCB’de bırakılması gereken mesafe.....	15
Şekil 1.14. Sabit gerilim ve sabit akım kaynağının kullanımı	16
Şekil 1.15. LED komponentlerinin sıcaklık – gerilim grafiği.....	17
Şekil 1.16. Kırpışmalı ve kırpışmasız ekran örnekleri.....	18
Şekil 1.17. Çıkış akım dalgalanması yüksek akım dalga formu (%110).....	19
Şekil 1.18. Çıkış akım dalgalanması düşük akım dalga formu (< %15).....	19
Şekil 1.19. En zayıf halka: elektrolitik kapasiteler	20
Şekil 1.20. CE deklarasyonu için gereken standartlar.....	22
Şekil 1.21. ESD test düzeneği.....	23
Şekil 1.22. Burst gerilim testinin mekanizması	23
Şekil 1.23. Surge gerilim testinin mekanizması	24
Şekil 1.24. Işınımsal ve iletimsel bağışıklık test düzenekleri	25
Şekil 1.25. Manyetik alan bağışıklığı test düzeneği.....	26
Şekil 1.26. Giriş gerilimi çökme testinde uygulanan gerilimler	26
Şekil 1.27. Işınımsal emisyon test düzeneği	27
Şekil 1.28. Işınımsal emisyon testi için örnek sonuç	28
Şekil 1.29. İletimsel emisyon test düzeneği	28
Şekil 1.30. İletimsel emisyon testi için örnek sonuç.....	29
Şekil 1.31. Harmonikli giriş akımı ve bileşenleri	30
Şekil 1.32. Gerilim dalgalanması testinde bakılan parametreler.....	30
Şekil 1.33. Yüksek gerilim izolasyon testinin bağlantıları	32
Şekil 1.34. Yüksek gerilim toprak bağlantı testinin bağlantıları.....	32
Şekil 1.35. RoHS simgesi ve limitleri.....	33
Şekil 1.36. REACH simgesi.....	33
Şekil 1.37. Bekleme modundaki limit güç değerleri.....	34
Şekil 1.38. Aktif güce göre güç faktörü değerleri.....	34
Şekil 1.39. Lineer armatür görselleri	34
Şekil 1.40. Lineer sürücü görselleri	35
Şekil 2.1. Buck – Boost dönüştürücünün genel şematığı.....	38
Şekil 2.2. SY22679B kontrol yapısının blok diyagramı	39
Şekil 2.3. Başlangıç durumunda, şebeke gerilimi (mavi) ve çıkış akımı (yeşil).....	40

Şekil 2.4. Çıkış gerilimi, MOSFET akımı, diyot akımı ve MOSFET gerilimi	42
Şekil 2.5. EFD 24/13/9 EPCOS bilgileri.....	45
Şekil 2.6. MOSFET, sıcaklık – gerilim ve sıcaklık – akım grafikleri.....	47
Şekil 2.7. İlk başlama durumunu etkileyen devre yapısı	49
Şekil 2.8. SY22679B blok diyagramı	50
Şekil 2.9. Açık devre korumasının devre yapısı	51
Şekil 2.10. Çıkış akım dalgalanması yüksek akım formu (Mavi).....	53
Şekil 2.11. Çıkış akım dalgalanması düşük akım formu (Mavi).....	53
Şekil 2.12. Adaptif lineer regülatör devresi	53
Şekil 2.13. Akım dalgalanması azaltıcı devre.....	54
Şekil 2.14. Lineer LED sürücü blok şeması.....	54
Şekil 2.15. Açık çevrim Buck – Boost dönüştürücü simülasyonu.....	55
Şekil 2.16. Buck – Boost dönüştürücü simülasyon görselleri.....	56
Şekil 2.17. Akım dalgalanmasını azaltıcı devre simülasyonu.....	57
Şekil 2.18. Akım dalgalanmasını azaltıcı devrenin simülasyon görselleri	57
Şekil 2.19. ANSYS PExpert simülasyonu	59
Şekil 2.20. ANSYS PExpert malzeme seçimi.....	59
Şekil 2.21. 0.50 mm emaye tel ve 20 x 0.10 mm litz teli kayıp analizleri.....	59
Şekil 2.22. 20 x 0.10 mm litz telli tasarımın kesit görseli.....	60
Şekil 2.23. 20x0.10 mm litz telli tasarımın kayıp analizi.....	60
Şekil 3.1. Diferansiyel mod (Kırmızı) ve ortak mod (Mavi) gürültüler.....	62
Şekil 3.2. Ortak mod filtre çalışma mekanizması	62
Şekil 3.3. UU9.8 ortak mod filtre.....	63
Şekil 3.4. LC filtre yapısı	63
Şekil 3.5. LC filtre için endüktans ve kapasite görselleri	63
Şekil 3.6. EMI kapasiteleri.....	64
Şekil 3.7. Varistör	64
Şekil 3.8. Buck – Boost dönüştürücünün kesintili akımları.....	65
Şekil 3.9. Örnek toprak katmanı	66
Şekil 3.10. Örnek komponent yerleşimi.....	67
Şekil 3.11. Örnek toprak bağlantısı.....	67
Şekil 3.12. Lineer sürücü PCB’sinin komponentli yüzeyi.....	67
Şekil 3.13. Dizgisi yapılmış 60W 350mA lineer LED sürücü.....	68
Şekil 3.14. MOSFET gerilimi (Turuncu) ve entegrenin akım ölçme pin gerilimi (Açık mavi)	69
Şekil 3.15. Sürücü çıkış gerilimi (Turuncu) ve çıkış akımı (Açık mavi).....	70
Şekil 3.16. 60W 350mA lineer LED sürücü ışınal emisyon sonucu	71
Şekil 3.17. 60W 350mA lineer LED sürücü iletimsel emisyon sonucu	71
Şekil 3.18. Yüksek gerilim toprak bağlantı test sonucu.....	73
Şekil 3.19. Termal testlerin yapıldığı iklimlendirme kabini	73
Şekil 3.20. Ömür testi için ölçüm düzeneği	74
Şekil 3.21. Çıkış elektrolitik kapasitesi üzerinden ölçülen akım	75
Şekil A.1. EFD 25/13/9	83

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Tasarım isterleri	36
Tablo 2.2. Tasarım parametreleri	41
Tablo 2.3. Tasarım çıktıları	44
Tablo 2.4. Tasarım girdileri	45
Tablo 2.5. Endüktans parametreleri	46
Tablo 2.6. Yarı iletken parametreleri	47
Tablo 2.7. Elektrolitik kapasite girdileri	48
Tablo 2.8. R_{sense} parametreleri.....	51
Tablo 2.9. Açık devre koruması için tasarım parametreleri.....	52
Tablo 2.10. Buck – Boost dönüştürücü simülasyon sonuçları.....	55
Tablo 2.11. Simülasyon sonuçlarına göre komponent akım – gerilim değerleri	56
Tablo 2.12. Akım dalgalanmasını azaltıcı devrenin simülasyon sonuçları.....	58
Tablo 2.13. ANSYS PExpert simülasyon parametreleri.....	58
Tablo 2.14. Endüktans tasarım parametreleri	60
Tablo 3.1. Komponent seçimleri.....	61
Tablo 3.2. En çok kayıp veren komponentler	66
Tablo 3.3. Fonksiyonel ve elektriksel ölçümler	68
Tablo 3.4. Termal test sonuçları.....	74
Tablo 3.5. Elektrolitik kapasitelerin ömür hesaplamaları	75
Tablo 4.1. Tasarım çıktıları.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

L_m	: Endüktans Değeri, (mH)
f_{sw}	: Anahtarlama frekansı, (kHz)
f_r	: Rezonans frekansı, (kHz)
A_e	: Nüve göbek kesit alanı, (cm ²)
A_w	: Nüve pencere kesit alanı, (cm ²)
B_{SAT}	: Nüveyi doyuma götüreceak akı yoğunluğu, (mT)
L_{lk}	: Birincil sargı kaçak endüktansı, (μH)
P_{loss}	: Güç kaybı, (W)
V_{ovp}	: Koruma durumdaki çıkış gerilimi, (V _{dc})
I_{out_nom}	: Nominal çıkış akımı, (A _{dc})
η	: Dönüştürücü verimi
J_a	: Akım yoğunluğu, (A/mm ²)
K_u	: Paketleme faktörü
I_{L_pk}	: Endüktans maksimum tepe akımı, (A _{pk})
V_e	: Nüve hacmi, (mm ³)
ΔB	: Akı yoğunluğu değışimi, (mT)
N_p	: Birincil sargı sarım sayısı
N_s	: İkincil sargı sarım sayısı
d	: İletken bakır çapı, (mm)
D	: Doluluk oranı
T_{ortam}	: Ortam sıcaklığı, (°C)

Kısaltmalar

AP	: Area Product (Area Product Yöntemi)
B-H	: Manyetik Akı Yoğunluğu-Manyetik Alan Şiddeti
EMC	: Electromagnetic Compliance (Elektromanyetik Uyumluluk)
EMI	: Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LVD	: Low Voltage Direction (Düşük Gerilim Yönetmeliği)
PCB	: Printed Circuit Board (Baskı Devre)
PFC	: Power Factor Correction (Güç Faktörü Düzeltme)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
SMPS	: Switch Mode Power Supply (Anahtarlama Mod Güç Kaynağı)

LİNEER YAPILI LED ARMATÜRLERİ İÇİN YÜKSEK VERİMLİLİĞE VE YÜKSEK GÜÇ YOĞUNLUĞUNA SAHİP SABİT AKIM GÜÇ KAYNAĞI TASARIMI

ÖZET

Lineer LED sürücüler, yüksek verim ve yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulan armatürler için tasarlanmış sabit akım güç kaynaklarından bir tanesidir. Bununla birlikte, ince yapısı ve düşük çıkış akım dalgalanması gibi özellikleri sayesinde birçok farklı LED aydınlatma armatürlerinde de tercih edilmektedir.

LED aydınlatmaya olan talebin artmasıyla birlikte LED sürücü üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmıştır. Ancak, LED sürücünün kalitesini ve kullanılabilirliğini belirleyen; lineer - ince yapı, verimlilik, yüksek güç yoğunluğu, uzun ömür – güvenilirlik gibi parametreler tasarım sürecinde dikkate alınmamaktadır. Bu davranış, öngörülemeyen problemlerin ortaya çıkmasına neden olabileceği gibi proje süreçlerinin uzamasına, proje giderlerin yükselmesine ve hatta hayati problemlere neden olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında; lineer veya benzer formadaki LED aydınlatma armatürlerinde kullanılabilen, Avrupa şebeke gerilimine (230 V_{RMS}, 50 Hz) uygun, 60W çıkış gücüne, 350mA çıkış akımına sahip çıkış akım dalgalanması %16'ın altında, yüksek verimliliğe sahip (>%92.0) lineer LED sürücü tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmiştir. Başarı kriterlerine ulaşmak ve uzun ömürlü – güvenilir bir LED sürücü ortaya çıkarmak için tasarım adımları detaylıca işlenmiştir. Tasarım aşamasındayken, sürücünün matematiksel analizi yapılmış ve simülasyonlar kullanılarak yarı iletken, manyetik elemanlar gibi kritik komponentlerin üzerindeki akım ve gerilim değerleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak; komponentler seçilmiş ve verim iyileştirmesi için manyetik simülasyonlar kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda; tasarlanan devre gerçekleştirilmiş ve matematik – simülasyon hesaplamalar doğrulanmıştır. Sonuç olarak, bu tez çalışması ile birlikte verimliliği – güç yoğunluğu yüksek, uzun ömürlü – güvenilir bir tasarım çıkarabilmeye yönelik çözümler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Düşük Akım Dalgalanması, LED Sürücü, Lineer LED Sürücü.

HIGH EFFICIENCY AND HIGH POWER DENSITY CONSTANT CURRENT POWER SUPPLY DESIGN FOR LINEAR LED LUMINAIRES

ABSTRACT

Linear LED drivers are one of the constant current power supplies designed for fixtures that require high efficiency and high power density. However, it is also preferred in many different LED lighting fixtures thanks to its thin structure and features such as low output current fluctuation.

With the increasing demand for LED lighting, the number of studies on LED drivers has increased. However, determining the quality and usability of the LED driver; Parameters such as linear - fine structure, efficiency, high power density, long life - reliability are not considered during the design process. This behavior may cause unforeseen problems as well as prolonging project processes, increase project expenses and even cause vital problems.

In this thesis; high efficiency ($> 92.0\%$) linear LED driver design with 60W output power, 350mA output current, output current fluctuation below 16%, which can be used in linear or similar form LED lighting fixtures, suitable for European mains voltage (230 V_{RMS} , 50 Hz) made and realized. The design steps have been elaborated in order to reach the success criteria and create a long-lasting and reliable LED driver. During the design phase, the driver's mathematical analysis was made and the current and voltage values on critical components such as semiconductors and magnetic elements were determined using simulations. Using these values; components were selected and magnetic simulations were used for efficiency improvement. In line with these studies; the designed circuit has been implemented and the mathematical - simulation calculations have been verified. As a result, with this thesis, solutions have been presented to create a reliable design with high power density, long life.

Keywords: Low Current Ripple, LED Driver, Linear LED Driver.

GİRİŞ

Enerji verimliliğine ve işletim maliyeti düşük ürünlere olan ihtiyacın artmasıyla birlikte LED armatürlerine ve dolayısıyla LED sürücülere olan talep giderek artmıştır. LED armatürlerinin; diğer aydınlatma sistemlerine göre verimlilik, uzun ömür, düşük bakım masrafları ile ön plana çıkması ve LED teknolojisinin gelişmesiyle üstünlüğü pekişmektedir [1].

LED aydınlatmaya olan talebin artmasıyla; LED aydınlatma sistemlerinin en önemli parçası olan LED sürücülerine de talep giderek artmaktadır. LED armatürlerinin tasarım çıktılarını etkileyen en önemli parçalardan biri olan LED sürücülerinden beklenti; yüksek verimlilikli, uzun ömürlü, arıza verme sıklığı ve maliyetinin düşük olmasıdır [1-2].

Aydınlatma ürünlerinde ışık akı dalgalanmasının belli bir seviyenin üzerinde olması stroboskopik etkilere neden olduğu gibi aynı zamanda insan sağlığını olumsuz etkilediği klinik çalışmalar ile onaylanmıştır. Özellikle LED armatürlerinde, bu problemin ortadan kaldırmak için ışık akı dalgalanmasını en çok etkileyen parametre olan LED sürücü çıkış akım dalgalanmasının belli bir seviyenin altında olması gerekmektedir. Bu sebeple, tasarlanacak LED sürücünün çıkış akım dalgalanmasının belli bir seviyenin altında olması stroboskopik etkiyi ve insan sağlığına olan olumsuz etkiyi ortadan kaldıracaktır [1-2].

İç aydınlatma ürünlerinden olan lineer LED armatürleri, ince yapısı ve şık tasarımından dolayı çok sık tercih edilmektedir. Lineer LED armatürlerinde kullanılan LED sürücülerinden beklentinin yüksek verimlilikli, yüksek ömürlü olmasının yanında uygun fiziksel yapıya sahip olması da tasarımını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, dar alanlar için tasarlanmış lineer LED armatürleri için EN (European Norme) Standartları'na uygun çıkış akım dalgalanması düşük, yüksek verimlilikli, sabit akım kaynağı tasarlanmıştır [1-2].

Tez içerisinde bulunan Bölüm 1’de, LED sürücü teknolojisinden ve piyasada bulunan LED sürücülerin sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Literatür araştırması kısmında ise LED sürücüler hakkında yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bölüm 2’de, LED sürücüler hakkında genel bilgi ve LED sürücü için kritik olan bazı özelliklerden bahsedilmiştir. Ayrıca, anahatarlamalı mod güç kaynaklarında kullanılan topolojilerden bahsedilmiş ve lineer LED sürücüler hakkında bilgi verilmiştir. Bölümün son kısmında ise, CE deklarasyonu için gereken standart testlerinden detaylı bir şekilde bilgi verilmiştir.

Bölüm 3’te, lineer LED sürücü için istenilen özellikler belirlenmiş ve bu doğrultuda konsept tasarımı yapılmıştır. Bölüm içerisinde, seçilen entegre, topoloji tasarımı, manyetik devre tasarımı ve çıkış akım dalgalanmasını azaltan devre için detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca, tasarlanan elektronik devreler için simülasyon ortamında incelenmiş ve bununla birlikte verimliliği yükseltmek için manyetik analiz simülasyonu kullanılmıştır.

Bölüm 4’te, yapılan tasarımlar doğrultusunda komponent seçimi ve PCB tasarımı yapılmıştır. Komponent seçimi ve PCB tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar üzerinde durulmuştur. Ayrıca, tasarlanan sürücünün EMC ve LVD testlerinden bahsedilmiştir.

Bölüm 5’te ise, yapılan bütün çalışmalar değerlendirilmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, daha verimli ve güç yoğunluğu yüksek sürücü yapmak için önerilerde bulunulmuştur.

1. LED SÜRÜCÜLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

LED (Light Emitting Diode) teknolojisi başlangıçta kırmızı renkli bir gösterge olarak piyasada uzun yıllar kullanıldı. İlerleyen senelerde sarı, yeşil ve son olarak da mavi renkli gösterge LED'leri piyasaya sunuldu. LED'ler göstergeç olarak trafik ışıkları, araç aydınlatmaları ve çeşitli mimari aydınlatmalarda kendine yer bulmaya başladı [2].

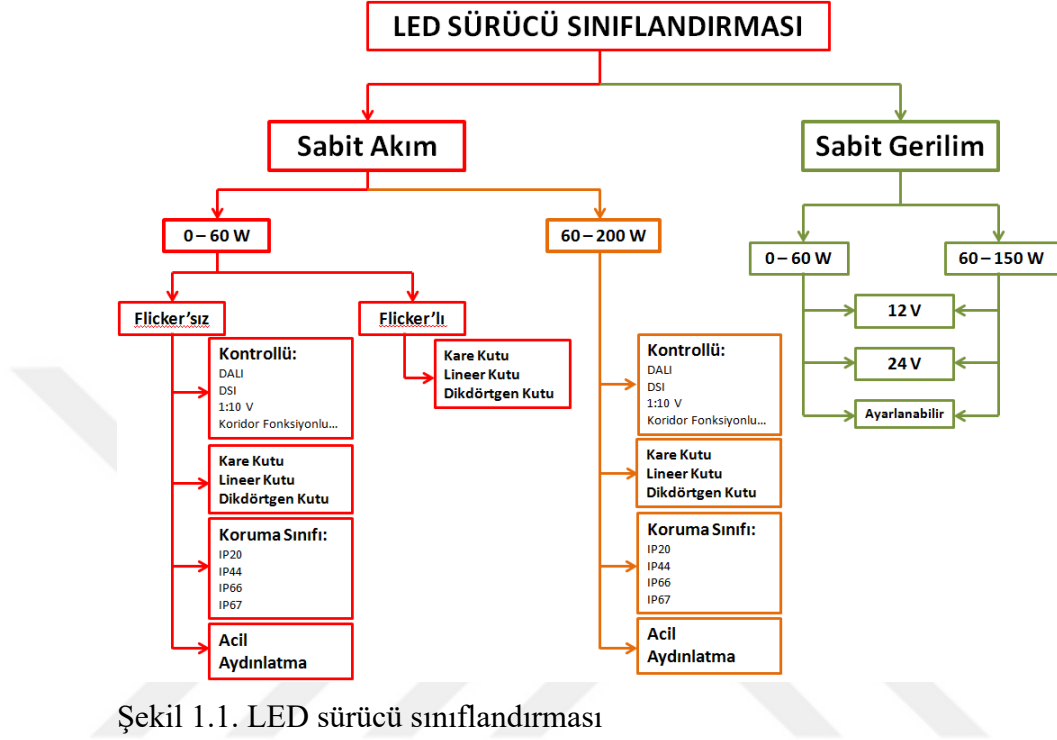
Yılların ilerlemesiyle birlikte, LED teknolojisi istikrarlı bir şekilde gelişmiş ve bununla birlikte birim LED'den alınan ışık akısı miktarı artmıştır. Zamanla 1 W, 3W ve 5W gücündeki LED'ler, aydınlatma sektöründe kendine yer bulmaya başladı [2].

LED teknolojisinin, aydınlatma sektöründe sıklıkla kullanılmaya başlanmasıyla; LED'lerin sürme teknolojisi de problem olmaya başlamıştır. İlk zamanlarda, ihtiyaç duyulan akımın düşük olmasıyla birlikte lineer regülatörler kullanılmıştır. Ancak, ihtiyaç duyulan akımın artmasıyla birlikte lineer regülatörler, ihtiyacı karşılayamamaya başlamıştır. Bu tarihten itibaren, anahtarlamalı mod güç kaynakları (Switching Mode Power Supply – SMPS) teknolojisi gelişmeye başlamış ve LED'leri sürmek için kullanılmaya başlanmıştır. Ancak anahtarlamalı mod güç kaynakları ile birlikte Elektromanyetik Yayılım (Electromagnetic Interference – EMI) problemleri ve EMC – LVD testlerine uygunlukta zorluklar ortaya çıkmıştır [1-2].

LED sürücü teknolojisi olarak anahtarlamalı mod güç kaynaklarının kullanılmasıyla; sınıflandırma Şekil 1.1'de görüldüğü gibi oluşmuştur.

Şekil 1.1'de görüldüğü üzere, anahtarlamalı güç kaynağı teknolojisiyle tasarlanmış LED sürücüler, sabit akım kaynağı ve sabit gerilim kaynağı olarak iki ayrılır. Aydınlatma türüne göre (Vitrin aydınlatması, sokak aydınlatması, mimari aydınlatma vb.) LED sürücü seçimi, sabit akım kaynağı veya sabit gerilim kaynağı olarak yapılır [1-2].

Sabit gerilim kaynakları temel olarak gücüne ve gerilimine göre sınıflandırılır. İhtiyaç duyulan aydınlatma tasarımına göre gerilim ve güç belirlenir. Bundan sonra sürücü seçimi yapılır.



Şekil 1.1. LED sürücü sınıflandırması

Sabit akım kaynakları ise güç sınıflandırması dışında, ürünün sahip olduğu çıkış akım dalgalanması, kontrol tipi, yapısal formu – boyutu ve koruma sınıfına göre de sınıflandırma yapılmaktadır. Sabit akım LED sürücü seçimi de tasarlanan armatür ve LED dizilimine göre yapılır [1-2].

Tezin konusu olan ve tasarlanan “Lineer Yapılı LED Armatürleri için Yüksek Verimliliğe ve Yüksek Güç Yoğunluğuna Sahip Sabit Akım Güç Kaynağı”, sabit akım anahtarlamalı güç kaynakları ailesine mensup olup çıkış akım dalgalanması düşük (Flicker-free) lineer LED sürücü ailesine mensuptur [1-2].

Gümüzde, LED sürücü denildiği zaman anahtarlamalı mod güç kaynakları akıllara gelse de bunun dışında lineer regülatörler ve direkt LED sürme devreleri de bulunmaktadır. Ancak, aydınlatma sektörünün büyük çoğunluğunda, avantajlarından ötürü anahtarlamalı mod güç kaynaklarını kullanmaktadır. Anahtarlamalı mod güç kaynaklarının diğer lineer regülatör ve direkt LED sürme devrelerine göre avantajları:

- Giriş gerilim değişimlerine karşı daha bağışıklı olması,
- Yük değişimlerine karşı daha bağışıklı olması,
- Belli bir güç seviyesinden itibaren daha yüksek güç yoğunluğuna sahip olması,
- Belli bir güç seviyesinden itibaren daha küçük ve hafif olması,
- Belli bir güç seviyesinden itibaren fiyatları daha uygun olması,

şeklindedir.

Bununla birlikte, anahtarlama mod güç kaynaklarının bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Anahtarlama mod güç kaynaklarının diğer lineer regülatör ve direkt LED sürme devrelerine göre dezavantajları:

- Elektromanyetik girişime (EMI) neden olmaları,
- Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) için gereken diğer testler için ekstra yapılar ihtiyacı duymaları,
- Anahtarlama yapıya sahip olmaları sebebiyle; anahtarlama gürültülerine sahip olmaları,
- Gürültüleri bastırmak ve minimize etmek için filtreleme ihtiyacı duymaları,

şeklindedir.

Bu avantajlarından dolayı, LED sürücüler genellikle anahtarlama mod güç kaynaklarından oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, mimari aydınlatmalar haricinde ve ortamı aydınlatmaya yönelik armatürlerin büyük kısmında sabit akım kaynakları kullanılmaktadır [1-2].

LED sürücüler, diğer güç kaynaklarına göre (Batarya şarj kaynakları, adaptörler ...vb) uzun saatler boyunca durmadan çalışması için tasarlanmıştır. Dolayısıyla yanlış topoloji seçimi ve tasarım ürünün en kısa sürede son kullanıcıdan geri dönmesine neden olacaktır. Bu sebeple, uygun topoloji seçimi ve doğru tasarım ürün sağlığı için önem arz etmektedir.

1.1. Literatür Araştırması

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, faydalı olabilecek çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Mahmoud Rahmani, yaptığı tez çalışmasında; yüksek güçlü ve yüksek ömürlü LED sürücü tasarlanırken dikkat edilmesi gereken noktalardan bahsetmiştir. LED sürücülerin uzun süre zorlu koşullar altında çalıştığı için yüksek verimli ve termal yönetiminin doğru yapılması gerektiğinden bahsetmiş ve bunun üzerine odaklanmıştır. Ayrıca manyetik tasarım yapılırken; verim için nüve ve tel optimizasyonunu da tezinin içinde işlemiştir [3].

Alihossein Sepahvand, yaptığı tez çalışmasında; otomotiv sektöründe kullanılmak üzere tasarlanan yüksek güç yoğunluğuna ve verime sahip LED sürücünden bahsetmiştir. Topoloji olarak Cuk dönüştürücüyü seçen Alihossein, güç yoğunluğunu sağlamak için 1.8 MHz anahtarlama frekansına çıkmış ve komponent seçimini buna uygun yapmıştır [4].

Daniel L. Gerber, yaptığı tez çalışmasında; çıkış akım dalgalanmasını azalmak için çok katmanlı LED sürücü tasarımından bahsetmiştir. Bununla birlikte, detaylı olarak LED sürücülerde kullanılan topolojilere değinmiş ve yüksek verim için kayıp analizine değinmiştir. Ayrıca, çalışmanın son kısmında LED sürücü için yapılan test ve arıza analizlerinden bahsetmiştir [5].

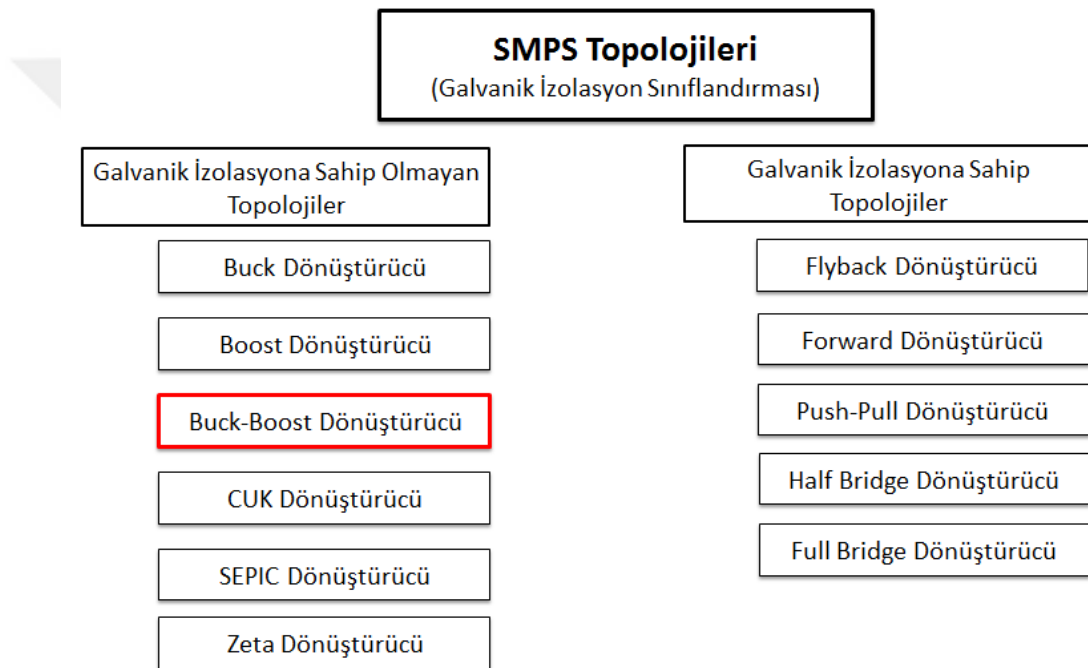
Yukarıda bahsedilen çalışmalar incelendiğinde, sektörde çok sık kullanılan lineer yapıdaki LED sürücülerin tasarımı ve gerçekleşmesi esnasında dikkat edilmesi gereken noktalardan bahsedilmemiştir. Ayrıca, CE deklarasyonu alabilmek için yapılan EMC ve LVD testlerinden de bahsedilmemiştir. Bu tez çalışması kapsamında, yüksek verimli ve yüksek güç yoğunluğuna sahip lineer LED sürücüler tasarlanırken dikkat edilmesi gereken noktalara odaklanılmış; LED sürücü matematiksel ve simülasyon ortamında tasarlanmıştır. Tasarlanan ve kriterleri belirlenen LED sürücünün komponent seçimi tasarıma uygun bir şekilde yapılmış ve gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, kritik EMC ve LVD testlerinden bahsedilmiş ve tasarlanan bu sürücü testlere tabi tutulmuştur [1-2].

1.2. LED Sürücülerde Kullanılan Topolojiler

Armatürlerindeki çeşitlilik ve ihtiyaç duyulan aydınlatma miktarlarının farklı oluşu, çok farklı yapıda LED sürücü çeşitlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. İç aydınlatmada kullanılan panel armatürlerinde kompakt tipinde LED sürücü

kullanılırken yine iç aydınlatma armatürlerinden biri olan lineer armatürlerde ince LED sürücü modelleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sokak armatürleri gibi yüksek aydınlatmaya ihtiyaç duyulan yerlerde ise yüksek güçlü ve genellikle haberleşmeli LED sürücüler kullanılmaktadır [1-2].

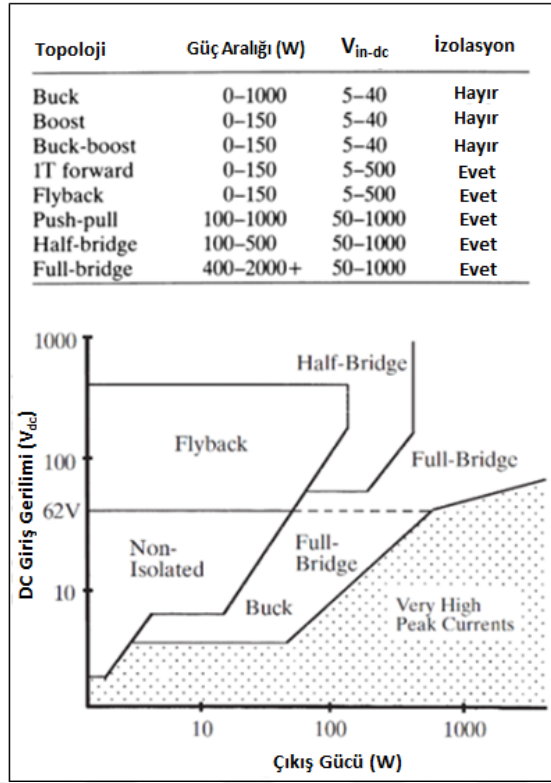
Farklı özellik ve güçte LED sürücülere ihtiyaç duyulması; farklı topolojilerin kullanılmasına neden olmaktadır. Çünkü her topolojinin birbirine göre avantajlı olduğu noktalar bulunmaktadır. Tasarlanacak LED sürücünün giriş kriterleri ve topolojilerin avantajlı olduğu noktalar değerlendirilerek uygun seçim yapılır [2-6].



Şekil 1.2. SMPS topolojilerinin galvanik izolasyona göre sınıflandırılması

Anahtarlamalı mod güç kaynakları için çok farklı sınıflandırmalar yapılabilir. Ancak en çok “Galvanik İzolasyonu”na göre yapılan sınıflandırma tercih edilmektedir (Şekil 1.2).

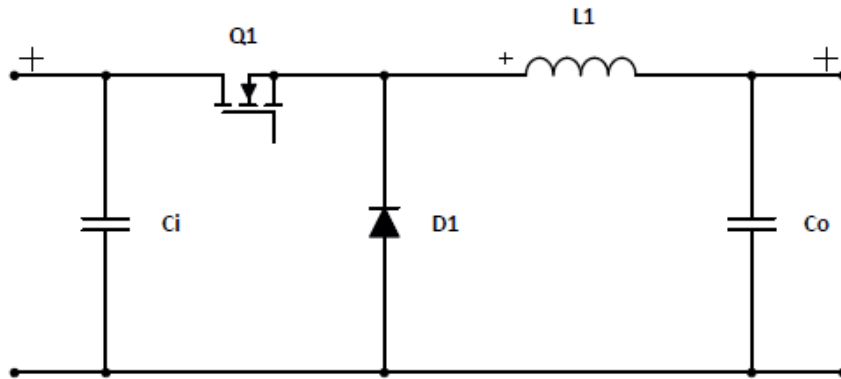
Diğer bir sınıflandırma ise güce göre yapılmaktadır. Şekil 1.3’de de topolojiler ve kullanılabilecekleri güç aralığına göre sınıflandırma yapılmıştır [2-6].



Şekil 1.3. SMPS topolojilerinin güç değerine göre sınıflandırılması [6]

1.2.1. Düşürücü (buck) topolojisi

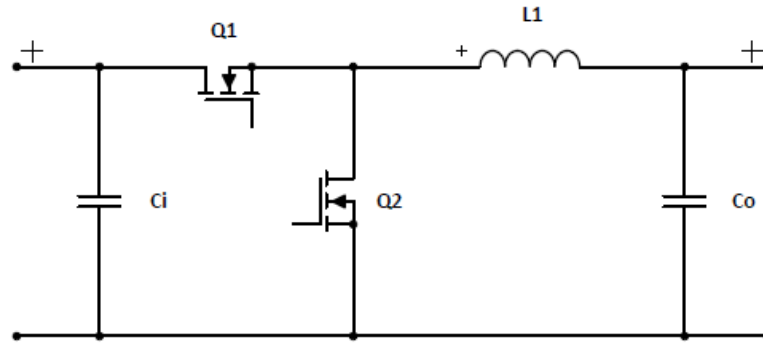
En yaygın ve basit topolojilerden biri olan “Buck” Topolojisi (Şekil 1.4), izolasyonun gerek olmadığı ve giriş geriliminin düşürülmesi gereken uygulamalarda kullanılmaktadır. Yüksek verimliliğinin yanında, katlı yapılar ile çok yüksek güçlere çıkılabilir. Bununla birlikte, endüktans üzerinden geçen ve yüke giden akım kesintisiz olması nedeniyle çıkış filtre ihtiyacı diğer topolojilere göre daha azdır[2-6].



Şekil 1.4. Düşürücü (Buck) topolojisi [7]

Topolojinin en büyük dezavantajı, girişten çekilen akımın kesintili olması ve dikkat edilmemesi durumunda yüksek elektromanyetik gürültü yaymaktadır. Bu gürültüler, uygun filtre tasarımıyla bastırılabilir de ekstra maliyete neden olmaktadır.

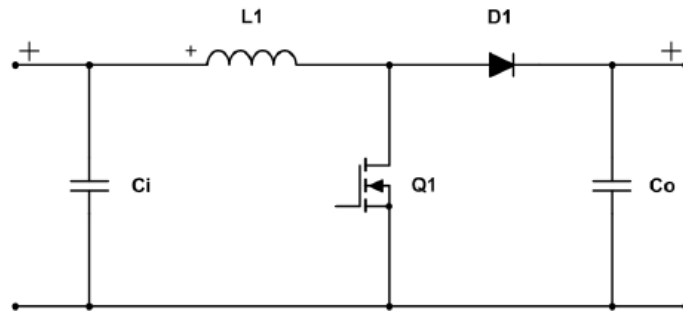
Yüksek akımın ve aynı zamanda yüksek verimin gerektiği uygulamalarda ise diyot yerine de anahtarlamalı eleman kullanılmaktadır. Bu tip dönüştürücülere de, senkron tipi buck dönüştürücü denmektedir (Şekil 1.5) [2-6].



Şekil 1.5. Düşürücü (Buck) topolojisi – senkron doğrultucu yapısı [7]

1.2.2. Yükseltici (boost) topolojisi

Buck Topolojisi'nde olduğu gibi galvanik izolasyona sahip olmayan dönüştürücü ailesine mensuptur (Şekil 1.6). Buck Topolojisi'nin aksine gerilim yükseltmek amacıyla kullanılır. Sürekli iletim modunda (CCM – Continuous Conduction Mode) girişten çekilen akım sürekli olduğu ve çekilen akımın di/dt 'si düşük olduğu için özellikle güç katsayısı (PFC – Power Factor Correction) düzeltmek için kullanılır. Boost Topolojisi'nin bu özelliği sayesinde yüksek güç faktörü değeri hem de düşük harmonikli giriş akımını elde edilir. Boost topolojisi'nin diğer bir avantajı ise katlı yapılarla çok yüksek güçlere çıkılabilmektedir [2-6].

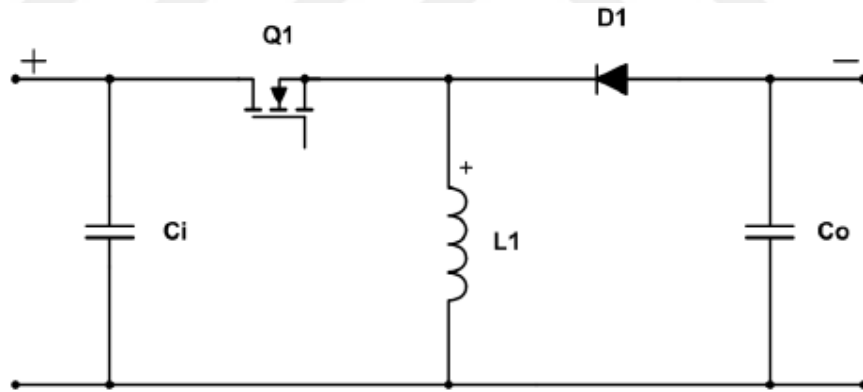


Şekil 1.6. Yükseltici (Boost) topolojisi [7]

Topolojinin en büyük dezavantajı ise, çıkış akımının kesintili olması ve bu sebeple daha yüksek değerlikli çıkış filtresine ihtiyaç duymasındır. Ayrıca kesintili akımın geçtiği noktalara yeteri kadar dikkat edilmemesi elektromanyetik gürültü yayılımını arttıracaktır. Bu sebeple uygun PCB çizimi ve filtre tasarımı önem arz etmektedir [2-6].

1.2.3. Düşürücü – yükseltici (buck – boost) topolojisi

Buck – Boost Topolojisi’de galvanik izolasyona sahip olmayan aileye mensuptur (Şekil 1.7). Çıkış gerilimi arttırılabileceği gibi aynı zamanda düşürülebilir yapıdadır. Çıkış geriliminin, giriş gerilimine yakın olduğu veya kapsadığı tasarımlarda kullanılmaktadır. Özellikle yüksek çıkış gerilimine sahip LED sürücü uygulamalarında sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Diğer bir avantajı ise; muadil topolojilere göre daha küçük bir trafo ile tasarım yapılabilmesidir. Özellikle, lineer armatürler gibi yüksekliğin kritik olduğu uygulamalarda bu avantaj sıklıkla kullanılmaktadır [2-6].

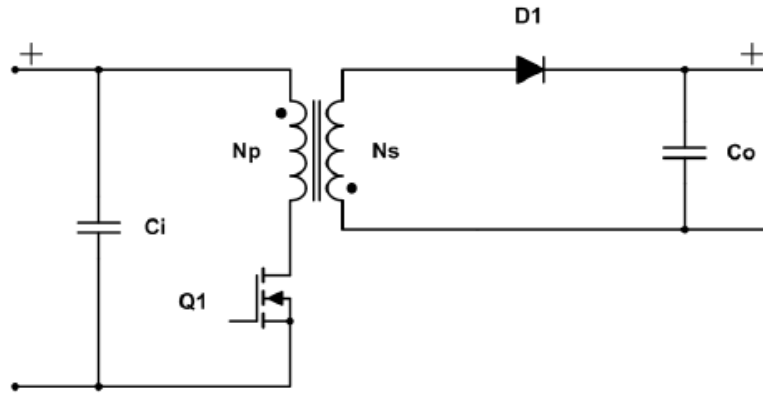


Şekil 1.7. Düşürücü – yükseltici (Buck – Boost) topolojisi [7]

Topolojinin en büyük dezavantajı, çıkış geriliminin negatif elde edilebilmesidir. Bazı uygulamalarda dezavantaj olan bu durum LED veya batarya gibi bir gerilim referansına sahip olmayan uygulamalarda önem arz etmemektedir. Diğer bir dezavantajı ise hem giriş hem de çıkıştan çekilen akımın kesintili olması ve bu sebeple yüksek değerlikli filtreye ihtiyaç duymasındır. Ayrıca, kesintili akımın geçtiği noktalara yeteri kadar dikkat edilmemesi elektromanyetik gürültü yayılımını arttıracaktır. Bu sebeple uygun PCB çizimi ve filtre tasarımı önem arz etmektedir [2-6].

1.2.4. Geri dönüşlü (flyback) topolojisi

Galvanik izolasyona sahip topoloji ailesine mensuptur. Depolama endüktansı olarak kullanılan trafo aynı zamanda galvanik izolasyonu sağlamaktadır (Şekil 1.8). Buck-Boost Topolojisi'nde olduğu gibi yükseltici veya alçaltıcı olarak çalıştırılabilir. Özellikle düşük güçlü çok çıkışlı ve izolasyon gereken uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Diğer izoleli topolojilere göre daha az komponente ihtiyaç duyması özellikle LED sürücü gibi maliyet odaklı ürünlerde sıklıkla tercih edilmektedir [2-6].

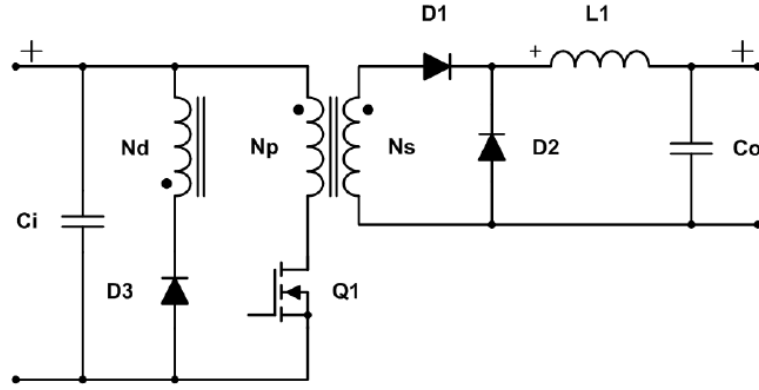


Şekil 1.8. Geri dönüşlü (Flyback) topolojisi [7]

Topolojinin en büyük dezavantajı, trafodan kaynaklı kaçak endüktans sebebiyle anahtarlama elemanlarının üzerine stres binmesidir. Bu stres uygun bastırıcı devreler kullanılmadığı takdirde anahtarlama veya diğer elemanların kalıcı hasar almasına neden olmaktadır. Ayrıca, topolojinin doğası gereği anahtarlama elemanları üzerinde çok yüksek kayıplar oluşmaktadır. Bu sebeple, çok yüksek güçlere çıkılması mümkün değildir. Bununla birlikte diğer topolojilere göre, elektromanyetik yayılım olarak en kirli topolojilerden bir tanesidir. Özellikle PCB tasarım yapılırken ve filtre seçiminde bu dezavantajı göz önünde bulundurulmalıdır [2-6].

1.2.5. İleri yönlü (forward) topolojisi

Galvanik izolasyona sahip topolojisine mensuptur (Şekil 1.9). Flyback dönüştürücünü aksine yüksek çıkış akımına sahip uygulamalarda tercih edilmektedir. Çok çıkışlı uygulamalarda kullanılabilir [2-6].

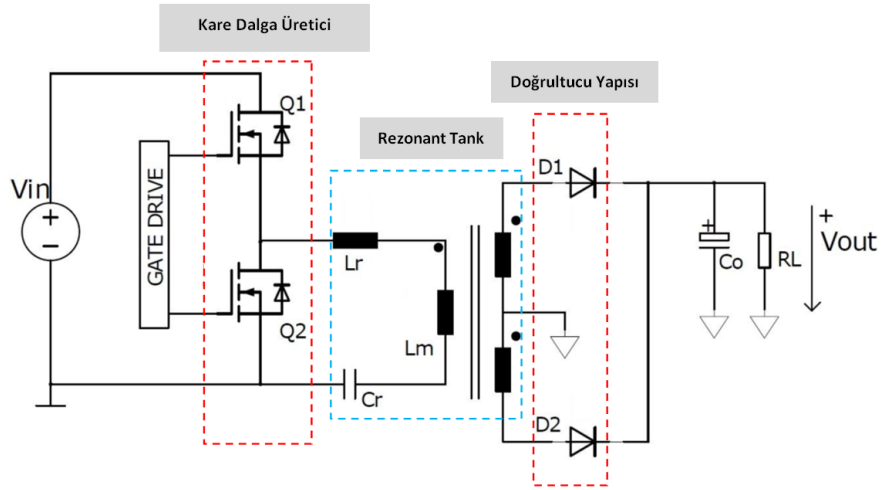


Şekil 1.9. İleri yönlü (Foward) topolojisi [7]

Topolojinin en büyük dezavantajı, doğası gereği yüksek gerilime sahip uygulamalara uygun olmamasıdır. Bununla birlikte, Flyback topolojisi'ne göre çıkışta bir endüktansa daha ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple, maliyet odaklı ve yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulan projelerde kullanılmamaktadır [3-9].

1.2.6. LLC rezonans topolojisi

DC-DC dönüştürücülerinden olan LLC dönüştürücüsü, rezonans dönüştürücü ailesinin izoleli yapıya sahip bir üyesi olup; anahtarlama elemanları, rezonans tank ve doğrultucu-filtre olmak üzere 3 temel parçadan oluşmaktadır (Şekil 1.10) [2-6].



Şekil 1.10. LLC rezonans dönüştürücüsü [8]

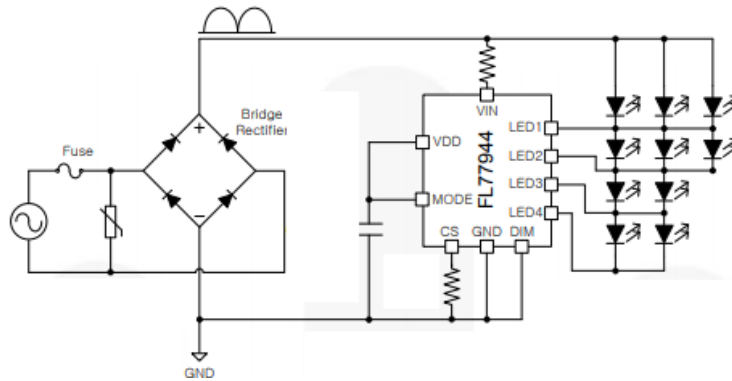
LED sürücülerde en çok tercih edilen rezonans topolojilerinden biri olan LLC dönüştürücüsünün temel güç aktarma prensibi; anahtarlama elemanlarının, rezonans frekansında çalıştırılarak akım ve gerilimin sadece ana bileşenlerinin yüke

aktarılmasına dayanır. Temel bileşenler dışındaki diğer bileşenler rezonans tankın (Şekil-1) içinde sönümlenmektedir [8-9-10]. Bu özellik sayesinde; rezonans dönüştürücüler, elektro manyetik yayılım açısından diğer izoleli dönüştürücülere göre daha iyi performans sergilemektedir. Ayrıca, dönüştürücünün rezonans frekansında çalıştırılması sayesinde, Sıfır Gerilim Anahtarlama (ZVS – Zero Voltage Switching) ve Sıfır Akım Anahtarlama (ZCS – Zero Current Switching) durumlarını sağlanmakta; böylece anahtarlama elemanları üzerine oluşan stres azalmakta ve termal yönetim kolaylaşmaktadır [8-9-10]. Ayrıca, ZVS ve ZCS sayesinde çok yüksek frekanslara çıkılabilmekte ve böylece çok küçük tasarımlar yapılmasına imkan tanımaktadır [8-9-10].

Topolojilerin en büyük dezavantajı ise; fazla komponente ihtiyaç olması ve maliyetinin yüksek olmasıdır. Bununla birlikte, giriş gerilimi değişimlerine karşı çok hassas olması özellikle şebeke uygulamalarında farklı topolojilere ihtiyaç duymasına neden olmaktadır [8-9-10].

1.2.7. Direk sürme yapısındaki LED sürücü devreleri

Galvanik izolasyona sahip değildir. LED matrislerini sürmek için tasarlanmıştır. Çok az sayıda komponente ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple, düşük güçlü LED armatürlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Ayrıca, anahtarlama frekansı yüksek (<kHz) olmaması sebebiyle elektromanyetik yayılım miktarı düşüktür. Bununla birlikte, diğer cihazlardan gelecek elektromanyetik yayılımlara karşı da bağışıklıdır. Şekil 1.11’de Onsemi adlı firmanın FL77944 adlı direkt sürme yapısına sahip LED sürücü devresi görülmektedir [11].



Şekil 1.11. Direk LED sürme devresi [11]

En büyük dezavantajı hat ve yük değişimlerine karşı hassas olmasıdır. Hat gerilimindeki herhangi bir değişimde LED'lere giden akım miktarı değişmekte ve bu da LED armatürünün aydınlatma miktarını değiştirmektedir. Aynı biçimde yük değişimlerinden de etkilenmektedir. Bu sebeple, seçilen tek bir yüke göre tasarım yapılmalı ve o LED yükünde kullanılmalıdır. Bununla birlikte, kayıpların çok olması nedeniyle 15W'tan daha yüksek uygulamalarda kullanılamamaktadır [11].

1.3. LED Sürücüler için Temel Kavramlar

Anahtarlama mod güç kaynakları ailesinin en büyük üyelerinden bir tanesi olan LED sürücüler de bazı kavramlar diğer aile üyelerine göre daha kritik olabilmektedir. Bunun sebebi bazı regülasyonlar (Düzenleyici faaliyetler) olabileceği gibi aynı zamanda da müşterilerin talebi de olabilmektedir.

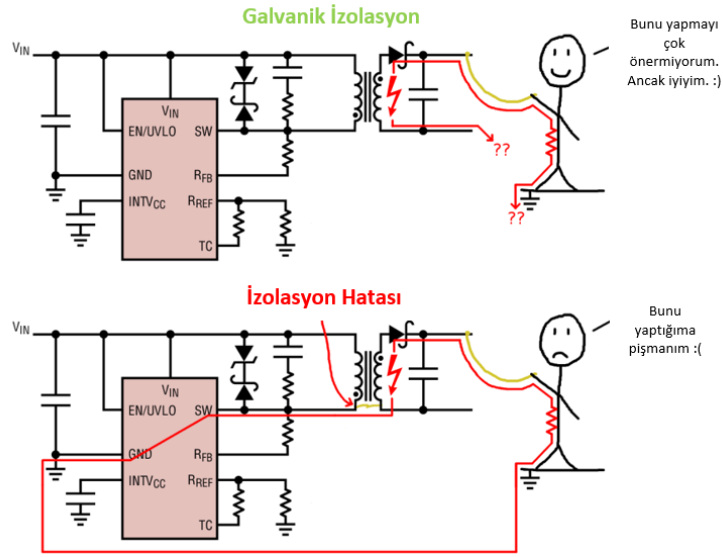
Bu bölümde ise LED sürücüler tasarlanırken veya seçilirken dikkat edilen bazı kavramlar anlatılmıştır.

1.3.1. Galvanik izolasyon

Galvanik izolasyon (Elektriksel İzolasyon) LED sürücülerde karşımıza sıklıkla çıkan kavramların başında gelmektedir. Kelime anlamı yalıtım, ayıklama olan izolasyon; galvanik kelimesiyle birlikte kullanılıncaya; elektriksel yalıtım anlamını taşımaktadır. Güç elektroniğinde ise bu terim, giriş ve çıkış arasında elektriksel bir bağlantının bulunmadığı; giriş ve çıkış arasında çok yüksek direncin ($>M\Omega$) olduğu anlamına gelmektedir. Bu direnç bir kaç kV gerilime karşı dayanıklı olsa da daha yüksek gerilimlere karşı delinebilmektedir [2].

Galvanik izolasyon, farklı gerilim referanslarına sahip devreleri birlikte çalıştırma imkanını sağladığı gibi kullanıcıları da çarpımalara karşı korunmaktadır. Galvanik izolasyon tasarimsal olarak devrenin doğru ve sağlıklı çalışmasını sağladığı gibi aynı zamanda da kullanıcıyı elektriksel çarpımalardan korumaktadır (Şekil 1.12).

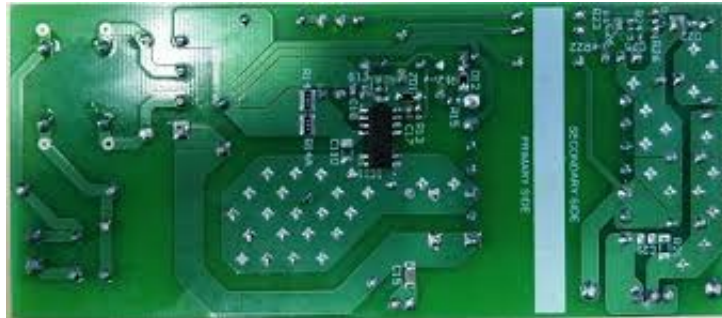
İzolasyon birkaç yöntem ile sağlanabilmektedir. Eğer güç aktarımı izole edilerek yapılmak isteniyorsa; transformatör kullanılır. Eğer sinyal iletimi yapılmak isteniyorsa da; optokuplör veya sinyal trafoları kullanılır.



Şekil 1.12. Yetersiz galvanik izolasyonda çarpılma durumu

Galvanik izolasyon, LVD standartlar tarafından da sıkı bir şekilde denetlenmektedir. LED sürücülerin uyması gereken standartlardan olan EN-61347-2 ve EN-61347-2-13 LVD standartlarına göre, izolasyona sahip sürücüler; tip testlerinde (Son prototiplere yapılan testler) 3000 V_{AC}, 60 saniye boyunca yüksek gerilim izolasyon testine tabi tutulur. Her bir ürün üretildikten sonra da rutin olarak 3000 V_{ac}, 3 saniye boyunca yüksek gerilim izolasyon testine tabi tutulur [12].

Anahtarlama güç kaynaklarında izolasyonu sağlayabilmek için sadece uygun trafo tasarımı yeterli olmamaktadır. Bununla birlikte, PCB çizimi yapılırken birincil (Primer) ve ikincil (Seconder) taraflar arasında da 6 mm boşluk bırakılması gereklidir. LVD standartları ile de bu kural sıkı bir şekilde denetlenmektedir (Şekil 1.13) [2].



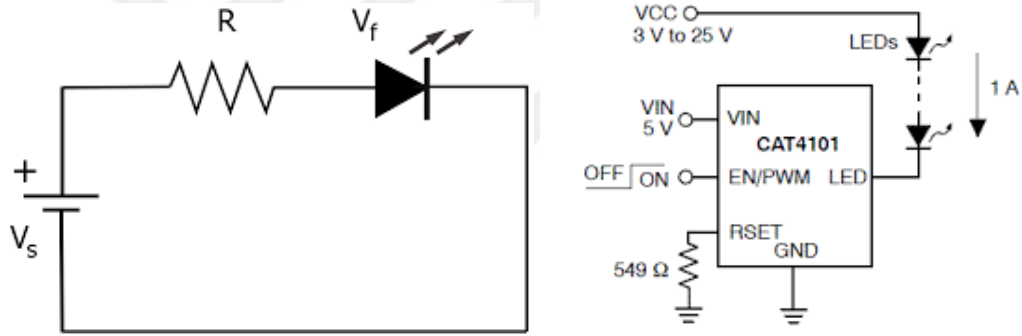
Şekil 1.13. Galvanik izolasyon için PCB'de bırakılması gereken mesafe

1.3.2. Sabit akım veya sabit çıkış gerilimi

LED sürücüler, galvanik izolasyona göre sınıflandırma yapıldıktan sonra çıkış akımı – gerilimine göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmanın, sabit çıkış akımı ve sabit çıkış gerilimi olmak üzere iki üyesi bulunmaktadır (Şekil 1.14).

Sabit çıkış akımlı LED sürücüler daha çok aydınlatma amacıyla tasarlanmış LED armatürlerinde (Sokak aydınlatması, ofis aydınlatması) kullanılırken; sabit çıkış gerilimli LED sürücüler ise daha çok mimari aydınlatmanın kullanıldığı LED armatürlerinde kullanılmaktadır.

Sabit gerilim kaynağı kullanılırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, her LED sırasının önüne direnç bağlanmalıdır. Aksi takdirde; oluşturulan kararsız yapı LED'lerin yanmasına neden olacaktır [2].



Şekil 1.14. Sabit gerilim ve sabit akım kaynağının kullanımı [2]

Sınırlandırma direnci koymadan, sabit gerilim kaynağıyla tasarlanan LED armatürlerinde yaşanan bu arızanın kök nedeni LED'lerin karakteristiği ile alakalıdır. LED'ler doğası gereği negatif sıcaklık katsayısına (NTC - Negative Temperature Coefficient) sahiptir. Bu karakteristik dolayısıyla, LED jonksiyon noktasının sıcaklığı arttıkça; LED üzerine düşen gerilim azalmaktadır (Şekil 1.15).

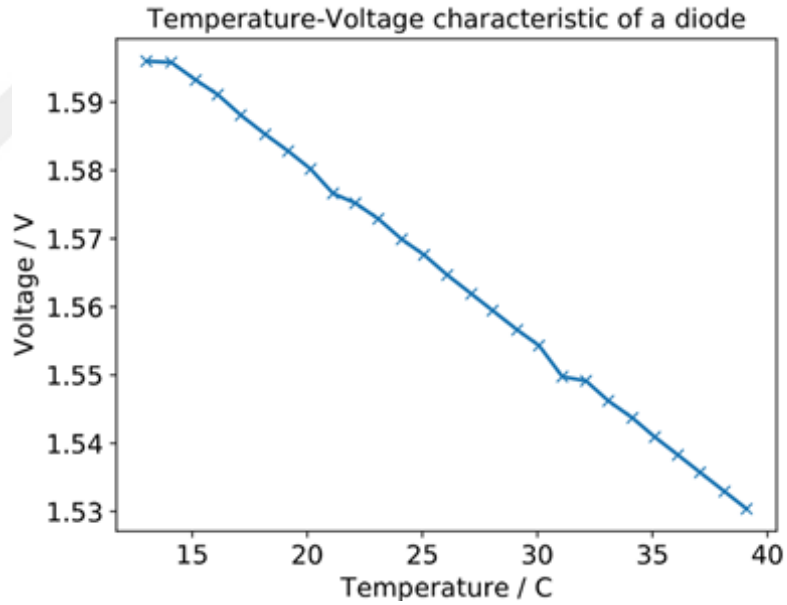
Sabit gerilim kaynağı ile tasarlanmış ve sınırlama direnci bağlanılmadığı zaman aşağıdaki durum gözlenecektir:

- LED'lerin çalışırken jonksiyon (En iç noktası) noktası ısınmaya başlar.
- LED ısınmaya başladıkça üzerine düşen gerilim düşmeye başlar.

- Eğer LED'ler, sabit gerilim kaynağı ile sürülüyorsa; LED gerilimin düşmesiyle birlikte LED üzerinden daha fazla akım geçecektir.
- LED üzerinden daha fazla akım geçmesi ile birlikte, LED ısınacak ve LED gerilimi daha düşecektir.
- Bu döngü, LED'ler yanana kadar devam edecektir.

Bu sebeple, sistemi kararlı hale getirmek için Sabit gerilim kaynağı ile tasarlanmış LED armatürlerinde sınırlama direnci konulması gerekmektedir.

Mimari aydınlatmalarda sabit çıkış gerilimine sahip LED sürücülerin kullanılmasının sebebi; çok fazla LED dizisinin paralel bağlamaya imkan tanınmasıdır. Ancak direnç kayıplara neden olduğu için bu tip tasarımlar, aydınlatma armatürlerinde kullanılmaz. Aydınlatma armatürlerinde, sabit çıkış akımına sahip LED sürücüler kullanılmaktadır.



Şekil 1.15. LED komponentlerinin sıcaklık – gerilim grafiği [1-2]

Sabit çıkış akımına sahip LED sürücüler, LED gerilimi değişse de her zaman aynı akımı verecekleri için kararlı bir yapı oluştururlar. Bunun yanında sınırlama direncine ihtiyaç duymamaları sayesinde önemli bir tasarım parametresi olan verimin yüksek olmasını sağlarlar [1-2].

1.3.3. Çıkış akım dalgalanması

Aydınlatma tasarımı yapılırken dikkat edilen en önemli parametrelerden biri olan kırpışma (Flicker) fenomenidir. Bu fenomen, kısa dönemde insan üzerinde baş ağrısı ve göz yorulması yaparken ilerleyen zamanlarda denge bozukluğuna neden olabilmektedir. Bu sebeple insanları yoğun vakit ayırdığı ve sürekli kaldığı ortamlarda kırpışmasız (Flicker-free) LED armatürleri seçilmektedir (Şekil 1.16) [1-2].

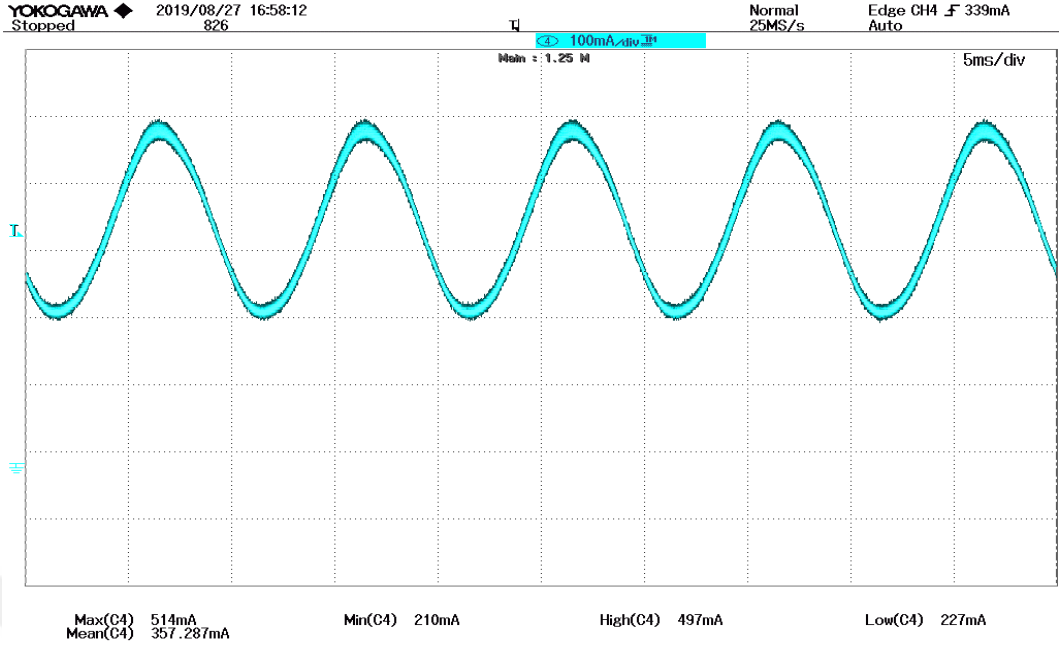
İnsan sağlığı üzerine etkisi olan kırpışmayı belirleyen en önemli parametreler; LED çip seçimi, LED konfigürasyonu, LED armatür tasarımı, armatür difüzörü ve LED sürücünün çıkış akım dalgalanmasıdır. Bu parametrelerden en çok; LED sürücünün çıkış akım dalgalanması, ürünün kırpışmasız (Flicker-free) olmasını belirlemektedir.



Şekil 1.16. Kırpışmalı ve kırpışmasız ekran örnekleri [13]

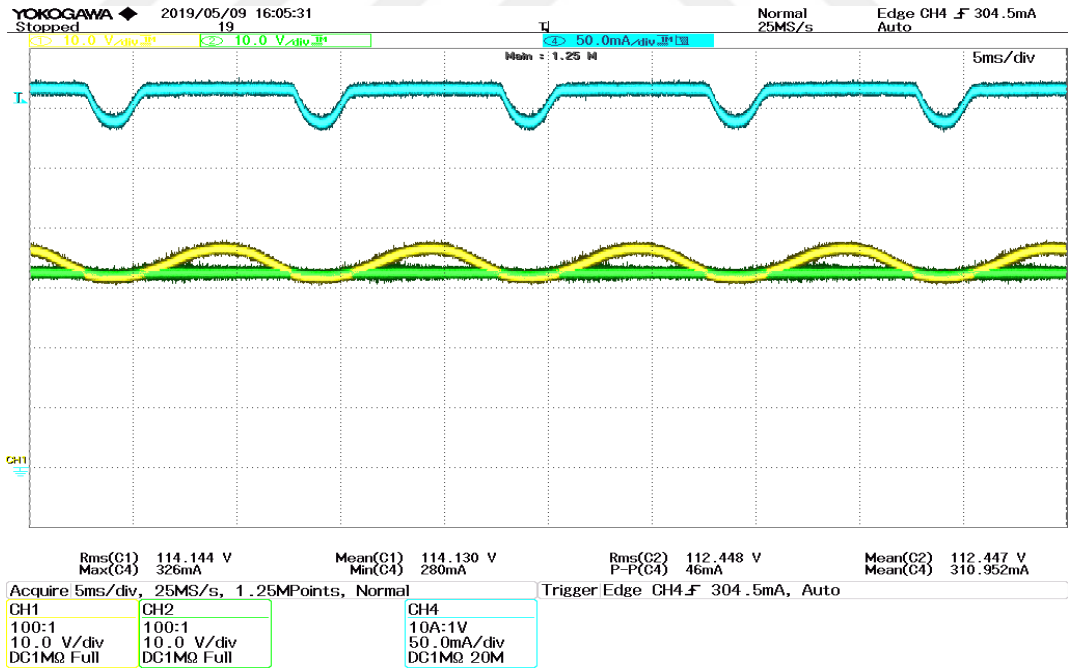
LED sürücünün çıkış akım dalgalanması Denklem 1.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Çıkış Akım Dalgalanması} = \frac{\text{Maks. Akım Değeri} - \text{Min. Akım Değeri}}{\text{Ortalama Akım Değeri}} \quad (1.1)$$



Şekil 1.17. Çıkış akım dalgalanması yüksek akım dalga formu (%110)

Şekil 1.17'de çıkış akım dalgalanması yüksek LED sürücü; Şekil 1.18'de de çıkış akım dalgalanması düşük LED sürücü görülmektedir.



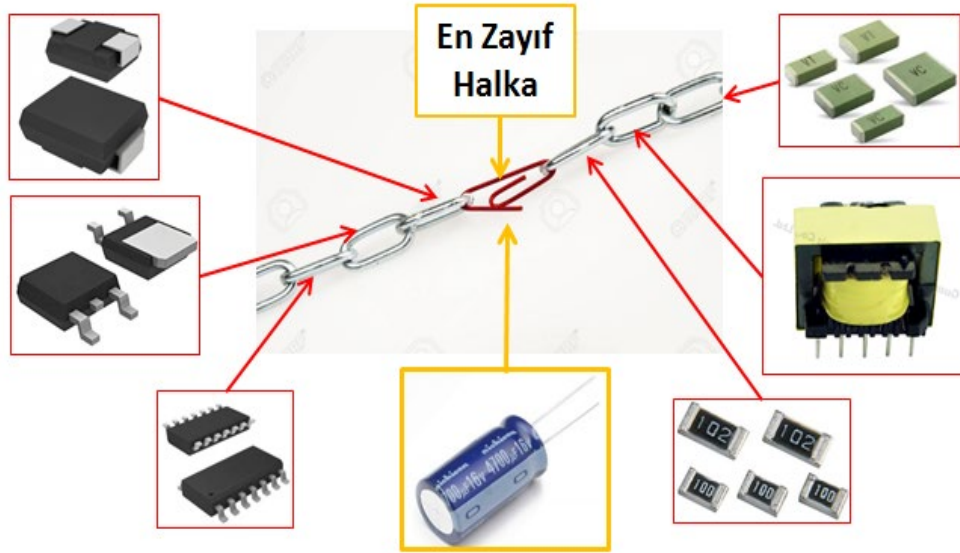
Şekil 1.18. Çıkış akım dalgalanması düşük akım dalga formu (<%15)

1.3.4. Ömür hesaplaması

LED Sürücüler, uzun süreler ve ağır ortam koşulları altında (Yüksek sıcaklık ve nem) en az beyan edilen ömür kadar çalışması beklenir. Bu sebeple tasarım yapılırken, ürünün ömrü de göz önünde bulundurulacak parametrelerden biridir.

Tüm elektronik devreler, anahtarlama elemanı, diyot, manyetik elemanlar, direnç, seramik kapasiteler ve elektrolitik kapasite gibi komponentlerden oluşmaktadır. Bu komponentler arasında, iç yapısı gereği en zayıf halka elektrolitik kapasitelerdir. Bu sebeple, elektrolitik kapasitenin ömrü ürün ömrünü belirlemektedir (Şekil 1.19).

Arrhenius Kuralı'na göre, sıcaklık her 10°C arttığında tepkime de 2 kat hızlanacaktır. Aynı kural elektrolitik kapasitenin ömrünü belirlerken de geçerlidir. Kapasitenin iç sıcaklığı her 10°C arttığında; kapasite içerisinde bulunan ve sığayı sağlayan unsurlardan biri olan elektrolitik sıvısı 2 kat daha hızlı buharlaşacaktır. Böylece iç sıcaklığının yüksek olması, elektrolitik kapasitesi dolayısıyla ürün ömrünü belirleyecektir [2-14].



Şekil 1.19. En zayıf halka: elektrolitik kapasiteler

Elektrolitik kapasitenin ve ürün ömrü şu şekilde tespit edilir:

- Elektrolitik kapasite üzerinden geçen akım ölçülür. Akımın FFT'si (Fast Fourier Transform) alınır.

- Tüm FFT katsayıları, elektrolitik kapasite tedarikçisi firmanın verdiği kat sayılar kullanılarak 100 kHz'lik bileşene çevrilir ve kaydedilir.
- Belli bir sıcaklıkta, elektrolitik kapasite üzerinden termokupllar ile sıcaklık bilgisi alınır.
- Tedarikçi firmanın verdiği ve ampirik testler sonucunda elde edilmiş denklemler kullanılarak; elektrolitik kapasitenin ömrü hesaplanır. Denklem 1.2'de Yongming adlı elektrolitik kapasite tedarikçisinin ömür hesaplama denklemi gözükmektedir.

Elektrolitik kapasitenin ömür hesabı yapılırken, ampirik testler tarafında belirlenmiş ve 'Arrhenius Kuralı'na dayanan Denklem 1.2 kullanılır. Bu denklem, kapasite üzerinden geçen akımın nominal akım değerinden küçük olduğu durumlarda kullanılır [2-14].

$$\text{Life Time} = 2^{\frac{T_{\text{rated}} - T_{\text{cap_case}}}{10}} \quad (1.2)$$

Denklemde yer alan, T_{rated} parametresi beyan edilen kapasite sıcaklığıyken; $T_{\text{cap_case}}$ parametresi ise kapasitenin tepe noktasındaki yüzey sıcaklığıdır. Kapasite üzerinden geçen akım, beyan edilen kapasite akımından düşük olması durumunda; kapasite sıcaklığı her 10 derece düştüğünde ömür 2 kat artar (Arrhenius Kuralı). Buna göre, 105°C, 2000 saat özelliklerine sahip kapasitenin; tepe yüzey sıcaklığı 75°C olması durumunda, ömrü 16000 saat olacaktır [4]. Bu hesaplama sayesinde, hızlandırılmış ömür testi yapılmadan önce seçilen kapasitenin uygunluğu kontrol edilir.

1.4. LED Sürücü Standartları ve Regülasyonları

LED sürücüler Avrupa ve Türkiye pazarında satılabilmesi için CE deklarasyonuna sahip olması gereklidir. CE Deklarasyonu'nun yapılabilmesi için LED sürücünün;

- EMC Standartlarına (EN-61000 ve EN-55015),
- LVD Standartlarına (EN-61347-1 ve EN-61347-2-13)
- RoSH (Restriction of Hazardous Substances) Yönergesine,
- REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) Yönergesine,
- Eco Design (Yeni adıyla ErP - Energy Related Products) ve Energy Star Regülasyonlarına uygun olmalıdır [12].

Şekil 1.20’de LED sürücülerin tabii olduğu standartlar görülmektedir. Bu bölümde temel olarak standart ve testler hakkında bilgi verilecektir.

1.4.1. Elektromanyetik uyumluluk (EMC) standartları

EMC standartları, devrenin elektromanyetik olarak çevreye zarar vermeyeceği ve çevreden yayılan elektromanyetik unsurlara karşı etkilenmeyeceği incelenmektedir. Yayılım ve bağışıklık olarak iki temel gruptan oluşan EMC testleri aşağıda bahsedilmektedir.



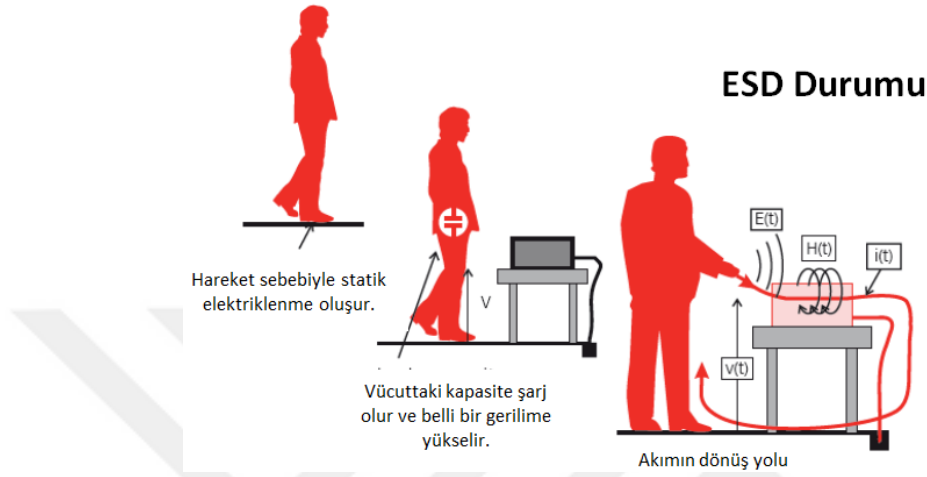
Şekil 1.20. CE deklarasyonu için gereken standartlar [12]

1.4.1.1. Bağışıklık testleri

1.4.1.1.1. Statik elektrik boşalma (ESD - electrostatic discharge) testi

EN 61000 4-2 standartına göre yapılan bu testin temel mantığı, statik gerilim kaynaklarının ürüne zarar verip vermeyeceğinin denetlenmesidir.

İnsan 10kV'a kadar, halı gibi nesnelere 20 kV'a kadar gerilim endüklenebilmektedir. Ürüne yaklaştıklarında veya temas ettiklerinde; bu statik elektrik yükü ürüne doğru akmaktadır (Şekil 1.21). Ürün içerisinde, yüksek gerilime duyarlı komponentler (Yarı iletkenler vb.) varsa; arıza yapma ihtimalleri bulunmaktadır.

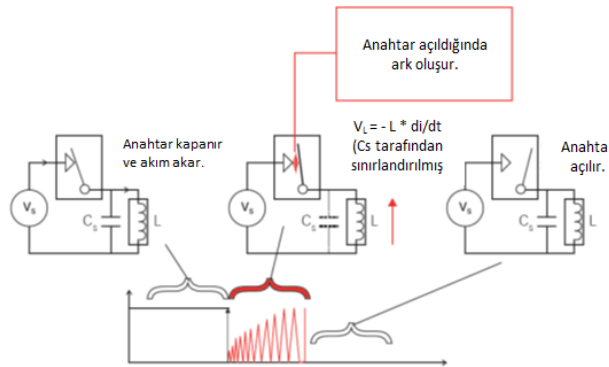


Şekil 1.21. ESD test düzeneği [15]

ESD testinde, yukarıda bahsedilen statik boşalma durumu, simüle edilmektedir. Ürüne, kV mertebesinde gerilim uygulandıktan sonra fonksiyonel teste tabi tutulur. Herhangi bir arızalanma olmaması durumunda, ürün testi geçmiş kabul edilir [15].

1.4.1.1.2. Burst gerilim (EFT) testi

EN 61000 4-4 standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; aynı şebekeye büyük bir endüktif yük bağlandığında, ürünün arızalanıp arızalanmayacağını denetlenmesidir.



Şekil 1.22. Burst gerilim testinin mekanizması [15]

Endüktif yükler şebekeye bağlandığında; giriş gerilim üzerinde büyük dalgalanmalara neden olur (Şekil 1.22). Aynı şebekeye bağlı üründe yeteri kadar koruma yoksa, yarı iletken gibi hassas komponentler etkilenir ve ürün bozulur.

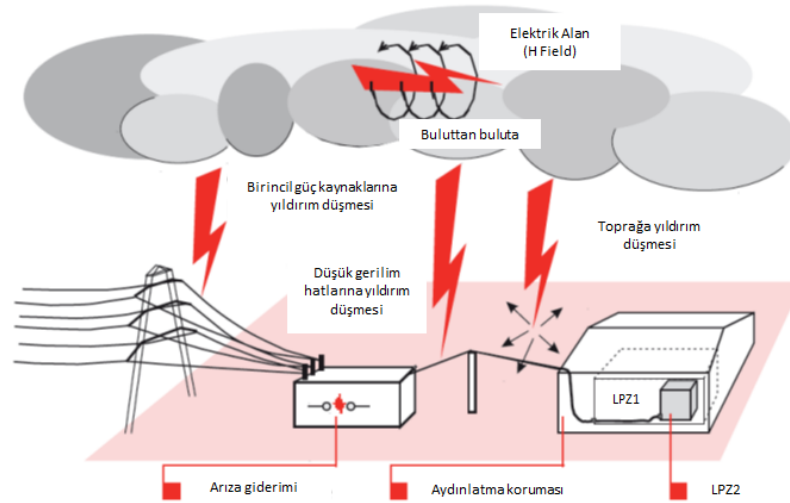
Burst Gerilim Testi'nde, yukarıda bahsedilen gerilim dalgalanması durumu simüle edilmektedir. Ürüne, kV mertebesinde gerilim şebeke gerilimi üzerinden uygulandıktan sonra fonksiyonel teste tabi tutulur. Herhangi bir arızalanma olmaması durumunda, ürün testi geçmiş kabul edilir [15].

1.4.1.1.3. Surge gerilim testi

EN 61000 4-5 standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; şebekeye yakın bir bölgeye yıldırım düşmesi durumunda, şebekeye bağlı olan ürünlerin arızalanıp arızalanmayacağını denetlenmesidir.

Yıldırım, şebekeye yakın bir bölgeye düştüğünde; yüksek dv/dt ve şebekeye olan parazitik kapasite sebebiyle, şebekede kV'lar mertebesinde gerilim darbesi oluşturur (Şekil 1.23). Şebekeye bağlı üründe yeteri kadar koruma yoksa, yarı iletken gibi hassas komponentler etkilenir ve ürün bozulur.

Surge Gerilim Testi'nde, yukarıda bahsedilen gerilim darbesi durumu simüle edilmektedir. Ürüne, kV mertebesinde gerilim şebeke gerilimi üzerinden uygulandıktan sonra fonksiyonel teste tabi tutulur. Herhangi bir arızalanma olmaması durumunda, ürün testi geçmiş kabul edilir [15].

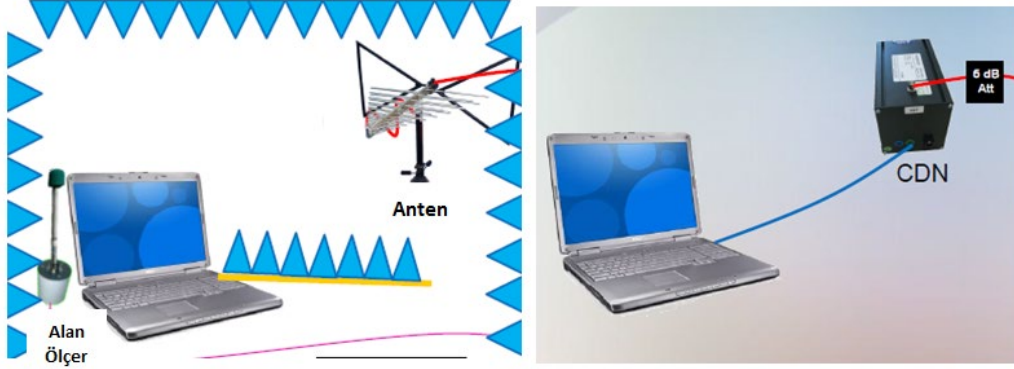


Şekil 1.23. Surge gerilim testinin mekanizması [15]

1.4.1.1.4. Elektromanyetik bağışıklık testi

EN 61000 4-3 ve EN 61000 4-6 standartlarına göre yapılan bu testin temel mantığı; ürün, elektromanyetik gürültülere karşı bağışık olup olmadığının denetlenmesidir [13].

EN 61000 4-3 standartında test, ışınımsal olarak yapılırken; EN 61000 4-6 standartında test iletimsel olarak yapılır (Şekil 1.24).



Şekil 1.24. Işınımsal ve iletimsel bağışıklık test düzenekleri [15]

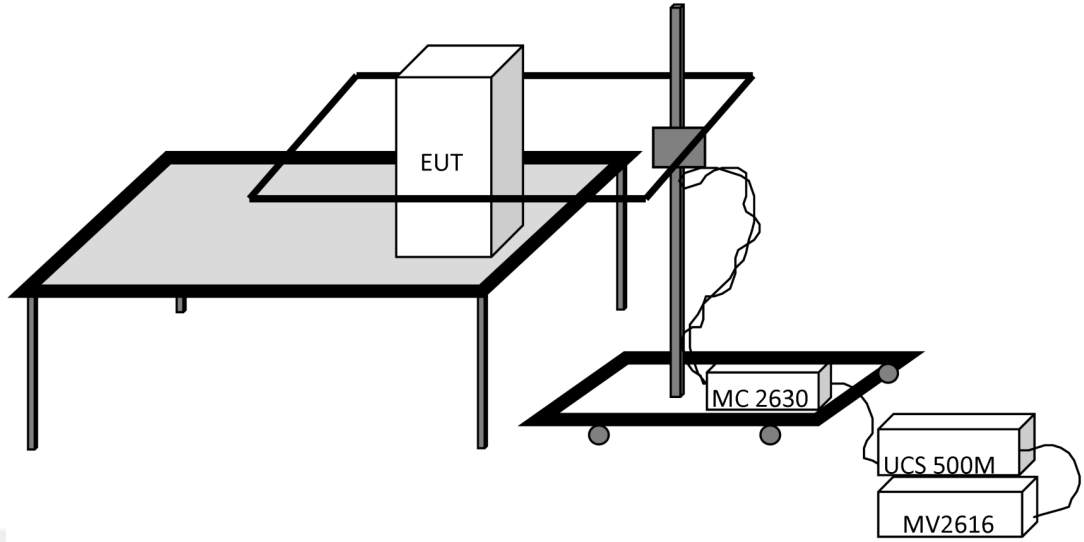
Elektronik devrelerin arttığı bu günlerde; standartlara uymayan ürünler ve haberleşme sistemleri sebebiyle elektronik ürünler elektromanyetik (Işınımsal ve iletimsel) olarak etkilenir. Bu etkilenmeden dolayı üründe fonksiyonel olarak arızalanma veya çalışmama durumları oluşabilmektedir [15].

Elektromanyetik Bağışıklık Testleri'nde, yukarıda bahsedilen elektromanyetik gürültüde etkilenme durumu simüle edilmektedir. Ürün hem ışınımsal hem de iletimsel olarak gürültüye maruz bırakılır. Bu testten sonra fonksiyonel teste tabi tutulur. Herhangi bir arızalanma olmaması durumunda, ürün testi geçmiş kabul edilir.

1.4.1.1.5. Manyetik alan bağışıklığı testi

EN 61000 4-8 standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; ürün, manyetik gürültülere karşı bağışık olup olmadığının denetlenmesidir.

Yıllar geçtikçe, kullanılan elektronik devre sayısı artmakta ve güç ihtiyacı artmaktadır. Bunla birlikte, yüksek akımlı güç kaynakları ve sürücü devreleri de kullanılmaktadır. Elektronik devrelerin yüksek akımın geçtiği ve manyetik alanın yoğun olduğu ortamlardan etkilenmemesi gereklidir.

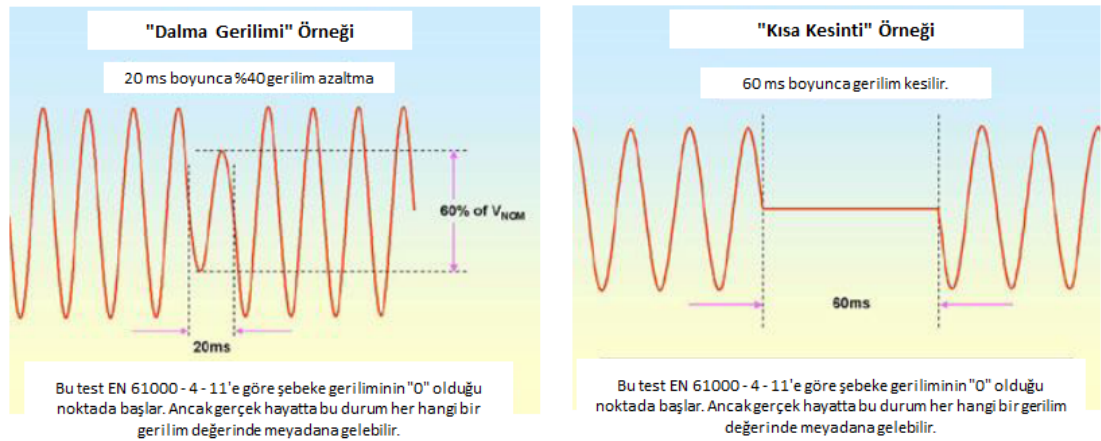


Şekil 1.25. Manyetik alan bağıışıklığı test düzeneği [15]

Manyetik Bağıışıklık Testi'nde, yukarıda bahsedilen manyetik gürültünde etkilenme durumu simüle edilmektedir. Ürün Şekil 1.25'te belirtildiği gibi bir manyetik alana tabi tutulur. Testten sonra fonksiyonel teste tabi tutulur. Herhangi bir arızalanma olmaması durumunda, ürün testi geçmiş kabul edilir [15].

1.4.1.1.6. Giriş gerilimi çökme (DIPS) testi

EN 61000 4-11 standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; ürünün, ani şebeke değişimlerine karşı bağıışık olup olmadığının denetlenmesidir.



Şekil 1.26. Giriş gerilimi çökme testinde uygulanan gerilimler [15]

Şebeke dalgalanması ve anlık kesintiler, günümüzün problemi olduğu kadar geleceğin de problemi olmaya devam edecektir. Şebekeye bağlı çalışan elektronik devrelerin bu değişimlere karşı bağımsızlık göstermesi ve etkilenmemesi gereklidir.

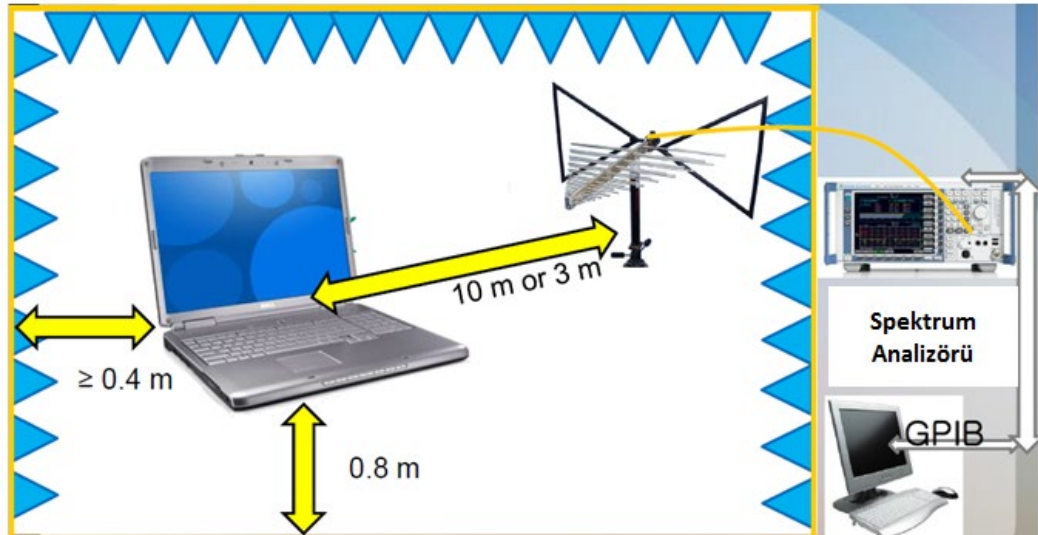
Giriş Gerilimi Çökme (DIPS) Testi'nde, yukarıda bahsedilen ani giriş gerilimi değişimlerinden etkilenme durumu simüle edilmektedir. Ürün Şekil 1.26'da belirtildiği gibi bir giriş gerilimine tabi tutulur. Herhangi bir arızalanma olmaması durumunda, ürün testi geçmiş kabul edilir [15].

1.4.1.2. Emisyon testleri

1.4.1.2.1. Işınım sal emisyon testi (radiated emission)

EN 55015 Class B standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; ürünün, çevreye yaydığı ve diğer canlı – cansız nesnelere etkileyebilecek elektromanyetik dalganın limitlerin altında olup olmadığını ölçmektedir.

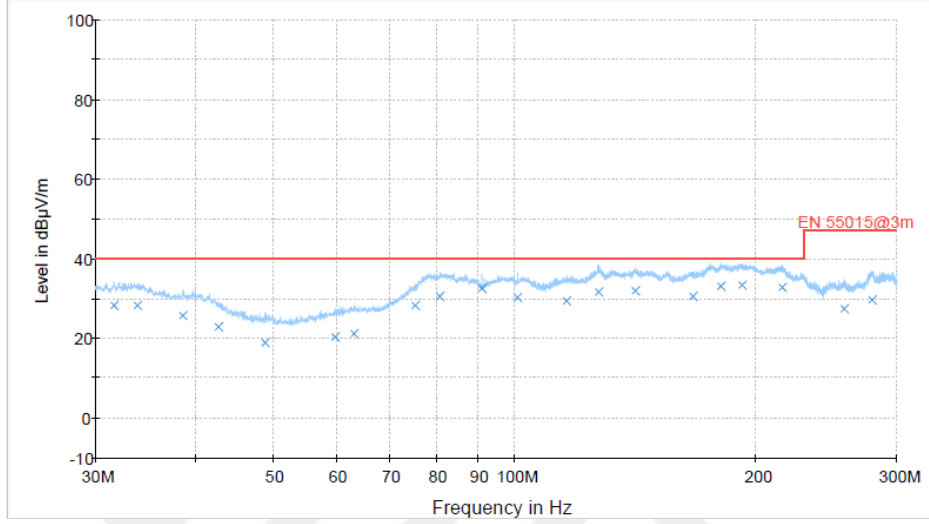
Elektronik cihazlar, anahtarlamalı devreler sebebiyle belli frekanslarda ışınım sal elektromanyetik emisyonla neden olurlar. Bu elektromanyetik emisyon testi, çevrede bulunan ve nispeten daha hassas devreleri etkilememesi için belli bir limitin altında olması gereklidir.



Şekil 1.27. Işınım sal emisyon test düzeneği [15]

Işınım sal elektromanyetik emisyon testinde, elektronik devrenin ışınım sal olarak yaydığı gürültü ölçülmektedir. Teste alınan devre, Şekil 1.27'de gösterildiği gibi bir

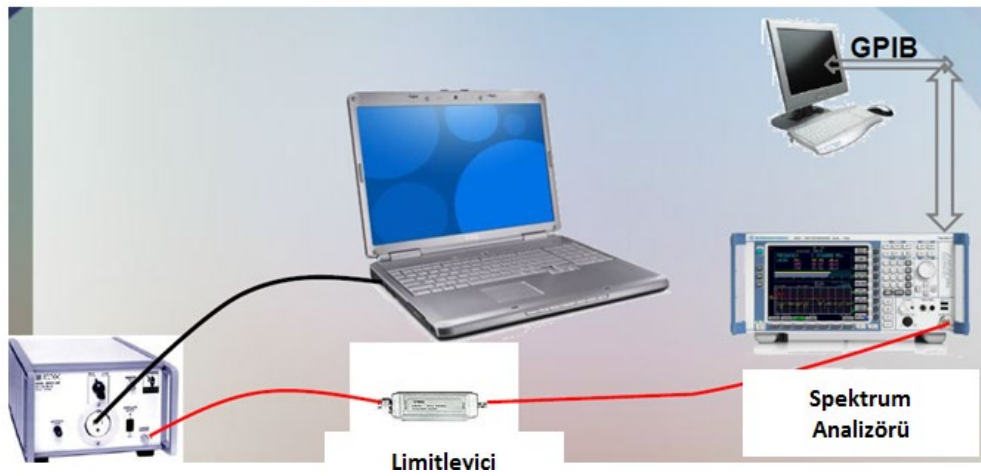
oda içerisinde ve antenler sayesinde test edilir. Devrenin limitler altında kalması durumunda test başarılı bir şekilde tamamlanır. Şekil 1.28’de, LED sürücüler için yapılmış, ışınımsal emisyon test sonuçları ve limitleri (EN 55015 Class B) görülmektedir [15].



Şekil 1.28. Işınımsal emisyon testi için örnek sonuç

1.4.1.2.2. İletimsel emisyon testi (conducted emission)

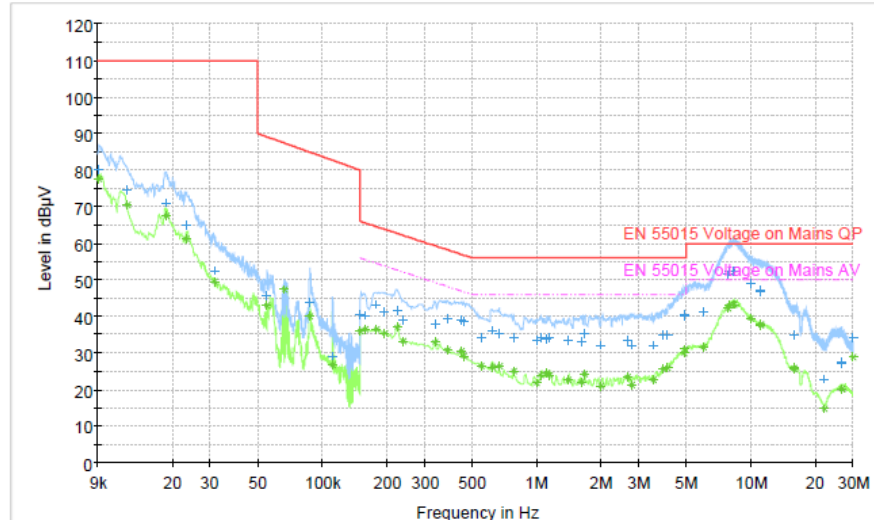
EN 55015 Class B standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; ışınımsal emisyon testinde olduğu gibi ürünün, çevreye yaydığı ve diğer canlı – cansız nesnelere etkileyebilecek elektromanyetik dalganın limitlerin altında olup olmadığını ölçmektedir.



Şekil 1.29. İletimsel emisyon test düzeneği [13]

Işınımsal emisyon testinden farklı olarak, bu testte, elektronik devrenin iletimsel olarak şebekeye vermiş olduğu gürültü ölçülür. Amaç, aynı şebekeye bağlı olan cihazları etkileyecek kadar gürültünün şebekeye verilmesini engellemektedir.

İletimsel elektromanyetik emisyon testinde, elektronik devrenin şebekeye verdiği gürültü ölçülmektedir. Teste alınan devre, Şekil 1.29’da gösterildiği gibi bir oda içerisinde ve çeşitli ölçüm cihazları sayesinde test edilir. Devrenin limit altında kalması durumunda test başarılı bir şekilde tamamlanır. Şekil 1.30’da, LED sürücüler için yapılmış, iletimsel elektromanyetik emisyon test sonuçları ve limitleri görülmektedir [15].

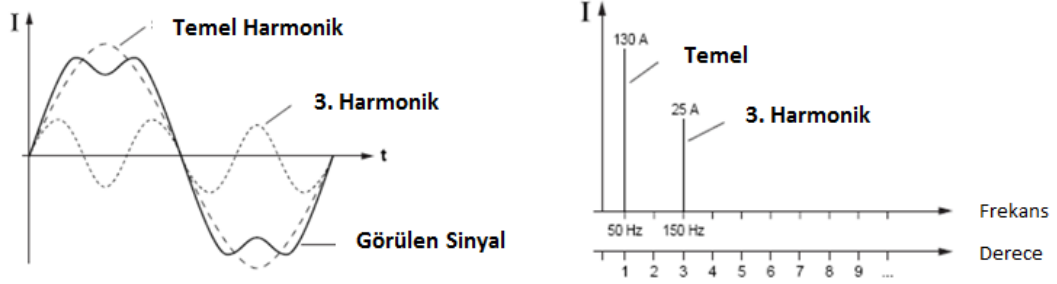


Şekil 1.30. İletimsel emisyon testi için örnek sonuç

1.4.1.2.3. Harmonik emisyon testi

EN 61000-3-2 standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; elektronik devrenin şebekeye vermiş olduğu akım harmoniklerinin belli bir limitin altında olup olmadığını ölçmektedir.

Şebekeye verilen harmonikler, özellikle kritik görevlerde çalışan sistemleri etkileyebilmekte ve arızalanmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple, harmonik standartı elektronik devrenin şebekeye yaydığı ve istenmeyen akım harmoniklerinin belli bir limiti altında kalmasını sağlar.

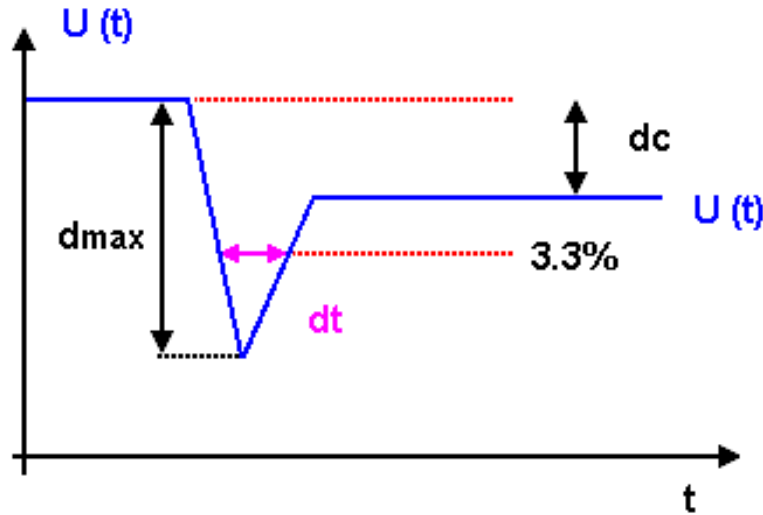


Şekil 1.31. Harmonikli giriş akımı ve bileşenleri [15]

Şekil 1.31’de girişten çekilen harmonikli yapı ve bileşenleri gösterilmiştir. Testte akımı oluşturan her bir hatmoniğin bileşeni ve akım değeri belirlenir. Standart tarafından belirlenen limitler altında kalması durumunda test başarı bir şekilde tamamlanır [15].

1.4.1.2.4. Gerilim dalgalanması testi

EN 61000-3-3 standartına göre yapılan bu testin temel mantığı; elektronik devrenin çektiği akımlar sebebiyle şebekede oluşan gerilim dalgalanmalarının belirli bir limitin altında olup olmadığını ölçer.



Şekil 1.32. Gerilim dalgalanması testinde bakılan parametreler [15]

Şekil 1.32’de görüldüğü üzere, testte olan elektronik devrenin şebeke gerilimindeki bozunum birkaç kritere (d_{max} , d_c ve d_t) göre değerlendirilir. Elektronik devrenin

türüne göre belirlenen bu limitler sayesinde, elektronik devreler çalışırken şebeke gerilimindeki bozunumlar sınırlanır.

Diğer emisyon testlerinde olduğu gibi, standart tarafından belirlenen limitler altında kalması durumunda test başarı bir şekilde tamamlanır [15].

1.4.2. Düşük gerilim yönetmeliği (LVD) standartları

LVD Standartları, ürünün kullanıcıya zarar vermeyeceğini inceleyen ve kullanıcı sağlığı-güvenliği için kritik standartları kapsamaktadır. LED sürücüler için EN-61347-1 ve EN-61347-2-13 olmak üzere iki standarttan oluşmaktadır [12].

LVD standartlarında ürünle alakalı birçok nokta test edilirken; en kritik testler elektriksel güvenlik testlerinde yer almaktadır. Bu testler, son prototibe uygulandığı gibi aynı zamanda üretimden çıkan her bir sürücüye de uygulanmaktadır. Son prototibe uygulanan testler tip testi, üretimde ürüne uygulanan her bir test de rutin testi olarak geçmektedir.

LED sürücülere uygulana elektriksel güvenlik testleri aşağıda belirtilmiştir.

1.4.2.1. Yüksek gerilim izolasyon testi

Bu testteki amaç, galvanik izolasyonun istenen seviyede olup olmadığını prototip üzerinde denemektir [12].

Uygulanacak gerilim, izolasyon seviyesine göre belirlenir. İzolasyon sınıfları:

- Temel İzolasyon: İzolasyonun sadece emaye tel gibi bir yalıtım malzemesi ile sağlandığı izolasyon tipidir. Uygulanacak gerilim “ $1000 V_{AC} + 2 \times \text{Giriş Gerilimi}$ ” şeklindedir.
- Takviyeli İzolasyon: İzolasyonun iki yalıtım malzemesi ile sağlandığı izolasyon tipidir. Uygulanacak gerilim “ $1000 V_{AC} + 2 \times \text{Giriş Gerilimi}$ ” şeklindedir.
- Güçlendirilmiş İzolasyon: Takviyeli izolasyona göre yüksek izolasyon yapıları kullanılarak sağlanan izolasyon tipidir. Uygulanacak gerilim “ $2000 V_{AC} + 2 \times \text{Giriş Gerilimi}$ ” şeklindedir.

Prototipe yapılacak testin süresi 60 saniyedir.

Giriş ve çıkış hatları kendi aralarında kısa devre edilir ve izolasyon sınıfına göre belirlenen gerilim 60 saniye boyunca giriş – çıkış arasına uygulanır. Test süresince kartta patlama veya çatlama görülmezse test başarı bir şekilde tamamlanır. Şekil 1.33'te testin yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 1.33. Yüksek gerilim izolasyon testinin bağlantıları

1.4.2.2. Yüksek gerilim toprak bağlantı testi

Bu testteki amaç, toprak bağlantısının sağlıklı bir şekilde yapıp yapılmadığını denetlemektir.

Giriş hattı kısa devre edilir ve giriş – toprak hattı üzerine 3000 Vac gerilim 60 saniye boyunca uygulanır. Test süresince kartta patlama veya çatlama görülmezse test başarı bir şekilde tamamlanır. Şekil 1.34'te test bağlantıları gösterilmiştir [12].




Şekil 1.34. Yüksek gerilim toprak bağlantı testinin bağlantıları

1.4.3. RoSH regülasyonu

Doğaya zarar verecek elementlerin kullanımını kısıtlayan RoSH Regülasyonu bir düzenleyici faaliyettir. Buna göre tüm üretilen ürünler bu regülasyona uymak zorundadır. Aksi halde hem kuruluşa hem de sözleşmede imzası bulunan şahıslara

cezai yaptırımları vardır. Kısıtlanan elementler ve miktarı Şekil 1.35'te yer almaktadır [12].



Element	Simge	Limit
Kurşun	Pb	< 1000 ppm
Civa	Hg	< 1000 ppm
Kadmiyum	Cd	< 100 ppm
Krom VI	Cr VI	< 1000 ppm
PBB Polibrominat Bifenil	PBB	< 1000 ppm
PBDE Polybrominat Difehenil	PBDE	< 1000 ppm

Şekil 1.35. RoHS simgesi ve limitleri

1.4.4. REACH regülasyonu

Ürün üretilmeden önce, üretilirken ve kullanılırken ki süreçlerde çevreye, doğaya ve insana zarar vermemesini sağlayan bir regülasyondur (Şekil 1.36). RoSH Regülasyonu'nda olduğu gibi tüm ürünler bu regülasyona uymak zorundadır [12].



Şekil 1.36. REACH simgesi

1.4.5. Eco design ve ErP (energy related products) regülasyonları

Eski adıyla Energy Star, yeni adıyla Energy Related Products (ErP - EU Directive 1194/2012) Regülasyonu, elektronik devrelerinin enerji verimliliği ile ilgilenmektedir [12].

Eco Design Regülasyonu (2009/125/EC Directive) ise elektriksel olarak yayılan harmoniğin limitini, başlama süresini, hazırda bekleme durumundaki güç tüketimini ve güç katsayısını düzenlemeye yönelik bir faaliyettir (Şekil 1.37 ve Şekil 1.38).

Bekleme Modundaki Güç Tüketim Limiti		
Güncelleme Tarihi	(Giriş Gücü) $P_{Giriş} < 250 \text{ W}$	(Giriş Gücü) $P_{Giriş} > 250 \text{ W}$
Eylül 2014	$< 1.0 \text{ W}$	$0.5 \text{ W} \times P_{Giriş}/250$
Eylül 2016	$< 0.5 \text{ W}$	$0.5 \text{ W} \times P_{Giriş}/250$

Şekil 1.37. Bekleme modundaki limit güç değerleri

Aktif Güç (P)	Güç Faktörü İhtiyacı
$P < 2\text{W}$	İhtiyaç yok.
$2\text{W} < P < 5\text{W}$	> 0.4
$5\text{W} < P < 25\text{W}$	> 0.5
$P > 25\text{W}$	> 0.9

Şekil 1.38. Aktif güce göre güç faktörü değerleri

1.5. Linear Armatürler ve Linear LED Sürücüler Hakkında Genel Bilgi

İç aydınlatma ürünlerinden olan Linear LED armatürleri, ince yapıda ve estetik olmalarının yanında duvar içine gömülü bir şekilde kullanılabilmesi sebebiyle; ofis, mağaza, otel aydınlatmalarında sıklıkla tercih edilmektedirler. İçerisinde kullanılan linear LED sürücüler de benzer form ve yapıya sahiptir (Şekil 1.39).



Şekil 1.39. Linear armatür görselleri

Linear LED armatürleri, içerisinde bulunan LED'lerin genellikle seri olarak yerleştirmeleri sebebiyle yüksek gerilim düşük akıma ihtiyaç duymaktadırlar. Bu sebeple linear LED sürücüler diğer sürücü çeşitlerine göre düşük çıkış akımı ve yüksek çıkış gerilimine sahiptir (Şekil 1.40) [1].

Linear LED sürücüler genellikle izolasyona sahip değildir. Bununla birlikte, genellikle 60W üstündeki LED sürücülerin çıkış gerilimi 120 Vdc'nin üstünde olması sebebiyle Non-SELV (Separated Extra Low Voltage – Ayrılmış Ekstra Düşük

Gerilim) özelliğindedir. Çıkış gerilimi 120 Vdc'nin altında olan sürücüler ise ELV (Extra Low Voltage –Ekstra Düşük Gerilim) özelliğine sahiptir.



Şekil 1.40. Lineer sürücü görselleri

Genellikle metal kasaya sahip olan lineer LED sürücülerde topraklama yapılmaktadır. Olası çarpılmadan korunmak için bütün metal yüzeyleri topraklanmıştır. Elektronik devre metal kasayla çevrenmesi sebebiyle "Faraday Kafesi" etkisi göstermekte ve elektromanyetik emisyon ile ilgili standartlarda (EN-55015) avantaj sağlamaktadır [2].

Armatür içerisinde kapalı alanda ve iç aydınlatmada kullanılmaları sebebiyle; koruma sınıfı IP-20 olmaktadır. Daha yüksek koruma sınıfları yüksek maliyet arttırdığı ve ihtiyaç olmadığı için bu tip sürücülerde yüksek koruma sınıfı ile karşılaşmamaktadır.

Energy Related Products (ErP) Regülasyonu gereğince 25W üstü sürücülerde güç faktörü 0.90 üstünde olması gerekmektedir [3]. Bununla birlikte Elektromanyetik Uyumluluk Standartları'ndan (EMC, Electromagnetic Compatibility) olan EN-61000-2-3'e uyabilmesi için şebekeye yaydığı harmoniklerin belirli bir seviyenin altında olması gereklidir [15]. Sektör taleplerine göre total harmonik bozunumun (THD - Total Harmonic Distortion) %20'nin altında olması beklenmektedir.

Elektromanyetik Uyumluluk Standartları'ndan biri olan EN-61000-4-5 ve EN-61000-4-4'e uyabilmesi için 1.0 kV Surge Gerilim Koruması'na (Fazdan nötre ve faz-nötrden toprağa) ve 0.5 kV Burst Gerilim Koruması'na (Faz'dan nötr'e) sahip olması gereklidir [15]. Piyasanın ise standartların üzerinde bir beklentisi; 2.0 kV Surge Gerilim Koruması ve 1.0 kV Burst Gerilim Koruması bulunmaktadır.

2. DEVRE TASARIMI VE SİMÜLASYONLAR

Diğer elektronik devre tasarımlarından farklı olarak SMPS tasarımında, komponentler üzerinde göreceli olarak daha fazla stres oluşur. Doğru isterler belirlenmemesi ve tasarımda dikkatli olunmaması durumunda, geri dönülemez hatalara neden olabilmektedir. Bu sebeple SMPS tasarımı yapılırken olabildiğince kontrollü gidilmeli ve simülasyonlardan destek alınmalıdır.

Bu bölümde, lineer LED sürücü isterler doğrultusunda matematiksel tasarımı yapılacak ve elektriksel – manyetik simülasyonlar ile desteklenecektir. Bununla birlikte, daha yüksek verimlere çıkabilmek için tasarımda ve seçimlerde dikkat edilen konular hakkında bilgi verilecektir.

2.1. İsterlerin Belirlenmesi

Tasarıma başlanılmadan ve aktif komponentleri belirlemeden önce yapılması gereken en kritik adımlardan bir tanesi isterlerin belirlenmesidir. Bu isterler belirlenirken, aydınlatma sektöründe kullanılan lineer formdaki armatürler incelenmiş ve ihtiyaç duyduğu elektriksel, fonksiyonel, güvenlik ihtiyaçları tespit edilmiştir. Tablo 2.1’de bu ihtiyaçlar detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 2.1 incelendiğinde; aydınlatma sektörünün, iki farklı güç ve akıma sahip LED sürücüye ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Bu tez kapsamında, isterler doğrultusunda 60W 350mA lineer formdaki LED sürücünün tasarımı yapılmıştır.

Tablo 2.1. Tasarım isterleri

Model Gücü		30 W	60 W
Özellikler			
Çıkış Elektriksel Özellikler	Nominal Çıkış Akımı	400mA	350mA
	Çıkış Gerilim Aralığı	75 - 40 V _{DC}	171 - 90 V _{DC}
	Maksimum Çıkış Gücü	30 W	60 W
	Tam Yükte Akım Dalgalanması	<16%	<16%

Tablo 2.2. (Devam) Tasarım istekleri

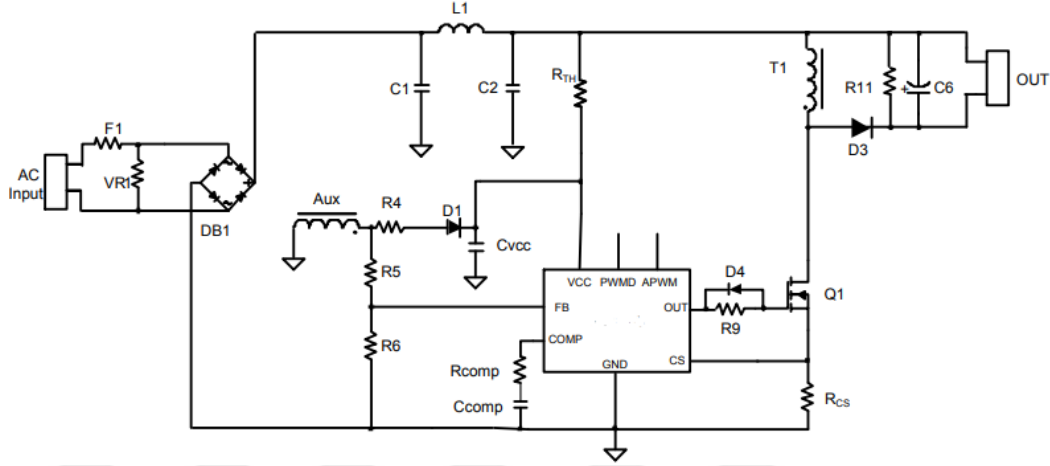
Model Gücü		30 W	60 W
Özellikler			
Giriş Elektriksel Özellikler	Şebeke Frekansı	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
	Giriş Gerilim Aralığı	198-264 V _{AC}	198-264 V _{AC}
	Giriş Gücü	34.5 W	68.9 W
	Verim	> 87%	> 87%
	Güç Faktörü	0,96	0,96
Toplam Harmonik Bozunumu (THD)		< 10 %	< 10 %
Gerilim Dayanım Korumaları	Burst Gerilim Koruması	1 kV	1 kV
	Surge Gerilim Koruması	2 kV (L to N)	2 kV (L to N)
Sıcaklık ve Ömür Değerleri	Çalışma Sıcaklığı	-20 ... +50 °C	-20 ... +50 °C
	50°C'de Ömür Süresi	50.000 saat	50.000 saat
Fiziksel Bilgiler	Ölçüler	< 280.0 x 35.0 x 21.5mm	< 280.0 x 35.0 x 21.5mm
	Güç Yoğunluğu	> 0.15 W/cm ³	> 0.30 W/cm ³
Koruma Fonksiyonları	Aşırı Yük Koruması	✓	✓
	Kısa Devre Koruması	✓	✓
	Yüksüz Durum Koruması	✓	✓

2.2. Topoloji Seçimi

Tablo 2.1’de verilen istekler incelendiğinde; ihtiyaç duyulan özellikler belirlenmiştir:

- Sürücüde galvanik izolasyona ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Sürücü şebeke geriliminde beslenecektir. Bununla birlikte maksimum çıkış gerilimi 172 VDC’dir. Bu durumda sürücü, 120 VAC altındaki şebeke gerilimlerinde arttırıcı, 120 VAC geriliminin üstündeki şebeke geriliminde azaltıcı olarak çalışması gereklidir. Bu sebeple arttırıcı ve azaltıcı özellikte bir topolojinin seçilmesi gereklidir.
- Çıkış yükü LED olması sebebiyle, çıkış geriliminin negatif olması önem arz etmemektedir.
- Ürün yüksekliği 21.5 mm altında olması gerekmektedir. Bu sebeple, endüktansın toplam sarım sayısı fazla olacak topolojilerden seçilmemelidir. Aksi halde toplam sarım sayısının fazla olması, kullanılacak endüktansın büyümesine ve isterin karşılanmamasına neden olacaktır.

Bahsedilen maddeler ve bölüm 2'deki topolojiler incelendiğinde buck-boost dönüştürücünün diğer topolojilere göre daha uygun olduğu görülmektedir. Şekil 2.1'de örnek buck-boost devresi görülmektedir.



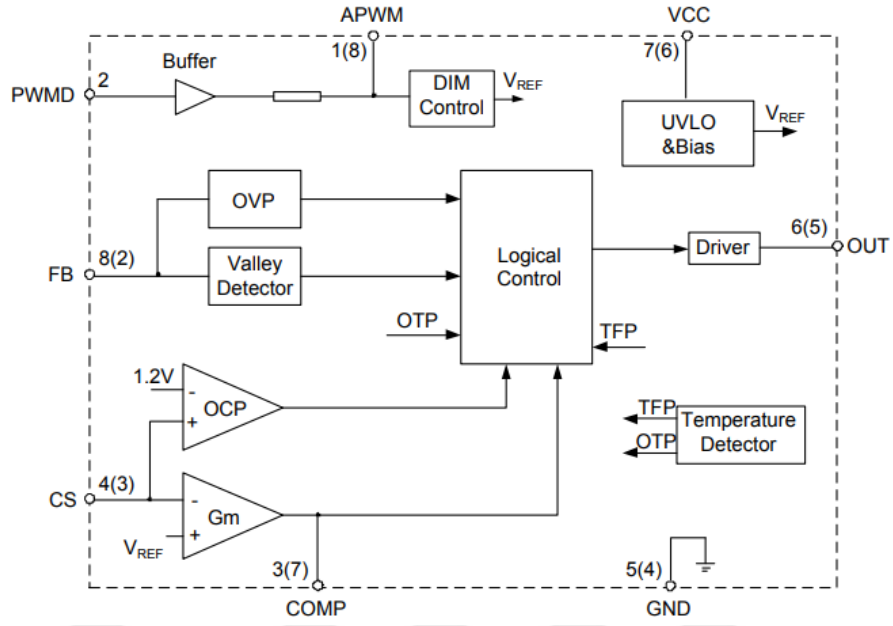
Şekil 2.1. Buck – Boost dönüştürücünün genel şematığı [16]

2.3. Entegre Seçimi

Sürücü verimliliği, koruma fonksiyonları, güç faktörü ve toplam harmonik bozunumu gibi kritik parametreleri etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesi seçilen analog entegredir. Seçilecek entegrede aşağıda belirtilen özellikler bulunması gereklidir:

- Sürücünün yüksek verimlilikte çalışabilmesi için çeyrek rezonans (Quasi Rezonant) özellikte anahtarlama yapmalıdır. Böylece, anahtarlama elemanını kapama durumundaki kayıplar azaltılır.
- Şebeke gerilimine uygun bir entegre olmalıdır.
- Aktif güç faktörü düzenleme özelliği bulunmalıdır. Böyle, güç katsayısında ve toplam harmonik bozunumda istenen değerlere ulaşılabilir.
- Aşırı yük koruması, kısa devre koruması ve yüksüz durum koruması özellikleri bulunmalıdır.

Bahsedilen özellikler incelendiğinde; verimli çalışma yapısı (Quasi Resonant Control), geniş koruma özellikleri, şebeke gerilimine uygun tasarım, aktif güç faktörü düzenleme özelliği ve az elektronik komponent ihtiyacı nedeniyle Silergy Firması'nın SY22679B adlı kontrol entegresi tercih edilmiştir [6].



Şekil 2.2. SY22679B kontrol yapısının blok diyagramı [16]

2.4. Entegrenin Çalışma Mantığı

Seçilen kontrol entegresi çeyrek rezonans akım modlu birincil taraf kontrollü bir buck-boost / flyback entegresidir.

Bu entegre içerisinde:

- İlk başlama için devre (Start-up Circuit)
- Çeyrek rezonansı anlayacak devre (Quasi Resonant Detection Circuit)
- Aşırı yük koruması, kısa ve yüksüz devre korumalarını anlayacak devre
- Düşük çıkış gerilimini anlayacak devre
- Anahtarlama elamanını sürececek devre
- Mantıksal kontrolü yapabilen devre

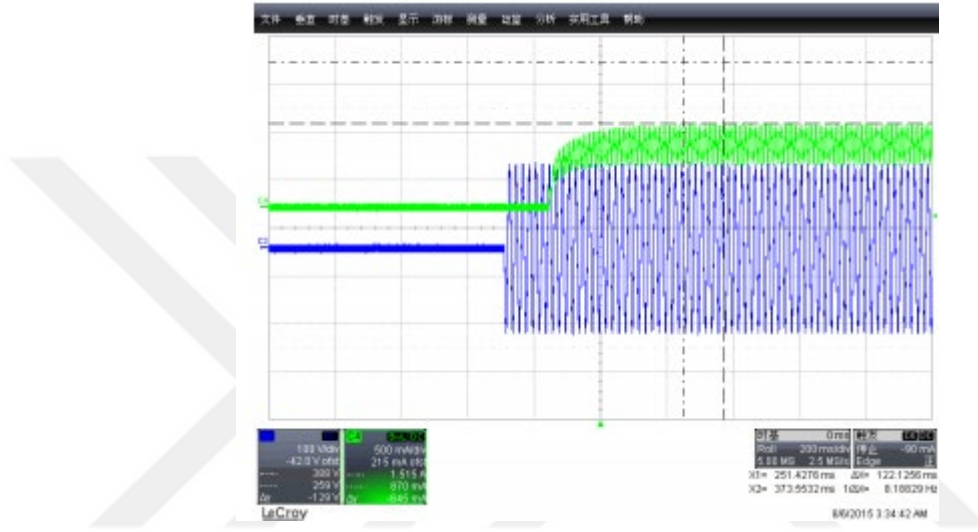
özellikleri bulunmaktadır. Bu tümleşik devreler, istenen verimlilik ve güç yoğunluğunda tasarım yapabilme imkanı sağlamaktadır.

Entegrenin çalışma akışı, başlangıç (Start-up) ve kalıcı durum olarak incelenir. Entegre ilk başlangıçta aşağıdaki gibi çalışır:

- Devre çalıştırılmaya başlandığında, başlama dirençleri üzerinden entegrenin Vcc pini şarj olur.

- Vcc pinin belli bir gerilime ulaşmasından sonra, anahtarlama elemanı tetiklenmeye başlar.
- Böylece, yardımcı sarımlar üzerinden Vcc pinine bağlı kapasite beslenir ve böylece entegre kalkışı yapmış olur.

Şekil 2.3'te giriş gerilimi uygulandıktan sonra, bir kaç yüz milisaniye sonra çıkış akımının yükseldiği grafik görülmektedir.



Şekil 2.3. Başlangıç durumunda, şebeke gerilimi (mavi) ve çıkış akımı (yeşil)

Entegre ilk başlangıcı yaptıktan sonra birkaç yüz mili saniye içerisinde kalıcı durumuna erişir ve aşağıdaki gibi çalışır.

- Kalıcı durumda, anahtarlama elemanı açılır ve üzerinden akım akmaya başlar. Bu sırada anahtarlama elemanına seri olan endüktans enerjilenir. Bu sırada çıkış yükü, çıkış kapasiteleri sayesinde beslenir. Anahtarlama elemanı üzerinden geçen akım, eşik seviyesine ulaşınca kapatılır.
- Endüktansta biriken enerji, çıkış kapasitesine ve yüküne aktarılır. Endüktanstaki enerji bittiğinde entegre bu durumu FB pini üzerinden algılar ve anahtarlama elemanı tekrar açılır. Bu çevrim sürekli olarak devam eder.

İlerleyen bölümlerde entegrenin çevre birimlerinin tasarımı, manyetik devre tasarımı ve çıkış akım dalgalanmasını azaltıcı devre tasarımı yapılacaktır.

2.5. Endüktans Tasarımı ve Güç Eleman İsterlerinin Belirlenmesi

Literatürde, SMPS tasarımında çok farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan en çok tercih edileni ve tez içerisinde kullanılacak olan manyetik eleman tasarım modelidir. Bu modele göre, ilk başta manyetik eleman (Trafo, endüktans) tasarımı yapılır ve diğer çevre birimler manyetik devre tasarımı yapıldıktan sonra belirlenir.

Anahtarlama mod güç kaynaklarında trafo tasarımı, komponent seçimini ve diğer çevre birimlerinin tasarımını belirlediği için ilk olarak tasarlanması önem arz etmektedir.

2.5.1. Endüktans tasarımı

Anahtarlama mod güç kaynaklarından, tasarımı belirleyecek ve yön verecek komponentlerin başında trafo tasarımı bulunmaktadır. Bu sebeple, endüktans tasarımı yapılırken etkilenecek diğer bölge ve komponentler göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 2.2’de tasarımda kullanılacak parametreler görülmektedir.

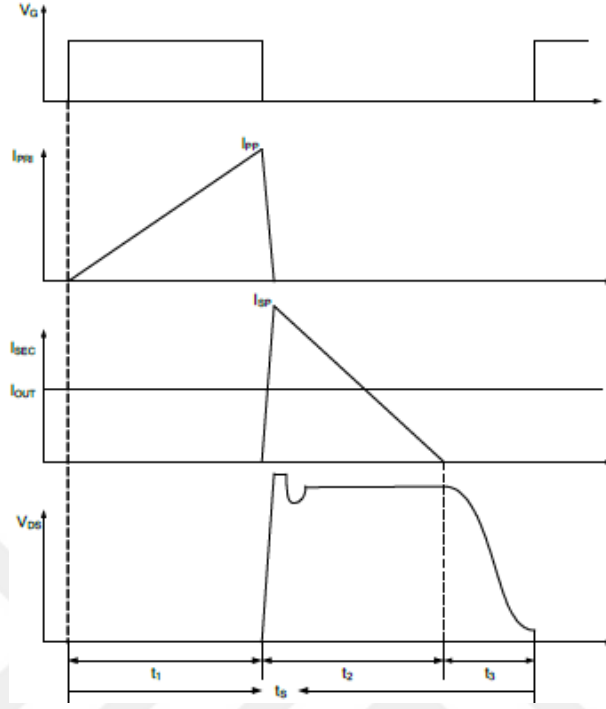
Tablo 2.3. Tasarım parametreleri

Sembol	Parametre	Değer
f_{min}	Minimum Anahtarlama Frekansı	65 kHz
V_{acmin}	Minimum Giriş Gerilimi	198 Vac
N_{ps}	Trafo Sarım Oranı (Birincil / İkincil Taraf)	1
V_{out}	Çıkış Gerilimi	172 Vdc
V_{d_f}	Diyot Gerilimi	1 Vdc
η	Verim	%90
P_{out}	Çıkış Gücü	60 W
C_{drain}	MOSFET Coss Kapasitesi	30 pF

Çeyrek rezonans modunda, anahtarlama periyodu üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.4):

- t₁ = MOSFET’in açık olduğu zaman
- t₂ = MOSFET’in kapalı olduğu ve rezonansa girmediği noktaya kadar olan zaman

- $t_3 = \text{Çeyrek rezonans süresi}$



Şekil 2.4. Çıkış gerilimi, MOSFET akımı, diyot akımı ve MOSFET gerilimi [16]

Sistem sabit açık zaman modunda (COT – Constant On Time) çalışır. Bu kontrol türü sayesinde de yüksek güç faktör değeri elde edilir. MOSFET'in açık olduğu süre (t_1), giriş gerilimi düşerken veya yüklenme artarken yükselmektedir. Dolayısıyla, MOSFET'in maksimum açık olduğu ve dolayısıyla üzerinden en yüksek akımın geçtiği en kötü durumdur. Tasarım yapılırken de t_1 süresinin maksimum açık olduğu (Anahtarlama frekansı minimum) durum da tasarım yapılacaktır.

$$t_s = \frac{1}{f_{S_MIN}} \quad (2.1)$$

$$t_1 = \frac{t_s \times N_{PS} \times (V_{OUT} + V_{D_F})}{\sqrt{2}V_{AC_MIN} + N_{PS} \times (V_{OUT} + V_{D_F})} \quad (2.2)$$

t_1 süresi belirlenmesinin ardından, endüktans değeri belirlenilir.

$$L_M = \frac{V_{AC_MIN}^2 \times t_1^2 \times \eta}{P_{OUT} \times t_s \times 235} \quad (2.3)$$

t_3 süresi de anahtarlama elemanının, akaç (Drain) kapasitesine göre seçilir.

$$t_3 = \pi \times \sqrt{L_M \times C_{\text{Drain}}} \quad (2.4)$$

Endüktans tasarımı yapılmadan önce, belirlenmesi gereken bir diğer parametrede MOSFET üzerinden geçen akımın tepe değeridir. Denklem 2.5, Silergy Firması tarafından entegrenin kontrol yapısına göre belirlenmiştir.

$$I_{P_PK_MAKS} = \frac{40P_{\text{OUT}} \times \left[\frac{L_M}{\sqrt{2V_{AC_MIN}}} + \frac{L_M}{N_{PS} \times (V_{\text{OUT}} + V_{D_F})} \right]}{L_M \times \eta} \quad (2.5)$$

$$+ \frac{\sqrt{4P_{\text{OUT}}^2 \times \left[\frac{L_M}{\sqrt{2V_{AC_MIN}}} + \frac{L_M}{N_{PS} \times (V_{\text{OUT}} + V_{D_F})} \right]^2 + 4L_M \times \eta \times P_{\text{OUT}} \times t_3}}{L_M \times \eta}$$

Seçilen endüktans değeri ve tepe akım değerine göre, t'_s tekrar belirlenir.

$$t'_s = \frac{\eta \times L_M \times I_{P_PK_MAX}^2}{200P_{\text{OUT}}} \quad (2.6)$$

$$t'_1 = \frac{L_M \times I_{P_PK_MAX}}{\sqrt{2}V_{AC_MIN}} \quad (2.7)$$

$$I_{P_RMS_MAX} \approx \sqrt{\frac{t'_1}{6t'_s}} \times I_{P_PK_MAX} \quad (2.8)$$

Bununla birlikte, MOSFET üzerinden geçen akımın RMS değeri tespit edilir.

İkincil taraf ve dolayısıyla diyot üzerinden geçen akım da Denklem 2.9'daki gibi belirlenir.

$$I_{S_PK_MAX} = N_{PS} \times I_{P_PK_MAX} \quad (2.9)$$

$$t'_2 = t'_s - t'_1 - t_3 \quad (2.10)$$

$$I_{S_RMS_MAX} \approx \sqrt{\frac{t'_2}{6t'_s}} \times I_{S_PK_MAX} \quad (2.11)$$

Tablo 2.3'te hesaplanan parametreler görülmektedir [16].

Tablo 2.4. Tasarım çıktıları

Sembol	Parametre	Değer
ts	Anahatarlama Periyodu	15.4 μ s
t1	t1 süresi	5.9 μ s
Lm	Endüktans Değeri	560 μ H
t3	t3 süresi	0.1 μ s
Ip_pk_maks	Birincil Taraf Tepe Akım Değeri	1.77 A _{peak}
ts'	İterasyon Yapılmış Anahatarlama Periyodu	7.5 μ s
t1'	İterasyon Yapılmış t1 süresi	3.5 μ s
Ip_rms_maks	Birincil Taraf RMS Akım Değeri	0.50 A _{RMS}
Is_pk_maks	İkincil Taraf Tepe Akım Değeri	1.77 A _{peak}
Is_rms_maks	İkincil Taraf RMS Akım Değeri	0.49 A _{RMS}
Ja	Akım Yoğunluğu	4 A/mm ²
Ku	Paketleme Faktörü	0,6
Bpk	Manyetik Akı Yoğunluğunun Tepe Değeri	0,275

Endüktans değeri ve üzerinden geçen akımın tepe değeri bulunduktan sonra trafo seçimi yapılır. Burada, “Area Product” metodu kullanılarak nüve seçimi yapılır. Bu method sayesinde, elektriksel parametreler kullanılır ve fiziksel bir büyüklük bulunur. Böylece devre için ihtiyaç duyulan manyetik elemanın fiziksel yapısı belirlenir [6].

$$AP_{\min} = \left(\frac{L_r I_{Lr,pk} I_{Lr,eff} 10^4}{J_a K_u B_{pk}} \right)^{1.143} \quad (2.12)$$

İhtiyaç duyulan AP_{\min} (0.32 cm⁴) değeri belirlendikten sonra, nüve çeşitleri incelenir. EPCOS'un N87 materyaline sahip EFD – 25/13/9 nüvesinin, AP değeri yaklaşık 0,35 cm⁴'dür. Devre için hesaplanan AP değerinden daha büyük olduğu için kullanılabilir.

EFD 25/13/9

Core

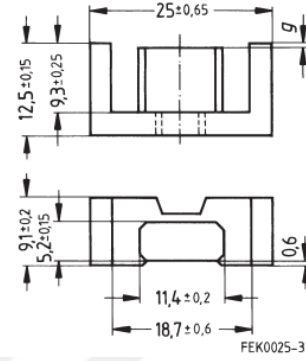
B66421

- E core with flattened, lower center leg for especially flat transformer design
- For DC/DC converters
- Delivery mode: single units

Magnetic characteristics (per set)

$$\begin{aligned}\Sigma l/A &= 0.98 \text{ mm}^{-1} \\ l_e &= 57 \text{ mm} \\ A_e &= 58 \text{ mm}^2 \\ A_{\min} &= 57 \text{ mm}^2 \\ V_e &= 3310 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Approx. weight 16.6 g/set



Şekil 2.5. EFD 24/13/9 EPCOS bilgileri

İhtiyaç duyulan parametreler Tablo 2.4'te belirtilmiştir.

Tablo 2.5. Tasarım girdileri

Sembol	Parametre	Değer
ΔB	Manyetik Akı Yoğunluğu Değişimi	0.275 T
Nüve	EPCOS N87 EFD-25/13/9	-
A_e	Nüve Efektif Alanı (EFD-25/13/9)	58 mm ²
L_m	Endüktans Değeri	560 µH
V_{aux}	Yardımcı Sarım Nominal Gerilim Değeri	20 Vdc
J_a	Akım Yoğunluğu	4 A/mm ²
$I_{p_pk_maks}$	Birincil Taraf Tepe Akım Değeri	1.77 A _{peak}
t_s'	İterasyon Yapılmış Anahatarlama Periyodu	7.5 µs
t_1'	İterasyon Yapılmış t ₁ süresi	3.5 µs
$I_{p_rms_maks}$	Birincil Taraf RMS Akım Değeri	0.50 A _{RMS}

İhtiyaç duyulan nüve belirlendikten sonra, endüktans için sarım sayısı belirlenir.

$$N_P = \frac{L_M \times I_{P_PK_MAKS}}{\Delta B \times A_e} \quad (2.13)$$

Endüktans sarım sayısı belirlendikten sonra, yardımcı sarım sayısı belirlenir.

$$N_{AUX} = N_P \times \frac{V_{Aux}}{V_{Out}} \quad (2.14)$$

Sarım sayıları belirlendikten sonra, tel türü ve çapı teller üzerinden geçen akımın RMS değeri üzerinden belirlenir. Tel çapı, akım yoğunluğu denklemi ile hesaplanır. Bu tasarımda, akım yoğunluğu 4 A/mm² seçilmiştir.

$$S_{Lr} = \frac{I_{p_rms_maks}}{J_a} \quad (2.15)$$

$$D_{Lr} = \sqrt{\frac{4 S_{Lr}}{\pi}} \quad (2.16)$$

Yardımcı sarımdan 10 mAdc'den daha düşük akım geçeceği için tel çapı 0.15 mm olarak seçilmiştir [6].

Yapılan endüktans tasarımının özet tablosu ve seçilen ürünler Tablo 2.5'teki gibidir:

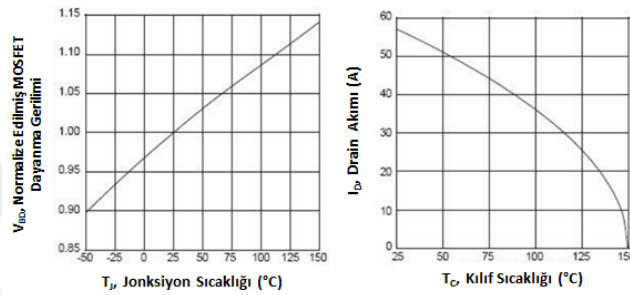
Tablo 2.6. Endüktans parametreleri

Sembol	Parametre	Değer
Lm	Endüktans Değeri	560 µH
Ip_pk_maks	Birincil Taraf Tepe Akım Değeri	1.77 A _{peak}
Ip_rms_maks	Birincil Taraf RMS Akım Değeri	0.50 A _{RMS}
Np	Endüktans Sarım Sayısı	62 Sarım
Na	Yardımcı Sarım Sayısı	8 Sarım
Ap	Sürücünün AP Değeri	0.32 cm ⁴
Ap_EFD-25	EFD-25'in AP Değeri	0.35 cm ⁴
Nüve	EPCOS N87 EFD-25	-
Karkas	EF-25 5 + 5 Pin	-
-	Endüktans Tel Çapı	1.00 mm
-	Yardımcı Sarım Tel Çapı	0.15 mm

2.5.2. Anahtarlama elemanı ve çıkış diyotu seçimi

Anahtarlama mod güç kaynaklarında; anahtarlama elemanı olarak genellikle MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) kullanılmaktadır. Bunun sebebi diğer anahtarlama elemanlarından daha yüksek frekanslara çıkabilmesi (Yaklaşık 400 kHz) ve kayıp karakteristiğinin bu frekanslarda daha başarılı olmasıdır. Bununla birlikte, özellikle konvansiyonel transistörlere göre daha kolay sürülebilmesi de tercih edilmesini etkilemektedir.

LED sürücülerini gibi anahtarlama güç kaynaklarında kullanılan anahtarlama elemanları; yapıları gereği, dayanma gerilimleri ve maksimum akım değerleri (Breakdown Voltage) sıcaklıkla beraber değişmektedir. Özellikle MOSFET'ler, pozitif sıcaklık katsayısına (Positive Temperature Coefficient) sahip olmaları sebebiyle; sıcaklığı düşmesi ile birlikte dayanma gerilimleri düşmektedir [6]. Şekil 2.6'da MOSFET'lerin 'Dayanma Gerilimi – Jonksiyon Sıcaklığı' grafiği görülmektedir. Bu grafiğe göre; -20°C derecede MOSFET dayanma gerilimi, 0°C derecedeki dayanma geriliminin %94'ine kadar düşmektedir [6].



Şekil 2.6. MOSFET, sıcaklık – gerilim ve sıcaklık – akım grafikleri [17]

Sıcaklığın artması ile birlikte MOSFET'in üzerinden geçebileceği maksimum akım değeri de düşmektedir (Şekil 2.6).

Silikon yapıdaki MOSFET'ler, dayanabileceğinden daha yüksek gerilim ve akım (Sıcaklık artışına neden olmaktadır) uygulandığında; işlevsiz hale gelmektedir. Tasarlanan LED sürücü, beyan edilen gerilim ve sıcaklık değerleri göz önüne alınmadan tasarlanması durumunda; MOSFET arızaları meydana gelebilmektedir [17].

Bu nedenlerden ötürü MOSFET'in güvenli alanlarda kullanılması gerekmektedir. MOSFET üzerine gelen gerilim ve üzerinden geçen akım, önerilen maksimum gerilim ve akımın %90'ı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Tablo 2.7. Yarı iletken parametreleri

Sembol	Parametre	Değer
V _{in_maks}	Maksimum Giriş Gerilimi	264 Vac
V _{out_maks}	Maksimum Çıkış Gerilimi	172 Vdc
V _{OSC_MOS}	MOSFET Osilasyon Miktarı	20 V
V _{OSC_Diyot}	Diyot Osilasyon Miktarı	10 V

$$V_{MOS_BD} \times 0.9 > V_{IN_MAKS} \times \sqrt{2} + V_{OUT_MAKS} + V_{OSC_MOS} \quad (2.17)$$

Bu sebeple seçilen MOSFET'in dayanma gerilimi 627 V'tan daha fazla olmalı ve aynı zamanda üzerinden nominal akım değeri 3.5 A'den büyük olmalıdır.

Diyotlar, MOSFET'lerin aksine negatif sıcaklık katsayısına sahip olsada; güvenli bölgede çalışmak için yarı iletken üzerine gelen gerilim %90 ve altında olması gereklidir. Ancak, diyotlar için akım konusunda bir oran bulunmamaktadır. Akım konusunda en büyük kısıtlayıcı ise jonksiyon sıcaklığıdır.

$$V_{Diode_BD} \times 0.9 > V_{IN_MAKS} \times \sqrt{2} + V_{OUT_MAKS} + V_{OSC_Diyot} \quad (2.18)$$

Bu sebeple seçilen diyotun dayanma gerilimi 617 V'tan daha fazla olmalıdır.

2.5.3. Çıkış elektrolitik kapasitesinin seçimi

SMPS ömürünü ve çıkış akım dalgalanmasını belirleyen çıkış elektrolitik kapasiteleridir.

Komponentin yanlış seçimi, ürünün fonksiyonel olarak eksik çalışmasına neden olabileceği gibi ürün ömrünün de az olmasını etkileyecektir. Ayrıca kullanılan komponentlerin belli bir kalitenin altında olması da hayati problemlere neden olabilmektedir. Bu sebeple tasarımı ve seçimi yapılırken azami dikkatli olmak gereklidir.

Tablo 2.8. Elektrolitik kapasite girdileri

Sembol	Parametre	Değer
I_{OUT}	Nominal Çıkış Akımı	350 mA
ΔI_{OUT}	Çıkış Akım Dalgalanması	300 mA
R_{LED}	LED Direnci	500 mΩ
f_{AC}	Şebeke Frekansı	50 Hz

$$C_{OUT} = \frac{\sqrt{\left(\frac{2I_{OUT}}{\Delta I_{OUT}}\right)^2 - 1}}{0.14\pi f_{AC} R_{LED}} \quad (2.19)$$

Denklem 2.19’da hesap yapıldığında yaklaşık 192 μF sığa değeri yeterli olacaktır [16].

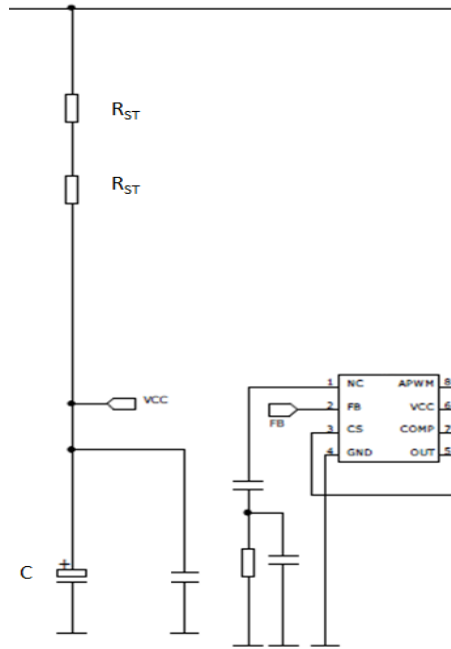
2.5.4. Çevre birimlerinin tasarımı

Silergy Firması’nın SY22679B adlı kontrol entegresi içerisinde birçok farklı yapı barındırmaktadır. Bu yapılara ve isterlere uygun çevre birimlerinin seçimi kritiktir. Aksi takdirde devre istenildiği gibi çalışmayacaktır.

2.5.4.1. İlk başlama durumunda kullanılacak komponent seçimi

İlk başlatma durumunda entegrenin Vcc pinine bağlı kapasitede enerji bulunmamaktadır. Sürücüye enerji verildiğinde, Vcc kapasitesi şarj olmaya başlar ve eşik gerilimine geldiğinde; entegre çalışmaya başlar.

Başlatma direnci çok büyük değerlikli seçilirse; Vcc kapasitesi çok uzun sürede şarj olacaktır. Eco Deisgn Regülasyonu’na göre LED sürücü 0.5 saniye altında çalışmaya başlaması gerektiği için şarj süresinin daha fazla olması istenmeyen bir durumdur. Bununla birlikte, küçük değerlikli bir direnç seçilmesi durumunda da kayıpları ve dolayısıyla verimi etkileyecektir. Direnç seçimi yapılırken bu noktalar göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. İlk başlama durumunu etkileyen devre yapısı

Nominal şebeke geriliminde (230 V_{AC}), 200 V ortalama gerilime sahip olmaktadır. Entegre çalışmaya başlayabilmesi için V_{cc} gerilimi 10 V'a çıkması gereklidir. Bunda göre, 0.2 T sürede V_{cc} kapasitesi (C_{Vcc} = 10µF) 10 V'a erişmektedir. Buna göre:

$$0.2 \tau < 0.5 \text{ saniye}$$

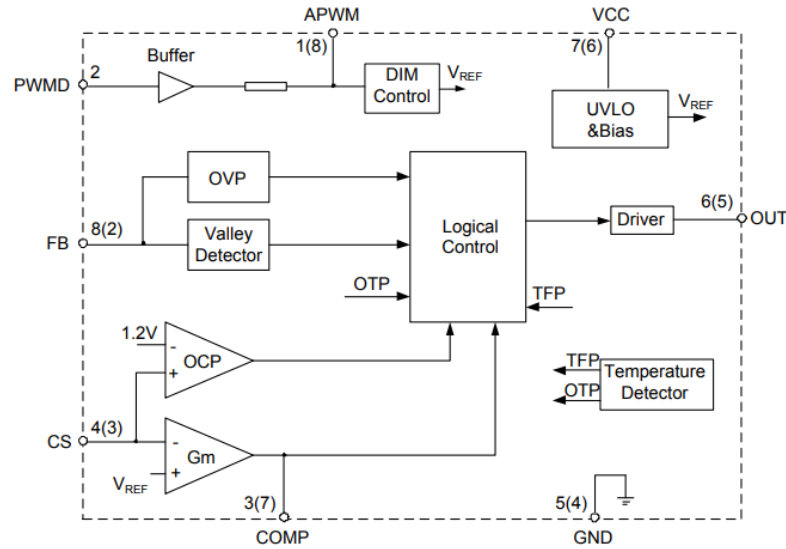
$$\tau = \Sigma_{RST} \times C_{Vcc} < 2.5 \text{ saniye} \quad (2.20)$$

$$\Sigma_{RST} = 250 \text{ kOhm}$$

olmalıdır.

2.5.4.2. Birincil taraf sabit akım kontrolü için komponent seçimi

Birincil taraf sabit akım kontrolü sayesinde, devre ekstra optoküpler ve çevre birilere ihtiyaç duymamaktadır. Böylece hem daha düşük maliyetli hem de güç yoğunluğu daha yüksek ürün yapabileme imkanı tanımaktadır. Ancak, dezavantajı regülasyonunun ikincil taraf kontrolü kadar iyi olmamasıdır.



Şekil 2.8. SY22679B blok diyagramı [16]

Şekil 2.8'de, birincil taraf kontrol yapısı gözükmemektedir. Burada seçilecek akım ölçme direncini; entegre içerisinde bulunan referans gerilimi, trafonun sarım oranı (Giriş Sarım Sayısı / Çıkış Sarım Sayısı) ve çıkış akımının ortalama değeri etkilemektedir.

Tablo 2.9. R_{sense} parametreleri

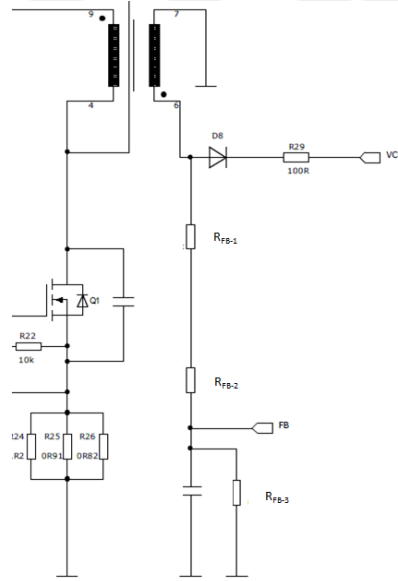
Sembol	Parametre	Değer
V_{ref}	Entegrenin Referans Gerilimi	0.3 V
N_{ps}	Sarım Oranı (Birincil / İkincil Taraf)	1
I_{out}	Çıkış Akımı	350 mAdc

$$R_{sense} = \frac{V_{REF} \times N_{PS}}{I_{OUT} \times 2} \quad (2.21)$$

R_{sense} değeri 0.42Ω hesaplanmıştır [16].

2.5.4.3. Açık devre koruma devresi için komponent seçimi

Yüksek Gerilim Koruması, sürücü çıkışı açık devre yapıldığında; gerilimin çok yukarı çıkmamasını sağlar. Böylece, Çıkıştaki kapasite ve diğer komponentler korunmuş olunur. Bu koruma FB pinindeki gerilim bölücü devresi tarafından yapılır.



Şekil 2.9. Açık devre korumasının devre yapısı

Çıkış gerilimi, sarım oranı kadar yardımcı sargıya yansıtılır. FB pinin sayesinde, çıkış gerilimi yükseldiğinde entegre tarafından algılanır. Böylece gerilimin belli bir değerin üzerine çıkması engellenir. Entegre, açık devre veya çıkış geriliminin aşırı yükseldiğini anladığı zaman korumaya girer. Belli periyotlar halinde devreyi çalıştırır. Hatalı durum kalkmadığı sürece korumada kalmaya devam eder.

Tablo 2.10. Açık devre koruması için tasarım parametreleri

Sembol	Parametre	Değer
Rfb-1	Geri Besleme Direnci - 1	33 kΩ
Rfb-2	Geri Besleme Direnci - 2	33 kΩ
Vfb	Geri Besleme Gerilimi	11V
Npa	Birincil / Yardımcı Taraf Sarım Oranı	7.75
Vout_ovp	Çıkış Koruma Gerilimi	190 V
Vd_f	Diyot Gerilimi	1 V

$$R_{FB_3} = \frac{V_{FB} \times (R_{FB_1} + R_{FB_2}) \times N_{pa}}{R_{FB_2} \times (V_{OUT_{OVP}} + V_{D_f})} \quad (2.22)$$

R_{FB_3} değeri 3.57 kΩ hesaplanmıştır.

2.6. Çıkış Akım Dalgalanmasını Azaltıcı Devre Tasarımı

Bölüm 2’de bahsedildiği üzere, çıkış akım dalgalanmasının düşük olması fotometrik açıdan daha sağlıklıdır.

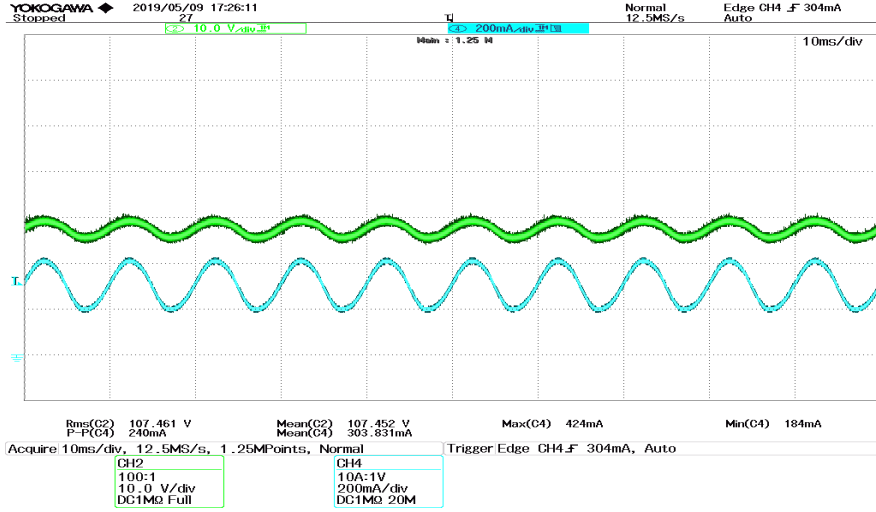
Özellikle, insanların sürekli olarak kullandığı alanlarda yapılan aydınlatmalarda, çıkış akım dalgalanması düşük LED sürücüler kullanılmaktadır.

Şekil 2.10’da çıkış akım dalgalanması yüksek bir akım şekli (Açık mavi) görülmektedir. Bununla birlikte LED yükü üzerinde bulunan gerilim dalgalanmasında yeşil renkli sinyalde görülmektedir.

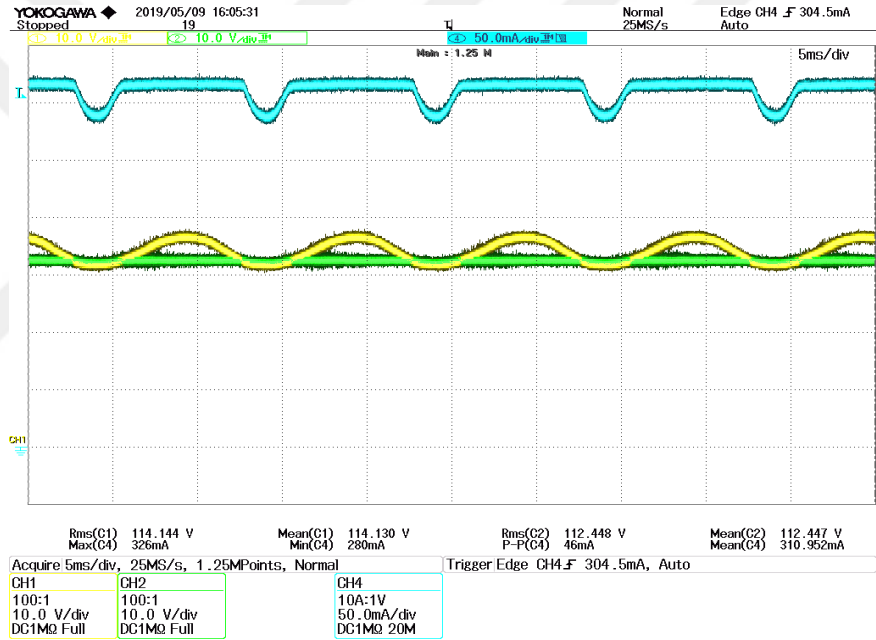
Şekil 2.11’de çıkış akım dalgalanması düşük bir akım şekli (Açık Mavi) görülmektedir. Ayrıca LED yükü üzerindeki geriliminde (Yeşil) azaldığı görülmektedir.

Seçilen adaptif lineer regülatör devresi sayesinde çıkış akım dalgalanması istenen seviyenin (<%16) altına indirilmiştir.

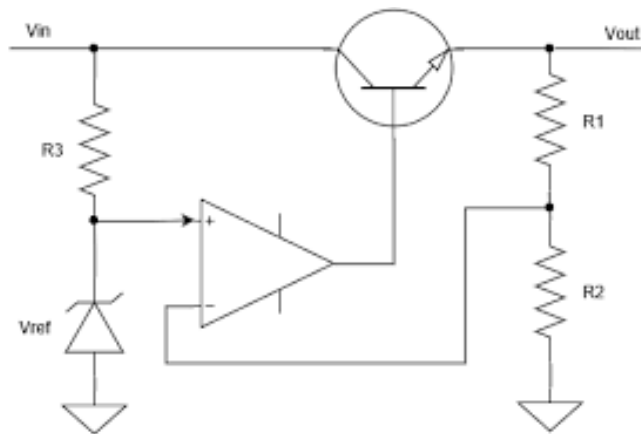
Çıkış akım dalgalanmasını azalmak için, literatürde de sıkça kullanılan lineer regülatör kullanılmıştır. Lineer regülatör kullanılmasının en önemli sebepleri; çıkış akım dalgalanmasını azaltıldığında ihtiyaç duyulan kaybın çok fazla olmaması ve nispeten diğer devre yapılarına göre daha az yer kaplamasıdır.



Şekil 2.10. Çıkış akım dalgalanması yüksek akım formu (Mavi)

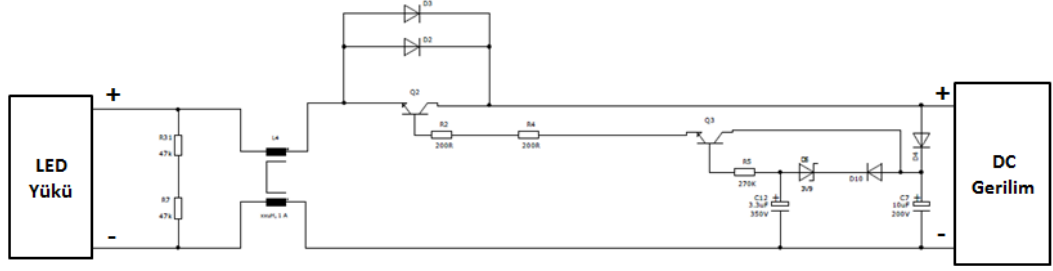


Şekil 2.11. Çıkış akım dalgalanması düşük akım formu (Mavi)



Şekil 2.12. Adaptif lineer regülâtör devresi [2]

Şekil 2.12’de konvansiyonel lineer regülatör görülmektedir. Bu regülatör; zener gerilimi tarafından belirlenen gerilim ve OPAMP sayesinde çıkış gerilimini sabitler. Giriş gerilim ne olursa olsun çıkış gerilimi zener tarafından belirlenen gerilim değerine sabitlenir. Ancak LED sürücüler sabit akım kaynağı olması sebebiyle çıkış gerilimi sadece bir değerde değildir ve değişkendir. Bu sebeple, OPAMP ve zener diyotlu yapı yerine adaptif (Giriş gerilimine göre değişen) bir yapı seçilmiştir.



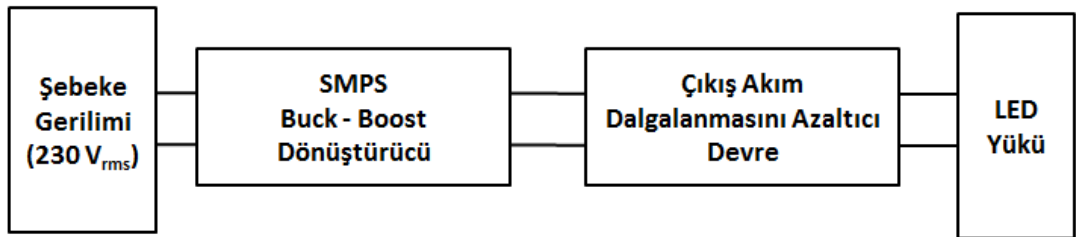
Şekil 2.13. Akım dalgalanması azaltıcı devre

Şekil 2.13’te görüldüğü üzere, transistörlü kaskat yapısı sayesinde adaptif bir devre yapı sağlanmıştır. Giriş gerilimi değiştiği durumlar da bile, lineer regülatör devresi o gerilim değerine adapte olmakta ve çıkış akım dalgalanmasını azaltmaktadır.

2.7. Devre Simülasyonları ve Sonuçlar

Önceki bölümlerde, SMPS ve lineer regülatör devreleri tasarlanmış ve bir takım değerler elde edilmiştir. Gerçek tasarıma geçilmeden önce bu değerlerin simülasyon ortamında test edilmesi, tasarımcının problemleri önceden tespit etmesini sağlayacaktır.

Bu bölümde, daha verimli bir simülasyon çalışması yapabilmek için; LED sürücü içerisinde yer alan iki ayrı devre (SMPS ve Çıkış Akım Dalgalanmasını Azaltıcı Devre) parçalı olarak incelenmiştir (Şekil 2.14).



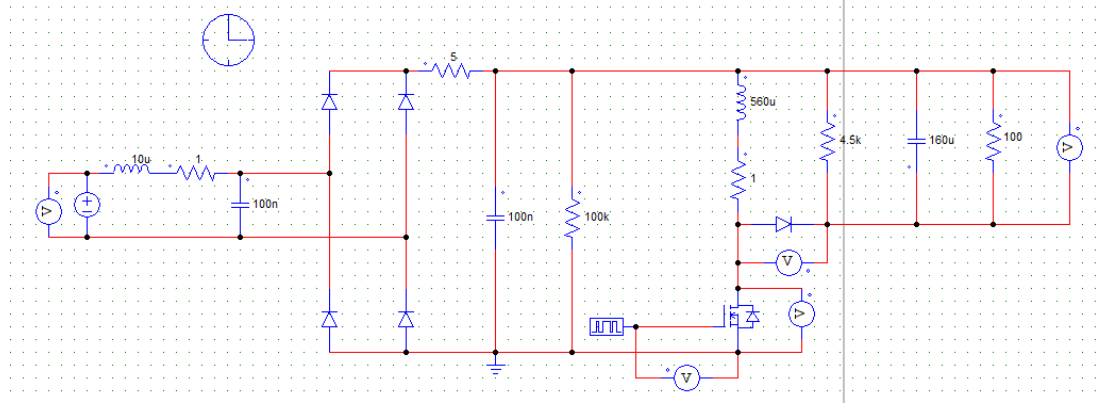
Şekil 2.14. Lineer LED sürücü blok şeması

Bu simülasyonlar birlikte verim iyileştirmek için tasarlanan endüktansın manyetik simülasyonu da “ANSYS PExpert” programı üzerinden yapılmıştır.

2.7.1. SMPS devresinin simülasyonu

Tasarlanan sürücü, COT (Constant On Time) kontrol yapısını kullanmaktadır. Bu kontrol yapısı sayesinde anahtarlama frekansı, giriş gerilimine göre değişkenlik göstermektedir. Entegrenin iç yapısı tam bilinmediği için bu kontrol yapısı yerine anahtarlama frekansı, ortalama bir frekans belirlenip sabit tutulmuştur.

Şekil 2.15’te, PSIM’de yapılam simülasyon devresi görülmektedir. Simülasyon 230 V_{RMS} giriş geriliminde, 60W çıkış gücü ve 350 mA_{DC} çıkış akımında yapılmıştır.



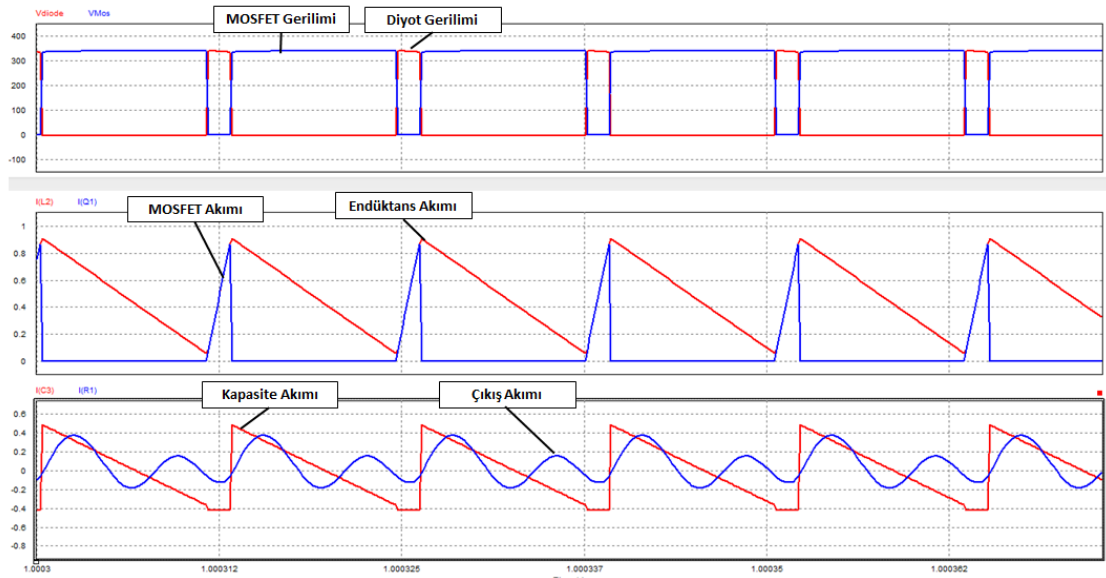
Şekil 2.15. Açık çevrim Buck – Boost dönüştürücü simülasyonu

Şekil 2.16’da simülasyondan elde edilen MOSFET, diyot ve kapasite ait akım – gerilim dalga şekilleri görülmektedir.

Tablo 2.10’da de simülasyon elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Tablo 2.11. Buck – Boost dönüştürücü simülasyon sonuçları

Parametreler	Sonuç	Parametreler	Sonuç
$P_{Giriş}$	65.4 W	Çıkış Akım Dalgalanması (%)	%118.0
$P_{Çıkış}$	62.2 W	$V_{Çıkış,DC}$	175.0 V _{DC}
Verimlilik (%)	% 94.8	$I_{Çıkış,DC}$	360 mA _{DC}
$P_{Kayıp}$	1.1 W	Güç Faktörü	0.990



Şekil 2.16. Buck – Boost dönüştürücü simülasyon görselleri

Tablo 2.11’de de matematiksel hesaplamaları yapılan, komponentlerin akım ve gerilim değerleri bulunmaktadır.

Tablo 2.12. Simülasyon sonuçlarına göre komponent akım – gerilim değerleri

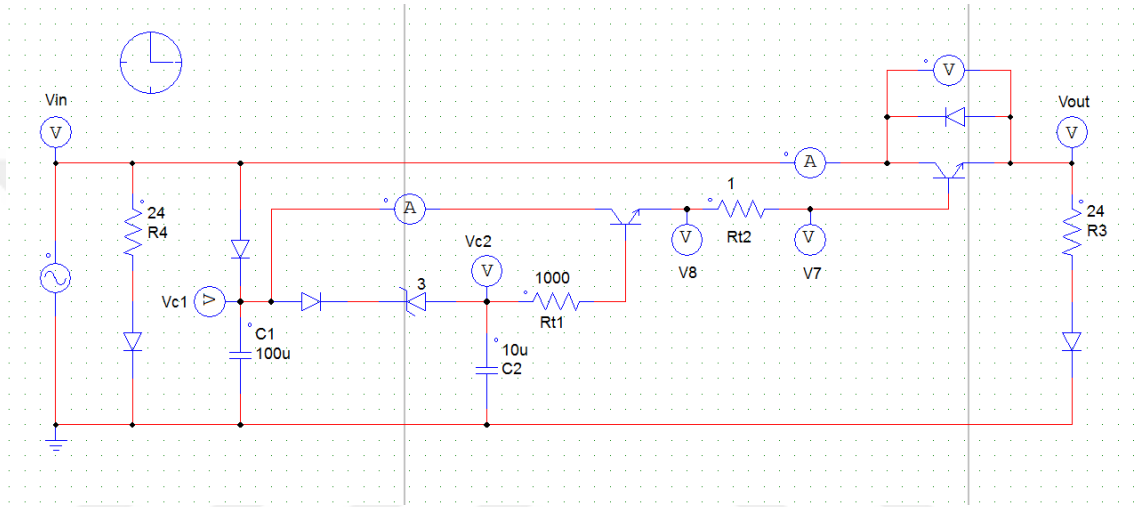
Sembol	Parametre	Değer
V _{MOS}	MOSFET Gerilimi (264 V _{RMS} giriş geriliminde)	610 V _{peak}
V _{Diode}	Diyot Gerilimi (264 V _{RMS} giriş geriliminde)	605 V _{peak}
A _{MOS_Peak}	MOSFET üzerinden geçen akımın tepe değeri	1.90 A _{peak}
A _{Diode_Peak}	Diyot üzerinden geçen akımın tepe değeri	2.05 A _{peak}
A _{MOS_DC}	MOSFET üzerinden geçen akımın DC değeri	0.180 A _{DC}
A _{Diode_DC}	Diyot üzerinden geçen akımın DC değeri	0.510 A _{DC}
A _{Ind_RMS}	Endüktans üzerinden geçen akımın RMS değeri	0.490 A _{RMS}
A _{C_RMS}	Kapasite üzerinden geçen akımın RMS değeri	0.280 A _{RMS}

2.7.2. Çıkış akım dalgalanmasını azaltıcı devresinin simülasyonu

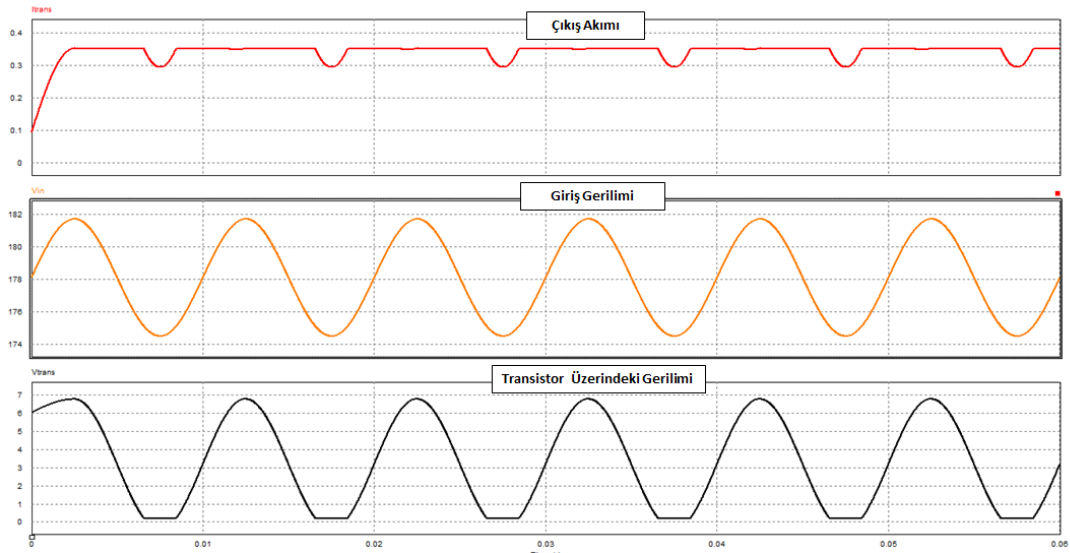
Lineer regülatöre göre adaptif bir yapıya sahip olan ve LED yükünün değişimine göre kendini ayarlaya bilen bu devre sayesinde çıkış akım dalgalanması, düşük seviyelere indirilebilmiştir. Şekil 2.17’de PSIM’de yapılmış simülasyon devresi gösterilmektedir.

Şekil 2.18’de ise giriş gerilimi, çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga şekilleri görülmektedir.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde, LED yükünün değişmesine devrenin bu duruma adapte olduğu ve çıkış akım dalgalanmasını azalttığı görülmektedir. Yapılan tasarım sonucunda, çıkış akım dalgalanması %110 seviyelerinden %18 seviyelerine indiği görülmektedir. Simülasyon ortamında, çıkış akım dalgalanması daha düşük seviyelere indirilebilir. Ancak, bu durumda sürücünün verimi düşücektir. Bu sebeple, çıkış akım dalgalanması %18.0 seviyesinde kalacak şekilde komponent tasarımı yapılmıştır. Ayrıca, diğer simülasyon sonuçları Tablo 2.12’de belirtilmektedir.



Şekil 2.17. Akım dalgalanmasını azaltıcı devre simülasyonu



Şekil 2.18. Akım dalgalanmasını azaltıcı devrenin simülasyon görselleri

Tablo 2.13. Akım dalgalanmasını azaltıcı devrenin simülasyon sonuçları

Parametreler	Sonuç	Parametreler	Sonuç
Giriş Akım Dalgalanması (%)	%110	Çıkış Akım Dalgalanması (%)	%18.0
P_{Giriş}	62.1 W	V_{Çıkış,DC}	172.0 V _{DC}
P_{Çıkış}	61.0 W	I_{Çıkış,DC}	355 mA _{DC}
Verimlilik (%)	% 98.2	P_{Kayıp}	1.1 W

2.7.3. ANSYS PExpert - endüktans güç kaybı simülasyonu

Analitik çözülemeye dayalı olan “ANSYS PExpert” simülasyonu, kayıp analizinde ve trafo tasarımında ön görülemeyen hataların tespiti için önemlidir. Bunlar ile birlikte, seçilen tellerin trafoya sığıp sığmayacağı ve hava boşluğunun kontrolü de çok hızlı yapılabilmektedir.

Tablo 2.13’te endüktans için belirlenen parametreler bulunmaktadır.

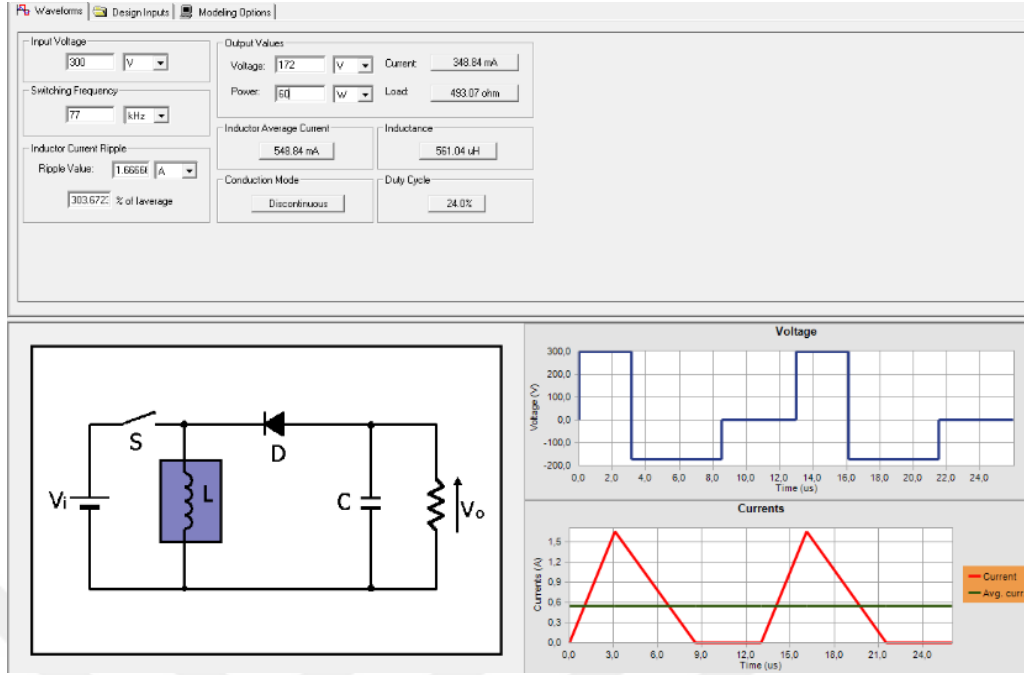
Tablo 2.14. ANSYS PExpert simülasyon parametreleri

Sembol	Parametre	Değer
Lm	Endüktans Değeri	560 µH
Nüve	EPCOS N87 EFD-25/13/9	-
Karkas	EFD-25/13/9 5 + 5 Pin	-
Np	Endüktans Sarım Sayısı	61
Na	Yardımcı Sarım Sayısı	15
-	Endüktans Tel Çapı	0.50 mm
-	Yardımcı Sarım Tel Çapı	0.15 mm

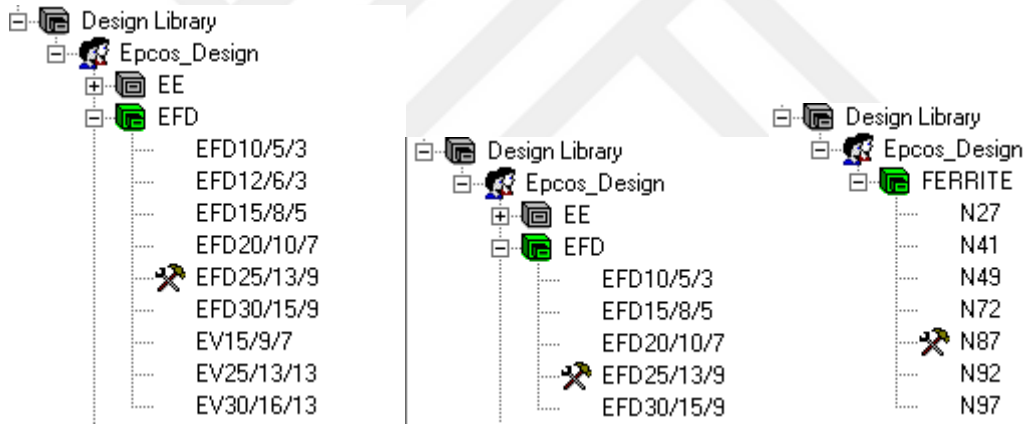
PSIM simülasyonunda belirlenen parametreler (Giriş gerilimi, frekans, çıkış gerilimi ve güç) PExpert programına girilmiştir.

Elektriksel veriler girildikten sonra, Tablo 2.13’te belirtilen endüktans bilgileri de sisteme girilmiştir.

Bu veriler doğrultusunda simülasyon yapıldığında, emaye tel olarak 0.50 mm tel yerine 20 x 0.10mm Litz teli kullanmanın verime daha olumlu etkisi olacağı görülmüştür. Bununla birlikte manyetik akı yoğunluğunun 0.275 Tesla olması ve nüve çeşidi olarak EFD-25/13/9 seçilmesi uygun görülmüştür (Şekil 2.21).



Şekil 2.19. ANSYS PExpert simülasyonu

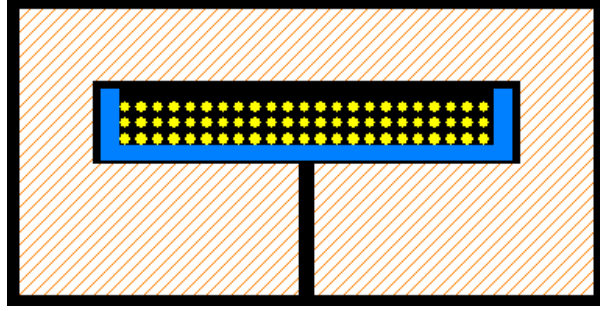


Şekil 2.20. ANSYS PExpert malzeme seçimi

Core [Name]	Wire [Name]	Volume...	Turns	Temp...	Gap [...]	Paral...	Power Losses [w]	Window Filling [%]
EFD25/13/9	LITZ_1*20*0.1	3306.00	78	42.59	0.9272	1	1.0785	38.12
EFD25/13/9	AWG24	3306.00	69	44.18	0.6948	1	1.1647	43.82

Şekil 2.21. 0.50 mm emaye tel ve 20 x 0.10 mm litz teli kayıp analizleri

20 x 0.10 mm kullanılmış endüktans tasarımı detaylı bir şekilde incelendiğinde; nüve kayıplarının, bakır kayıplarından fazla olduğu görülmüştür. Daha verimli bir endüktans için nüve ve bakır kayıplarının eşit olduğu bilirse de bazı elektriksel kısıtlamalardan dolayı en verimli endüktans tasarımı bu şekilde yapılmıştır. Ayrıca, hava boşluğunun da kabul edilebilir seviyede (0.972 mm) olduğu görülmektedir.



Şekil 2.22. 20 x 0.10 mm litz telli tasarımın kesit görseli

Şekil 2.23'te 20 x 0.10 mm Litz teli ile sarılmış endüktansın 2-D mekanik yapısı görülmektedir. Ana sarımın, karkasa kolayca sığıdığı görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda trafo bilgileri Tablo 2.14'teki gibi güncellenmiştir.

Tablo 2.15. Endüktans tasarım parametreleri

Sembol	Parametre	Değer
Lm	Endüktans Değeri	560 μ H
Nüve	EPCOS N87 EFD-25/13/9	-
Karkas	EFD-25/13/9 5 + 5 Pin	-
Np	Endüktans Sarım Sayısı	62
Na	Yardımcı Sarım Sayısı	15
-	Endüktans Tel Çapı	20 x 0.10 mm
-	Yardımcı Sarım Tel Çapı	0.15 mm



Şekil 2.23. 20x0.10 mm litz telli tasarımın kayıp analizi

3. DENEYSEL ÖLÇÜMLER VE SONUÇLAR

Bu bölümde, tasarlanan ve simülasyon ortamında incelenen lineer LED sürücü gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşme yapılırken; komponent seçimlerinden, PCB tasarımında dikkat edilen noktalardan ve yapılan testlerden bahsedilmiştir.

3.1. Komponent Seçimi ve PCB Tasarımı

Yapılan matematiksel tasarım, simülasyon çalışmaları kadar komponent seçimi ve PCB tasarımı da çok önemlidir. İhtiyaç olandan daha düşük değerlikli komponent seçimi, devrenin kısa sürede bozulmasına neden olurken; daha yüksek değerlikli komponent seçimi de, devrenin büyümesine ve maliyetinin artmasına neden olacaktır.

Kötü bir PCB tasarımı da devrenin sağlıklı çalışmasını etkileyebileceği gibi aynı zamanda standart testlerinden de geçmesini engelleyecektir. Bu sebeple, komponent seçimi ve PCB tasarımına da en az tasarım kadar önem verilmelidir.

3.1.1. Güç elemanlarının seçimi

MOSFET, çıkış diyotu, endüktans gibi elemanlar güç elemanı olarak nitelendirilmektedirler. Bu elemanların seçimi yapılırken, tasarımdan ve simülasyondan elde edilen veriler kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Komponent seçimleri

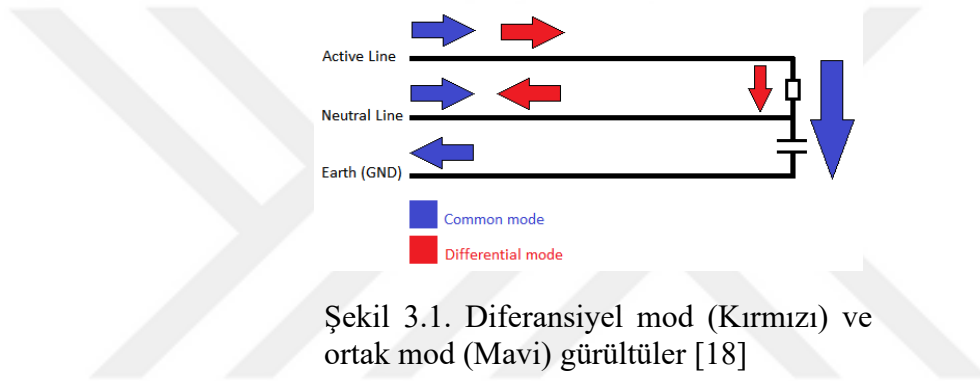
Komponent	Maks. Akım	Maks. Gerilim	Seçilen Komponent
MOSFET	1.90 A _{peak}	610 V _{peak}	7A 650V MOSFET
Diyot	2.05 A _{peak}	605 V _{peak}	3A 800V Hızlı Diyot
Çıkış Kapasitesi	0.280 A _{RMS}	180 V _{peak}	2 tane 250V 82µF Elektrolitik Kapasite
Endüktans	0.49 A _{RMS}	-	560 µH EFD-25/13/9 N87
Köprü Diyot	300 mA _{RMS}	375 V _{peak}	4 x 1000V 1A Yavaş Diyot
Transistor	350 mA _{DC}	10 V _{peak}	3A 50V BJT Transistor

3.1.2. EMC filtrelerinin seçimi

Bölüm 2’de belirtilen standart testlerden geçebilmek bazı ekstra devre ve koruma elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde ihtiyaç duyulan komponentler ve neden ihtiyaç duyulduğu hakkında bilgi verilecektir.

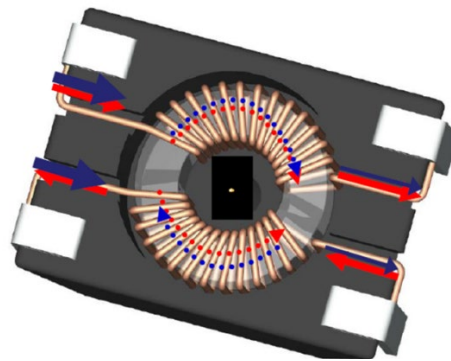
3.1.2.1. Ortak mod gürültü için filtre seçimi

Gürültüler ortak mod ve diferansiyel mod gürültü olarak ikiye ayrılmaktadır. Ortak mod gürültüler, faz – nötrden toprağa olan gürültüler olarak adlandırılırken; diferansiyel mod gürültüler, faz ve nötr arasındaki gürültü olarak adlandırılmaktadır.



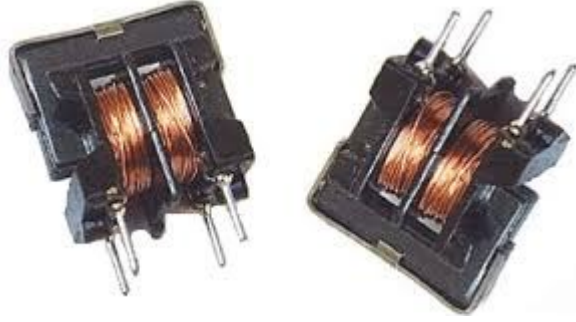
Şekil 3.1. Diferansiyel mod (Kırmızı) ve ortak mod (Mavi) gürültüler [18]

Ortak mod gürültüleri azaltmanın birkaç yolu bulunmaktadır. Bu yollardan en çok tercih edileni ortak mod manyetik filtrelerdir. Şekil 3.2’de ortak mod filtreler ve çalışma mantıkları görülmektedir. Buna göre gürültüler aynı yönlü gelmesi durumunda, gürültüler manyetik nüve içerisinde kayıp verilerek yok edilir. Gürültülerin farklı yönde gelmesi durumunda da manyetik sistem açık devre olacak ve çalışmayacaktır [18].



Şekil 3.2. Ortak mod filtre çalışma mekanizması [18]

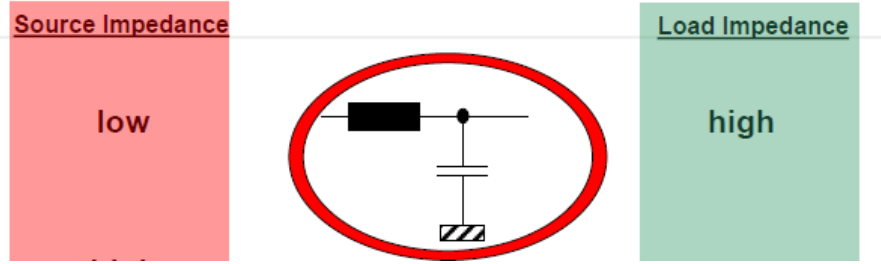
Özellikle iletimsel yayılım (Conducted Emission) testinde, düşük frekans bandındaki ortak mod gürültülerin bastırılmasını sağlamaktadır. Tasarımda kullanılacak düşük frekans ortak mod filtre de Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. UU9.8 ortak mod filtre

3.1.2.2. Diferansiyel mod gürültü için filtre seçimi

Diferansiyel mod gürültülerin bastırılması için tercih edilmektedir. Şekil 3.4'te devrede kullanılan "LC" filtre yapısı görülmektedir.



Şekil 3.4. LC filtre yapısı

Özellikle iletimsel yayılım (Conducted Emission) testinde, düşük ve orta frekans bandındaki diferansiyel mod gürültülerin bastırılmasını sağlamaktadır. Şekil 3.5'te kullanılan endüktans filtre ve kapasite gösterilmektedir [18].



Şekil 3.5. LC filtre için endüktans ve kapasite görselleri

3.1.2.3. EMI kapasite seçimi

Diferansiyel ve ortak mod gürültülerin bastırılmasını sağlayan EMI kapasiteleri (X ve Y kapasiteleri), kullanım yerine göre gürültüleri bastırabilmektedir.

Özellikle iletimsel yayılım (Conducted Emission) testinde, düşük, orta frekans bandındaki diferansiyel ve ortak mod gürültülerin bastırılmasını sağlamaktadır. Tasarlanan devrede, faz – nötr arasında kullanılmasından dolayı diferansiyel mod gürültüleri bastırması için kullanılmıştır [18].



Şekil 3.6. EMI kapasiteleri

3.1.2.4. Varistör seçimi

Varistör (Varistor – Variable Resistor), üzerine düşen gerilime göre direnci değişen bir komponenttir (Şekil 3.7). Üzerine düşen gerilime göre değişken direnç gösterir ve böylece devreyi bozabilme ihtimali olan gerilimi üzerine alarak sönümler. Özellikle Burst ve Surge gerilim testlerinden geçebilmek için devrede kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Varistör

Ortak mod gürültüleri azaltmanın birkaç yolu bulunmaktadır. Bu yollardan en çok tercih edileni ortak mod manyetik filtrelerdir. Şekil 3.7’de ortak mod filtreler ve çalışma mantıkları görülmektedir. Buna göre gürültüler aynı yönlü gelmesi durumunda, gürültüler manyetik nüve içerisinde kayıp verilerek yok edilir.

Gürültülerin farklı yönde gelmesi durumunda da manyetik sistem açık devre olacak ve çalışmayacaktır [18].

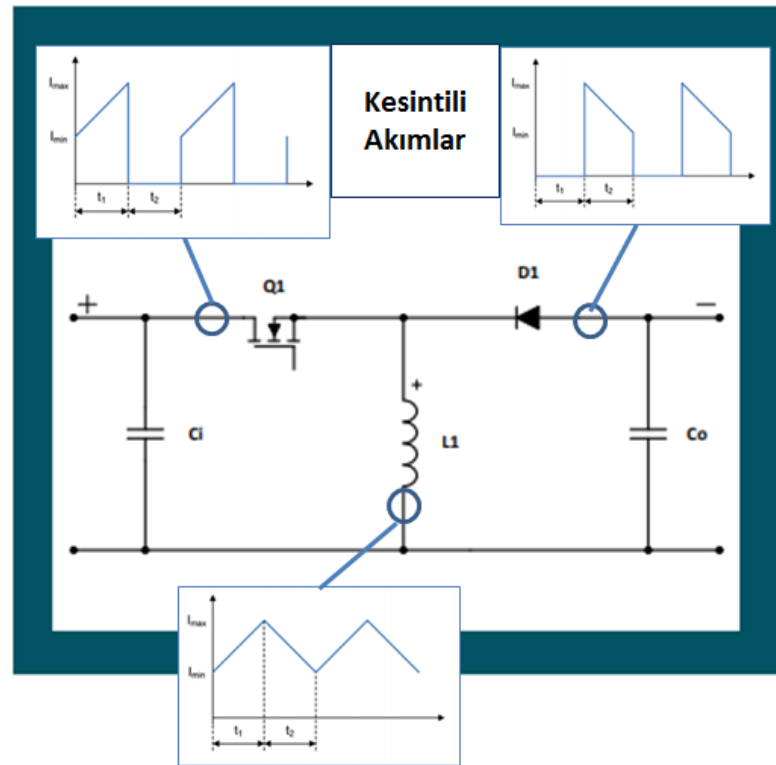
3.1.3. PCB tasarımı

Devrenin, sağlıklı bir şekilde çalışması ve standart testlerinden geçmesi için en kritik tasarım süreçlerinden bir tanesidir. Seçilen komponentler, filtreler kadar bunların nasıl ve nereye yerleştirileceği; devrenin kaderini belirlemektedir.

PCB tasarımına başlamadan önce;

- Devrede kullanılan topoloji ve kesintili akımın geçtiği bölgeler
- Devre ölçüleri (En x Boy x Yükseklik)
- Devre komponentleri ve büyüklükleri
- Kaybı yüksek olan komponentlerin belirlenmesi ve termal yönetimi

Detaylı bir şekilde incelenmelidir.



Şekil 3.8. Buck – Boost dönüştürücünün kesintili akımları [7]

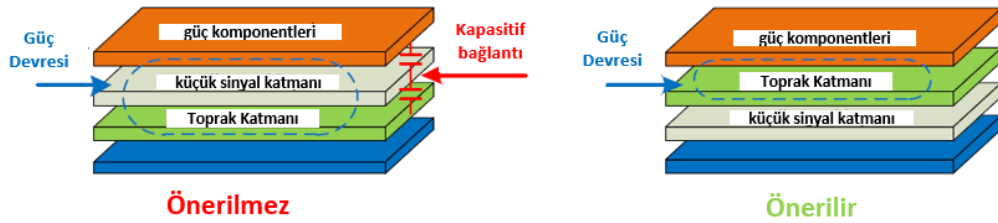
Topoloji olarak Buck – Boost dönüştürücü kullanılmaktadır. Buck-Boost converter doğası gereği, giriş ve çıkış bölgelerindeki akımlar kesintilidir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi, girişten çekilen ve çıkışa verilen akımların di/dt (Yükselme – kesime gitme hızları) çok yüksektir. Kesintili akımların geçtiği bu hatlar, PCB tasarımında oldukça kısa yapılmalıdır. Aksi durumda, tasarlanan PCB gürültü yayacak; EMC testlerinden olan RE ve CE testlerinde karşımıza çıkacaktır.

Kayıbı yüksek olan komponentler, paket bilgileri ve simülasyonlardan elde edilmiş sonuçları aşağıdaki gibidir. Buna göre ısınacak komponentler birbirinden ve elektrolitik kapasiteler gibi ürün ömrünü belirleyen komponentlerde olabildiğince uzak tutulacaktır. Ayrıca seçilen ve ısınan SMD komponentler etrafına da bir miktar bakır alan soğutucu olarak yerleştirilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. En çok kayıp veren komponentler

Komponent	Paket	Kayıp
Transistör	DPAK	1.1 W
MOSFET	DPAK	0.8 W
Diyot	DO-201AD	0.7 W
Trafo Nüve	EFD-25	0.7 W
Trafo Sargı	EFD-25	0.3 W
LC Filtre Endüktansı	Drum Choke D8	0.2 W

Bununla birlikte, güç aktarımı yapılan bölgelerin elektromanyetik yayılım yapmasını engellemek için toprak yüzeyi olabildiğince yakın ve geniş tutulmuştur. Şekil 3.9’da de çok katmanlı bir yapıda, toprağın güç hattına yakın olmasını önermiştir [18].



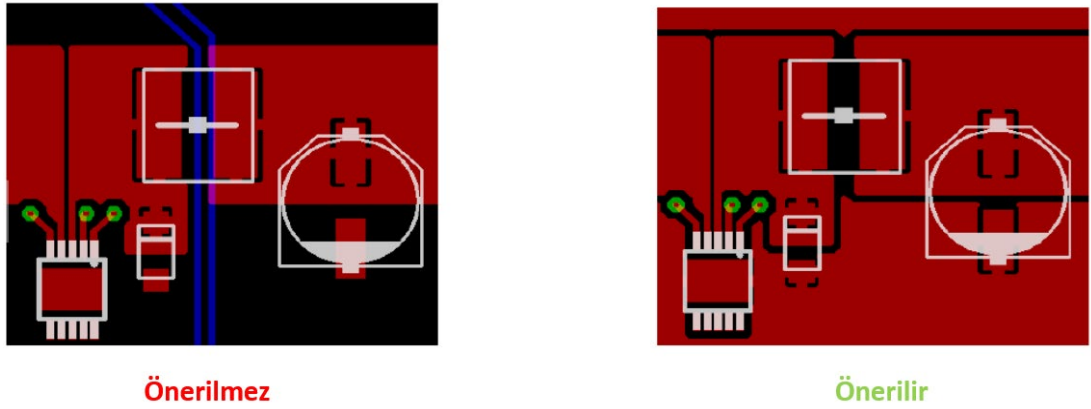
Şekil 3.9. Örnek toprak katmanı [18]

Yollar olabildiğince kısa tutulmalı ve kapasitif bağlantıyı engellemek için doğru komponent yerleşimi yapılmalıdır. Şekil 3.10’da görüldüğü üzere yüksek frekanslı gürültüler, filtre üzerinden değil; kapasitif bağlantı üzerinden gidebilir. Doğru bir tasarım yapıldığında da, gürültüler filtre tarafından bastırılacaktır [18].



Şekil 3.10. Örnek komponent yerleşimi

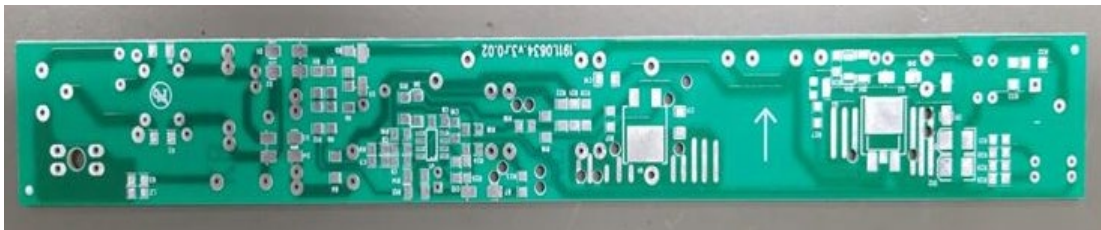
Kritik sinyal hatlarını, endüktans gibi yayılım yapan elemanların altından ve yakınından geçirmemek gereklidir. Aksi halde sinyal hattında istenmeyen sonuç doğuracak gürültüler oluşturabilir. Bununla birlikte kullanılmayan PCB yüzeyleri, toprak ile kaplanmalıdır [18].



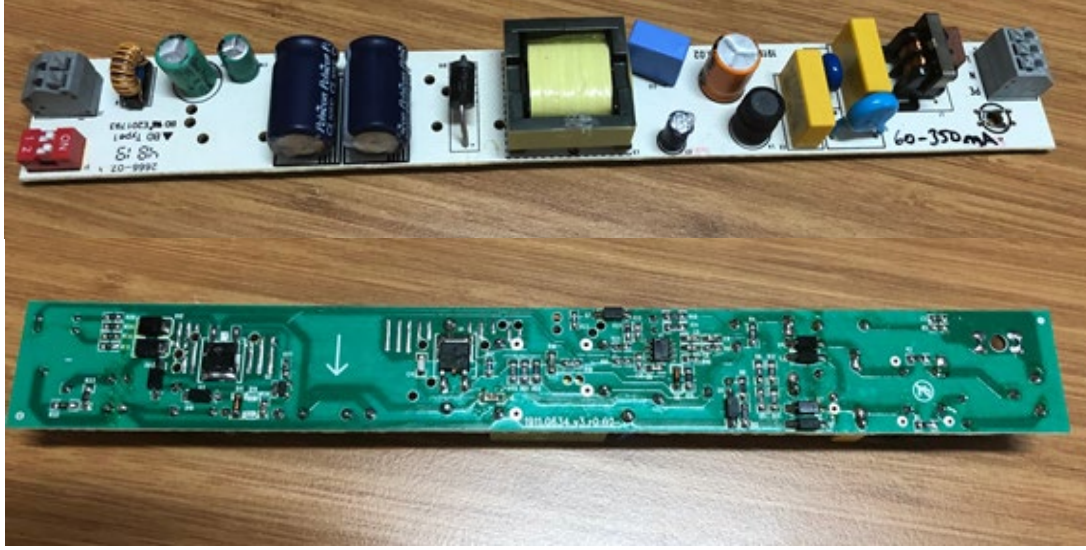
Şekil 3.11. Örnek toprak bağlantısı [18]

3.1.4. Linear LED sürücünün tasarım çıktıları

Bölüm 3.1'de seçilen komponentler ve bahsedilen tasarım bilgileri doğrultusunda tasarlanan 60W 350mA LED sürücünün PCB görüntüsü Şekil 3.13'te görülmektedir.



Şekil 3.12. Linear sürücü PCB'sinin komponentli yüzeyi



Şekil 3.13. Dizgisi yapılmış 60W 350mA lineer LED sürücü

3.2. Elektriksel Testler ve Osiloskop Görüntüleri

LED sürücüler, anahtarlama mod sabit akımlı güç kaynakları ailesine mensuptur. Diğer sabit gerilim kaynaklarına göre, daha farklı fonksiyonel testlere tabii tutulmaktadır.

LED sürücülerden beklenti, şebeke ve yük değişimlerine karşı bağımsız olması ve her zaman beyan edilen akımı vermesidir. Bununla birlikte verimli olması, güç yoğunluğunun düşük olması, harmonik distorsiyonun belli bir limitin altında olması ve bölüm 4’te bahsedilen korumaları sağlıyor olması gerekmektedir.

Şekil 3.13’te 60W 350mA lineer LED sürücü için hazırlanmış test düzenekleri görülmektedir. Tablo 3.3’te 60W 350mA LED sürücünün yapılan fonksiyonel testler ve elektriksel sonuçları görülmektedir. Şekil 3.14’te, MOSFET ve akım okuma bölgelerinden alınan sinyalin osiloskop görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.15’te de, sürücünün çıkış gerilimi ve çıkış akımı gösterilmiştir.

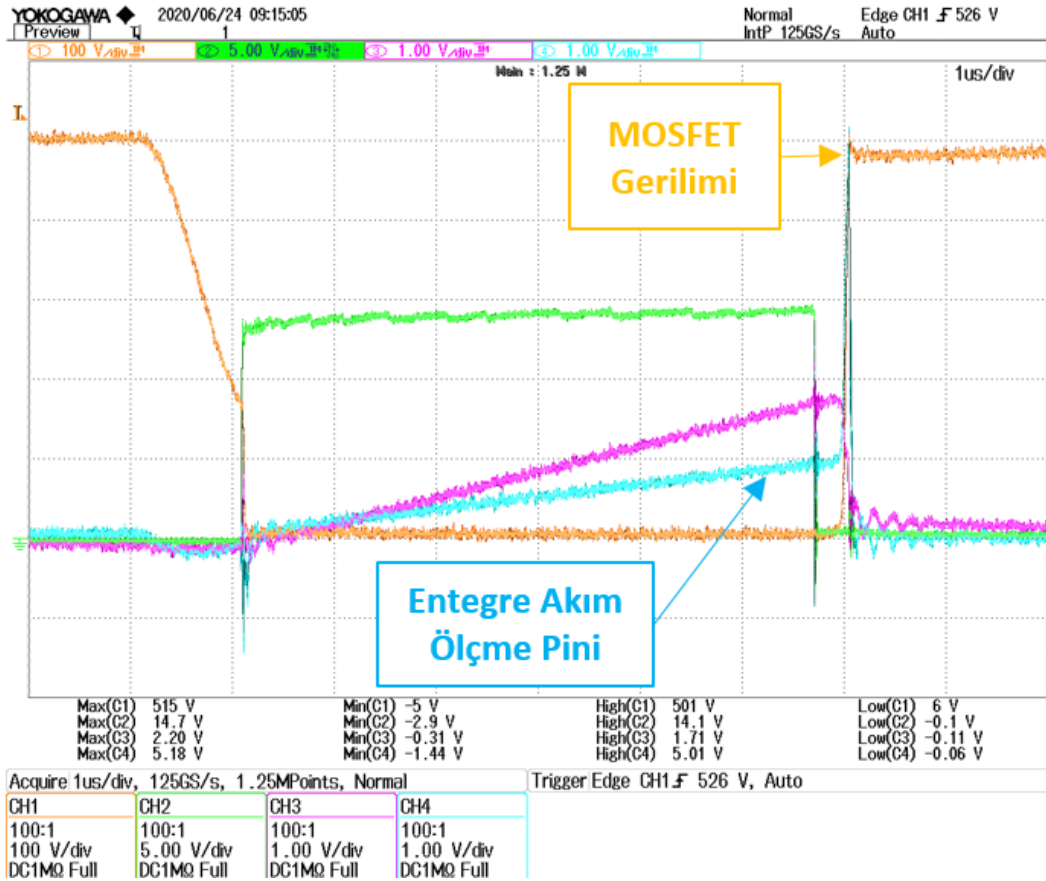
Tablo 3.3. Fonksiyonel ve elektriksel ölçümler

GÜÇ KAYNAĞI ÖLÇÜM SONUÇLARI						
Cihaz		60W 350mA Lineer LED Sürücü				
Ölçüm Türleri	Özellikler	Test Koşulları	Min.	Nom.	Maks.	Sonuç
	Çıkış Gerilimi [V]	$V_{IN} = 230 V_{AC}$ Load = 170	168,53	170	170	0,84%
	Çıkış Akımı [mA]		316		355	368
	Çıkış Gücü [W]	V_{RMS}	59,96			
	Güç Faktörü	Load = 62 LED	0,995	0,993	0,991	
(198V / 230V / 264V)						

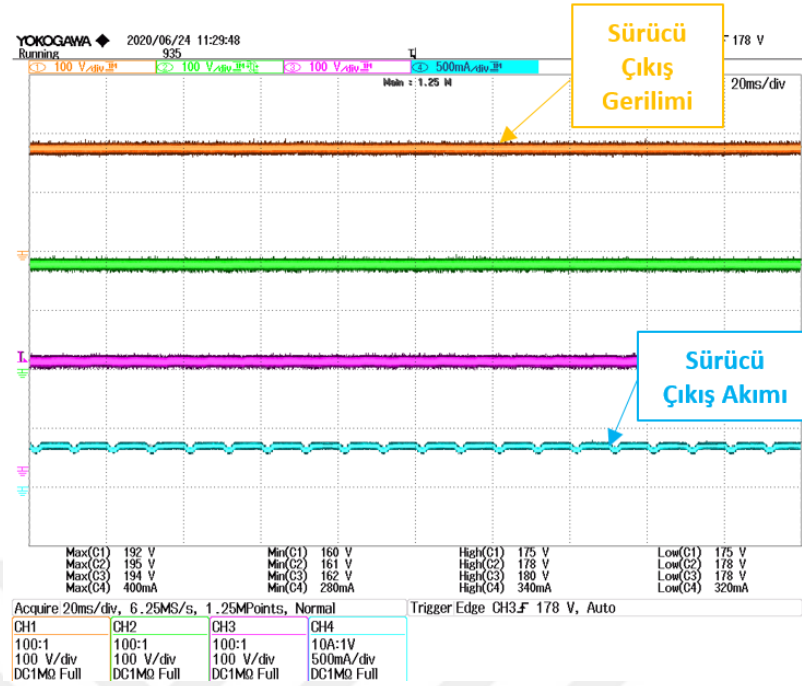
Tablo 3.3 (Devam) Fonksiyonel ve elektriksel ölçümler

Aktif Güç [W]	64,79
Görünür Güç [VA]	65,23
Verimlilik [%]	92,54%
Güç Yoğunluğu [W/cm³]	0,43
Akım THD [%]	4,40%
Gerilim THD [%]	3,06%

Elektriksel test sonuçları incelendiğinde hedeflenen değerlere ulaşıldığı görülmektedir. Verimlilikte %92.54 ve güç yoğunluğunda 0.43 W/cm³ değerlerine ulaşarak; hedeflenen değerlerin (%87.0 ve >0.30 W/cm³) üzerine çıkmıştır. Bununla birlikte, akım THD'sinde <%10.0 ve çıkış akım dalgalanmasında <%16.0 koşulları sağlanmıştır.



Şekil 3.14. MOSFET gerilimi (Turuncu) ve entegrenin akım ölçme pin gerilimi (Açık mavi)



Şekil 3.15. Sürücü çıkış gerilimi (Turuncu) ve çıkış akımı (Açık mavi)

3.3. EMC ve LVD Testleri

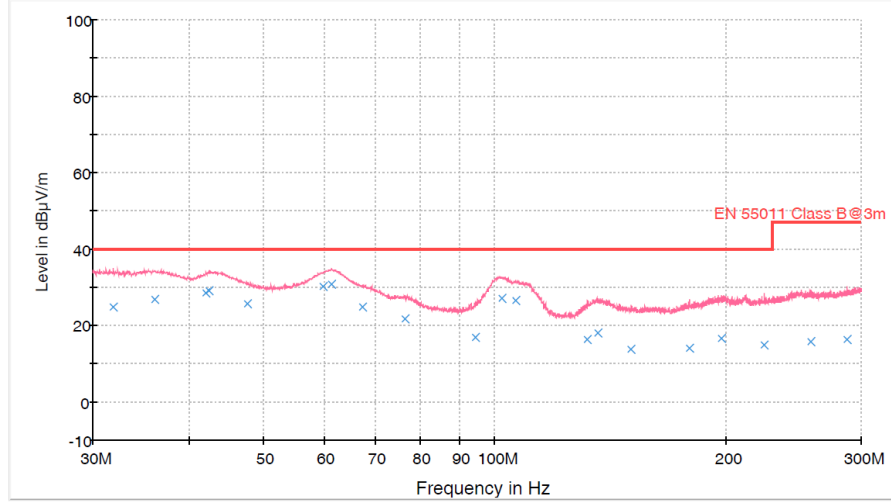
Standartlar arasında en zorlu testler EMC ve LVD testlerinde bulunmaktadır. Bu testler, sadece elektriksel ve PCB tasarımına değil aynı zamanda komponent seçimine de bağlıdır. Yanlış seçilmiş bir komponent, ilgili testlerden kalınmasına neden olabilir.

3.3.1. EMC testleri

Bölüm 1’de bahsedildiği gibi toplam 12 adet EMC testleri bulunmaktadır. Ancak, tasarlanan 60W 350mA lineer LED sürücüyeye testlerin bir kısmı uygulanmıştır.

3.3.1.1. Işınsal emisyon testi (radiated emission)

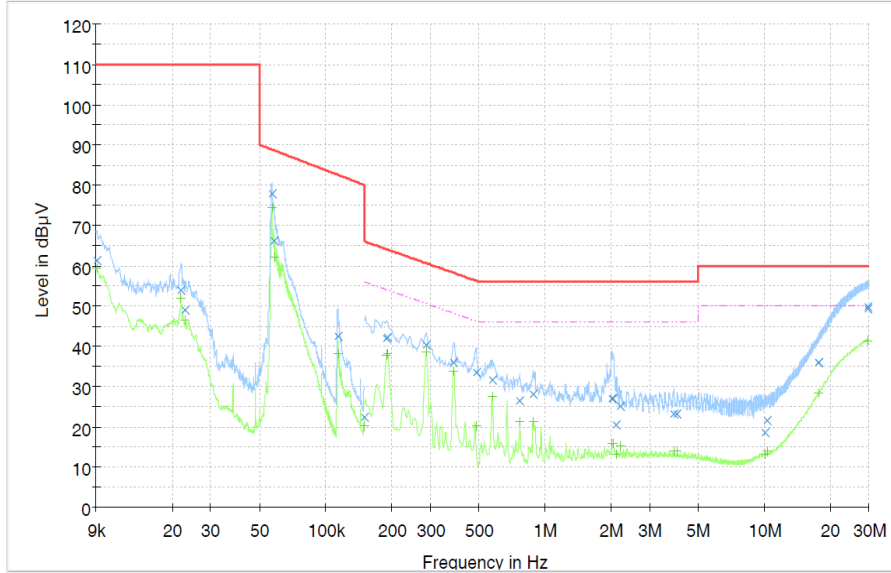
Şekil 3.16’te, 60W 350mA lineer LED sürücünün, ışınsal emisyon sonuçları görülmektedir. EN 55015 Class B standartına göre yapılan ölçümde; LED sürücü, limitlerin (30 – 240 MHz arası 40 db μ V; 240 – 300 MHz arası 47 db μ V) altında kalmış ve testten başarılı bir şekilde geçmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.16. 60W 350mA lineer LED sürücü ışınsal emisyon sonucu

3.3.1.2. İletimsel emisyon testi (conducted emission)

Şekil 3.17’te, 60W 350mA lineer LED sürücünün, iletimsel emisyon sonuçları görülmektedir. EN 55015 Class B standartına göre yapılan ölçümde; LED sürücü, limitlerin (9 – 50 kHz arası 110 dBµV; 50 – 180 kHz arası 90 – 70 dBµV; 180 – 500 kHz arası 65 – 55 dBµV; 0.5 – 5 MHz arası 55 dBµV; 5 – 30 MHz arası 60 dBµV) altında kalmış ve testten başarılı bir şekilde geçmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.17. 60W 350mA lineer LED sürücü iletimsel emisyon sonucu

3.3.1.3. Surge gerilim testi

EN 61000-4-2 standartına göre yapılan bu test sonucunda, 60W 350mA lineer LED sürücü 2 kV gerilime dayanmış ve testten başarılı bir şekilde geçmiştir. Test 230 V_{RMS} giriş geriliminde ve tam yükte yapıldı. Test boyunca sürücüde herhangi bir arızalanma görülmedi.

3.3.1.4. Burst (EFT) gerilim testi

EN 61000-4-4 standartına göre yapılan bu test sonucunda, 60W 350mA lineer LED sürücü 1 kV gerilime dayanmış ve testten başarılı bir şekilde geçmiştir. Test 230 V_{RMS} giriş geriliminde ve tam yükte yapıldı. Test boyunca sürücüde herhangi bir arızalanma görülmedi.

3.3.1.5. Giriş gerilim çökmesi (DIPS) testi

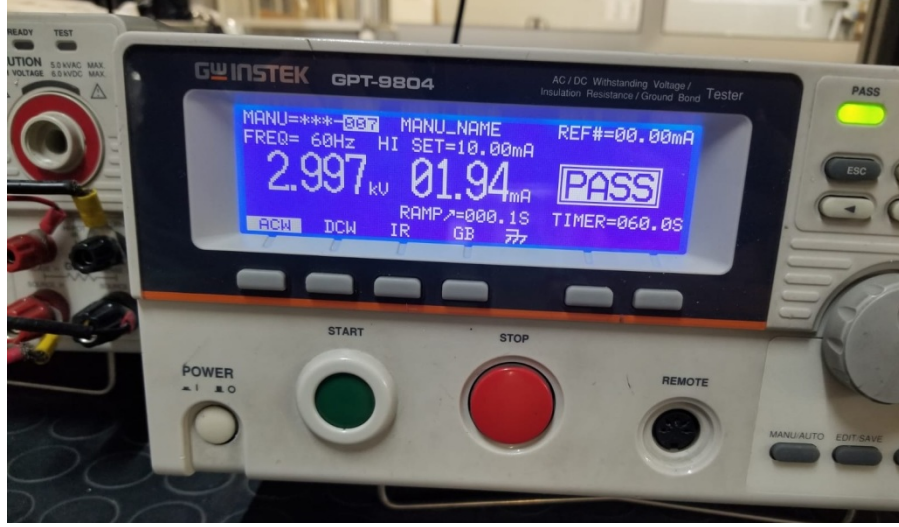
EN 61000-4-11 standartına göre yapılan bu test sonucunda, 60W 350mA lineer LED sürücü testten başarılı bir şekilde geçmiştir. Test 230 V_{RMS} giriş geriliminde ve tam yükte yapıldı. Test boyunca sürücüde herhangi bir arızalanma görülmedi.

3.3.2. LVD testleri

LVD testleri, EMC testlerinden farklı olarak test yapılacak ürüne göre çok büyük değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada da, LVD testleri içerisinde yer alan ve elektriksel güvenlik testlerine giren yüksek gerilim topraklama testi yapılmıştır.

3.3.2.1. Yüksek gerilim toprak bağlantı testi

60W 350mA lineer LED sürücüsüne "Yüksek Gerilim - Toprak Bağlantı" testi yapılmıştır. Bu teste göre; faz ve nötr kısa devre edilip faz-nötrden toprak hattına 3000 V_{ac} gerilimi 60 saniye boyunca uygulanmıştır. Test boyunca sürücüde arızalanma patlama çatlama görülmemiş ve testten başarılı bir şekilde geçmiştir. Şekil 3.18'da test sonucu görülmektedir.



Şekil 3.18. Yüksek gerilim toprak bağlantı test sonucu

3.4. Termal Testler

Tasarımın, beyan edilen ortam koşulları altında çalışması gereklidir. Sürücünün bu durumu karşılayabilmesi için yarı iletken başta olmak üzere diğer tüm kritik komponentlerinin belirtilen maksimum sıcaklık değerinin altında olması gereklidir.



Şekil 3.19. Termal testlerin yapıldığı iklimlendirme kabini

Tasarlanan 60W 350mA LED sürücü maksimum 50°C'de çalışacağı beyan edilmiştir. Bu sıcaklık değerinde, 230 Vrms giriş gerilimi ve tam yükte sürücünün kritik komponent sıcaklığı Tablo 3.4'teki gibidir.

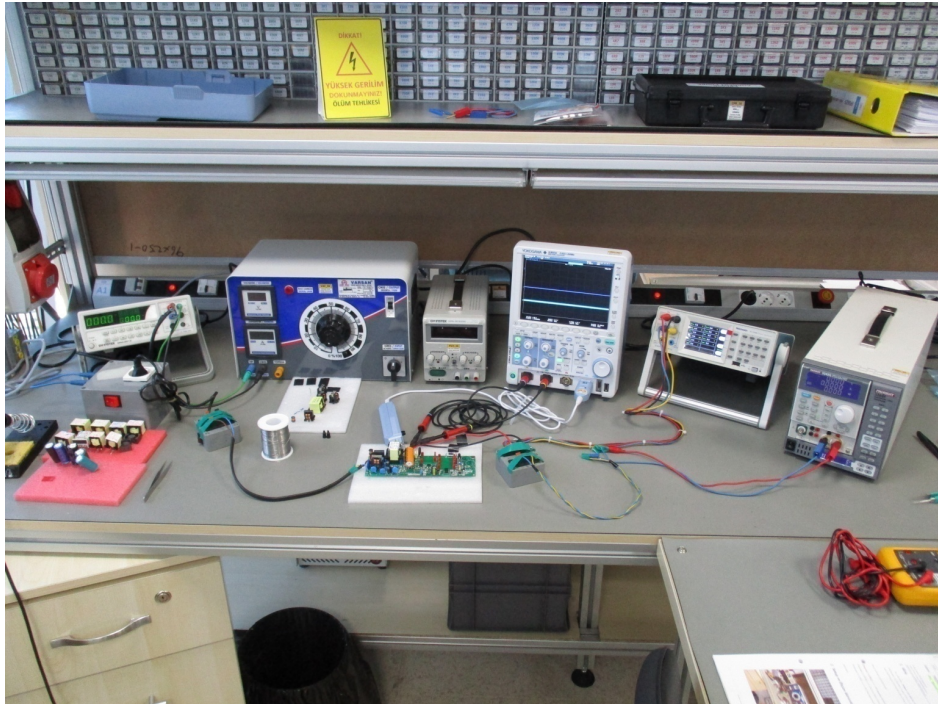
Tablo 3.4. Termal test sonuçları

Komponent	Jonksiyon Sıcaklık Değeri	Ölçüm Alınan Bölge	Maksimum Sıcaklık Değeri
Transistör	110°C	Kılıf üstü	155°C
MOSFET	97°C	Kılıf üstü	155°C
Diyot	93°C	Kılıf üstü	155°C
Trafo Nüve	76°C	Nüve – sargı arası	125°C
Trafo Sargı	70°C	Sargının üst tarafı	125°C
Vcc Elektrolitik Kapasitesi	77°C	Üst yüzey	105°C
Çıkış Elektrolitik Kapasiteleri	75°C	Üst yüzey	105°C

Tablo 3.4 incelendiğinde, bütün komponentlerin jonksiyon sıcaklık değerleri, üretici firma tarafından belirlenen dayanabilecekleri maksimum sıcaklık değerinden düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ürün, beyan edilen en yüksek sıcaklık değerinde (50°C) bile çalıştırılması durumunda kararlı bir şekilde çalışmaya devam edecektir.

3.5. Ömür Tespit Çalışmaları

Bölüm 1’de bahsedilen ömür testinin yapılabilmesi için gerekli tüm aşamalar bu bölüm içerisinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.20’de kapasite akımını ölçmek için yapılan düzenek görülmektedir.



Şekil 3.20. Ömür testi için ölçüm düzeneği

Lineer LED sürücü’de kullanılan elektrolitik kapasite üzerinden geçen akımlar ölçülmüş ve 100 kHz’e aktarılmış akım değerlerinin, nominal akım değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.21’de çıkış elektrolitik kapasitesinden geçen akım görülmektedir. Buna göre, ölçülen akım değeri, kapasitenin nominal akım değerinden düşük olduğu için ‘Arrhenius Kuralı’na göre Denklem 3.1 kullanılabilir.



Şekil 3.21. Çıkış elektrolitik kapasitesi üzerinden ölçülen akım

$$\text{Life Time} = 2^{\frac{T_{\text{rated}} - T_{\text{cap_case}}}{10}} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de göre, kapasitenin üst yüz sıcaklığı ve nominal sıcaklık değeri belirlenmelidir. Tablo 3.4’te de, elektrolitik kapasitenin; 50°C, 230 Vrms giriş gerilimi ve tam yükteki tepe sıcaklığı görülmektedir.

Tablo 3.5. Elektrolitik kapasitelerin ömür hesaplamaları

Komponent	Jonksiyon Sıcaklık Değeri	Maksimum Sıcaklık Değeri	Nominal Ömür	Kapasite Ömrü
Vcc Elektrolitik Kapasitesi	77°C	105°C	10 000 saat	69 644 saat
Çıkış Elektrolitik Kapasiteleri	75°C	105°C	10 000 saat	80 000 saat

60W 350mA lineer LED sürücü de kullanılan elektrolitik kapasitelerin ömrü Tablo 3.5'teki gibidir. Buna göre en düşük ömre sahip elektrolitik kapasite, ürün ömrünü belirleyeceği için 69 644 saat ömre sahip Vcc elektrolitik kapasitesi, ürünün ömrünü vermektedir. Dolayısıyla 60W 350mA lineer LED sürücünün ömrü; 50°C sıcaklıkta, 230 V_{RMS} giriş geriliminde ve tam yükte 69 644 saattir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, aydınlatma ürünlerinden olan lineer formdaki armatürler için tasarlanmış; yüksek verimli ve güç yoğunluğu yüksek LED sürücü tasarımı yapılmıştır. Bununla birlikte, LED sürücünün CE deklarasyonu alabilmesi gereken EMC ve LVD testleri yapılmıştır.

Tezin birinci bölümünde, LED sürücü teknolojisinin tarihsel gelişmesi ve çeşitlerinden bahsedilmiştir. Bununla birlikte LED sürücü için daha önce yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde, LED sürücüler hakkında genel bilgi, anahtarlamalı mod güç kaynaklarında kullanılan topolojiler ve LED sürücüler için önemli parametreler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte, lineer armatürler, bu tip armatürler içerisinde kullanılan LED sürücüler ve CE deklarasyonu için gereken standartlar hakkında da bilgi verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde, tasarlanacak LED sürücü için piyasadan toplanan isterler paylaşılmış ve konsept tasarımı yapılmıştır. Bölüm içerisinde, seçilen entegre, topoloji, manyetik devre tasarımı ve çıkış akım dalgalanmasını azaltan devre hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca tasarlanan bu devreler ve endüktans, simülasyon ortamında da incelenmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde, yapılan tasarım doğrultusunda komponent seçimi ve PCB tasarımı yapılmıştır. Komponent seçimi ve PCB tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken noktalardan bahsedilmiştir. Bununla birlikte, yapılan EMC, LVD testlerinden de bahsedilmiştir.

Lineer yapıya sahip 60W 350mA LED sürücü, matematiksel olarak tasarlandıktan sonra simülasyonda incelenmiş ve deneysel tasarımı tamamlanmıştır. Bununla birlikte Tablo 4.1'de, bölüm 1'de belirtilen isterler paylaşılmıştır. Tablo 5.1 incelendiğinde, matematiksel ve simülasyon sonuçlarının ortalama %15 hata payıyla

gerçek sonuçlarla uyduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, isterlerin deneysel sonuçlarla uyduğu görülmüştür.

LED sürücüler için kritik olan verim, çıkış akım dalgalanması, güç faktörü gibi parametrelere daha tasarım aşamasındayken dikkat edilmesi sayesinde istenen özellikte ve uzun ömürlü – güvenilir bir tasarım ortaya çıkarılmıştır. Simülasyon çalışmaları ve uygun devre elemanı tercihleri sayesinde sürücü verimi (%92.54) istenen değerin (>%87) üzerinde kalmıştır. Bununla birlikte, anahtarlamalı mod güç kaynağının devamında tercih edilen akım dalgalanmasını azaltıcı devre sayesinde hem çıkış akım dalgalanması istenen seviyeye getirilmiş hem de kapladığı alanın küçük olması sayesinde güç yoğunluğu yüksek (0.44 W/cm^3) bir LED sürücü elde edilmiştir. Doğru termal yönetim, PCB tasarımı ve uygun elektrolitik kapasite tercihleri sebebiyle de istenen ürün ömrü de (50 000 saat) sağlanmıştır. Ayrıca doğru koruma elemanları ve filtre tercihleri; tasarlanan sürücünün EMC, LVD testlerinden başarılı bir şekilde geçmesini sağlayarak güvenilir bir ürün çıkarılmasını sağlamıştır.

Tablo 4.1. Tasarım çıktıları

Değişkenler	Matematiksel Sonuçlar	Simülasyon Sonuçları	Deneysel Sonuçlar	İsterler
Maks. MOSFET Gerilimi @265 V _{RMS}	547 V	610 V	578 V	-
Maks. Diyot Gerilimi @265 V _{RMS}	547 V	605 V	578 V	-
Maks. MOSFET Akımı	1.77 A-peak	1.90 A-peak	1.53 A-peak	-
Maks. Diyot Akımı	1.77 A-peak	2.05 A-peak	1.85 A-peak	-
Nominal Çıkış Akımı	350mA _{DC}	360mA _{DC}	358mA _{DC}	350mA _{DC}
Çıkış Gerilim Aralığı	175 - 85 V _{DC}	175 - 85 V _{DC}	175 - 85 V _{DC}	171 - 90 V _{DC}
Maksimum Çıkış Gücü	60 W	60 W	61 W	60 W
Tam Yükte Akım Dalgalanması	-	18%	15%	<16%
Şebeke Frekansı	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Giriş Gerilim Aralığı	198-264 V _{AC}	198-264 V _{AC}	185-270 V _{AC}	198-264 V _{AC}
Giriş Gücü	-	64.5 W	67.5 W	68.9 W
Verim	-	%93.09	92.54%	> 87%
Güç Faktörü	-	0.999	0,993	0,96
Toplam Harmonik Bozunumu (THD)	-	% 0	%4.4	< 10 %

Tablo 4.1. (Devam) Tasarım çıktıları

Burst Gerilim Koruması	-	-	0.5 kV	1 kV
Surge Gerilim Koruması	-	-	2 kV	2 kV (L to N)
Ortam Sıcaklığı	-	-	-20 ... +50 °C	-20 ... +50 °C
50°C'de Ömür Süresi	-	-	> 50.000 saat	50.000 saat
Ölçüler	-	-	240.0 x 30.0 x 21.5mm	< 280.0 x 35.0 x 21.5mm
Güç Yoğunluğu	-	-	0.44 W/cm ³	> 0.30 W/cm ³
Aşırı Yük Koruması	-	-	✓	✓
Kısa Devre Koruması	-	-	✓	✓
Yüksüz Durum Koruması	-	-	✓	✓

Tasarlanan LED sürücü, isterler doğrultusunda yeterli verimliliğe ve güç yoğunluğuna sahiptir. Ancak daha verimli, güç yoğunluğu daha yüksek bir sürücü tasarımı için yüksek frekansta çalışan rezonans dönüştürücü topolojileri ve anahtarlama elemanlarında da SiC teknolojisi kullanılabilir. Ancak yüksek frekansta çalışılması gerektiğinden; özellikle EMC testlerinde çok büyük zorluklar yaşanacaktır. Ayrıca, yüksek frekanslarda çalışacak bir analog entegre bulunmadığından, işlemcilerin kullanılması gerekecektir. İşlemci ile birlikte LED sürücülerden beklenen isterlerin karşılanabilmesi için de kontrol algoritması ve yapının doğru kurulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Dilaura D. L., Houser K. W., Mistrick R.G., Stetty G. R., *Iesna Lighting Handbook*, 3rd ed., Illuminating Engineering Society, 10-50, 2011.
- [2] Winder S., *Power Supplies For LED Driving*, 3rd ed., London: Newnes, 2017.
- [3] Rahmani M., High Power Long Lifetime LED Drivers, Yüksek Lisans Tezi, University of Alberta, Edmonton, 2018.
- [4] Sepahvand A., High Frequency DC-DC Power Conversion For Automotive LED Driver Application, Doktora Tezi, University of Colorado, Colorado, 2017.
- [5] Gerber D. L., An Integrated Multilevel Converter With Sigma Delta Control For LED Lighting, Doktora Tezi, University of Berkeley, California, 2017.
- [6] Billings K., Morey T., *Switchmode Power Supply Handbook*, 3rd ed., USA: McGraw-Hill, New York, 2011.
- [7] https://www.ti.com/lit/ug/slyu032/slyu032.pdf?ts=1616915733875&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.ca%252F (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2020).
- [8] <https://www.ti.com/seclit/ml/slup263/slup263.pdf> (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2020).
- [9] Cheng C., Chen H., Chang E., Yen C., Lin K., Efficiency Study for a 150W LLC Resonant Converter, *International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, 2009, 1261-1265.
- [10] <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND8311-D.PDF> (Ziyaret tarihi: 15 Aralık 2020).
- [11] <https://www.onsemi.com/products/power-management/led-drivers/ac-dc-led-drivers/fl77944> (Ziyaret tarihi: 15 Aralık 2020).
- [12] <http://www.meanwell.eu/ExclusivePDF/LEDApprovals-NOTE.pdf> (Ziyaret tarihi: 15 Aralık 2020).
- [13] www.displayninja.com/what-is-flicker-free-techology/, 2020, (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2020).

- [14] Maniktala, S., *Troubleshooting Switching Power Converters*, 2nd Ed., New York, USA: McGraw-Hill, New York, 2011.
- [15] Loukil K., Siala K., EMC Standarts, *ITU Training on Conformance and Interoperability For ARB Region CERT*, 2013.
- [16] <https://www.silergy.com/productsview/sy22679babc> (Ziyaret tarihi: 25 Aralık 2020).
- [17] Pressman A. I., Billings K., Morey T., *Switching Power Supply Design*, New York, USA: McGraw-Hill, 2009.
- [18] http://lpvo.fe.uni-lj.si/fileadmin/files/Ostalo/Delavnice/Delavnica_EMC_2017/05_EMC_Power_askLorandt.pdf (Ziyaret tarihi: 25 Aralık 2020).
- [19] C. P. Basso, *Switch Mode Power Supplies*, 3rd ed., McGraw-Hill Companies, New York, 2008.
- [20] Undeland Mohan, T., Robbins W., *Power Electronics*, Canada: John Wiley & Sons, Ottawa, 1995.
- [21] https://www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/554/product/0/highly_efficient_and_compact_zvs_resonant_full_bridge_converter_using_1200v_sic_mosfets.pdf, (Ziyaret tarihi: 25 Aralık 2020).
- [22] Yang Y., Huang D., Lee F., Li Q., Analysis and Reduction of Common Mode Noise for Resonant Converter, *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition-APEC*, 2014, 174-182.
- [23] Simone S. D., Adragna C., Spini C., Design Guideline for Magnetic Integration in LLC Resonant Converters, *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2008, 200-215.
- [24] Onay H., Süel V., Hava A., A Comprehensive Loss Analysis of Quasi Resonant Flyback Converter for Design Purpose, *PCIM ASIA*, 2018, 5-7.
- [25] <http://www.bdtic.com/datasheet/fairchild/AN-6093.pdf> (Ziyaret tarihi: 25 Aralık 2020).
- [26] Gasperi, M. L., Life Prediction Method for Aluminum Electrolytic Capacitors, *IEEE Industry Applications Conference*, 1996, 10-15.
- [27] Billings K., Morey T., *Switchmode Power Supply Handbook*, New York, USA: McGraw-Hill, 2011.
- [28] Dewan S. B., "Optimum Input and Output Filters for a Single-Phase Rectifier Power Supply", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1981, **3**(1), 282-288.



EKLER

EK-A

EFD 25/13/9

Core

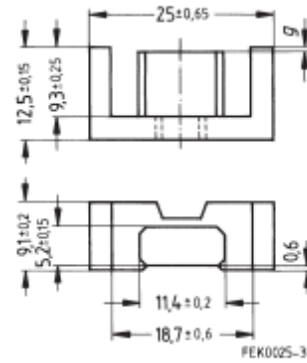
B66421

- E core with flattened, lower center leg for especially flat transformer design
- For DC/DC converters
- Delivery mode: single units

Magnetic characteristics (per set)

$$\begin{aligned}\Sigma l/A &= 0.98 \text{ mm}^{-1} \\ l_e &= 57 \text{ mm} \\ A_e &= 58 \text{ mm}^2 \\ A_{\min} &= 57 \text{ mm}^2 \\ V_e &= 3310 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Approx. weight 16.6 g/set



Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	P_V W/set	Ordering code
N87	2000 +30/-20%	1560	< 1.8 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B66421G0000X187
N97	2100 +30/-20%	1640	< 1.5 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B66421G0000X197

Other A_L values/air gaps and materials available on request – see Processing remarks on page 4.

Gapped (A_L values/air gaps examples)

Material	A_L value nH	μ_e	g approx. mm	Ordering code
N87	160 ±10%	125	0.55	B66421U0160K187
	250 ±10%	195	0.30	B66421U0250K187
	315 ±10%	246	0.22	B66421U0315K187
N97	160 ±10%	125	0.50	B66421U0160K197

The A_L value in the table applies to a core set comprising one ungapped core (dimension $g = 0$ mm) and one gapped core (dimension $g > 0$ mm).

Calculation factors (for formulas, see "E cores: general information")

Material	Relationship between air gap – A_L value		Calculation of saturation current			
	K1 (25 °C)	K2 (25 °C)	K3 (25 °C)	K4 (25 °C)	K3 (100 °C)	K4 (100 °C)
N87	103	-0.734	154	-0.796	138	-0.873

Validity range: K1, K2: 0.10 mm < s < 1.40 mm
K3, K4: 50 nH < A_L < 410 nH

Şekil A.1. EFD 25/13/9

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Başol M. C.**, Yılmaz S., Linear LED Armatürleri İçin Düşük Çıkış Akım Dalgalanmasına Sahip Yüksek Verimlilikli Sabit Akım Güç Kaynağı Tasarımı, Simülasyonu ve Gerçeklenmesi, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi – IMASCON 2020*, İstanbul, Türkiye, 19 Haziran 2020.
- [2] **Başol M. C.**, Pepeç Ö. E., Kaya K. Y., Ayaz M., Electronic Design Verification Tests for LED Driver: Analysis and Implementation of Worst Case Tests, *3rd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship – WOCTINE 2019*, İstanbul, Türkiye, 15 Haziran 2019.
- [3] **Başol M. C.**, Pepeç Ö. E., Kaya K. Y., Farklı Tasarımlardaki Rezonans Endüktanslarının (Lr) LLC Dönüştürücü Verimi Üzerine Etkisi, *Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı - ELECO 2018*, Bursa, Türkiye, 1 Aralık 2018.
- [4] **Başol M. C.**, Pepeç Ö. E., Kaya K. Y., Tam Dalga Doğrultucu-Kapasite Devresinin Matematiksel Olarak İncelenmesi, Simülasyonu ve Gerçeklenmesi, *Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı - ELECO 2018*, Bursa, Türkiye, 1 Aralık 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Üniversiteye kadar olan öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2011 yılında giriş yaptığı Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nü 2016 yılının bahar döneminde tamamlayarak, Mekatronik Mühendisi oldu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi'nin Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılından beri Akım Metal A.Ş.'de "Güç Elektronik Tasarım Mühendisi" olarak sanayideki görevini sürdürmektedir. Tasarım mühendisliği görevine paralel olarak, menşei Banja Luka'da olan ve raylı cam imalatı üzerine çalışan RMA-BL adlı firmanın yöneticilik görevinin yerine getirmektedir.

