

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**IP66 SINIFI YÜKSEK GÜÇLÜ BİR LED SÜRÜCÜ DEVRESİNİN
GÜVENİLİRLİK ANALİZİ**

MURAT DEMİR

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ






ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

IP66 SINIFI YÜKSEK GÜÇLÜ BİR LED SÜRÜCÜ
DEVRESİNİN GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

MURAT DEMİR

Doç.Dr. Ali Bekir YILDIZ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç.Dr. A. Hülya OBDAN
Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi
Dr.Öğr.Üyesi Birol ARİFOĞLU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof.Dr. Engin ÖZDEMİR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof.Dr. A. Faruk BAKAN
Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi


.....

.....

.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 06.12.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında; güç elektroniği sistemlerinde güvenilirlik analizi incelenmiş ve LED aydınlatma sürücü devresi üzerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tasarlanan devre; yüksek verimli, yüksek güç katsayılı ve yüksek güvenilirlikte yarım köprü dönüştürücü ile sürülen bir LED sürücü devresidir.

Tez çalışmam süresince yardımlarını ve desteğini bir an olsun esirgemeyen rehberim, danışman hocam Sayın Doç.Dr. Ali Bekir YILDIZ'a, görüş ve önerileri ile tez çalışmasına katkılarından dolayı tez izleme jürisi üyeleri Sayın Doç.Dr. Hülya OBDAN ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Birol ARİFOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerinden ötürü Vestel Elektronik A.Ş. Elektronik Fabrika Genel Müdürü Sayın Murat SARPEL'e ve Vestel Elektronik A.Ş. HE Ar-Ge Tasarım ve Güvenilirlik Bölümlerindeki çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleri nedeniyle Aileme teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam süresince sabrını, desteğini, yardımını bir an olsun eksik etmeyen sevgili eşim Sultan YILDIZ DEMİR'e gönülden teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık-2019

Murat DEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Literatür Taraması	3
1.2.1. Patent çalışmaları.....	4
1.2.2. Güvenilirlik ile ilgili başlıca yayın çalışmaları	4
1.2.3. LED ile ilgili başlıca yayın çalışmaları.....	6
1.3. Literatür Taraması Genel Değerlendirme, Tez Çalışmasının Yenilikçi Yönleri, Çalışmanın Çıktıları	8
2. GÜVENİLİRLİKLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	12
2.1. Güvenilirlik	12
2.2. Güvenilmezlik	13
2.3. Hata Oranı	13
2.4. Ortalama Hata Yapma Süresi	14
2.5. Hatalar Arası Ortalama Süre	14
2.6. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	14
2.7. Güvenilirlik Onay Testleri	14
2.8. Hızlandırılmış Ömür Testleri	15
2.9. Sansürsüz Veri	18
2.10. Sansürlü Veri	18
3. LED SÜRÜCÜ DEVRESİ TASARIM VE ÖLÇÜMLERİ	19
3.1. LED Aydınlatma Sistemleri	19
3.2. Doğrultma ve Filtreleme Katı	24
3.3. Güç Faktörü Düzeltme Katı	27
3.4. DC-DC Dönüştürücü Katı	35
3.5. Sürücü Devresinin Çıkışı	48
3.6. Koruma Devreleri	49
4. GÜVENİLİRLİK ONAY TESTLERİ	52
4.1. Kalkış Akımı Testi (Inrush Current Test)	52
4.1.1. Kalkış akımı testi için geliştirilen yeni ölçüm metodu	56
4.2. Gerilim Düşümü Testi (Voltage Dips Test)	59
4.3. Kısa Süreli Kesinti Testi (Short-Interruption Test)	61
4.4. Gerilim Değişimi Testi (Voltage Variation Test)	63
4.5. Elektrostatik Boşalma Testi (ESD: Electrostatic Discharge Test).....	65
4.6. Yıldırım Darbe Testi (Lightning Surge Test)	67
5. GÜVENİLİRLİK TAHMİNİ VE ÖMÜR VERİSİ ANALİZİ	69

5.1. Dirençler İçin Hata Oranı Hesabı	71
5.2. Kapasiteler İçin Hata Oranı Hesabı	73
5.3. Transformatör İçin Hata Oranı Hesabı	75
5.4. Bobin İçin Hata Oranı Hesabı	76
5.5. Transistör İçin Hata Oranı Hesabı	77
5.6. Örnek Hata Oranı ve Ömür Hesabı	79
5.6.1. Ömür hesabında gerçekleştirilen iyileştirme	81
6. DOLGU MALZEMESİNİN LED SÜRÜCÜ DEVRESİNİN GÜVENİLİRLİK, ÖMÜR VE EMC PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ	86
6.1. Dolgu Malzemesinin LED Sürücünün Güvenilirlik ve Ömür Performansı Üzerine Etkisi	89
6.2. Dolgu Malzemesinin LED Sürücünün EMC Performansı Üzerine Etkisi	93
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR	101
EKLER	108
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	114
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Banyo küveti eğrisi.....	13
Şekil 3.1.	LED sürücü sisteminin genel yapısı.....	21
Şekil 3.2.	LED sürücü devresinin uygulama kartına ait PCB	22
Şekil 3.3.	LED sürücü kartı-ön yüz	222
Şekil 3.4.	LED sürücü kartı-arka yüz.....	23
Şekil 3.5.	Doğrultma ve giriş filtre katı.....	24
Şekil 3.6.	a.NTC genel bağlantı devresi b. Sıcaklık - akım oranı ilişkisi	26
Şekil 3.7.	a.Akım-direnç oranı değişim b. Akım-NTC sıcaklığı değişimi.....	26
Şekil 3.8.	Kalkış akımını bastırma hücresi.....	27
Şekil 3.9.	Temel Boost tipi DC-DC dönüştürücü devresi	28
Şekil 3.10.	Topoloji 1: S_{pfc} anahtarı iletimde	28
Şekil 3.11.	Topoloji 2: S_{pfc} anahtarı kesimde	29
Şekil 3.12.	Benzetim sonucu giriş ve çıkış gerilimi [V]	30
Şekil 3.13.	Benzetim sonucu endüktans akımı [A].....	30
Şekil 3.14.	Güç katsayısı düzeltme katı	30
Şekil 3.15.	Kritik mod çalışma ilkesi.....	31
Şekil 3.16.	PFC katı giriş gerilimi ve çıkış gerilimi	32
Şekil 3.17.	Deneysel çalışma: Endüktans akımı [A]	32
Şekil 3.18.	PFC çıkış kapasitesi üzerindeki gerilim dalgalanması	32
Şekil 3.19.	PFC katı Mosfet Drain-Source gerilimi ve Drain akımı.....	33
Şekil 3.20.	Harmonik ölçüm cihazı, ölçüm sonuç eğrisi	33
Şekil 3.21.	Harmonik ölçüm cihazı, harmonik dağılım	34
Şekil 3.22.	Harmonik ölçüm cihazı, parametreler	35
Şekil 3.23.	Temel HB tipi DC-DC dönüştürücü devresi.....	36
Şekil 3.24.	HB dönüştürücü eşdeğer devresi.....	37
Şekil 3.25.	Topoloji 1: $S_1 - D_1$ iletimde ve $S_2 - D_2$ kesimde	37
Şekil 3.26.	Topoloji 2 ve 4: $S_1 - D_1$ ve $S_2 - D_2$ kesimde	38
Şekil 3.27.	Topoloji 3: $S_1 - D_1$ kesimde ve $S_2 - D_2$ iletimde	39
Şekil 3.28.	Çıkış gerilimi ve çıkış akımı	40
Şekil 3.29.	Sürücünün giriş gerilimi ve çıkış gerilimi	40
Şekil 3.30.	HB DC/DC dönüştürücü katı	41
Şekil 3.31.	Direnç değerine bağlı ölü zaman değeri	42
Şekil 3.32.	HB Primer katı Mosfet Gate sinyalleri	43
Şekil 3.33.	HB katı Primer MOSFET Drain-Source gerilimi ve Drain akımı	44
Şekil 3.34.	Değiştirilmiş HB devresi	45
Şekil 3.35.	HB katı Sekonder MOSFET gate sinyalleri	45
Şekil 3.36.	HB katı Sekonder Mosfet Drain-Source gerilimi ve Drain akımı.....	45
Şekil 3.37.	Sürücü çıkış gerilimi, endüktansı akımı ve kapasite akımı	45
Şekil 3.38.	RT8457A bağlantı devresi	46
Şekil 3.39.	LED akımı algı eşiği değişimi	47
Şekil 3.40.	Düzenleyici hücre.....	48
Şekil 3.41.	LED sürücü devresini giriş gerilim, çıkış gerilimi.....	48
Şekil 3.42.	Düşük gerilim koruması için LS pin bağlantısı	50

Şekil 3.43. Aşırı gerilim koruması için LS pin bağlantısı.....	50
Şekil 3.44. Sıcaklık koruması için LS pin bağlantısı.....	51
Şekil 4.1. Mevcut kalkış akım ölçüm yöntemi	52
Şekil 4.2. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 74,25^\circ$	54
Şekil 4.3. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 22,5^\circ$	54
Şekil 4.4. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 94,5^\circ$	54
Şekil 4.5. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 61,5^\circ$	54
Şekil 4.6. Kalkış akımı: $i_p = 53,63$ A (kapasite %25 dolu).....	55
Şekil 4.7. Kalkış akımı: $i_p = 37,64$ A (kapasite %50 dolu)	55
Şekil 4.8. Kalkış akımı: $i_p = 34$ A (kapasite %75 dolu)	56
Şekil 4.9. Kalkış akımı: $i_p = 76,18$ A (kapasite boş)	56
Şekil 4.10. Kalkış akımı test düzeneği.....	57
Şekil 4.11. Geliştirilen test düzeneği	57
Şekil 4.12. Kalkış akım ölçümü, I	58
Şekil 4.13. Kalkış akım ölçümü, II	59
Şekil 4.14. Haefely Pline test cihazı	60
Şekil 4.15. Sürücü devresinin çıkış gerilim ve giriş gerilimi sinyali	61
Şekil 4.16. Sürücü devresinin çıkış akımı ve giriş akımı sinyali.....	61
Şekil 4.17. Kısa süreli kesinti test sinyali	62
Şekil 4.18. 1P kesintide giriş akım ve gerilimi, çıkış akım ve gerilimi	62
Şekil 4.19. 5P kesintide giriş akım ve gerilimi, çıkış akım ve gerilimi	63
Şekil 4.20. 10P kesintide giriş akım ve gerilimi, çıkış akım ve gerilimi	63
Şekil 4.21. Çıkış gerilim sinyali ve giriş gerilim sinyali.....	64
Şekil 4.22. Çıkış akım sinyali ve giriş akım sinyali	64
Şekil 4.23. a. ESD tabancası b. Temaslı darbe ucu c. Havadan darbe ucu	66
Şekil 4.24. a (+) alternans ESD darbesi b. (-) alternans ESD darbesi.....	67
Şekil 4.25. Yıldırım darbe üreticisi tarafından üretilen darbesi sinyali	67
Şekil 5.1. Yıllara göre saha geri dönüş oranı sapma değişimi	85
Şekil 6.1. Dolgunsuz LED sürücü devresi termal haritası	88
Şekil 6.2. Termokupl bağlı LED sürücü kartı (ve kart kutusu)	90
Şekil 6.3. IP korumalı kutu içinde LED sürücü.....	90
Şekil 6.4. Dolgulu ve dolgunsuz durum için DC ve çıkış kond.sıcaklıkları	93
Şekil 6.5. Dolgulu ve dolgunsuz durum için DC ve çıkış kond. ömürleri	93
Şekil 6.6. AC LISN'in LED armatüre bağlantısı.....	95
Şekil 6.7. Deney düzeneği	95
Şekil 6.8. Dolgunsuz durum için CE testi sonucu	95
Şekil 6.9. Dolgulu durum için CE testi sonucu	96
Şekil 6.10. İyileştirilmiş dolgulu durum	96
Şekil B.1. LED aydınlatma cihazı test düzeneği	111

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Mevcut LED sürücü devrelerin karşılaştırılması (>100W)	21
Tablo 3.2. Giriş parametreleri	23
Tablo 3.3. LED sürücü devresi harmonik ölçüm sonuçları.....	34
Tablo 3.4. PFC katı temel elektriksel büyüklükler (deneysel ve benzetim)	34
Tablo 3.5. HB katı elektriksel parametreler	41
Tablo 3.6. HB katı temel elektriksel büyüklükler (deneysel ve benzetim)	46
Tablo 3.7. Ölçüm sonuçları	49
Tablo 4.1. Dalga şekline göre kalkış enerjisi ifadeleri.....	53
Tablo 4.2. Kalkış akım darbe açıları	55
Tablo 4.3. Önerilen sistem anahtar doğruluk tablosu	57
Tablo 4.4. Kalkış akım ölçümleri (yeni metod).....	59
Tablo 4.5. Gerilim düşümü testi rutini	60
Tablo 4.6. Kısa süreli kesinti test rutini	62
Tablo 4.7. Gerilim değişimi test rutini	64
Tablo 4.8. IEC 61000-4-2 test seviyeleri	66
Tablo 4.9. IEC61000-4-5 test seviyeleri	67
Tablo 5.1. Sıcaklık faktörü	72
Tablo 5.2. Nominal güce karşılık gelen güç faktörü.....	72
Tablo 5.3. Elektriksel stres faktörü.....	72
Tablo 5.4. Farklı çevre koşulları için çevre faktörü.....	73
Tablo 5.5. Sıcaklık faktörü.....	74
Tablo 5.6. Kapasitans faktörü.....	74
Tablo 5.7. Elektriksel stres faktörü.....	75
Tablo 5.8. Çevre faktörü	75
Tablo 5.9. Transformator tipine göre temel hata oranı	76
Tablo 5.10. Sıcaklık faktörü.....	76
Tablo 5.11. Kalite faktörü	76
Tablo 5.12. Çevre faktörü	76
Tablo 5.13. Bobin tipine göre temel hata oranı	77
Tablo 5.14. Sıcaklık faktörü.....	77
Tablo 5.15. Kalite faktörü	77
Tablo 5.16. Çevre faktörü	77
Tablo 5.17. Sıcaklık faktörü.....	78
Tablo 5.18. Güç faktörü	78
Tablo 5.19. Elektriksel stres faktörü.....	79
Tablo 5.20. Kalite faktörü	79
Tablo 5.21. Çevre faktörü	79
Tablo 5.22. Tolerans durumuna göre hata oranı ve ömür değerleri	83
Tablo 5.23. Yaşlanmaya bağlı hata oranı değişimi.....	83
Tablo 5.24. Hata olasılığı kümesi	84
Tablo 5.25. Yaşlanmaya bağlı saha geri dönüş oranı sapması	85
Tablo 6.1. IP tanımları tablosu	86
Tablo 6.2. Bazı malzemeler için dielektrik katsayısı	88

Tablo 6.3. Kullanılan dolgu malzemesinin bazı temel özellikleri	88
Tablo 6.4. Kritik malzeme sıcaklıkları.....	91
Tablo 6.5. DC ve çıkış kondansatörlerinin ömürlerinin karşılaştırılması	92
Tablo 6.6. Dolgulu durum için gürültü ölçüm sonuçları - Tepe.....	94
Tablo 6.7. Dolgulu durum için gürültü ölçüm sonuçları - Ortalama	94
Tablo B.1. LED sürücü devresi elektriksel büyüklükler	108
Tablo C.1. Direnç tiplerinin tanımları ve temel hata oranı değerleri	109
Tablo D.1. Kapasite tiplerinin tanımları ve temel hata oranı değerleri	110



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_{pfc}	: Güç katsayısı devre katı kapasitörü
D_{pfc}	: Güç katsayısı devre katı diyodu
$Grms_1$: Test titreşim seviyesi
$Grms_2$: Kullanım titreşim seviyesi
h	: Adım aralığı
I_D	: MOSFET Drain akımı
I_f	: İletimde iken diyot üzerinden akan akım
I_p	: Kalkış akımı
E_a	: Aktivasyon enerjisi
K	: Boltzman sabiti ($8,617 \times 10^{-5}$ eV/K)
L_{pfc}	: Güç katsayısı devre katı indüktörü
L_m	: Yarım köprü transformatörü mıknatıslanma endüktansı
L_Y	: Yıl einsinden ömür miktarı
m	: Materyal türüne bağlı katsayı
n	: Hata mekanizmasına bağlı katsayı
N_j	: j. devre elemanının sayısı
P_{diot}	: Diyot iletim kaybı
P_{mosfet}	: MOSFET iletim kaybı
$Q(t)$: Güvenilmezlik fonksiyonu
r	: Hata sayısı
RD	: Diyot iletim direnci
R_{DSon}	: MOSFET Drain-Source iletim direnci
RH_1	: Test sırasında bağlı nem
RH_2	: Kullanım sırasında bağlı nem
R_{td}	: Test direnci
$R(t)$: Güvenilirlik fonksiyonu
S	: Gerilim stres miktarı
S_{pfc}	: Güç katsayısı devre katı MOSFET' i
S_1	: Yarım köprü dönüştürücü üst kol MOSFET' i
S_2	: Yarım köprü dönüştürücü alt kol MOSFET' i
T_A	: Devre elemanının çevre sıcaklığı
T_{event}	: Gerilim sinyalinin uygulanma süresi
T_{rep}	: Test sinyal periyodu
T_s	: Maksimum test lehim noktası sıcaklığı (°K)
T_{test}	: Toplam test süresi
T_u	: Maksimum kullanım lehim noktası sıcaklığı (°K)
T_1	: Test sıcaklığı (°K)
T_2	: Kullanım sıcaklığı (°K)
U_{dips}	: Gerilim düşmesi sonrası giriş gerilimi sinyalinin yüzdesi
U_{DS}	: MOSFET Drain-Source gerilimi
U_f	: Diyot iletimde iken üzerindeki gerilim düşümü
U_n	: Nominal gerilim
U_{td}	: Test direnci üzerinden ölçülen gerilim

V_1	: Test gerilimi
V_2	: Kullanım gerilimi
ΔB	: Manyetik akı yoğunluğu değişimi (Tesla)
ΔT_u	: Kullanım anında sıcaklık değişimi ($^{\circ}C$)
ΔT_s	: Test anında sıcaklık değişimi ($^{\circ}C$)
Π_A	: Uygulama faktörü
Π_C	: Kapasitans faktörü
Π_E	: Çevre faktörü
Π_P	: Güç tüketim faktörü
Π_Q	: Kalite faktörü
Π_S	: Elektriksel stres faktörü
Π_T	: Sıcaklık faktörü
Π_V	: Elektriksel (gerilim) stres faktörü
λ	: Hata oranı
λ_b	: Devre elemanının standarta göre birim zamandaki temel hata oranı
λ_g	: Devre elemanının hata oranı
λ_k	: Devre elemanının birim zamandaki toplam hata oranı
λ_{sistem}	: Sistemin toplam hata oranı

Kısaltmalar

BE	: Backward Euler
DGA	: Darbe Genişlik Ayarı
ESD	: Electrostatic Discharge (Elektrostatik Boşalma)
FE	: Forward Euler
HB	: Half Bridge (Yarım Köprü)
HBC	: Half Bridge Converter (Yarım Köprü Dönüştürücü)
HF	: Hızlandırma Faktörü
HOS	: Hata Oranı Sapması
MTTF	: Mean Time To Failure (Ortalama Hata Yapma Süresi)
MTBF	: Mean Time Between Failures (Hatalar Arası Ortalama Süre)
NTC	: Negative Temperature Coefficient
PCB	: Printed Circuit Board (Baskılı Devre)
PDF	: Probability Density Function (Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu)
PFC	: Power Factor Correction (Güç Katsayısı Düzeltme)
ppm	: Part Per Million (Milyon Başına Parça Sayısı)
SGDO	: Saha Geri Dönüş Oranı
THB	: Toplam Harmonik Bozulumu
ZCS	: Zero Current Switching (Sıfır Akımda Anahtarlama)
ZCT	: Zero Current Transition (Sıfır Akım Geçişi)
ZVS	: Zero Voltage Switching (Sıfır Gerilimde Anahtarlama)
ZVT	: Zero Voltage Transition (Sıfır Gerilim Geçişi)

IP66 SINIFI YÜKSEK GÜÇLÜ BİR LED SÜRÜCÜ DEVRESİNİN GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

ÖZET

Gelişen güç ve tüketici elektroniği dünyası için kuşkusuz en önemli parametrelerden biri ürün güvenilirliğidir. Gelişen ve rekabetçi pazarda ayakta kalmak isteyen firmalar güvenilirlik konusunda yoğun çalışmalar içine girmektedir. Özellikle maliyet temelli yaklaşımlar nedeniyle firmalar güvenilirlik konusundaki yatırımları ekstra gibi görseler de, aslında saha dönüşü ve hata oranını azaltma özelliği nedeniyle gerekli olduğunun ve toplam sistemde maliyet düşürücü özelliğinin farkına varmışlardır. Ayrıca olası saygınlık kaybı da, doğru güvenilirlik çalışmaları ile önlenmektedir.

Bu çalışmada, güç elektroniği sistemlerinde güvenilirlik konusu irdelenmiş başlıca güvenilirlik onay testleri ve karar kriterleri açıklanmıştır. Örnek uygulama çalışması için yüksek verimli ve yüksek güç katsayılı LED sürücü kartı tasarlanarak, tasarlanan LED sürücü kart üzerinde önemli onay testleri gerçekleştirilmiş ve bu testler yorumlanmıştır. Ayrıca tasarlanan sürücü devresi için gerekli deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve sistem yüksek performanslı hale getirilmiştir. Tasarlanan sistem için gerekli önlemler alınarak tasarım güvenilirliği artırılmış, yeni bir tasarım oluşturulmuş ve yüksek güvenilirlikte bir ürün elde edilmiştir. Sistemin ömür hesabı, uluslararası düzeyde en yetkin programlardan biri kabul edilen Reliasoft analiz programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Gerek sürücü devresi gerekse güvenilirlik alanında gerçekleştirilen yenilikler detaylandırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında, “Güç Elektroniği Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi ve LED Sürücü Devrelerine Uygulanması” başlıklı TÜBİTAK projesi gerçekleştirilmiştir (Ulusal destek programları kapsamındaki, 2016 yılı, 1002-Hızlı destek programı. Proje No: 116E023).

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, LED Sürücü Devresi, Ömür Hesabı, Termal Haritalama, Verim.

RELIABILITY ANALYSIS OF AN IP66 CLASS HIGH POWER LED DRIVER CIRCUIT

ABSTRACT

Reliability is one of the most important parameters for developing power and consumer electronics products. The companies that want to survive in the developing and competitive market are working hard on reliability. Although companies have seen their investments in reliability as extra due to cost-based approaches, they have realized that it is necessary because of the ability to reduce site turnaround and error rate and cost reduction in the total system. In addition, a possible loss of reputation can be prevented by correct reliability studies.

In this study, reliability of power electronics systems is examined and major reliability approval tests and decision criteria are explained. A high efficiency and high power coefficient LED driver circuit is designed for the case study. Important approval tests were performed on the designed LED driver and these tests were interpreted. In addition, the necessary experimental studies were carried out for the designed circuit and the system was made high performance. By taking the necessary precautions for the designed system, the design reliability has been increased, a new design has been created and a product with high reliability has been obtained. The lifetime calculation of the system was carried out with the help of Reliasoft analysis program, which is accepted as one of the most competent programs on the international level. Innovations in both the drive circuit and reliability are detailed.

Within the scope of the thesis, the TUBITAK project titled “Reliability Analysis in Power Electronics Systems and Application to LED Driver Circuits” was realized. (National Support Program, 2016, 1002-Fast Support Program. Project No: 116E023).

Keywords: Reliability, LED Driver, Lifetime, Thermal Mapping, Efficiency.

GİRİŞ

Gelişen güç ve tüketici elektroniği dünyası için kuşkusuz en önemli parametrelerden biri ürün güvenilirliğidir. Ürün güvenilirliği bir ürünün, belirli zaman aralığı içinde, belirlenen çevre koşulları altında, kendisinden beklenen fonksiyonları doğru bir şekilde yerine getirebilme olasılığıdır. Güvenilirliğin artması, üretim maliyetinin de artması anlamına gelmesine rağmen, daha güvenilir ürünler sayesinde geri dönüşler ve servis maliyetleri azalır. Bunun sonucu olan marka saygınlığının artması da arzu edilen bir durumdur. Güvenilirlik ile maliyetler arasındaki dengenin iyi kurulabilmesi minimum maliyette maksimum güvenilir ürünlerin oluşturulabilmesine olanak verir.

Güvenilirlik analizlerinin yetersiz yapılması ya da yeterince önemsenmemesi maddi, zaman, saygınlık hatta can kaybına neden olabilmektedir. Tarihte bu durumlara örnek teşkil edecek olaylara rastlanmıştır. Bu da göstermektedir ki, güç ve tüketici elektroniği uygulamalarında güvenilirlik oldukça yüksek bir öneme sahiptir ve göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında LED sürücü devre tasarımı yapılırken verim ve güç katsayısının yanında yüksek güvenilirlik de hedeflenmiştir.

Bu amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen tez çalışmasının içeriği aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Birinci bölümde, tezin amacı, literatür taraması, tez çalışmasının yenilikçi yönleri ve çalışmanın çıktıları verilmiştir. Literatür taraması kapsamında, patent çalışmaları, güvenilirlik ile ilgili başlıca yayın çalışmaları ve LED ile ilgili başlıca yayın çalışmaları ayrı başlıklarda incelenmiştir.

İkinci bölümde, temel kavramlar başlığı altında güvenilirlik ile ilgili bazı temel ifadeler ve büyüklüklere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, LED sürücü devresi tasarımı detaylı bir şekilde açıklanmış, iyileştirme ve yeniliklere yer verilmiştir. Devrenin hem güç faktörü düzeltme katı hem de DC-DC dönüştürücü katı için deneysel ölçümler ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilerek bu bölümde verilmiştir.

Dördüncü bölümde, tasarlanan devre üzerinde önemli elektriksel güvenilirlik onay testleri uygulanmış ve devrenin güvenilirlik durumu test edilmiştir.

Beşinci bölüm, güvenilirlik tahmini ve ömür verisi analizine ayrılmıştır. Burada geleneksel ömür hesabı yöntemi ve önerilen iyileştirilmiş ömür hesabı yöntemi ayrı ayrı detaylandırılmıştır. Her iki yöntem tasarlanan devre için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İyileştirilmenin önemi ve katkısı hesap ve ölçümlerle vurgulanmıştır.

Altıncı bölümde, tez çalışmasının önemli çıktılarından olan ve başlıca yayının konusunu oluşturan dolgu malzemesinin ürün güvenilirliği, ömür hesabı ve EMC (Elektromanyetik Uyumluluk) performansına etkileri incelenmiştir.

Yedinci bölümde, doktora tez çalışmasında elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada, güvenilirliği yüksek, yüksek verimli ve güç katsayılı LED sürücü devresi tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaçla; güç elektroniği sistemlerinde güvenilirlik konusu irdelenerek LED sürücü devresi üzerinde detaylandırılmıştır. Örnek uygulama çalışması için yüksek güç katsayılı ve verimli yeni bir LED sürücü kartı tasarımı üzerinde güvenilirlik ve verimi etkileyen çeşitli elektriksel testler gerçekleştirilmiş, ömür hesabı yapılmıştır. Bu bağlamda, öncelikle mevcut çalışmalar incelenmiştir. Geleneksel yöntemlere göre, gerek tasarım gerekse güvenilirlik ile ilgili olarak gerçekleştirilen yenilik ve farklılıklar ilerleyen bölümlerde detaylandırılmıştır.

Uygulama çalışması olarak LED sürücü devresinin seçilmesi, diğer aydınlatma sistemleri ile karşılaştırıldığında, LED aydınlatma sistemlerinin verim ve ömür gibi çeşitli avantajlarının olmasıdır. Bu ve benzeri avantajlarına karşın LED aydınlatma sistemleri, sürücü devresine ihtiyaç duyarlar. Sürücü devresinin verimi ve güvenilirliği, LED aydınlatma sisteminin verim ve güvenilirliğini doğrudan etkiler. Özellikle güç kalitesi problemlerine karşı davranışı, sistemin verim ve güvenilirliğini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Örneğin şebeke gerilimindeki düşme, kısa süreli kesintiler gibi güç kalitesi problemleri ile oldukça sık karşılaşabilmektedir. Benzer şekilde sıcaklık, ani akım yükselişi gibi elektriksel stresler de sıkça rastlanan ve LED sürücü devrelerinin güvenilirlik ve verimini etkileyen oldukça önemli parametrelerdir.

1.2. Literatür Taraması

Literatür taraması kapsamında, patent çalışmaları, güvenilirlik ile ilgili başlıca yayın çalışmaları ve LED sürücü ilgili başlıca yayın çalışmaları ayrı başlıklarda incelenmiştir.

1.2.1. Patent çalışmaları

EP20130805471 başvuru numaralı patent çalışması [1]; doğrultulmuş AC şebekedeki dalgalanmayı azaltarak insan gözüyle algılanabilen kırışımayı azaltmak amacıyla gerçekleştirilen LED sürücü devresi ile ilgilidir. Giriş geriliminden regüle edilmiş bir akım sağlamak için akım düzenleyici tarif edilmektedir.

US6586890 yayın numaralı patent çalışması [2]; DGA (Darbe Genişlik Ayarı) kontrollü LED sürücü devresi ile ilgilidir. Sürücü devresi, LED dizinlerine güç ayarı için akım geri besleme kullanmaktadır.

US8497637 yayın numaralı patent çalışması [3]; sabit gerilim çıkışlı ayarlanabilir LED sürücü devresi ile ilgilidir. Sabit gerilim çıkışlı ayarlanabilir LED sürücü devresi her tür ayarlayıcı ile (dimmer) uyumludur.

US9107260 yayın numaralı patent çalışması [4]; akım dalgalanmasının elimine edildiği LED sürücü devresi ile ilgilidir. LED yük akımı neredeyse dalgalanmasız DC akım olacak şekilde kontrol edilmektedir.

US9155139 yayın numaralı patent çalışması [5]; giriş gerilimi regüle edilebilen LED sürücü devresi ile ilgilidir. Böylece sürücü önceden tanımlı gerilim seviyelerinde ya da giriş gerilim aralığında kullanılabilir.

US20110025217 yayın numaralı patent çalışması [6]; LED sürücü devresi için düşünülen ani akım sınırlayıcısı ile ilgilidir. Akım sınırlama cihazı, önceden belirlenmiş maksimum akım seviyesinde sınırlamak için LED sürücü giriş akım yoluna yerleştirilmiştir.

1.2.2. Güvenilirlik ile ilgili başlıca yayın çalışmaları

[7] numaralı çalışmada; termal direncin sıcaklık ile bağılılığı incelenmiştir. Çalışmada, GaAs transistör için ortam sıcaklığının fonksiyonu olarak termal direnç çıkartılmıştır. Ortam sıcaklığının artması ile termal direnç artış değişimi gözlemlenmiştir. Ortam sıcaklığı dışında iç ısınma nedeniyle termal direnç artışı da detaylı olarak incelenmiştir.

[8] numaralı çalışmada; güç elektroniğinde güvenilirliğin öneminden bahsedilmiş ve bu konuda bir anket çalışması sunulmuştur. Toplam 295 adet kişi ile gerçekleştirilen çalışmada, katılımcıların tamamı güç elektroniğinde güvenilirliğin önemli olduğunu belirtmiştir. Güvenilirlik konusunda en kaygılanan elemanların ise güç elektroniği yarı iletkenleri olduğu belirlenmiştir.

[9] numaralı çalışmada; rüzgâr enerjisi dönüştürücüsünde kullanılan IGBT modülü örneği üzerinden güvenilirlik odaklı tasarım aktarılmıştır.

[10] numaralı yüksek lisans tezinde; RF MEMS anahtarların farklı ölçüm ortamlarında güvenilirlik ve ömür testleri gerçekleştirilmiştir. Ömrü arttırmak için en uygun koşulların belirlenmesinden sonra uzun vadeli denemeler yapılmış 885 saatlik çalışma süresine ulaşılmıştır.

[11] numaralı yüksek lisans tezinde; turbo jet motoru yakıt pompası sürücü devresi için güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla en kötü durum devre tolerans analizi ile hata türü ve etkileri analizi üzerinde çalışılmıştır.

[12] numaralı doktora tezinde; güç mosfeti parametrelerindeki (çıkış akımı, eşik gerilimi, çalışma direnci, kapasite vd) yorma etkisi ile oluşan değişimler incelenmiştir.

[13] numaralı doktora tezinde; olgunluk seviyesi ya da hata risk faktörü ismi ile tanımlanan yeni bir parametre geliştirilmiştir. Olgunluk seviyesi, ürünün yapılan testlerde karşılaşılan hatalarına ait, sabit toplam hata oranı olarak değerlendirilmiştir.

[14] numaralı yayın çalışmasında; güç modülü, kapasitörler ve elektronik kartları içine alan güç elektroniği elemanları için hata mekanizmaları tartışılmıştır.

[15] numaralı çalışmada; motor sürücüleri üzerinde yüksek sıcaklık ve nem stresi uygulanarak hızlandırılmış ömür testi gerçekleştirilmiştir. İlaveten giriş gücündeki kesilmeler de teste eklenmiş, hata süresi ve şekillerinde güç kesilmelerinin etkisi üzerine çalışılmıştır.

[16] numaralı çalışmada; özellikle yüzlerce kW gücündeki ray uygulamaları ya da ağır makineler gibi değiştirme maliyeti yüksek olan durumlarda güç modüllerinin güvenilirliğinin ve kalitesinin artırılmasının öneminden ve güç modülleri için

güvenilirlik sorunları ve hatalarından bahsedilmiştir. Daha yüksek güvenilirlik ve ömür için bağlantı noktalarının dayanıklılığı, verimli soğutma yöntemleri gibi önlemler vurgulanmıştır.

[17] numaralı çalışmada; motor sürücülerinde 85°C sıcaklık ve %85 nem durumunda ve elektriğin ani kesilme durumu altında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elektrik kesilme durumu ile normal çalışma durumları için ömür bilgisi karşılaştırılmış ve kesinti durumunda ömrün daha az olduğu görülmüştür.

[18] numaralı çalışmada; 3,3kW gücünde elektrikli araç şarj istasyonu için hata mod etki analizi gerçekleştirilmiştir. Önemli hata durumları seçilerek olası hata nedenleri, şarj işlemine etkileri, hata belirleme yöntemleri ve tavsiyeler sunulmuştur.

[19] numaralı çalışmada; Silikon Carbide mosfet içeren 5kVA gücünde hava aracı güç modülünün tasarım, yapısı ve performansı sunulmuştur. 150000 uçuş saatini doğrulamak amacıyla araçta kullanılan güç modülü için güvenilirlik hesaplaması sunulmuştur.

[20] numaralı yüksek lisans tezinde; güvenilirlik merkezli bakım yöntemi ve bileşenleri, bu bakım programının elektrik enerji sistemlerine uygulanması incelenmiştir. Bakım sürecindeki verimlilik, maliyet, kalite ve zaman kazancı olarak dönmetedir.

[21] numaralı yüksek lisans tezinde; elektrik enerji sistemlerinde (iletim sistemleri üzerinde) güvenilirlik değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

[22] numaralı doktora tezinde; koruma sistemlerinin (kesiciler, koruma röleleri, akım ve gerilim transformatörleri) güç sistemi güvenilirliği üzerine etkisi incelenmiş ve olumsuz faktörler, hatalar (gereksiz açma, arıza durumunda yanlış açma, açma yapmama vd) belirlenerek iletim sisteminin güvenilirliğini arttırıcı çözümler önerilmiştir.

1.2.3. LED ile ilgili başlıca yayın çalışmaları

[23] numaralı çalışmada; yüksek parlaklıklı LEDleri sürmek için kullanılan dönüştürücüler sunularak fayda ve zararları incelenmiştir.

[24] numaralı çalışmada; LED aydınlatma uygulamaları için tek aşamalı üç farklı topoloji (Buck, Boost ve doğrusal düzenleyici) karşılaştırılmıştır.

[25] numaralı çalışmada; LED uygulamaları için kullanılan yalıtımsız düşürücü dönüştürücüde GaN tabanlı yüksek gerilim değerli diyotların kullanımı aktarılmıştır. Silikon diyotlara göre daha düşük iletim dirençleri ve anahtarlama kayıpları bulunmaktadır.

[26] numaralı yüksek lisans tezinde; harici güç katsayısı düzeltme (PFC) birimi içeren boost dönüştürücü ile dahili güç katsayısı düzeltme birimi içeren flyback dönüştürücülü LED sürücü gerçekleştirilmiştir. Sürücü çıkış gücü 20W olup harici PFC'li devre için 0,93 ve dahili PFC'li devre için ise 0,97 güç katsayısı elde edilmiştir.

[27] numaralı çalışmada; sokak aydınlatma sistemi uygulamaları için kutuplu kapasitörleri kullanmamaya yönelik analiz yapılmıştır. Sebebi film kapasitörlerin kutuplu kapasitörlere oranla daha uzun ömürlü olmasıdır.

[28] numaralı yüksek lisans tezinde; LEDler sırasıyla değeri bilinen direnç, doğrusal düzenleyici ve düşürücü tip anahtarlama devre ile sürülmüştür.

[29] numaralı yayın çalışmasında; yüksek parlaklı LEDler için yüksek güvenilirlik elde etmek amacıyla üç aşamalı sürücü yapısı önerilmiştir. İlk katman elektrolitik kapasitesi olmayan boost çeviricidir. İkinci katman yalıtım amaçlı tasarlanmış çift çıkışlı trafo katmanıdır. İlk iki katmanın da çıkışı regülesizdir. Üçüncü katman ise LEDler için gerekli akımı sağlayan ve filtre elemanı içeren çift girişli bir buck çeviricidir.

[30] numaralı doktora tezinde; LED aydınlatma teknolojisinin rüzgâr ve güneşten oluşan karma güç sistemine eklenmesi gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma sistemi dim edilebilirliğe sahiptir.

[31] numaralı yayın çalışmasında; yüksek parlaklı görünür ışık yayan LEDlerin tarihi gelişimi, teknolojilerindeki ilerlemeler, boyut olarak küçülmesine karşın artan verimleri, yapıları, kullanım yerleri vb konular ele alınmıştır.

[32] numaralı yayın çalışmasında; LEDlerin diğer aydınlatma cihazlarına göre çeşitli avantajlarından söz edilerek LED karakteristiği anlatılmıştır. Beyaz renkli LEDler için sürücü devre topolojileri sunulmuştur

[33] numaralı yüksek lisans tezinde; yüksek verimli bir rezonant güç LED sürücüsü için bilgisayar modeli oluşturulmuştur. Bu amaçla ORCAD benzetim programı kullanılmıştır. Deneysel bir çalışma gerçekleştirilmemiştir.

[34] numaralı yayın çalışmasında; sabit akım sağlayan LLC yarım köprü rezonant DC-DC dönüştürücü için benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir.

[35] numaralı yayın çalışmasında; yüksek güçlü gaz hücreleri için gerekli DC/DC dönüştürücülerin karşılaştırılması sunulmuştur. Yarı iletken (anahtar ve diyot) akımlarının etkin ve ortalama değerleri, anahtarlar üzerindeki stresler, iletim ve kesim durumlarındaki gerilimleri analiz edilmiştir.

1.3. Literatür Taraması Genel Değerlendirme, Tez Çalışmasının Yenilikçi Yönleri, Çalışmanın Çıktıları

Yapılan önceki çalışmalar taraması sonucunda, LED sürücüleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen patent çalışmalarının kırpışma önleme, gerilim/akım dalgalanmasını elimine etme, ışık ayarlama kontrolü, akım düzenleme ve ani akım artışı sınırlayıcı gibi konularda olduğu görülmüştür.

Güvenilirlik ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, özellikle elektrik tesisleri alanında yapılan çalışmaların baskın olduğu görülmektedir. Enerji sistemlerindeki kapasite kayıplarından, dağıtım sistemlerindeki kapasite kaybı temelli güvenilirlik analizlerine, enerji kesintileri sıklığı ile ilgili gerçekleştirilen güvenilirlik çalışmalarından arıza olasılıklarının belirlenmesi ve gelecek davranışların öngörülmesine, bakım temelli güvenilirlik analizlerine kadar elektrik tesisleri alanında gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır.

Güç elektroniği ve tüketici elektroniği alanında gerçekleştirilmiş çalışmalarda ise RF MEMS (Radyo Frekans Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler), kapasiteler ve anahtarlama elemanları gibi devre elemanı temelli çalışmalar ile test tasarımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalar öne çıkmaktadır. Devre elemanlarının, güç elektroniği

sistemlerinin (sürücü sistemleri vs) güvenilirliği üzerine etkilerinin incelenmesi konusunda çalışmalara sıkça rastlanmaktadır. LED sürücü devreleri alanında yapılmış güvenilirlik ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar tüm sistemi ele almaktan ziyade, genellikle devre topolojileri, sürme yöntemleri, elektrolitik kapasite, transformatör gibi tekil devre elemanlarının ya da güç katsayısı düzeltme bloğunun olup olmaması gibi blokların sistem güvenilirliği üzerine etkisinin incelendiği çalışmalardır. Ayrıca hızlandırılmış ömür testlerine ait yayınlara da rastlanmıştır. Özellikle sıcaklığın etkisinin gözlemlendiği çalışmalar bulunmaktadır.

Güvenilirlik ile ilgili olarak gerçekleştirilen LED sürücü temelli yayınların dışında, LED sürücü sistemleri ile ilgili olarak özellikle karşılaştırmalı sürücü topolojilerinin incelendiği, ya da Silicon diyot yerine Silicon Carbide ya da GaN diyotların kullanımı ile gerçekleştirilmiş yapıların incelendiği yine devre elemanı temelli çalışmalarla karşılaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında, literatür taranması ile elde edilen bilgiler ışığında görülen bir dizi eksikliklerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Aşağıdaki maddeler tez çalışmasının bazı yenilikçi yanlarını oluşturmaktadır.

1. Bu tez çalışması kapsamında başvurusu kabul edilen ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 116E023 numaralı, “Güç Elektroniği Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi ve LED Sürücü Devrelerine Uygulanması” başlıklı proje için sonuç raporu oluşturularak TÜBİTAK’a gönderilmiştir. TÜBİTAK tarafından gerçekleştirilen inceleme sonucunda uygun görülerek proje sonlandırılmıştır (EK-A).
2. Mevcut kalkış akımı test yönteminin sakıncalarını (AC sinyalin tepe noktasında anahtarlama yapamaması, elektrolitik kapasite kaynaklı kalkış akımının yüksek etkili olarak tekrarlanabilir olmaması) ortadan kaldıracak yeni bir kalkış akımı test yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntemeye uygun test cihazı tasarlanmıştır (Bölüm 4.1.1). Tasarlanan cihaz ile ölçümler gerçekleştirilerek geleneksel yöntem ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu test cihazı, oldukça düşük maliyetli bir sistemdir. Ürünün sahadaki durumunu simüle ederek karşılaşılabileceği gerçek durumu sağlayabilmekte ve dayanımın belirlenerek gerekebilecek önlemlerin doğru bir şekilde önceden alınabilmesini sağlayacaktır. Böylece gerek bu tez çalışmasına konu olan LED sürücü devreleri için gerekse diğer güç ve tüketici elektroniği

uygulamaları için çok daha güvenilir ürünler tasarlanmasına katkıda bulunacaktır. Yukarıda sözü edilen kalkış akım test yöntem ve cihazı ile ilgili olarak Türk Patent ve Marka Kurumu'na TR2017/06319 başvuru numarası ile patent başvurusunda bulunulmuştur.

3. Bir devrenin güvenilirliği üzerinde en etkili büyüklüklerden biri olan kalkış akımının devre üzerindeki olumsuz etkisinin önüne geçmek için yaygın olarak NTC elemanı (negative temperature coefficient) kullanılmaktadır. NTC elemanı, sıcaklıkla ters orantılı olarak değeri değişen direnç elemanıdır. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sürücü devresinde ise kalkış akımı sönmeyicisi olarak farklı bir yapı kullanılmıştır. Anlık olarak devrede olması sağlanan bir bastırma direnci önerilmiştir. Sadece direnç ile gerçekleştirilen geleneksel kalkış akımı önleme yapılarında, sürekli devrede olan direncin üzerinde oluşan güç kaybı sistemin verimini etkilemektedir. Üzerinde, çekilen akımın karesi ile orantılı bir güç kaybı oluşur. Önerilen kalkış akımı bastırma hücresi ile bu güç kaybı azaltılmıştır. Bu amaçla bir röle üzerinden anahtarlanan direnç, sadece devrenin ilk enerjilendiği anda aktiftir. Ardından röle bu direnci devre dışı bırakır.
4. Tasarımda kullanılan yarı köprü (HB) DC/DC dönüştürücünün en temel elemanı olan transformatör için eşdeğer devre kullanılmıştır. Literatürde orta uçlu olmayan transformatör için kullanılan modele bir katkı yapılarak, orta uçlu transformatörlere de uygulanacak şekilde model daha genel hale getirilmiştir.
5. Güç ve tüketici elektroniği uygulamalarında kullanılan devre elemanlarının öz parametre değerleri sabit değerler değildir. Yapılarına ya da kendileri dışındaki çevresel koşullara göre belirli toleranslar içerebilmektedir. Fakat geleneksel mevcut ömür hesabında bu tolerans değerleri dikkate alınmamaktadır. Bu durum ömür hesabının gerçeğe yakınsamasını olumsuz etkilemekte, hatalı hesap ve analizlere neden olabilmektedir. Özellikle de elektronik devrelerde sayıca baskın olan direnç ve kapasitör gibi devre elemanlarının toleransları dikkate alınmadan yapılan ömür hesabı sonucunda hata oranında, dolayısıyla saha dönüş oranlarında sapmalar oluşacaktır. Bunun sonucunda servis maliyeti, yedek parça stok miktarı, ürün stok maliyeti gibi firmalar için oldukça önemli olan diğer parametreler de etkilenir. Bu tez çalışmasında, sözü edilen bu sakıncaları ortadan kaldıracak şekilde toleranslar da dikkate alınarak ömür hesabı, hata oranları MIL_STD

standartına uygun olarak hesaplanmıştır. Geleneksel yöntem ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak sapmalar belirlenmiştir.

6. Sıcaklık, elektronik devreler için güvenilirliği ve ömrü azaltan etkili bir stres faktörüdür. Bu nedenle sıcaklık ile mücadele tasarımın en önemli hedeflerindedir. Soğutucu ve diğer soğutma düzenekleri kullanılarak sıcaklığı ortamdan uzaklaştırmak bilinen en temel sıcaklıkla mücadele yöntemidir. Bu amaçla soğutucu tasarımları yapılır. Soğutucu tasarımında hava ile temas yüzeyinin artırılması, kullanılan malzemenin ısı iletkenliğinin uygun seçilmesi oldukça önemlidir. Sıcaklıkla mücadeledeki diğer bir bileşen ise elektronik kartın konulduğu kutudur. Bu kutunun malzemesinin uygun seçimi de kritik öneme sahiptir. Ayrıca, kart kutusunun ısı iletkenliği iyi bir dolgu maddesi ile doldurulması da sıcaklığa karşı alınan önlemlerdendir. Bu çalışmalar bilinen yöntemler olmasına karşın, özellikle dolgu maddesinin kullanımı ile birtakım kısıtlamalar olduğu bu tez çalışması sırasında gözlemlenmiştir. Tez çalışmasının önemli çıktılarından olan ve başlıca yayının konusunu oluşturan dolgu malzemesinin ürün güvenilirliği, ömür hesabı ve EMC performansına etkileri incelenmiştir.
7. Bu tez çalışmasında; tasarlanan sürücü devresi, "şebeke gerilimindeki düşme", "kısa süreli kesinti", "aşırı gerilim" hata durumlarına karşı bağışıklığı arttırmak ve devre elemanları üzerindeki termal stresin istenmeyen seviyelere çıkmasına engel olmak için koruma düzenekleri içermektedir.
8. Bu sayılanlara ilaveten yüksek güç katsayısı, yüksek verim, yüksek elektrostatik boşalma dayanımı ve yüksek yıldırım darbe dayanımı da tez çalışmasına konu olan sürücü devresinin üstün yanları arasındadır.

2. GÜVENİLİRLİK İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Güvenilirlik

Ürün güvenilirliği bir ürünün, belirli bir zaman aralığı içinde, belirlenen çevre koşulları altında, kendisinden beklenen fonksiyonları doğru şekilde yerine getirebilme olasılığıdır. Belirli bir “t” zamanına kadar hata görmeme olasılığı, başarı olasılığıdır [36]. Başka bir ifadeyle “t” zamanına kadar hata yapmama olasılığını gösteren fonksiyondur. $R(t)$ ile gösterilir. 0 ile 1 arası değerler alır. Bu değer 1’e yaklaşması güvenilirliğin yükseldiği anlamına gelir. Ürünün beklenen ömrünün ne kadar olduğu, stok miktarı ve maliyeti, servis, saha dönüşü vb konular hakkında olasılığa dayalı yanıtlar verir.

Özellikle güç elektroniği ve tüketici elektroniği uygulamaları için güvenilirliğin yüksek olması oldukça önemlidir. Güvenilirliği en yüksek seviyeye kadar arttırmak teorik olarak olumlu bir yaklaşım gibi görülse de uygulamada istenmeyen bir durumdur. Çünkü güvenilirliğin artırılması her ne kadar sistem geri dönüşlerinin azalması, bakım ve servis maliyetlerinin azalması, firma saygınlığının artması gibi faydaları olmasına karşın, tasarım ve üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu ise, rekabetçi ortamda geride kalmaya neden olabilir.

Güvenilirlikte en önemli parametrelerin başında ömür ve saha dönüşleri gelmektedir. LED aydınlatma pazarında hali hazırdaki LED sürücü devreleri incelendiğinde 50000 saat dolaylarında ömür değerine sahip oldukları görülmektedir. Bir ürünün toplam maliyeti, ürünün toplam ömründe oluşan maliyetler düşünülerek hesaplanır. Bu nedenle maliyet dengesi iyi kurulmalı ve minimum maliyette tasarım hedeflenmelidir. Bu hedefe ulaşırken ürünün pazara çıkış süresi, ürün özellikleri ve müşteri memnuniyeti de dikkate alınmalıdır.

2.2. Güvenilmezlik

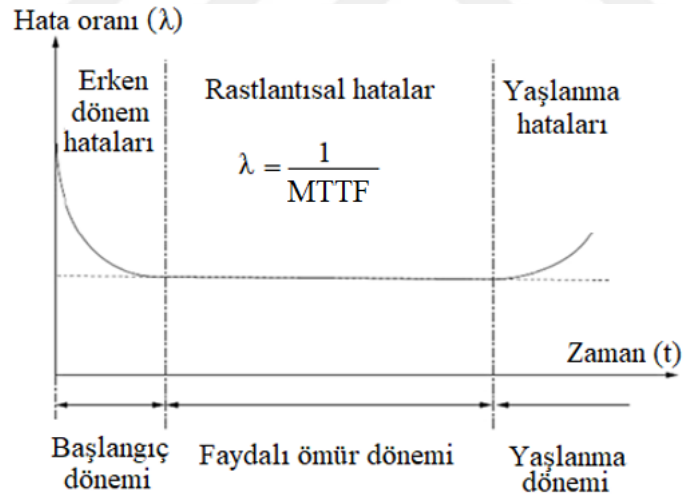
Belirli bir “t” zamanına kadar hata yapma olasılığı ya da diğer bir ifadeyle başarısızlık olasılığı olup $Q(t)$ ile gösterilir. 0 ile 1 arası değerler alır. Bu değerın 1’e yaklaşması güvenilirliğin azaldığı anlamına gelir.

Güvenilirlik ve güvenilmezlik arasında aşağıdaki ilişki geçerlidir.

$$Q(t)+R(t)=1 \quad (2.1)$$

2.3. Hata Oranı

Belli bir zamana kadar hatasız çalışan bir parçanın/ürünün bu noktadan sonraki küçük zaman aralığında hata yapma olasılığıdır. λ ile gösterilir. Ürün ya da sistemler için hata oranının zamana göre değişimi, banyo küveti eğrisi olarak isimlendirilmektedir ve bu eğri Şekil 2.1’de verilmiştir [37-42]. Banyo küveti eğrisi üç yaşam bölgesinden oluşmaktadır. Başlangıç dönemi, faydalı ömür ve yaşlanma dönemi.



Şekil 2.1. Banyo küveti eğrisi

Başlangıç dönemi, erken ölüm dönemi olarak da tanımlanır. Hata sayısı oldukça yüksek olmakla beraber düşme eğilimindedir. Hataların sebepleri arasında kurulum hataları, düşük kaliteli malzeme kullanımı, tasarım hatası, kullanıcı deneyiminin olmaması bulunmaktadır.

Faydalı ömür dönemi, hataların diğer dönemlerden daha az olduğu ve hata oranının sabit olarak devam ettiği bölgedir. Bu dönemde gerçekleşen hatalar daha ziyade beklenmeyen ve rastlantısal özellikteki hatalardır.

Yaşlanma dönemi, ürünün artık ömrünü tamamlamaya doğru gittiği dönemdir. Hata sayısı bu dönemde giderek artma eğilimindedir.

2.4. Ortalama Hata Yapma Süresi

Ortalama yaşam süresi olarak tanımlanır. Hata yapma anına kadar geçen ortalama çalışma süresini verir. Literatürde kısaca MTTF (Mean Time to Failure) ile ifade edilir.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.2)$$

2.5. Hatalar Arası Ortalama Süre

Tamir edilebilir sistemlerde kullanılan bir ifadedir. Gerçekleşen hata sonrasında hatanın ortadan kaldırılması ile yeni hatanın oluşmasına kadar geçen zamanı tanımlamaktadır. Literatürde kısaca MTBF (Mean Time Between Failures) ile ifade edilir.

$$MTBF = \frac{T}{r} \quad (2.3)$$

T: Toplam çalışma süresi [saat],

r: Hata sayısı.

2.6. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Herhangi bir t anında hata yapma olasılık değerlerinden oluşan eğridir. Literatürde kısaca PDF (Probability Density Function) ile ifade edilir.

2.7. Güvenilirlik Onay Testleri

Güvenilirlik odaklı gerçekleştirilen çalışmalar yoğun güvenilirlik onay testleri ve analizlerinden oluşur. Gerçekleştirilen güvenilirlik testleri ve analizlerinin ortak amacı, ürünlerin sahada karşılaşılabilecekleri olası etkilere vereceği yanıtların, oluşabilecek problemlerin önceden belirlenmesi ve bu problemlerin önlenerek saha

dönüşünün en aza indirgenmesidir. Bu amaçla gerçekleştirilen başlıca elektriksel güvenilirlik testleri; kalkış akımı testi [43], gerilim düşümü ve kısa süreli kesinti testleri [44-47], gerilim değişim testi, elektrostatik boşalma testi [48], yıldırım darbe testi [49] olarak sayılabilir. Elektriksel testlerin dışında çevresel ve mekanik testler de mevcuttur. Bu testlerden bazıları; yüksek sıcaklık testi, düşük sıcaklık testi, yüksek nem testi, sıcaklık değişimi testi, titreşim testi ve düşme testidir. Tüm bu ve benzeri güvenilirlik onay testlerinin her biri bir dizi koşullar altında gerçekleştirilir. Bunların uygunluğunun belirlenmesinde, aşağıda verilen üç temel uygunluk karar kriteri ele alınır.

Kriter A, test süresince, ürün tasarlandığı şekilde çalışmalıdır.

Kriter B, ürün test sonrası tasarlandığı haliyle çalışmalıdır. Test süresince üründe geçici performans kaybına izin verilir. Test bitiminde, ürünün beklenen çalışma durumuna kullanıcı müdahalesine gerek olmaksızın dönmesi gerekmektedir.

Kriter C, test süresince üründe geçici performans kaybına izin verilir. Test bitiminde, ürünün, beklenen çalışma durumuna kullanıcı müdahalesi neticesinde dönmesi gerekmektedir.

2.8. Hızlandırılmış Ömür Testleri

Elektronik malzemelerde hata yapma hızını arttırmak ve bu amaçla olası hasar mekanizmalarını devreye almak üzere kurulmuş testleri ifade etmektedir. Literatürde “Accelerated Life Test” baş harflerinden oluşan ALT kısaltması ile ifade edilir. Farklı hızlandırılmış testler bulunmaktadır. Bunlar tek mekanizmalı olabileceği gibi birden çok mekanizmanın bir arada devreye alındığı testler de olabilmektedir [50].

Hata mekanizmaları çeşitli stres faktörlerini içerebilmektedir. Sıcaklık, sıcaklık çevrimi, nem, gerilim değeri, titreşim başlıca stres faktörlerindedir. Bu stres faktörleri yardımıyla hızlandırma faktörleri belirlenmiştir Hızlandırma faktörlerinin eldesinde modellerden yararlanır. Arrhenius, korozyon, gerilim ve korozyon, değiştirilmiş Coffin-Manson ve Basquin başlıca modellerdir [51-52].

Arrhenius modeli: Stres faktörü olarak sıcaklık dikkate alındığında Arrhenius modelinden yararlanır.

$$HF=e^{-\left(\frac{E_a}{K}\right)\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)} \quad (2.4)$$

HF: Hızlandırma faktörü,

E_a : Aktivasyon enerjisi (eV),

K: Boltzman sabiti = $8,617 \times 10^{-5}$ eV/K,

T_1 : Test sıcaklığı (°K),

T_2 : Kullanım sıcaklığı (°K)

Aktivasyon enerjisi, kimyasal bir reaksiyonun başlaması için gerekli en düşük enerji miktarıdır. Eşik enerjisi olarak da adlandırılır. Oluşacak kimyasal reaksiyon, söz konusu malzemenin hata mekanizmasının oluşmasıdır. Sıcaklığın ürünün ömrü üzerindeki etkisinin bir göstergesidir. Malzemeye göre değişmekle birlikte MIL-STD-217F-2'ye göre bu değer 0,4eV civarındadır.

Korozyon modeli: Stres faktörü olarak sıcaklığa ilaveten bağıl nem miktarı da dikkate alındığında korozyon modelinden yararlanır.

$$HF=\left(e^{-\left(\frac{E_a}{K}\right)\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)}\right)*\left(\frac{RH_1}{RH_2}\right)^n \quad (2.5)$$

RH_1 : Test sırasında bağıl nem,

RH_2 : Kullanım sırasında bağıl nem,

n: Hata mekanizmasına bağlı katsayı, genellikle 2- 4 arası kabul edilir.

Gerilim uygulamalı korozyon modeli: Korozyon modeline gerilim stres faktörünün de ilave edilmesi ile elde edilecek hızlandırma faktörü hesabında bu modelden yararlanır.

$$HF=\left(e^{-\left(\frac{E_a}{K}\right)\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)}\right)*\left(\frac{RH_1}{RH_2}\right)^n*\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^N \quad (2.6)$$

V_1 : Test gerilimi (V),

V_2 : Kullanım gerilimi (V),

N: Teknolojiye bağlı katsayı, genellikle 2-4 arası kabul edilir.

Değiştirilmiş Coffin-Manson modeli: Stres faktörü olarak sıcaklık çevrimi dikkate alındığında hızlandırma faktörü hesabında bu modelden yararlanır.

$$HF=e^{-\left(\frac{0,123}{K}\right)\left(\frac{1}{T_u}-\frac{1}{T_s}\right)}*\left(\frac{f_u}{f_s}\right)^{0,3}*\left(\frac{\Delta T_s}{\Delta T_u}\right)^{1,9} \quad (2.7)$$

T_u : Maksimum kullanım lehim noktası sıcaklığı (°K),

T_s : Maksimum test lehim noktası sıcaklığı (°K),

f_u : Kullanım sıcaklığı çevrim frekansı, 24 saat içindeki çevrim sayısı.

f_s : Test sıcaklık çevrim frekansı, 24 saat içindeki çevrim sayısı.

ΔT_u : Kullanım anında sıcaklık değişimi (°C),

ΔT_s : Test anında sıcaklık değişimi (°C),

Basquin's modeli: Stres faktörü olarak mekanik titreşim dikkate alındığında hızlandırma faktörü hesabında bu modelden yararlanılır.

$$HF=\left(\frac{G_1}{G_2}\right)^m \quad (2.8)$$

G_1 : Test titreşim seviyesi (g rms),

G_2 : Kullanım titreşim seviyesi (g rms),

m: Materyal türüne bağlı katsayı

Hızlandırılmış ömür testlerinin en bilineni kullanım süresinin arttırılmasıdır. Örneğin bir TV normal kullanımda günlük 8 saat çalışır kabul edilmektedir. Bu yöntem ile TV 24 saat çalıştırılarak kullanım süresi 3 kat hızlandırılmış olur. TV'nin ömrü 10 yıl olarak kabul edildiğinde, günde 8 saat çalıştırma ile toplamda 29200 (365*8*10) saatlik bir çalışma süresi elde edilir. 3 kat hızlandırmak demek; 29200 saatlik çalışmanın yaklaşık 9733 (29200/3) saatte simüle edilmesi anlamına gelmektedir.

Benzer şekilde, LED uygulamaları için; ömür 10 yıl olarak kabul edildiğinde, günde 16 saat çalıştırma ile toplamda 58400 (365*16*10) saatlik bir çalışma süresi elde edilir. Günde 24 saat çalıştırarak 1,5 kat hızlandırılmış olur. Bu durumda 58400 saatlik çalışma yaklaşık 38933 (58400/1,5) saatte simüle edilmiş olur.

Hızlandırılmış ömür testleri sonucunda teste alınan ürünlerin hata yapma süreleri not alınır. Test altında hata yapmayan ürün var ise, bu ürünlerin de hata yapmadıkları süre not edilir. Bu sürelerin hızlandırma faktörleri ile çarpımı, normal kullanım şartları altında iken oluşacak yaklaşık süre karşılığıdır. Hızlandırılmış ömür testleri sonucunda elde edilen veri tipleri sansürlü veri ve sansürlü veri olarak ikiye ayrılır [51].

2.9. Sansürsüz Veri

Tam veri olarak da adlandırılır. Test altındaki tüm ürünlerin hata verdiği ve hata verme zamanının bilindiği durumda, sansürsüz veriler elde edilir.

2.10. Sansürlü Veri

Kayıp veri olarak da adlandırılır. Test süresi sonunda test altındaki ürünlerden hata vermeyen ürün bulunması ya da hata vermiş olsa da hata verme zamanının bilinmemesi durumunda bu tip veri elde edilir. Sansürlü veri, sağdan sansürlü, soldan sansürlü ve aralık sansürlü olmak üzere üçe ayrılır. Sağdan sansürlü veri, test altındaki ürün hata yapmadığı zaman söz konusu olup, hata yapmama süresi (yani test süresi) dikkate alınır. Soldan sansürlü veri, test altındaki ürünün hata yaptığı fakat hatanın zamanının net bilinmeyip belli bir zamandan önce olduğu bilgisi söz konusu ise dikkate alınır. Aralık sansürlü veri ise test altındaki ürünün hata yaptığı fakat hatanın zamanının net bilinmeyip belli bir zaman aralığında olduğu bilgisi olduğunda geçerlidir.

3. LED SÜRÜCÜ DEVRESİ TASARIM VE ÖLÇÜMLERİ

3.1. LED Aydınlatma Sistemleri

LED aydınlatma sistemleri diğer aydınlatma sistemlerine göre enerji verimi, ömür, çevre dostu olma ve boyut gibi birtakım avantajlara sahiptir. Örneğin 100W gücünde geleneksel akkor flamanlı bir lambanın ışık miktarını (1600 lümen) verebilecek diğer aydınlatma aygıtları incelendiğinde, bu değer halojen lamba için 77W, kompakt florasan lamba için 23W iken LED lambalarda 20W'tır. Ömür bakımından diğer aydınlatma sistemleriyle karşılaştırıldığında ise LED lambalar (20000 saat civarı) rakiplerine göre (akkor flamanlı lamba 750 saat, halojen lamba 1000 saat, kompakt florasan lamba 10000 saat civarı) oldukça üstündür.

Güç LED'lerinin kendilerine özgü bir takım parametreleri vardır. Bunlardan birincisi LED akımıdır. Üzerlerinden akıttıkları akım LED'lerin performansını doğrudan etkiler. LED üzerinden akan akım, giderek LED'in ısınmasına neden olur. İleri kutuplama gerilim düşümü en önemli ikinci parametre olup, genellikle sabit olmakla birlikte üzerlerinden akan akıma ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. LED ileri kutuplama geriliminin büyüklüğü LED'in çıkış gücüne karşılık gelen ışık miktarını etkilemektedir. LED ileri kutuplama geriliminin düşük olması yukarıda tanımlanan çıkış gücüne göre ışık miktarının arttırabilmesi anlamına gelir. Üzerinden akan akım ile LED ısındıkça ileri kutuplama gerilimi düşer. Fakat LED'in ısınması istenmez. LED'in ömründe azalmaya neden olacağından, güvenilirlik açısından istenmeyen bir durumdur. Ayrıca sıcaklığın LED'in tahrip olmaması için üretici firma tarafından devre elemanı veri sayfalarında verilen sınır değerlerinin altında olması gerekir. Farklı marka ve tipleri için değişebilmekle beraber, genellikle bu değer 125 °C - 150 °C civarındadır. Tüm bu nedenlerle; LED üzerinden akan akımının sabit olması istenir. Bu amaçla LED'leri sürmek için kullanılan sürücü devrelerinin verimi ve güvenilirliği, doğrudan LED aydınlatma sisteminin verim ve güvenilirliğini etkiler. Bu nedenle çeşitli sürme teknikleri ve devreleri geliştirilmiştir. En bilinen ve yaygın teknikler; dirençle sürme, doğrusal düzenleyici devresi ile sürme ve DC/DC çevirici ile sürmedir.

Dirençli sürme tekniği; oldukça basit ve maliyeti düşük bir yöntem olup küçük güçlü LED'ler için uygundur. Fakat akımın tam sabit olmaması (LED ileri kutuplama gerilim düşüşününün sıcaklıkla düşme eğiliminde olması nedeniyle) ve direnç üzerindeki güç kaybının fazla olması dezavantajları arasındadır.

Doğrusal düzenleyici devresi ile sürme tekniği; dirençli sürme tekniğine göre daha iyi bir akım sınırlaması gerçekleştiren basit bir sürme tekniğidir. LED üzerindeki sıcaklığın artması halinde akım değişmez. Buna karşılık kullanılan düzenleyici tümleşik devresinin (LM317 pozitif gerilim düzenleyici vb) ısınma sorunu vardır. Bu ısınma sistemin verimini düşürür.

DC/DC çeviricilerin yalıtımlı (transformatörlü tip; çıkış gerilimi giriş kaynağından yalıtılmıştır.) ve yalıtımsız (endüktanslı tip) olmak üzere farklı türleri vardır. Yalıtımsız çeviriciler temel olarak kontrollü bir anahtarlama elemanı (BJT, IGBT, MOSFET), diyot ve endüktansın farklı kombinasyonlarından oluşur ve yapısındaki endüktansın enerjiyi depolayarak aktarması prensibine bağlı olarak çalışır. Buck, Boost ve Buck-Boost olmak üzere üç temel türü vardır. Tek çıkışlı olarak tasarlanabilirler. Buna karşın yalıtımlı çeviriciler tek ya da çok çıkışlı olarak tasarlanabilirler. Flyback, Forward, Tam Köprü, Yarı Köprü ve Push-Pull gibi tipleri bulunmaktadır. Özellikle Flyback (düşük güçler için) ve yarı köprü en sık kullanılan tiplerdir.

DC/DC çeviricilerin yapılarında bulunan yarı iletken anahtarın kontrolü, "Darbe Genişlik Ayarı (DGA)" ve "Değişen Frekansla Kontrol (DFK)" olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir. DGA ile gerçekleştirilen kontrolde, anahtarlama elemanının anahtarlama periyodu ($T_{on} + T_{off}$) sabit tutularak sadece iletim süresi (T_{on}) değiştirilir. DFK ile gerçekleştirilen kontrolde ise anahtarlama elemanının iletim süresi (T_{on}) ya da kesim süresi (T_{off}) sabit tutularak anahtarlama periyodu ($T=T_{on} + T_{off}$) değiştirilir. Fakat frekansın değiştirilmesi sonucunda bozucu bileşenlerin (harmoniklerin) frekanslarının da değişebilmesine neden olacağından ilave filtreleme sorunlarına neden olabilmektedir. Bu ise istenmeyen bir durumdur.

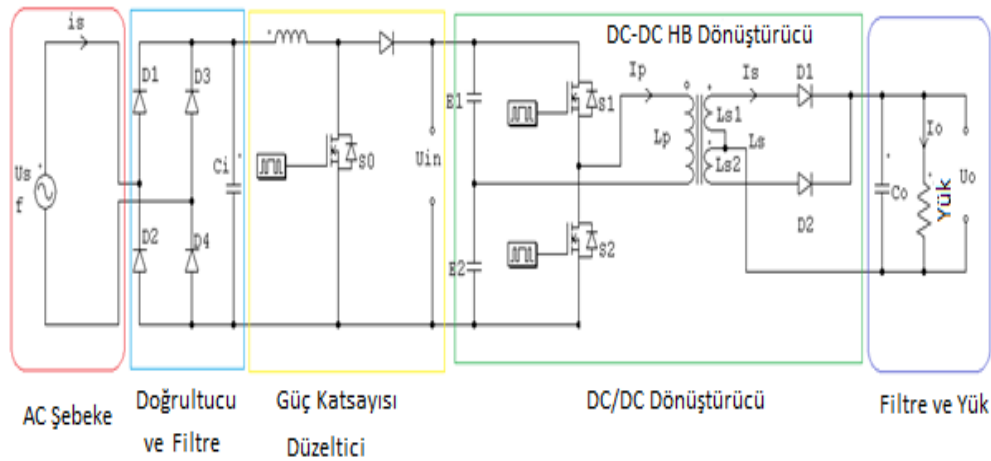
Bu çalışmada, 100W üstü güç değerinde yüksek verimli, yüksek güç katsayılı ve yüksek güvenilirlikli bir sürücü devresinin tasarımı amaçlanmıştır. LED sürücü olarak yalıtımlı bir DC/DC dönüştürücü olan ve kullanımı oldukça yaygın yarı dalga

DC/DC dönüştürücülü sürücü yapısı kullanılmıştır (Şekil 3.1). Tablo 3.1’de piyasada yaygın olarak kullanılmakta olan 100W üstü LED sürücü devrelerin güç, verim gibi bazı temel parametreleri aralık olarak verilmiştir. Bu çalışmada ise;

- yüksek verimli (%93 ve üstü),
- yüksek güç katsayılı (0,95 ve üstü),
- yüksek güvenilirlikli: 87600 saat çalışma ömrü, düşük saha dönüş oranı, 4kV üstü yıldırım darbe korumalı, yüksek elektrostatik boşalma korumalı, -50°C ile +70°C arası çalışma sıcaklığında

bir dış ortam LED aydınlatma sistemine uygun bir sürücü devresi amaçlanmıştır.

Dış ortam çalışması nedeniyle IP66 standartına (Toza karşı tam korumalı ve güçlü su jetlerine karşı korumalı) uygun olması ve standartın gerekliliklerini yerine getirirken güvenilirlikten ödün verilmemesi sağlanmıştır.



Şekil 3.1. LED sürücü sisteminin genel yapısı

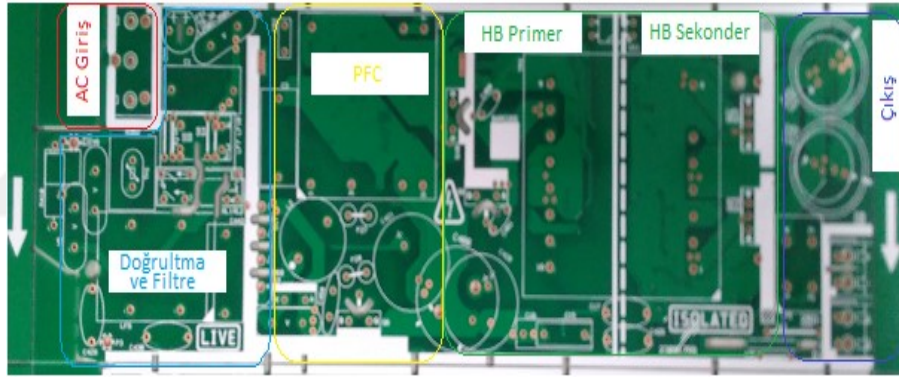
Tablo 3.1. Mevcut LED sürücü devrelerin karşılaştırılması (>100W)

Parametre	Mevcut LED sürücü devreleri
Güç [W]	120-160
Verim [%]	90-92
Güç katsayısı	0,90-0,96
Yıldırım koruması [kV]	4
Ömür [bin saat]	50-70
Çalışma ortam sıcaklığı	-25°C +60°C

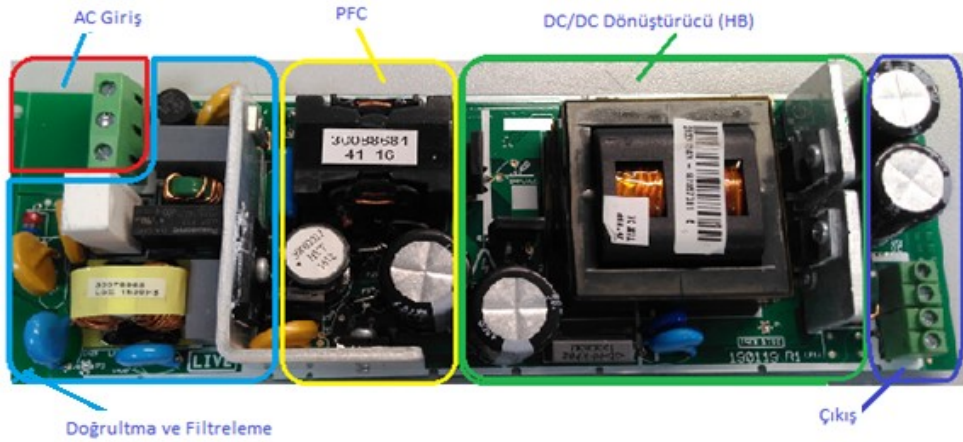
LED sürücü kartı tasarımında karar verilmesi gereken en önemli parametrelerden biri şüphesiz ki sürücü devresinin tek aşamalı mı yoksa çift aşamalı mı olacaktır. Tek aşamalı (single stage) sürücüler genellikle flyback yapıdadır. Çift aşamalı (two stage)

yapıdaki sürücü devrelerinde ilk aşama güç katsayısı düzeltme katı ve ikinci aşama çıkış regülasyonunu (sabit akım/sabit gerilim) sağlama katıdır. İki yapının da birbirine göre avantajları vardır. Her ne kadar tek aşamalı yapıya sahip sürücü devrelerinde verim daha yüksek, malzeme sayısı ve dolayısıyla maliyet daha düşük olsa da çıkış dalgalanması (%20-40) çift aşamalı yapıya göre (%5-15) çok daha yüksektir. Ayrıca toplam harmonik bozulum (>%20) da yine çift aşamalı yapıya göre (<%20) yüksek olmaktadır. Bu tez çalışmasındaki sürücü devresi çift aşamalıdır.

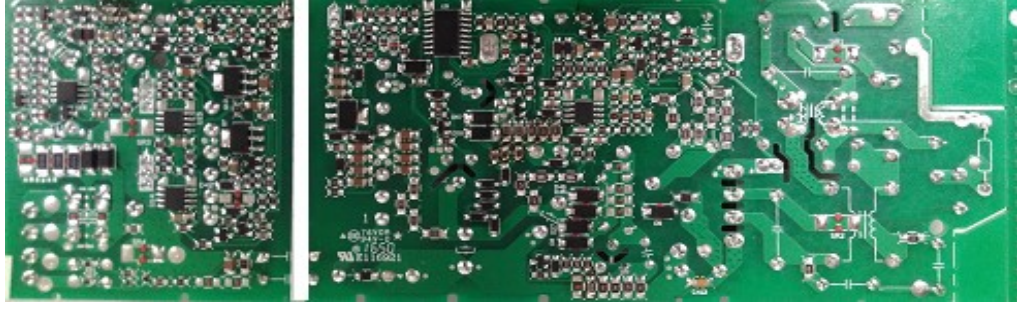
Sürücü devresinin pratik uygulamasına ait PCB (Printed Circuit Board) çizimi Şekil 3.2’de, devre elemanlarının PCB’ye yerleştirilmiş halinin hem ön hem de arka yüzleri ise sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te verilmiştir. Gerek Şekil 3.2’deki PCB çiziminde gerekse Şekil 3.3’teki dizili elektronik kart üzerinde, genel yapıda sözü edilen devre katmanları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. LED sürücü devresinin uygulama kartına ait PCB



Şekil 3.3. LED sürücü kartı – ön yüz



Şekil 3.4. LED sürücü kartı – arka yüz

AC Besleme katı; 176V-264V, 50Hz frekansındadır. Tablo 3.2’de LED sürücü devresinin giriş parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Giriş parametreleri

AC giriş gerilimi, U_{s_rms} [V]	219,4
Şebeke frekansı, f [Hz]	50
Giriş akımı, I_{s_rms} [A]	0,695
Giriş gücü, P_i [W]	148,67
Güç katsayısı, $\cos\Phi$	0,975

Doğrultucu ve Filtre katı; girişteki alternatif gerilimi doğrultmak amacıyla kullanılacak diyotlardan ve elektromagnetik kaynaklı gürültülerin bastırılması için kullanılacak elemanlardan oluşmaktadır.

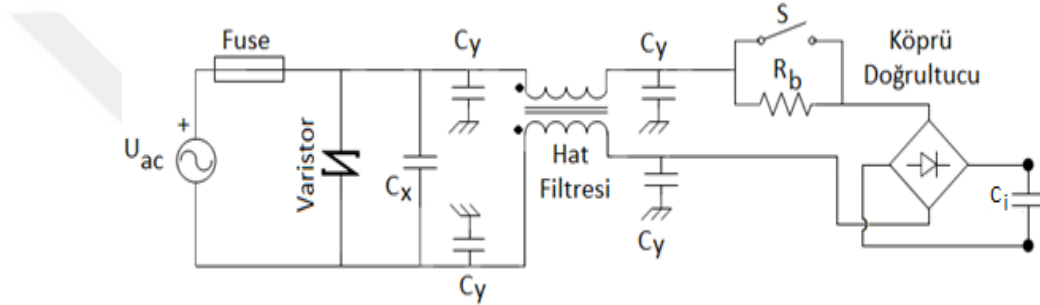
Güç Katsayısı Düzeltme (PFC) katı; girişi tam dalga doğrultulmuş gerilim olup yükseltici tip DC-DC dönüştürücünden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen sürücü devresi için beklenen çalışma şebeke gerilim değeri 176-264V arasındadır. Üst sınırın maksimum değer cinsinden eşiti olan 373V ($264*\sqrt{2}$) değerini de kapsayacak şekilde PFC katında çıkış gerilimi 400V değerine kadar yükseltilmektedir. Bu katmanda, Boost (yükseltici) topoloji kullanılmıştır. Bunun nedeni, endüktansın girişe seri olarak bağlanması, dolayısıyla giriş akımında sürekliliğin sağlanarak güç faktörünün yükselmesine imkân vermesidir.

DC-DC Dönüştürücü katı; LED’leri sürmek için gereken gerilim seviyesinin elde edildiği katmandır. Dönüştürücü, yapısında bulunan endüktansın enerjii depolayıp aktarması prensibine bağlı olarak çalışır. Bu çalışmada test edilen LED sürücü devresindeki DC-DC dönüştürücü, Half Bridge (HB) tipi dönüştürücüdür. HB dönüştürücüler, düşürücü tip (Buck) dönüştürücünden türetilmiştir. Yüksek güçlü uygulamalarda en yaygın kullanıma sahip dönüştürücü tipidir. Tam Köprü (Full

Bridge) dönüştürücülerin fazla sayıda devre elemanı içermesi ve aralarında artan maliyet farkından dolayı neredeyse kW mertebesine kadar HB yapı tercih edilmektedir.

3.2. Doğrultma ve Filtreleme Katı

Elektromagnetik kaynaklı gerek ortak mod gerekse fark mod gürültülerin bastırılması için kullanılacak elemanlardan, girişteki alternatif gerilimi doğrultmak amacıyla kullanılacak diyotlardan (tekil diyotlar ya da köprü diyot), yıldırım darbesinin ve kalkış akımının olumsuz etkilerini önleyen devre elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Doğrultma ve giriş filtre katı

(a) Elektromagnetik gürültüleri önleme

Elektromagnetik gürültüler iletim ve ışıma yoluyla yayılan gürültüler olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir. Faz hattı ile toprak hattı arasında ya da nötr hattı ile toprak hattı arasında bağlanacak filtreleme elemanları (C_y : Y_{cap}) ile fark mod gürültüler bastırılabilir. Faz hattı ile nötr hattı arasında bağlanacak (C_x : X_{cap}) filtreleme elemanları ile ortak mod gürültüler bastırılabilir. Fark mod gürültüde gürültü kaynağı devrenin faz ve nötr hattı boyunca görülür ve kaynak akımı ile aynı yönde akar. Ortak mod gürültüde ise gürültü hem faz hem nötr hattından aynı yönde akar toprak hattından devresini tamamlar. Güç hattında bir gürültü gerilimi görülmez.

Şekil 3.5'te görülen hat filtresi endüktansı, elektromagnetik girişim nedeniyle oluşan bozucu etkilerin filtrelenmesi amacıyla güç ve tüketici elektroniği ürünlerinin elektronik kartlarına eklenen bir devre elemanıdır. Hat filtresi olarak gösterilen ortak mod endüktansı, birbirine eşit sarım sayısına sahip iki sarımın aynı çekirdek üzerine sarılmasıyla oluşur. Sarımlardan biri faz hattına diğeri ise nötr hattına seri bağlanır. Her iki sarımdan da geçen hat akımları nedeniyle manyetik akı oluşur. Oluşan akılar

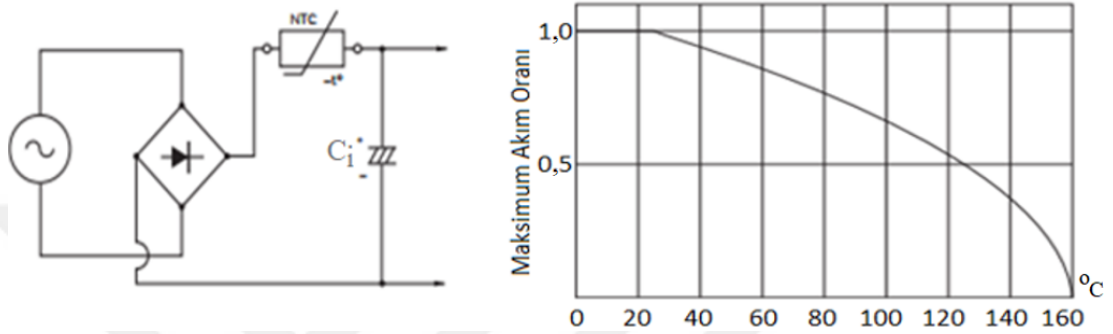
birbirine zıt yönde fakat eş genlikte oldukları için birbirlerini yok ederler. Ortak mod endüktanslarda kullanılan çekirdeğin manyetik geçirgenliği (μ) önemlidir. Yüksek manyetik geçirgenliğe sahip bir çekirdek ile daha küçük boyutta daha yüksek bir endüktans elde edilebilir. Her ne kadar ferrit çekirdek kullanımı yaygın olsa da bu tez çalışması kapsamındaki sürücü devresinde amorphous çekirdek kullanılmıştır. Amorphous alaşım, çok yüksek geçirgenliğe ($\mu_r > 10^4$) ve yüksek doyum seviyesine sahiptir. Ferrit malzemelere göre 3 kata kadar yüksek doyum (endüktansın ani düşüşe geçtiği nokta) seviyesindedir (B_{sat}). Manyetik geçirgenlik miktatsızlanma değerinin ölçütüdür. Amorphous malzemeler yüksek geçirgenlik ve doyum seviyesine ilave olarak yüksek çalışma sıcaklığı ve düşük sıcaklık hassasiyeti olan malzemeler olduğu için güvenilirlik artışına katkıda bulunur.

(b) Kalkış akımını bastırma hücresi

Doğrultucu çıkışlarında kullanılan kapasitelerin (C_i) ilk enerjilendirme anında neden olduğu kalkış akımının olası olumsuzluklarının giderilmesi gerekli görüldüğü takdirde yine bu aşamada gerçekleştirilir. Kalkış akımının neden olduğu kalkış enerjisi ile, sistemin bu katındaki özellikle sigorta ve diyot, köprü diyot gibi devre elemanlarının sınır değerlerini aşması halinde ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle kalkış enerjisinin olası zararlarını gidermek ya da önlemek amacıyla yapılacak iyileştirme ve güncellemeler oldukça önemlidir. Örneğin kalkış enerjisi nedeniyle sigorta erime noktasının aşılması sonucu oluşacak bozulma, sistemin kalanının enerjilenmemesine neden olacağından giderilmesi zorunlu bir sorun oluşturacaktır. Bu durum gerek sistemin bu katı için gerekse tüm sistem için güvenilirlik bakımından kritik öneme sahiptir [43]. Yaygın olarak kalkış akımının önüne geçmek için NTC elemanı kullanılmaktadır. NTC elemanı, sıcaklıkla ters orantılı olarak değeri değişen direnç elemanıdır.

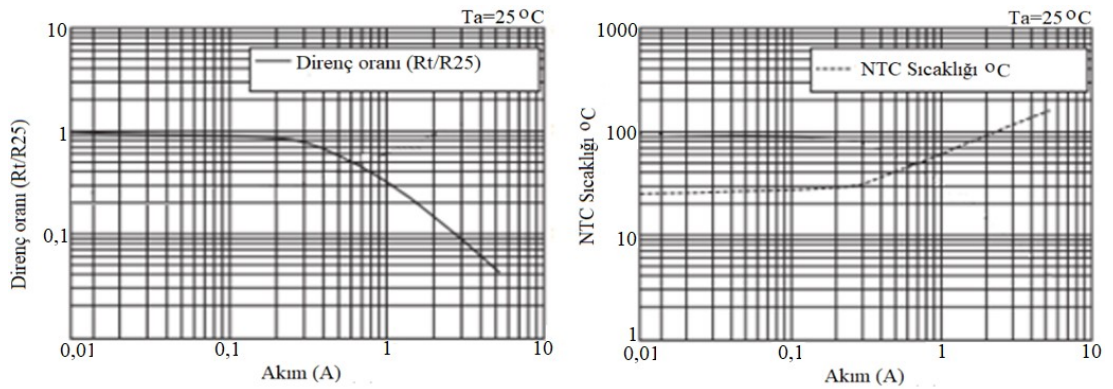
Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sürücü devresinde kalkış akımı sönmüleyicisi olarak farklı bir yapı ele alınmıştır. Şekil 3.5'te R_b ile gösterilen bastırma direnci kullanılmıştır. Fakat bu direnç, yeni bir kalkış akımı sönmüleme yöntemi değildir. Mevcut çalışmalarda NTC elemanın direnç değeri ve kataloğunda yeralan akım değerinin sıcaklığa bağlı olarak değişmesinden (Şekil 3.6.b) dolayı, bunun yerine sabit değerli bir direnç kullanımı da bulunmaktadır.

Şekil 3.6.a'da NTC kullanımının genel bağlantısı ve Şekil 3.6.b'de ise ortam sıcaklığına bağlı olarak NTC üzerinden akabilecek maksimum akımın nominal akıma oranlanarak çizilmiş değişimi görülmektedir [53]. Şekle göre 25°C de iken NTC için izin verilen maksimum akım değeri, katalog değeri olarak belirtilmişken ortam sıcaklığı 120°C' nin üstüne çıktığında bu oranın %50'ye kadar düştüğü görülmektedir. Görüldüğü gibi NTC ortam sıcaklığından çok etkilenmektedir.



Şekil 3.6.a. NTC genel bağlantı devresi b. Sıcaklık - akım oranı ilişkisi

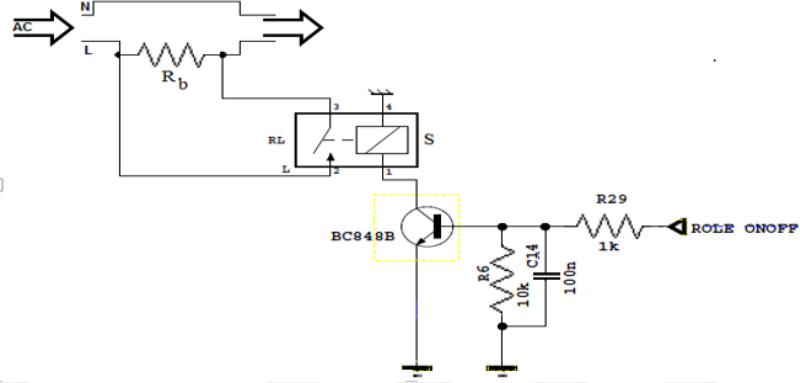
Sabit ortam sıcaklığında, akıma bağlı olarak NTC'nin sıcaklığı ve direnç oranı değişmektedir. Şekil 3.7.a'da 25°C ortam sıcaklığında akıma bağlı direnç oranı değişikliği eğrisi ve Şekil 3.7.b'de akıma bağlı NTC sıcaklık değişim eğrisi görülmektedir [53].



Şekil 3.7.a. Akım-direnç oranı değişimi b. Akım-NTC sıcaklığı değişimi

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen yeni yapı ise; geleneksel metotta kullanılan direnç üzerinde oluşacak güç kaybının minimize edildiği kalkış akımı bastırma hücresidir. Direnç ile gerçekleştirilen kalkış akımı önleme yapılarında direncin üzerinde oluşan güç kaybı sistemin verimini etkilemektedir. Üzerinde, çekilen akımın karesi ile orantılı bir güç kaybı oluşur. Önerilen kalkış akımı bastırma hücresi ile bu güç kaybı

azaltılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen bastırma hücresi Şekil 3.8’de görülmektedir. Bu devre, Şekil 3.5’teki R_b direnci ve ona paralel bağlı S anahtarının detayını vermektedir.



Şekil 3.8. Kalkış akımını bastırma hücresi

Bastırma hücresi R_b direnci, bu dirence paralel olarak bağlı olan bir röle, rölenin anahtarlanması için (kontak çekimi vs) bir transistörden oluşmaktadır. Sistemin enerjilendirilmesi ile birlikte oluşan kalkış akımı doğrudan bastırma direnci olan R_b tarafından karşılanır. Röle, bobinin enerjilenmesi ile mıknatıs özelliği kazanır, karşısında duran metal paleti çekmesiyle röle anahtarlanarak iletme geçer. Akımı üzerine alır ve bastırma direncini devre dışı bırakır. Böylece direncin sürekli devrede kalması ve üzerinde oluşacak güç kaybı önlenmiş olur.

(c) Yıldırım darbesinin etkisini önleme

Şekil 3.5’te görülen varistör, yıldırım darbesinin elektronik kart üzerine etkisini bastırmak için devreye eklenmiştir. Varistörler gerilim kontrollü direnç (VDR) olarak da bilinir. Gerilim yükseldiğinde direnci düşerek akımı üzerine alır ve gerilimin düşmesi ile direnci tekrar yükselir.

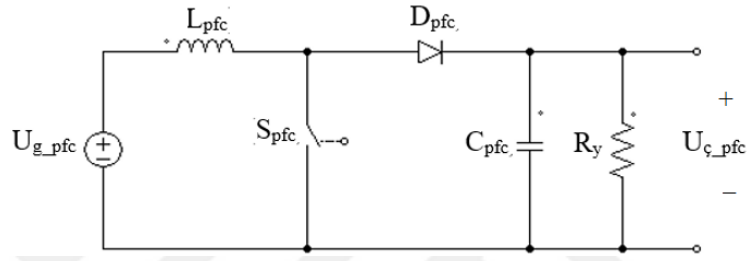
3.3. Güç Faktörü Düzeltme Katı

25W üstü güç değerindeki LED sürücü devrelerinin, IEC 61000-3-2 Class C standartında belirlenen harmonik ölçütlere uyması gerekmektedir. Bu nedenle 25W üstü güç değerindeki devrelerde güç katsayısı düzeltme katı bulunmaktadır. Bu devre katı, girişi tam dalga doğrultulmuş gerilim olup yükseltici tip DC-DC dönüştürücüdür. Güç katsayısı düzeltme katında boost (yükseltici) topoloji kullanılmıştır.

Bunun nedeni, endüktansın girişe seri olarak bağlı olması ve böylece akımda sürekliliğin sağlanarak güç faktörünün yükselmesine imkân vermesidir.

Şekil 3.9’da temel Boost tipi dönüştürücü devresi görülmektedir. Devre, temel olarak bir ana anahtar (S_{pfc}), diyot (D_{pfc}), endüktans (L_{pfc}) ve bir filtre kapasitesinden (C_{pfc}) oluşur. Boost dönüştürücüdeki mosfetin anahtarlama durumuna (iletim ya da kesim durumuna) göre iki topoloji söz konusudur.

Önce devrenin teorik analizi yapılarak sistem denklemleri elde edilecektir. Sonra, tasarlanan devreye ait ölçüm sonuçları verilecektir.



Şekil 3.9. Temel Boost tipi DC-DC dönüştürücü devresi

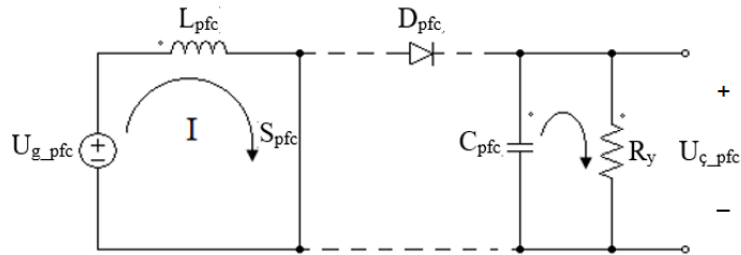
Devreye ait giriş çıkış ilişkisi:

$$U_{\ç_pfc} = \frac{1}{1-D} U_{g_pfc} \quad (3.1)$$

Burada “D” doluluk oranını göstermektedir.

PFC katında kullanılan Boost dönüştürücü için benzetim çalışmasının gerçekleştirilebilmesi amacıyla öncelikle dönüştürücüye ait durum denklemleri her bir topoloji için ayrı ayrı elde edilmiştir.

Topoloji 1 (Şekil 3.10); S_{pfc} anahtarının iletimde olduğu durumdur. Bu durumda;



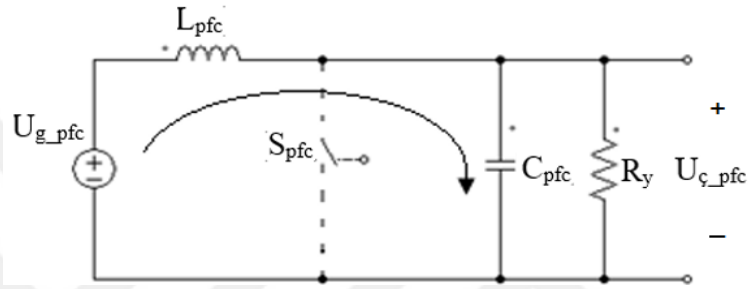
Şekil 3.10. Topoloji 1: S_{pfc} anahtarı iletimde

$$-U_{g_pfc} + U_{L_pfc_on} = 0 \rightarrow L_{pfc} \frac{di_{L_pfc_on}}{dt} = U_{g_pfc} \rightarrow \frac{di_{L_pfc_on}}{dt} = \frac{1}{L_{pfc}} U_{g_pfc} \quad (3.2)$$

$$I_{c_pfc_on} + I_R = 0 \rightarrow C_{pfc} \frac{dU_{c_pfc_on}}{dt} = -\frac{U_{c_pfc_on}}{R} \rightarrow \frac{dU_{c_pfc_on}}{dt} = -\frac{U_{c_pfc_on}}{RC_{pfc}} \quad (3.3)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} U_{c_pfc_on} \\ I_{L_pfc_on} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{RC_{pfc}} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{c_pfc_on} \\ I_{L_pfc_on} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_{pfc}} \end{bmatrix} U_{g_pfc} \quad (3.4)$$

Topoloji 2 (Şekil 3.11); S_{pfc} anahtarının kesimde olduğu durumdur. Bu durumda;



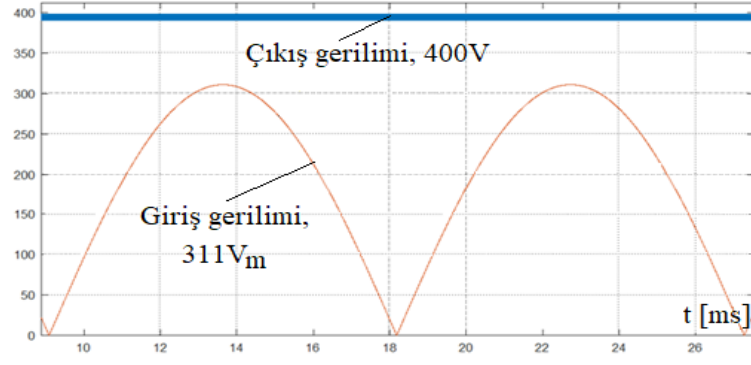
Şekil 3.11. Topoloji 2: S_{pfc} anahtarı kesimde

$$U_{c_pfc_off} + U_{L_pfc_off} - U_{g_pfc} = 0 \rightarrow \frac{di_{L_pfc_off}}{dt} = \frac{1}{L_{pfc}} U_{g_pfc} - \frac{1}{L_{pfc}} U_{c_pfc_off} \quad (3.5)$$

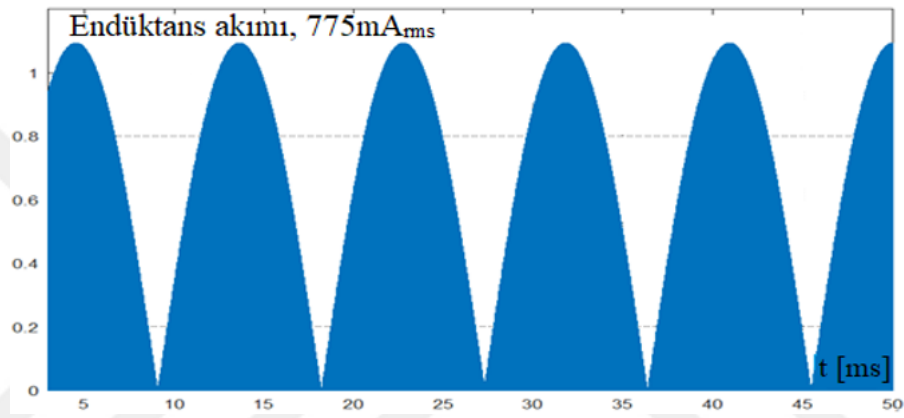
$$I_{c_pfc_off} + I_R - I_{L_pfc_off} = 0 \rightarrow C_{pfc} \frac{dU_{c_pfc_off}}{dt} = I_{L_pfc_off} - \frac{U_{c_pfc_off}}{R} \rightarrow \frac{dU_{c_pfc_off}}{dt} = \frac{I_{L_pfc_off}}{C_{pfc}} - \frac{U_{c_pfc_off}}{RC_{pfc}} \quad (3.6)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} U_{c_pfc_off} \\ I_{L_pfc_off} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{RC_{pfc}} & \frac{1}{C_{pfc}} \\ -\frac{1}{L_{pfc}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{c_pfc_off} \\ I_{L_pfc_off} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_{pfc}} \end{bmatrix} U_{g_pfc} \quad (3.7)$$

Devrenin benzetimi için yukarıda elde edilen durum denklemleri sayısal yöntemlerle çözdürülebilir, ya da bir devre benzetim programı kullanılabilir. Bu amaçla PSIM programı ($R_y=10\Omega$, $L_{pfc}=330\mu H$, $C_{pfc}=27\mu F$) kullanılmıştır. Giriş gerilimi ($311V_m$) ve çıkış gerilimi ($400V_m$) Şekil 3.12’de, endüktans akımı ($775mA_{rms}$) Şekil 3.13’te görüldüğü gibi elde edilmiştir.

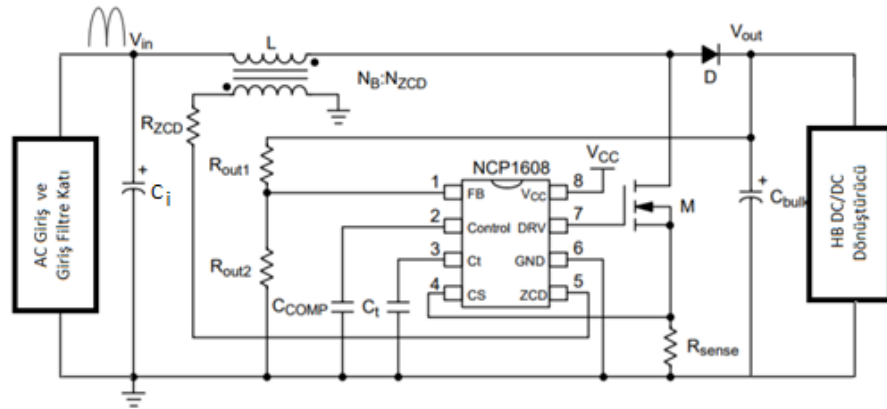


Şekil 3.12. Benzetim sonucu giriş ve çıkış gerilimi [V]



Şekil 3.13. Benzetim sonucu endüktans akımı [A]

Tasarımı gerçekleştirilen LED sürücü devresi güç katsayısı düzeltme katı Şekil 3.14'te verilmiştir.

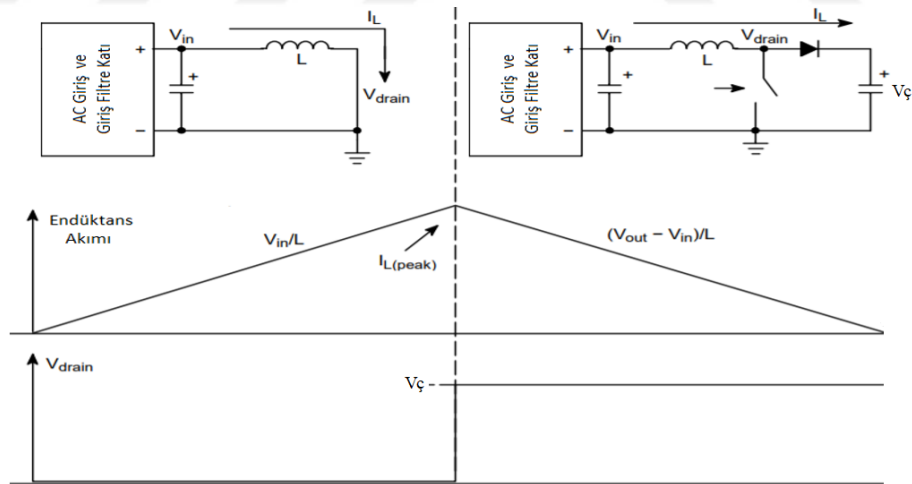


Şekil 3.14. Güç katsayısı düzeltme katı

Şekil 3.14'te görüldüğü üzere güç katsayısı düzeltimi için NCP1608 PFC Controller [54] tümleşik devresi kullanılmıştır. Bu tümleşik devre kritik iletim modunda

çalışmaktadır. Kritik iletim modu ile kastedilen endüktans akımının sifıra düştüğü anda tekrar yükselmeye başlamasıdır. Şekil 3.15'te kritik mod çalışma ilkesi görülmektedir. Mosfet iletimdeyken; köprü doğrultucunun çıkışındaki V_{in} gerilimi (U_{g_pfc}) endüktansı (L) besler. Endüktans akımı doğrusal olarak yükselir.

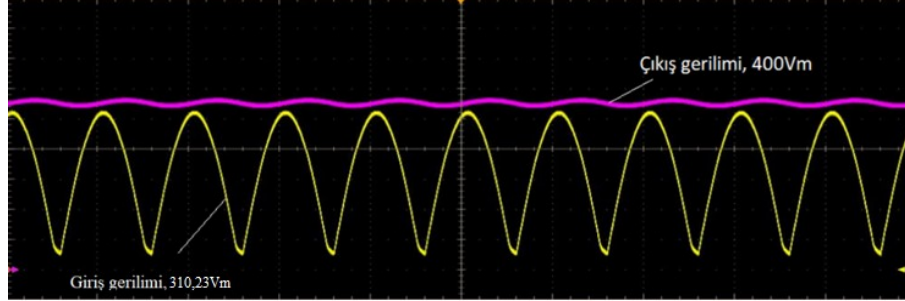
Mosfet kesimdeyken; endüktans akımı diyot üzerinden akarak doğrusal olarak düşer. Endüktans akımı sifıra düştüğü anda Mosfet tümleşik devre tarafından yeniden iletime koşullandırılarak döngü tekrarlanır. Akımın sifıra düşüşü tümleşik devrenin ZCD pini ile algılanır. Endüktansa bağlı yardımcı sargı olan ve şekilde ZCD sargısı olarak gösterilmiş (NZCD) sargı yardımıyla, endüktans akımı sifıra düştüğünde ZCD pininden okunan gerilim düşmeye başlar. Pin düşen kenarı algılayarak mosfeti iletime sürer. Pine yüksek gerilim gelmesini önlemek için, tümleşik devre içinde ZCD pinine bağlı ZCD clamp zener diyodu bulunmaktadır. Şekil 3.14'te görülen R_{zCD} direnci ise tümleşik devrenin ZCD pininin yüksek akım nedeniyle zarar görmesini önlemek için akım sınırlayıcı olarak eklenir. Bu pindeki maksimum akım 10mA'dir. Bu noktada yeni peryoda geçilmezse (döngü tekrarlanmaz ise) Mosfet Drain-Source pinleri arasında giriş gerilimi görülür.



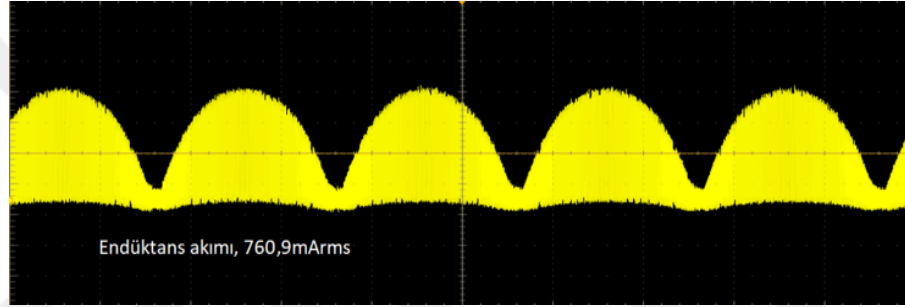
Şekil 3.15. Kritik mod çalışma ilkesi

Dikkat edileceği üzere, Şekil 3.14'te güç katsayısı düzeltme katının çıkış gerilimi ($V_{out}=U_{ç, pfc}$) R_{out1} ve R_{out2} dirençlerinden oluşan gerilim bölücü ile tümleşik devre pini için anlamlı hale getirilerek FB pinine verilmiştir. FB pini olarak tanımlanan geri besleme pini yardımıyla yüksek ve alçak gerilim koruma sağlanabilmektedir. Mosfet üzerinden geçecek akımın sınır değerini ise CS pini belirler.

Tasarlanan LED sürücü devresinin güç katsayısı düzeltme (PFC) katına ait giriş gerilimi ($\approx 310V_m$) ve çıkış gerilim ($400V_m$) değişimleri Şekil 3.16’da ve endüktansı akımı ($760,9mA_{rms}$) Şekil 3.17’de görülmektedir.

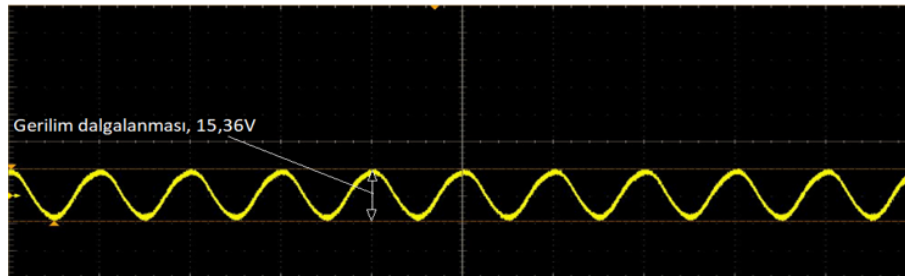


Şekil 3.16. PFC katı giriş gerilimi ve çıkış gerilimi



Şekil 3.17. Deneysel çalışma: Endüktans akımı [A]

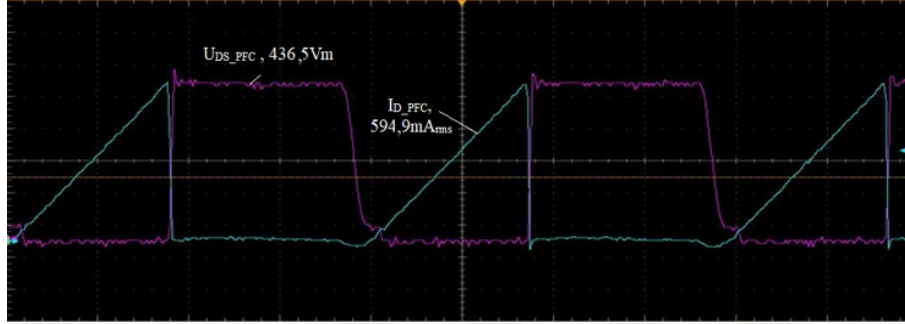
Şekil 3.18’de PFC katının çıkışında bulunan çıkış kapasitesinin üzerindeki dalgalanma miktarı görülmektedir. Dalgalanma miktarının tepeden tepeye ölçülen değeri $15,36V$ ’tur. Yüzde olarak ifade edecek olursak, yaklaşık %4 civarındadır.



Şekil 3.18. PFC çıkış kapasitesi üzerindeki gerilim dalgalanması

Şekil 3.19’da, PFC katı ana anahtarı (Mosfet; anahtarlama frekansı $110,72kHz$) Drain-Source gerilimi (U_{DS_PFC}) ile Drain akımı (I_{D_PFC}) değişimleri görülmektedir. Mosfet’e ait, U_{DS_PFC} geriliminin maksimum değeri $436,5V$ olarak ve I_{D_PFC} akımının etkin değeri $594,9mA$ olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm sonuçları kullanılan FQPF10N60C

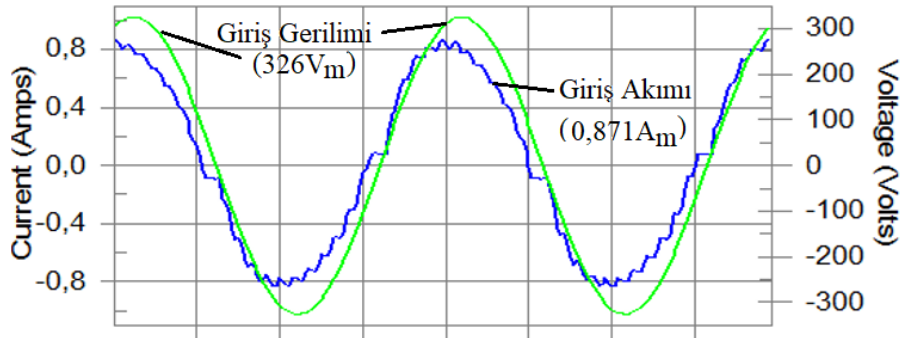
tanımlı Mosfetin katalogundaki maksimum “Drain-Source Breakdown Voltage” değeri olan 600V değerinden (U_{DS}) ve “Drain Current” değeri olan 10A değerinden (I_D) küçük olduklarından, bu iki parametre güvenilirlik açısından bir sorun oluşturmamaktadır [55].



Şekil 3.19. PFC katı Mosfet Drain-Source gerilimi ve Drain akımı

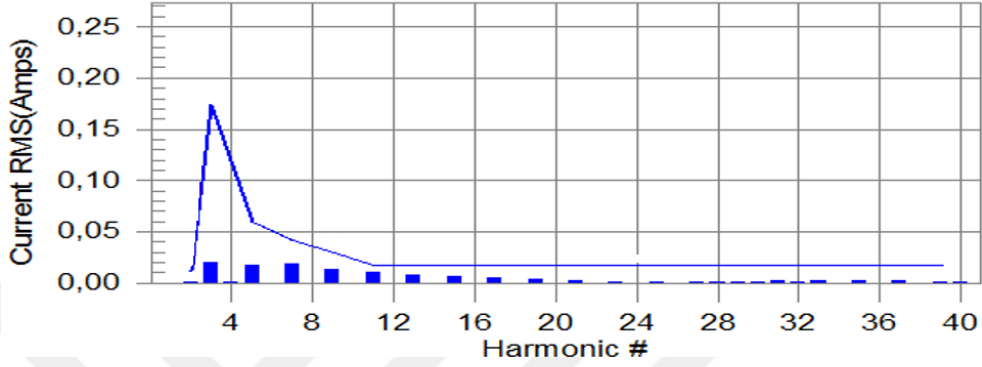
Söz konusu devre katının etkisinin gözlemlenmesi ve harmonik standartlarına uygun bir tasarımın olup olmadığının belirlenmesi amacıyla harmonik testi gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında sunulan LED sürücü devresine harmonik testi uygulanmıştır. Devrenin harmonik testi sırasında ölçülen giriş akımı ve gerilimi değişimlerine ait harmonik ölçüm ekranı Şekil 3.20’de verilmiştir. Harmonik ölçümü EMC laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.20’deki giriş gerilim/akım değerlerinin önceki ölçümlerden bir miktar farklı olmasının nedeni EMC laboratuvarı test koşullarının farklı olmasıdır. Şekil 3.21’de devrenin giriş akımının harmonik dağılımı, harmonik derecesine göre gösterilmiştir. Tablo 3.3’te ise, ölçüm sonuçları, olması gereken limit değerleri ve bu limit değerlerine ne kadar yaklaşıldığı detaylı olarak harmonik derecelerine göre verilmiştir.



Şekil 3.20. Harmonik ölçüm cihazı, ölçüm sonuç eğrisi

Şekil 3.22’de harmonik ölçüm cihazı parametre ekranı görüntüsü verilmiştir. Test sonucuna göre, güç faktörü 0,975 ve THB (toplam harmonik bozulumu) değeri %6,5 olarak ölçülmüştür. LED sürücü üreticileri, THB değeri olarak genellikle %20’nin altına inmeye çalışmaktadır. Bu bağlamda sunulan LED sürücü devresinin THB değeri de bu değer in oldukça altındadır.



Şekil 3.21. Harmonik ölçüm cihazı, harmonik dağılım

Tablo 3.3. LED sürücü devresi harmonik ölçüm sonuçları

Harm #	Harm (ort)	%100 Limit	% of Limit	Durum
2	0,001	0,012	0	Geçer
3	0,02	0,174	11,7	Geçer
4	0,001	0	0	Geçer
5	0,017	0,059	28,4	Geçer
6	0	0	0	Geçer
7	0,018	0,042	43,7	Geçer
8	0	0	0	Geçer
9	0,014	0,03	45,7	Geçer
10	0	0	0	Geçer
11	0,01	0,018	57,9	Geçer
12	0	0	0	Geçer
13	0,008	0,018	47	Geçer
14	0	0	0	Geçer
15	0,007	0,018	36,7	Geçer
16	0	0	0	Geçer
17	0,005	0,018	0	Geçer
18	0	0	0	Geçer
19	0,003	0,018	0	Geçer
20	0	0	0	Geçer
21	0,002	0,018	0	Geçer

Harm # : harmonik derecelerini,

Harm (ort) : her bir harmonik derecesi için ölçülen akım değerini

100% Limit : her bir harmonik derecesi için standarta göre limit değeri,

% of Limit : her bir harmonic derecesi için ölçülen değer in limitin % kaç ı oldu ğu

Durum : ölçüm sonuçlarına göre harmonik testi sonucunu göstermektedir.

Current Test Result Summary (Run time)

EUT: RDT_xxxx_harmonic
Test category: Class-C per Ed. 4.0 (2014) (European limits)
Test date: 30.06.2017
Test duration (min): 2
Comment: S2_140W
Customer: AYDINLATMA
Tested by: xxxxx
Test Margin: 100
Start time: 09:30:36
End time: 09:32:48
Data file name: H-cts_data

Test Result: Pass
THC(A): 0,039
I-THD(%): 6,5
Source qualification: Normal
POHC(A): 0,005
POHC Limit(A): 0,056

Highest parameter values during test:

V _{RMS} (Volts):	230,49	Frequency(Hz):	50,00
I _{Peak} (Amps):	0,871	I _{RMS} (Amps):	0,596
I _{Fund} (Amps):	0,594	Crest Factor:	1,463
Power (Watts):	133,9	Power Factor:	0,975

Şekil 3.22. Harmonik ölçüm cihazı, parametreler

Güç katsayısı düzeltme katına ait temel elektriksel büyüklükler için (giriş ve çıkış gerilimi ile endüktans akımı) deneysel (osiloskop ile alınan ölçümler) ve benzetim çalışmalarından elde edilen değerler Tablo 3.4'te verilmiştir. Alınan ölçümler dikkate alındığında benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların uyduğu görülmüştür.

Tablo 3.4. PFC katı temel elektriksel büyüklükler (deneysel ve benzetim)

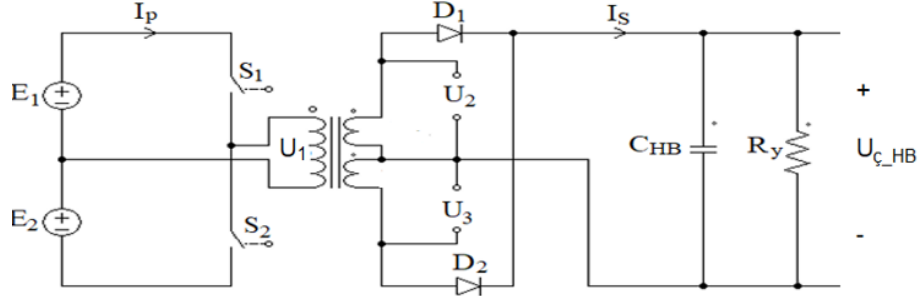
	Deneysel çalışma	Benzetim çalışması
Endüktans akımı [mA _{rms}]	760,9 (Şekil 3.17)	775 (Şekil 3.13)
Giriş gerilimi [V _m]	310 (=219,4V _{rms}) (Şekil 3.16)	311 (Şekil 3.12)
Çıkış gerilimi [V _m]	400 (Şekil 3.16)	400 (Şekil 3.12)

3.4. DC-DC Dönüştürücü Katı

LEDleri sürmek için gereken gerilim seviyesinin elde edildiği devre katıdır. Dönüştürücü için topoloji seçilirken çıkış güç seviyesi, verim, dalgalılık oranı, boyut, maliyet gibi ölçütler dikkate alınır. Güvenlik açısından bu katmanda topoloji seçiminde bu sayılan teknik gereksinimlere ilaveten, dönüştürücünün yalıtımlı ya da yalıtımsız olması da dikkate alınan en önemli parametrelerdendir. HB dönüştürücü yüksek güçlü uygulamalarda en yaygın kullanıma sahip dönüştürücülerdendir. Bu çalışmada, yalıtımlı bir dönüştürücü olan Half-Bridge (HB) dönüştürücü kullanılmıştır.

HB dönüştürücü, sekonder'i orta uçlu bir transformatör ile iki fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucudan oluşan yalıtımlı bir dönüştürücüdür. Şekil 3.23'te, dönüştürücünün temel devre şeması görülmektedir. Anahtarlar S₁ ve S₂ sıra ile açılıp kapanır. Anahtarların ortak referans noktaları yoktur. Bu nedenle kapı sinyallerini oluşturmak için kullanılacak sürücü devrelerine ayrı kaynaklar gerekmektedir. İki

anahtarın aynı anda iletme girmesini önlemek için, anahtarlar arasında ölü zaman bırakılır. Devre, temel olarak bir transformatör, S_1 ve S_2 olmak üzere iki anahtar, D_1 ve D_2 diyotları, C_{HB} filtre kapasitesi ve R_y yükünden oluşur. I_p ve I_s ise sırasıyla primer ve sekonder akımlarıdır.



Şekil 3.23. Temel HB tipi DC-DC dönüştürücü devresi

HB dönüştürücünün en temel elemanı olan transformatör için eşdeğer devre kullanılmıştır. Literatürde orta uçlu olmayan transformatör için kullanılan modele bir katkı yapılarak, orta uçlu transformatörlere de uygulanacak şekilde model daha genel hale getirilmiştir (Şekil 3.24).

HB dönüştürücü transformatörü, mıknatıslanma endüktansı (L_m), primer tarafında gerilim kontrollü gerilim kaynağı ($U_1=n_1U_2 = n_2U_3$, n_1 :primer ve birinci sekonder sargısına ait dönüşüm oranı ve n_2 : primer ve ikinci sekonder sargısına ait dönüşüm oranı) ve sekonder tarafı iki adet akım kontrollü akım kaynağı ($J_2=n_1I_1$ ve $J_3=n_2I_1$) ile modellenmiştir (Şekil 3.24). Kaçak endüktans ve direnç kayıpları ihmal edilmiştir. HB dönüştürücüde primer mosfetlerinin anahtarlama durumuna (iletim ya da kesim durumuna) göre dört topoloji söz konusudur.

Devreye ait giriş çıkış ilişkisi aşağıda verilmiştir.

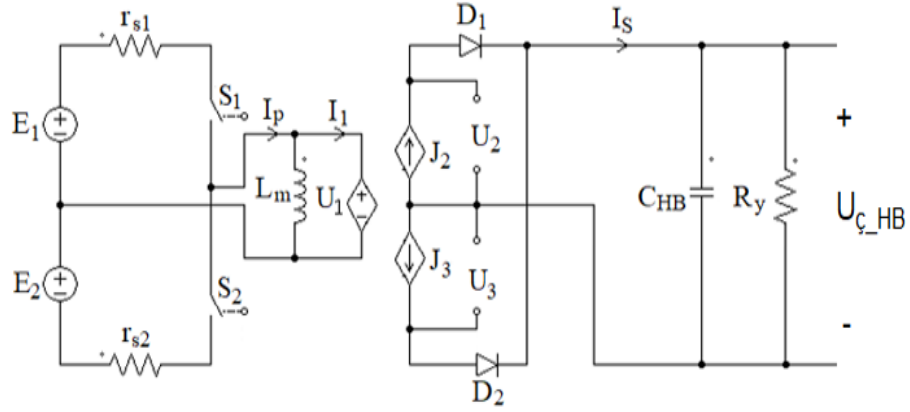
$$U_{ç_HB} = \frac{D}{n_1} U_{g_HB} \quad (2.19)$$

Burada;

$n_1 (=n_2=n)$: transformatör çevirme oranı,

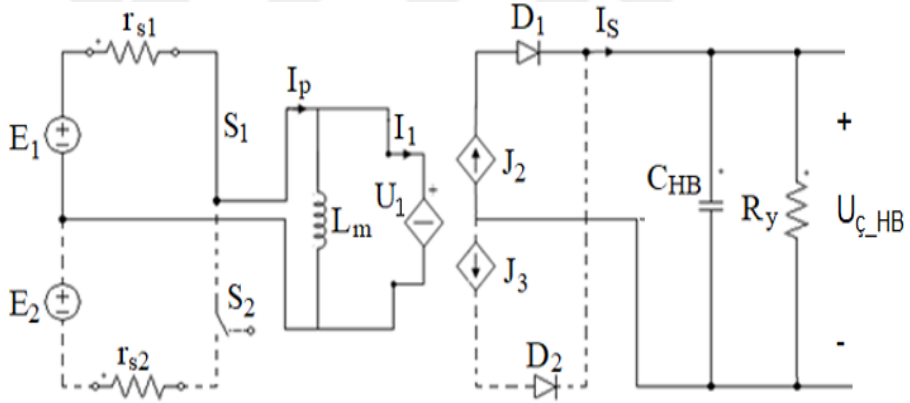
$U_{g_HB} (=E_1=E_2)$: giriş gerilimi.

Önce devrenin teorik analizi yapılarak sistem denklemleri elde edilecektir. Sonra tasarlanan devreye ait ölçüm sonuçları verilecektir.



Şekil 3.24. HB dönüştürücü eşdeğer devresi

Topoloji 1 (Şekil 3.25); S_1 - D_1 iletimdeyken S_2 - D_2 kesimde olduğu durumdur. Bu durumda primer akımı $E_1=U_{in}/2$ gerilimi altında yükselmeye başlar. Primer sargıda enerji depolanır. Bu enerji sekondere transfer olur ve D_1 diyodu ile C_{HB} filtresi üzerinden yüke aktarılır.



Şekil 3.25. Topoloji 1: $S_1 - D_1$ iletimde ve $S_2 - D_2$ kesimde

$$U_{Lm_1} + U_1 = 0 \rightarrow \quad (2.20)$$

$$\frac{di_{Lm_1}}{dt} = \frac{n_1}{L_m} U_{C_HB_1} \quad (2.21)$$

$$I_{c_HB_1} + I_{RY_1} - j_2 = 0 \rightarrow \quad (2.22)$$

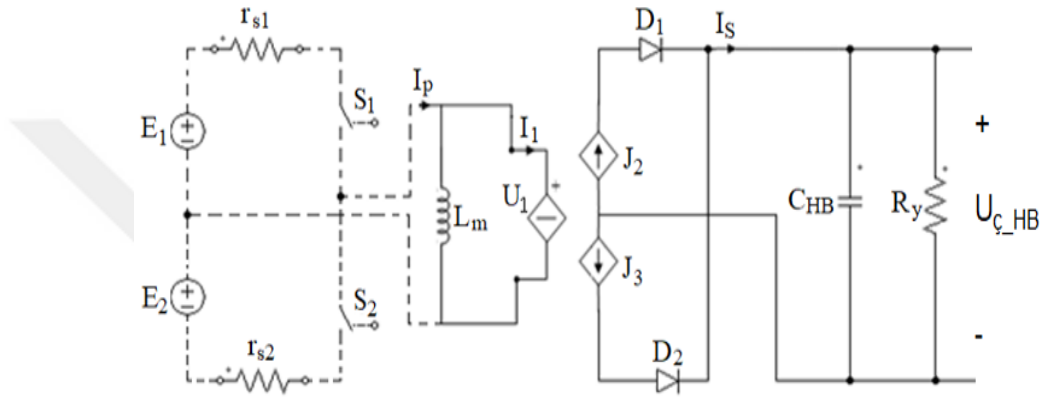
$$I_{c_HB_1} = n_1 \left(\frac{U_{rs1}}{r_{s1}} - I_{Lm_1} \right) - \frac{U_{C_HB_1}}{R_Y} \rightarrow \quad (2.23)$$

$$I_{c_HB_1} = n_1 \left(\frac{E_1 - n_1 U_{C_HB_1}}{r_{s1}} - I_{Lm_1} \right) - \frac{U_{C_HB_1}}{R_Y} \rightarrow \quad (2.24)$$

$$\frac{dU_{C_HB_1}}{dt} = -\frac{U_{C_HB_1}}{R_Y C_{HB}} - \frac{n_1^2 U_{C_HB_1}}{r_{s1} C_{HB}} - \frac{n_1 I_{Lm_1}}{C_{HB}} + \frac{n_1 E_1}{r_{s1} C_{HB}} \quad (2.25)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} U_{C_HB_1} \\ I_{Lm_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_Y C_{HB}} - \frac{n_1^2}{r_{s1} C_{HB}} & \frac{-n_1}{C_{HB}} \\ \frac{n_1}{L_m} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{C_HB_1} \\ I_{Lm_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{n_1}{r_{s1} C_{HB}} \\ 0 \end{bmatrix} E_1 \quad (2.26)$$

Topoloji 2-4 (Şekil 3.26); S_2 ve S_1 anahtarlarının kesimde, D_1 ve D_2 'nin iletimde olduğu durumdur. Bu durumda;



Şekil 3.26. Topoloji 2 ve 4: $S_1 - S_2$ kesimde, $D_1 - D_2$ iletimde

$$U_{Lm_2} + U_1 = 0 \rightarrow \quad (2.27)$$

$$\frac{di_{Lm_2}}{dt} = \frac{n_1}{L_m} U_{C_HB_2} \quad (2.28)$$

$$I_{C_HB_2} + I_{R_Y_2} - (j_2 + j_3) = 0 \rightarrow \quad (2.29)$$

$$I_{C_HB_2} = I_1 (n_1 + n_2) - \frac{U_{R_Y}}{R_y} \quad (2.30)$$

$$I_{C_HB_2} = I_{Lm_2} (n_1 + n_2) - \frac{U_{C_HB_2}}{R_y} \quad (2.31)$$

$$\frac{dU_{C_HB_2}}{dt} = -\frac{U_{C_HB_2}}{C_{HB} R_Y} - I_{Lm_2} \frac{(n_1 + n_2)}{C_{HB}} \quad (2.32)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} U_{C_HB_2} \\ I_{Lm_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_Y C_{HB}} & \frac{-(n_1 + n_2)}{C_{HB}} \\ \frac{n_1}{L_m} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{C_HB_2} \\ I_{Lm_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} E \quad (2.33)$$

Topoloji 3; S₁-D₁ kesimde ve S₂-D₂ iletimdedir. Primerdeki kaynak yönünün ters olması dışında çalışma şekli Topoloji 1 ile benzerdir.

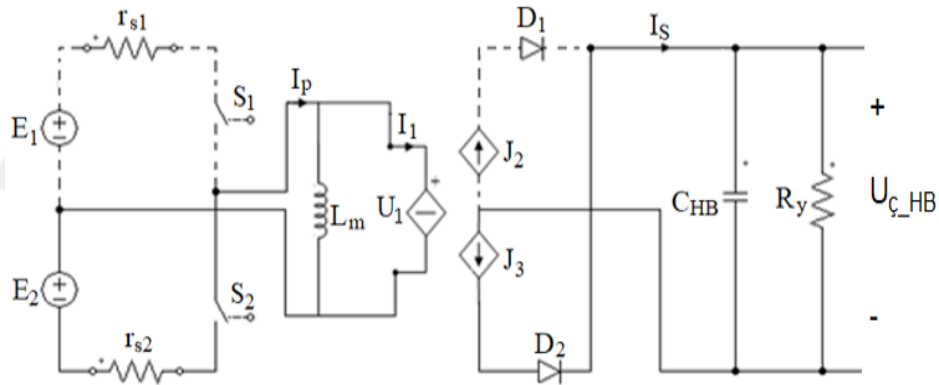
$$U_{Lm_3} + U_1 = 0 \rightarrow \quad (2.34)$$

$$\frac{di_{Lm_3}}{dt} = \frac{n_2}{L_m} U_{C_HB_3} \quad (2.35)$$

$$I_{c_HB_1} + I_{RY_1} - j_2 = 0 \rightarrow \quad (2.36)$$

$$\frac{dU_{C_HB_3}}{dt} = -\frac{U_{C_HB_3}}{R_Y C_{HB}} - \frac{n_2^2 U_{C_HB_3}}{r_{s2} C_{HB}} - \frac{n_2 I_{Lm_3}}{C_{HB}} - \frac{n_2 E_2}{r_{s2} C_{HB}} \quad (2.37)$$

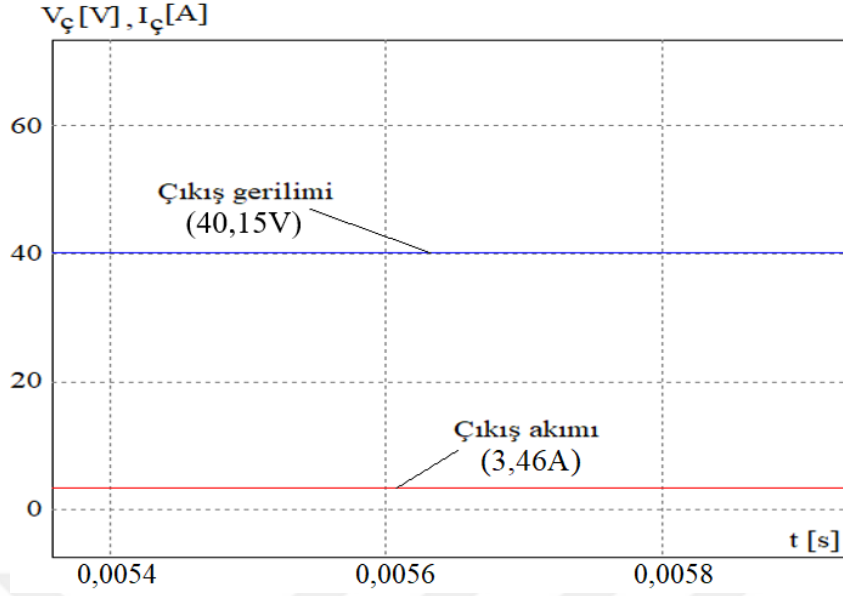
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} U_{C_HB_3} \\ I_{Lm_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_Y C_{HB}} - \frac{n_1^2}{r_{s2} C_{HB}} & \frac{-n_2}{C_{HB}} \\ \frac{n_2}{L_m} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{C_HB_3} \\ I_{Lm_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{-n_2}{r_{s2} C_{HB}} \\ 0 \end{bmatrix} E_2 \quad (2.38)$$



Şekil 3.27. Topoloji 3: S₁ - D₁ kesimde ve S₂ - D₂ iletimde

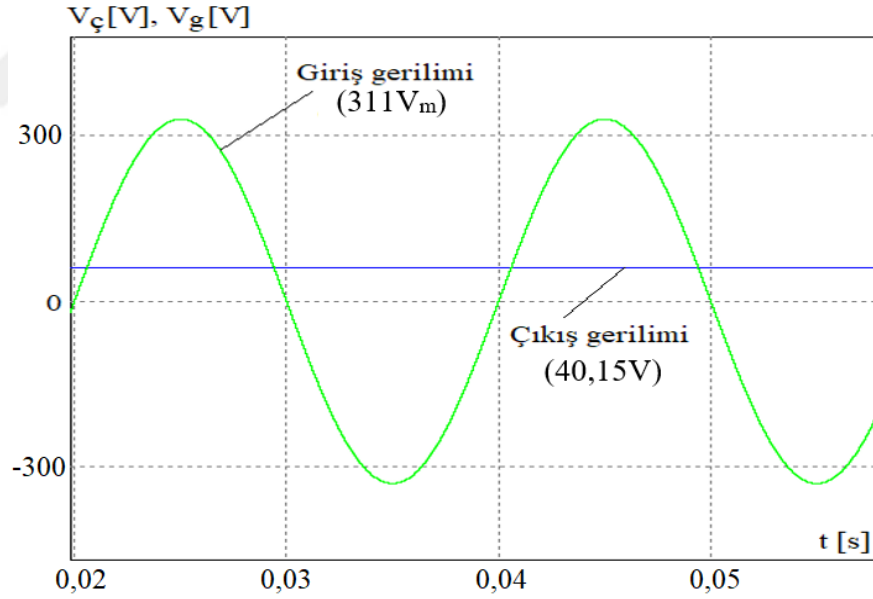
Devrenin benzetimi için yukarıda elde edilen durum denklemleri sayısal yöntemlerle çözdürülebilir, ya da bir devre benzetim programı kullanılabilir. Bu amaçla PSIM programı kullanılmıştır. HB katı eleman değerleri ($R_Y=12\Omega$, $L_m=600\mu H$, $C_{HB}=220\mu F$, $n=n_1=n_2=5$, $r_{s1}=r_{s2}=10m\Omega$) dikkate alınarak devrenin benzetim çalışması yapılmıştır.

Şekil 3.28'de HB katına ait çıkış gerilimi (40,15V) ve çıkış akımı (3,46A) görülmektedir.



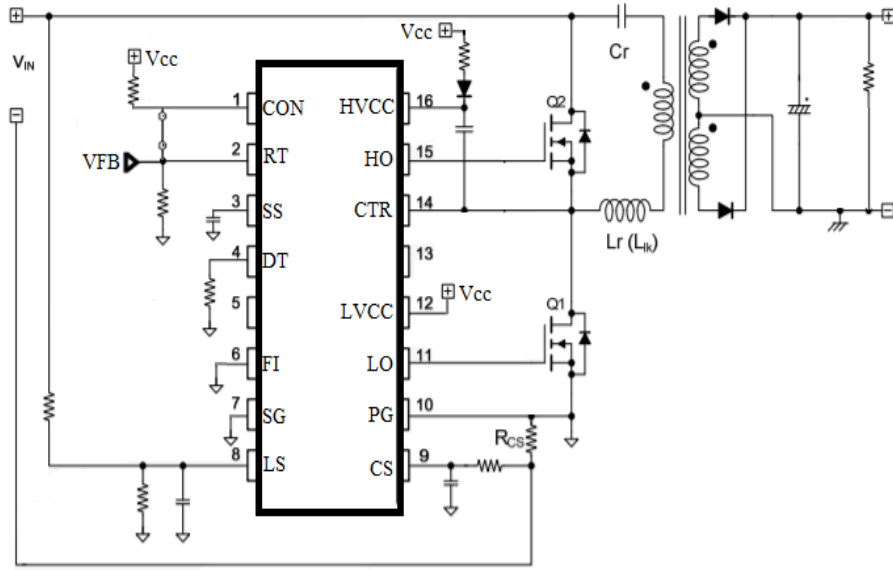
Şekil 3.28. Çıkış gerilimi ve çıkış akımı

Tüm sürücüye ait çıkış gerilimi (40,15V) ve giriş (311V_m) gerilimi ise Şekil 3.29'da görülmektedir.



Şekil 3.29. Sürücünün giriş gerilimi ve çıkış gerilimi

Şekil 3.30'da tasarımı gerçekleştirilen LED sürücü devresi HB DC/DC dönüştürücü katı görülmektedir. Dönüştürücü katına ait elektriksel parametreler Tablo 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.30. HB DC/DC dönüştürücü katı

Tablo 3.5. HB katı elektriksel parametreler

Anahtarlama frekansı, [KHz]	142
HB trafo primer sargı sayısı, [sarım]	30
HB trafo primer sargı endüktansı, L_m [μ H]	600
HB trafo sekonder sargı sayısı, [sarım]	2*6
Kaçak endüktans, [μ H]	134
Maksimum doluluk oranı, D_{max}	0,5

HB dönüştürücü için FAN7631 Pulse Frequency Modulation Controller tümleşik devresi kullanılmıştır. Bu tümleşik devre yumuşak anahtarlama ile (ZVS: sıfır gerilimde anahtarlama) çalışmaya uygun bir yapıdadır. 600KHz anahtarlama frekansına kadar geniş bir çalışma frekansı aralığına sahiptir. Yüksek gerilim ve yüksek akım koruma özellikleri mevcuttur. Entegrenin pin tanımları aşağıda verilmiştir [56].

Pin 1, CON: Mosfet sürücü çıkışlarını aktif ya da pasif yapar. Bu durumu belirleyen pin gerilimidir. Pin gerilimi 0,6V'un üzerindeyken sürücü çıkışları aktiftir. Pin gerilimi 0.4V'un altına düştüğünde ise her iki Mosfet için kapı sürme sinyalleri pasif olur.

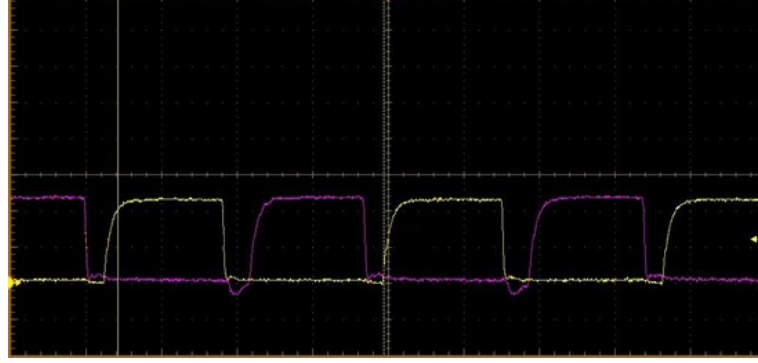
Pin 2, RT: Anahtarlama frekansının ayarı.

Pin 3, SS: Yumuşak kalkış zamanının ayarı.

Pin 4, DT: Ölü zamanı ayarı.

Pin 5, NC: Herhangi bir bağlantı yapılmaz. Bu pin boşa bırakılır.

kol ve alt kol anahtarları aynı anda iletme girmemektedir. Aralarında ölü zaman bulunmaktadır. Mosfet anahtarlama frekansı 142,045 kHz olarak ölçülmüştür.

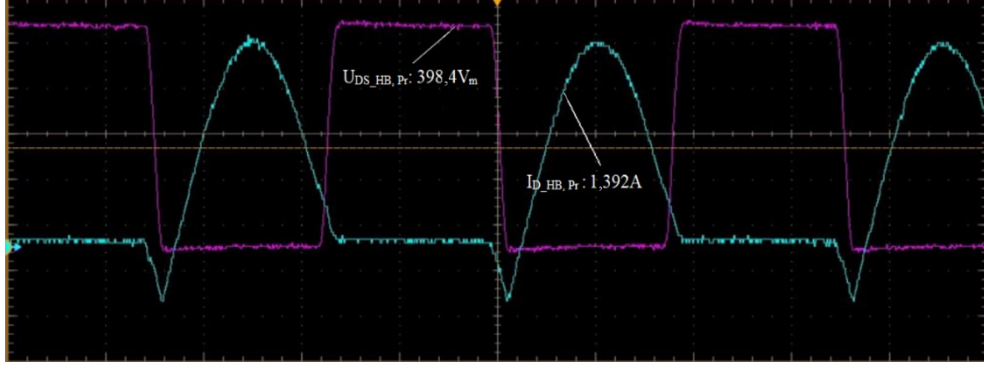


Şekil 3.32. HB Primer katı Mosfet Gate sinyalleri

Klasik HB dönüştürücülerde girişteki ana anahtarlar (MOSFET) sert anahtarlama ile anahtarlanırlar. Bilindiği gibi sert anahtarlama oluşan anahtarlama kayıplarını azaltmak amacıyla yumuşak anahtarlama teknikleri geliştirilmiştir. ZVS (sıfır gerilimde anahtarlama), ZCS (sıfır akımda anahtarlama), ZVT (sıfır gerilim geçişi) ve ZCT (sıfır akım geçişi) en temel yumuşak anahtarlama teknikleridir.

Tasarımı gerçekleştirilmiş bu LED sürücü devresinin HB dönüştürücüsünde kullanılmakta olan MOSFET'ler de yumuşak olarak anahtarlanmaktadır. Yumuşak anahtarlama için primer endüktansına seri olarak L ve C (12nF) elemanları eklenmiştir. Eklenen L endüktansı, fiziki ayrı bir eleman olmayıp HB trafosunun kaçak endüktansı bu amaçla kullanılmıştır. Böylece ilave bir elemanın kullanımına da gerek kalmamaktadır. Kaçak endüktans değeri 134 μ H olarak ölçülmüştür.

Şekil 3.33'de, HB katı Mosfet Drain-Source gerilimi (U_{DS_HB}) ile Drain akımı (I_{D_HB}) değişimleri görülmektedir. Mosfet, U_{DS_HB} geriliminin maksimum değeri 398,4V olarak ve I_{D_HB} akımı 1,392A olarak ölçülmüştür. Akımdaki negatife düşen kısım Drain-Source arası kaçak kapasitenin deşarj akımıdır. Anahtar akımı öncelikle anahtarın gövde diyodu üzerinden geçer. Kaçak kapasite ölü zaman süresince deşarj olur. Ardından gövde diyodu iletme geçer. Anahtar diyodun eşik gerilimi altında anahtarlanmış olur. Bu gerilim diyoda bağlı olmakla beraber $0,3V < V_f < 0,7$ aralığındadır.



Şekil 3.33. HB katı Primer MOSFET Drain-Source gerilimi ve Drain akımı

Klasik HB dönüştürücülerde çıkışta sekonder diyotları bulunur. Fakat bu çalışmada diyotlardan kaynaklı güç kaybını minimize etmek amacıyla diyotlar yerine sekonderde çıkışa da Mosfet bağlanmıştır (Şekil 3.34). Sekonderdeki diyotların iletim kayıpları elektronik karttaki en yüksek kayıplardır. Diyodun iletim kaybı:

$$P_{diot} = U_f \cdot I_{fav} + R_D \cdot I_{firms}^2 = 1,29 \text{ W} \quad (2.39)$$

U_f : Diyot iletimde iken üzerindeki gerilim düşümü, [0,57V]

I_{fav} : Ortalama diyot akımı, [2,01A]

R_D : Diyot iletim direnci, [0,03Ω]

I_{firms} : Diyot rms akımı, [2,23A]

I_{Drms} : Mofset drain akımı, [2,23A]

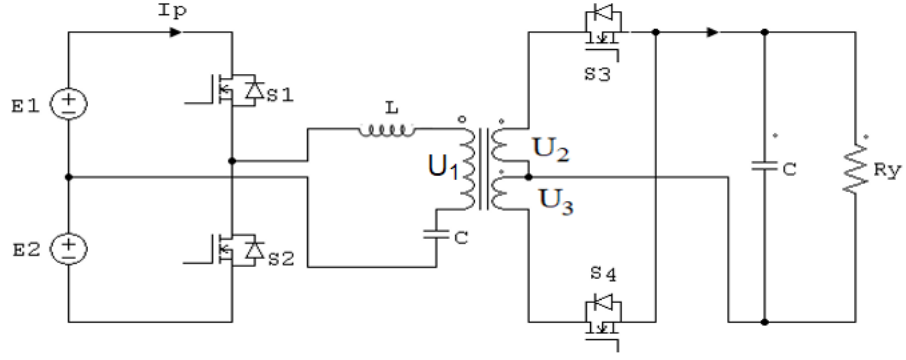
R_{DSon} : Mosfet drain-source iletim direnci, [26,5mΩ]

İletim kaybını azaltmak için, üzerindeki iletim gerilim düşümü yaklaşık 0.3V olan shottky diyotlar da kullanılabilir.

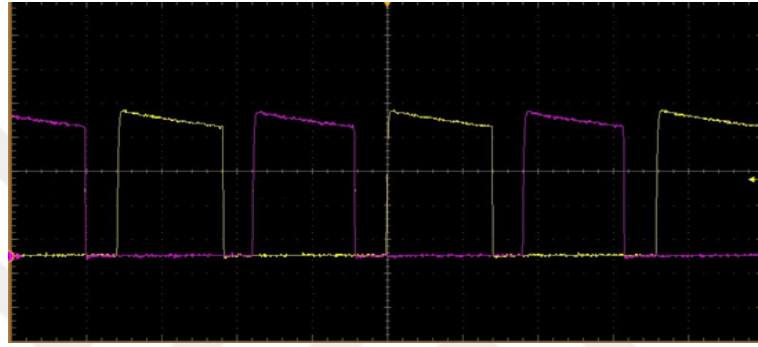
Sekonder (S_3 ve S_4) Mosfetlerinin iletim kaybı:

$$P_{mosfet} = I_{Drms}^2 \cdot R_{DSon(=26.5m\Omega)} = 0.13 \text{ W} \quad (2.40)$$

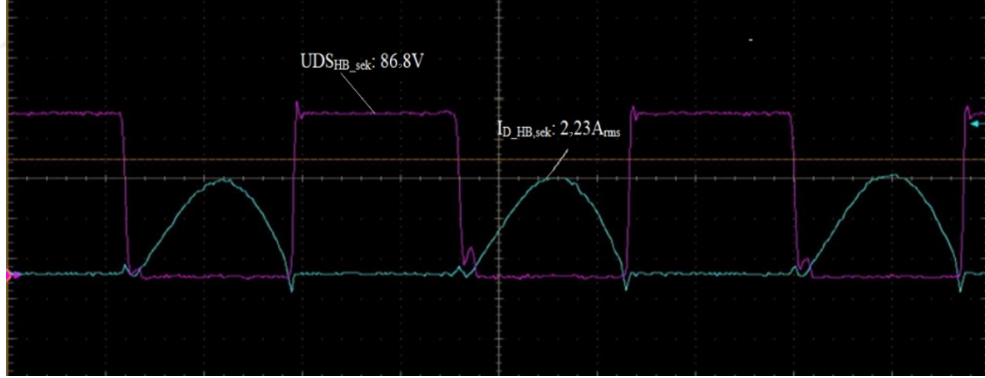
Şekil 3.35'te çıkış Mosfetlerine (S_3 ve S_4) ait Gate sinyalleri görülmektedir. Anahtarlama frekansı 139.7kHz olarak ölçülmüştür. Şekil 3.36'da sekonder Mosfetlerine ait Drain-Source gerilimi ($U_{DS_HB,sek}$: 86,8V) ve Drain akımı ($I_{D_HB,sek}$: 2,23A_{rms}) verilmiştir. Sürücünün çıkış gerilimi ($U_\zeta=41,2V$ ve çıkış akımı ($I_\zeta=3,406A_{rms}$) ise Şekil 3.37'de görülmektedir.



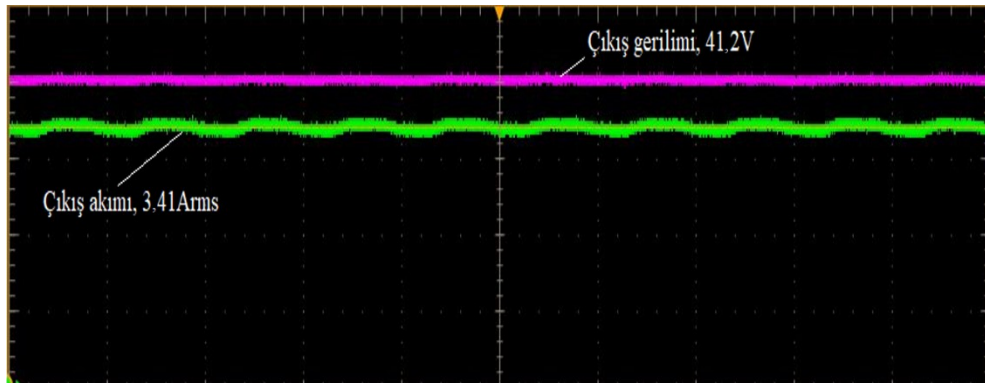
Şekil 3.34. Değiştirilmiş HB devresi



Şekil 3.35. HB katı Sekonder MOSFET gate sinyalleri



Şekil 3.36. HB katı Sekonder Mosfet Drain-Source gerilimi ve Drain akımı



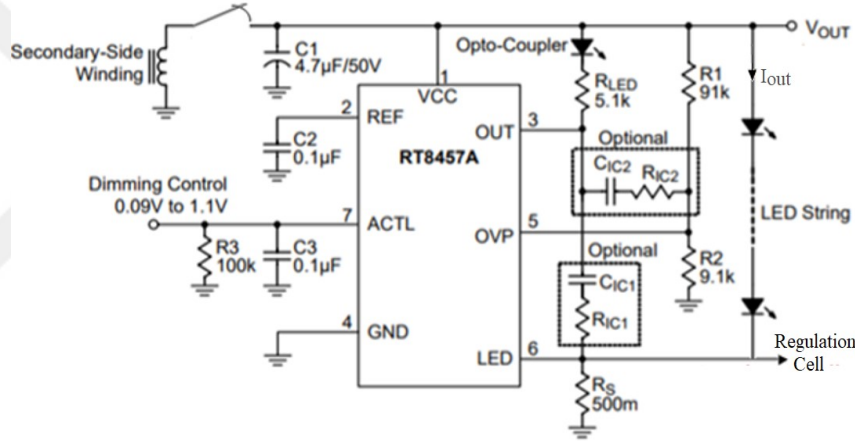
Şekil 3.37. Sürücü çıkış gerilimi ve çıkış akımı

HB katına ait temel elektriksel büyüklükler için (giriş ve çıkış gerilimi ile endüktans akımı) deneysel (osiloskop ile alınan ölçümler) ve benzetim çalışmalarından elde edilen değerler Tablo 3.6’da verilmiştir. Alınan ölçümler dikkate alındığında benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların uyduğu görülmüştür.

Tablo 3.6. HB katı temel elektriksel büyüklükler (deneysel ve benzetim)

	Deneysel çalışma	Benzetim çalışması
Giriş gerilimi [V_m]	400 (Şekil 3.16)	400 (Şekil 3.29)
Çıkış gerilimi [V]	41,2 (Şekil 3.37)	40,15 (Şekil 3.28)
Çıkış akımı [A]	3,406 (Şekil 3.37)	3,46 (Şekil 3.28)

Akım düzenleyici olarak özel tümleşik devreler kullanılır (RT8457A vb). Şekil 3.38’de kullanılan tümleşik devrenin genel bağlantı şeması görülmektedir [57]. Bu düzenleyici devreler sürücünün sekonderinde bulunur.



Şekil 3.38. RT8457A bağlantı devresi [57]

Pin No. 1, VCC: Besleme girişi. 2,8V ile 38V arası olabilmektedir. Fakat 25°C için tavsiye edilen değer 12V’tur.

Pin No. 2, REF: Referans bağlantı bacağı. 0,1 µF kapasite üzerinden toprağa bağlanır.

Pin No. 3, OUT: Çıkış pinidir. Akım sınırlama direnci üzerinden optocoupler’ı bağlanır.

Pin No. 4, GND: Toprak.

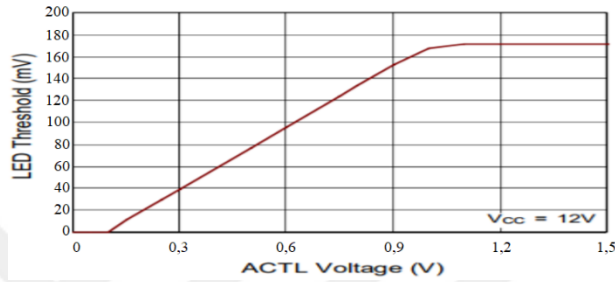
Pin No. 5, OVP: Yüksek gerilim koruma algılama pinidir.

Pin No. 6, LED: LED akımı algılama pini. ACTL pin gerilimi 1,1V’tan büyük olduğunda algılama eşik değeri 170mV’tur. Eşik değeri ACTL pini tarafından ayarlanabilir. Şekil 3.39’da ACTL pin gerilimine bağlı eşik gerilim değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere ACTL pin gerilimi 1,1V iken eşik gerilim değeri maksimum değerde yani 170mV değerindedir.

Pin No. 7, ACTL: analog dimming control girişi. LED akımı algılama eşik değeri ayarı bu pinden gerçekleştirilebilir. Çıkış akımı ($I_{\phi}=I_{out}$) ayarı yapabilmek için bu pinin gerilimi 0,09V-1,1V aralığında olmalıdır. Bu durumda, R_s değerine bağlı olarak ortalama çıkış akımı değeri Eşitlik 2.41'e göre belirlenir.

$$I_{\phi_ort} = (170\text{mV}/R_s) * (V_{ACTL} - 0.09) / 1.01 \quad (2.41)$$

Pin No. 8, NC: No internal connection. Bu pin boşa bırakılır.



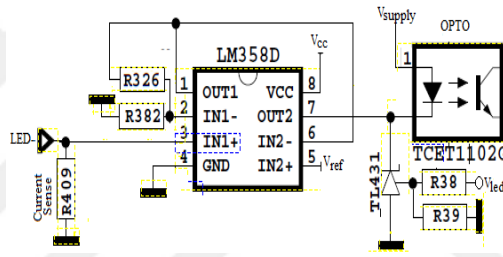
Şekil 3.39. LED akımı algı eşığı değişimi [57]

Bu tümleşik devreler, ölçüm dirençleri (R_{cs}) üzerindeki gerilim düşümünü örnekler. Örneklenen gerilim sinyali tümleşik devrenin algılayabileceği gerilim seviyesinde olmalıdır. Bu tarz tümleşik devreler için algılama seviyesi (algılama eşik değeri) yaklaşık 170-200mV seviyesindedir. Yukarıda verilen tümleşik devre için bu değer 170mV olarak görülmektedir. Bu durumda çıkış akımı I_{ϕ} ise, bağlanması gereken direnç değeri (R_{cs}) = V_{sense_IC}/I_{ϕ} değerindedir. Örneğin 4A çıkış akımı olsun. Tümleşik devre gerilimi 200mV olsun. Bu durumda bağlanması gereken direnç değeri $200\text{mV}/4\text{A}=50\text{m}\Omega$. Dirençler üzerindeki güç kaybı; $I^2R=4^2*50\text{m}\Omega=0,8\text{W}$.

Biz ise çalışmamızda, bu direnç üzerindeki kayıp gücü minimize ederek verimi arttırmak amacıyla yeni bir düzenleyici hücresi ekledik. Bu hücrenin temel çalışması; ölçüm direnci üzerinden alınan gerilim bilgisinin yükseltilecek referans gerilim değeri ile karşılaştırılması prensibi üzerine kurulmuştur. Bu durumda ölçüm direnci üzerindeki mevcut gerilim düşümü çok daha düşük olsa bile (tümleşik devre için minimum seviye olan 170mV'un çok daha altında) regülasyon yapabilmeye olanak verir. Ölçüm direnci üzerinde 50mV yeterlidir. Bu durumda bağlanan direnç değeri $50\text{mV}/4\text{A}=12,5\text{m}\Omega$ 'dur. Karşılaştırılacak referans gerilimi değeri sürücü devresinin ışık karartma ayarında kullanılan ve karartma miktarına göre değişebilen (0,09-1,7V) bir gerilim aralığıdır. Bu değere yükseltmesinin sebebi opamp ile yapılacak

karşılaştırmada mV mertebesinde karşılaştırmann yapılamamasıdır. Örneklenen yükseltilmiş gerilimin bu referans gerilimini yakalaması hedeflenir. Bu durumda güç kaybı: $I_{\text{ç}}^2 \cdot R_{\text{cs}} = 4^2 \cdot 12,5 \text{m}\Omega = 0,2 \text{W}$ olur. Bu da bir önceki duruma göre güç kaybının %25'e düştüğünü göstermektedir.

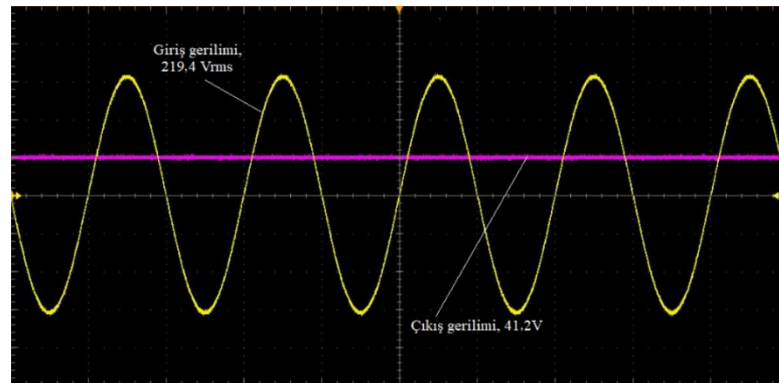
Şekil 3.40'da eklenen düzenleyici hücre bağlantısı görülmektedir. Hücredeki LM358 içinde çift opamp barındıran bir tümleşik devredir. Bu opamlardan ilki yükseltici, ikincisi ise karşılaştırıcı olarak çalışmaktadır. Hücrenin temel amacı, yukarıda da bahsedildiği üzere özellikle yüksek güçlerde kaybı minimize etmektir. Bu devrede özellikle elektronik kart çiziminde dikkat edilmesi gereken kritik bir nokta vardır ki o da ilk opampın ölçüm dirençlerinin de bağlı olduğu pozitif bağlantısının mümkün olduğunca kısa tutulmasıdır.



Şekil 3.40. Düzenleyici hücre

3.5. Sürücü Devresinin Çıkışı

Sürücü devresinin çıkışında birbirine seri ve paralel LED'lerden oluşan bir LED armatür bulunmaktadır. Şekil 3.41'de sürücü devresinin girişi ile çıkışı aynı eksen takımı üzerinde görülmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre giriş ve çıkış elektriksel büyüklükler Tablo 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.41. LED sürücü devresini giriş gerilim, çıkış gerilimi

Tablo 3.7. Ölçüm sonuçları

Giriş gerilimi, [V_{rms}]	219,4
Giriş akımı [A_{rms}]	0,695
Güç katsayısı $\cos\phi$	0,975
Giriş gücü [W]	148,67
Çıkış gerilimi [V]	41,2
Çıkış akımı [A_{rms}]	3,406
Çıkış gücü [W]	140,327

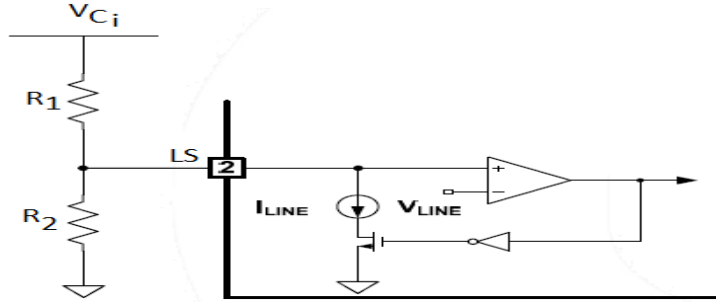
Tablodaki değerlere göre sürücünün verimi %94,39 olarak elde edilmektedir. Bu sonuç Tablo 3.1’de verilen benzer özellikteki mevcut sürücü devrelerin verim aralığının üzerindedir.

3.6. Koruma Devreleri

LED sürücü devresinin verimi ve güvenilirliği, LED aydınlatma sisteminin verim ve güvenilirliğini doğrudan etkiler. Özellikle güç kalitesi problemlerine karşı davranışı, sistemin verim ve güvenilirliğini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Şebeke gerilimindeki düşme, kısa süreli kesinti gibi güç kalite problemleri ile oldukça sık karşılaşabilmektedir [58]. Bu hatalar hassas cihazları etkileyerek arızalanmasına neden olabilir. Özellikle aydınlatma sistemleri, güvenlik sistemleri, motorlar ve diğer elektronik cihazlar için çok önemlidir [59-61]. Bu nedenle sürücü devresi tasarlanırken koruma düzeneği sürücü devresine eklenmelidir. Ek olarak sıcaklık ve gerilim yükselmesi de dikkat edilmesi gereken önemli stres kaynaklarıdır. Mevcut uygulamalarda sıcaklık stresine karşı çeşitli soğutma düzenekleri kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında; tasarlanan sürücü devresi, "şebeke gerilimindeki düşme", "kısa süreli kesinti" ve "aşırı gerilim" gibi hata durumlarına karşı bağımsızlığı arttırmak için koruma düzenekleri içermektedir. Amaç; olası hata durumlarında, hem sürücü devresini kalıcı arızadan korumak hem de güvenlik problemi oluşmasını önlemektir. Bu tez çalışmasındaki diğer bir önemli nokta ise sıcaklık problemlerine karşı önlem alınmış olmasıdır. Soğutucu vb soğutma düzenekleri kullanarak sıcaklığı ortamdaki uzaklaştırarak termal stresi azaltmaya çalışmanın yanında, sıcaklığın istenmeyen seviyelere ulaşmasını önlemek amaçlanmıştır. Bu hata ve stress durumlarının tamamı, sürücü devresinde kullanılan dönüştürücü tümleşik devresinin tek bir pini üzerinden kontrol edilmiştir. Literatürde böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır.

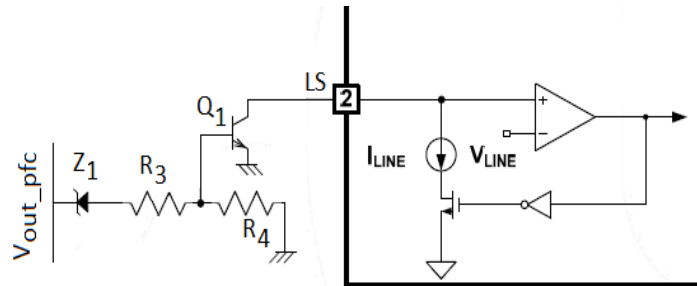
FAN7631 (Pulse frequency modulation controller) tümleşik devresinin bağlantı yapısı Şekil 3.30’da verilmişti. Entegrenin L_s pini şebekedeki düşük gerilimi algılamak üzere devreye Şekil 3.42’de görüldüğü gibi bir gerilim bölücü üzerinden bağlanır. Şekilde tümleşik devrenin iç yapısında pine bağlı kısım da görülmektedir.



Şekil 3.42. Düşük gerilim koruması için LS pin bağlantısı

Görüldüğü üzere pin bir karşılaştırıcının pozitif giriş ucuna bağlıdır. Aynı zamanda dahili MOSFET’ in Drain ucuna bağlıdır. MOSFET, karşılaştırıcı çıkışına göre iletime ya da kesim durumuna geçer. Karşılaştırıcının negatif girişi ise tümleşik devre içindeki bir referans kaynağa (V_{Line}) bağlıdır. V_{Line} düşük gerilim koruması eşik gerilimidir ve yaklaşık 3V değerindedir. Herhangi bir hata durumu olmadığı sürece (düşük gerilim limit altına inmediği sürece) karşılaştırıcının çıkışı Lojik “1” seviyesinde olur. Not kapısı üzerinden MOSFET’in kesimde olmasını sağlayarak pinin toprağa çekilmesini önler. Koruma devreye girmez. Gerilim düşmesi ya da kısa süreli kesinti gibi hata durumlarında ise karşılaştırıcı çıkışı Lojik “0” olacağı için NOT kapısı üzerinden MOSFET iletime geçer. I_{Line} aktif olur ve koruma devreye alınmış olur [56].

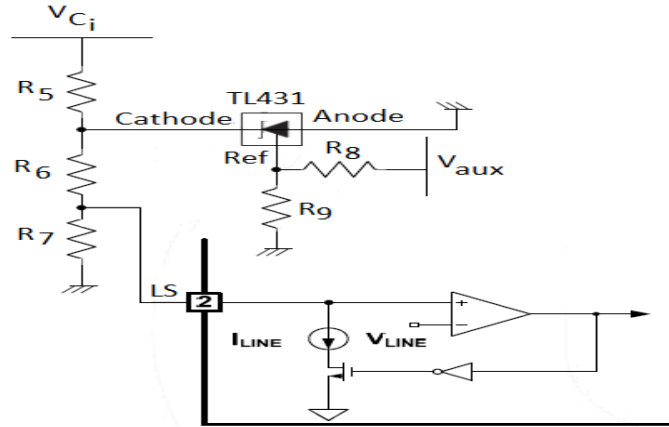
Bu pinin üretici tarafından düşük gerilim koruması için tanımlanmış olmasına karşın, bu çalışmada farklı amaçlara da hizmet etmesini sağlayacak şekilde ilave devreler ile özelleştirilmiştir. Bunlardan biri aşırı gerilim koruması için kullanımıdır.



Şekil 3.43. Aşırı gerilim koruması için LS pin bağlantısı

Bu amaçla bulk kapasitesinin üzerindeki gerilim algılanır (Şekil 3.43). Kapasitenin üzerindeki gerilim zener diyot geriliminden küçükse zener diyot açık devre olur ve Q1 transistöre kesime geçer. Aksine, kapasite üzerindeki gerilim zener diyot geriminden büyükse Q1transistörü ilettime geçer L_s pinini toprağa çeker. Tümleşik devre içindeki karşılaştırıcı pozitif girişi 0V olarak referans gerilim değeri (3V) değerinden düşük kalır ve karşılaştırıcı çıkışı Lojik “0” olur. MOSFET ilettime geçerek korumanın devreye girmesine neden olur.

L_s pinin bu tez kapsamında, üretimi amacı dışında özelleştirilmiş diğer bir kullanım amacı ise sıcaklık korumasıdır. Bu amaçla oluşturulmuş koruma devresi Şekil 3.44’te görülmektedir. HB trafosunun yardımcı sargısında üretilen gerilim zener diyot ve gerilim bölücü üzerinden TL431’in referans bacağına uygulanır. TL431 referans bacağı sürekli olarak 2,5 V’ta tutmaya çalışır. Eğer 2,5V’u aşarsa TL431 kısa devre olur. V_{ci} , R_5 direnci ve TL431 üzerinden toprağa akım akıtır. Böylece R_7 üzerindeki gerilim 3V altına düşeceği için MOSFET iletim durumuna geçerek koruma aktif olur. Şekil 3.44’teki devrede R_8 ile gösterilen direnç NTC elemanıdır. Bu nedenle R_9 üzerindeki gerilim düşümü artarak 2,5V’un üzerine çıkmasına neden olur. Bu durumda yukarıda da anlatıldığı gibi L_s pin gerilimi 3V altına düşer ve koruma devreye girer.



Şekil 3.44. Sıcaklık koruması için L_s pin bağlantısı

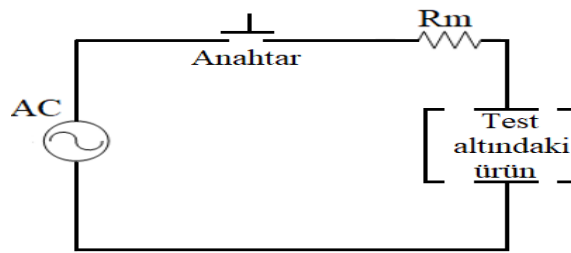
4. GÜVENİLİRLİK ONAY TESTLERİ

Bu bölümde, tasarlanan LED sürücü devresi üzerinde gerçekleştirilen güvenilirlik onay testleri verilmiştir.

4.1. Kalkış Akımı Testi (Inrush Current Test)

Güç ve tüketici elektroniği uygulamalarında elektronik kartın doğrultma ve filtreleme katında bulunan sigorta, diyot ve köprü diyot gibi devre elemanlarının devreye uygun olarak seçilip seçilmediğinin en belirleyici parametrelerinden biri kuşkusuz ki kalkış enerjisidir. Birimi “amperkare saniye” olup I^2t - karakteristiği olarak da tanımlanır.

Kalkış akımı, sistemin ilk enerjilendirildiği anda besleme katından çekilen kısa süreli yüksek genlikli akımdır. Ürün sahaya (tüketiciye) gönderilmeden önce kalkış akımının olası zararlı etkilerinin tespit edilmesi ve bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılmasını sağlayacak önlemlerin alınması gerekir. Bu amaçla kalkış akımı testi gerçekleştirilir. Bu test; ürüne ilk enerji verildiğinde şebekeden çekilen anlık yüksek akımın bir ölçüm direnci (R_m) üzerinden ölçülmesine dayanır. Kalkış akımının ölçümüne ilişkin geleneksel düzenek Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Mevcut kalkış akım ölçüm yöntemi

Testi uygulamak amacıyla, AC gerilim test altındaki ürüne bir anahtar üzerinden uygulanır (Şekil 4.1). Anahtarın kesimden iletme geçirilmesi ile test düzeneğindeki ölçüm direnci üzerinden kalkış akımı ölçülür. Ardından sigorta erime noktasının belirlenebilmesi için kalkış enerjisi bu ölçülen akım grafiği yardımıyla Tablo 4.1’e göre hesaplanır.

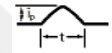
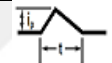
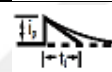
Öncelikle değişimin, Tablo 4.1’de verilen ve en sık karşılaşılan dalga şekillerinden hangisine benzediği belirlenir. Ölçümü yapılan LED sürücü kartı için kalkış akımının osiloskop görüntüsü C ile gösterilen dalga şekline benzemektedir. Buna göre, eğri için kalkış enerjisi “C eğrisi” için verilmiş formül kullanılarak hesaplanır. C ile gösterilen dalga şekline karşılık gelen formülün elde edilişi aşağıda (Eşitlik 4.1- Eşitlik 4.3) verilmiştir. Benzer çözüm mantığı ile diğer dalga şekilleri için verilen denklemler de elde edilebilir.

$$i(t)=i_p e^{-\frac{t}{\tau}} \quad , (t=t_1 \rightarrow i=0) \quad (4.1)$$

$$i^2=i_p^2 e^{-\frac{2t}{\tau}} \quad (4.2)$$

$$I^2 t = \int_0^{t_1} i_p^2 e^{-\frac{2t}{\tau}} dt = \left(\frac{1}{2}\right) i_p^2 t_1 \quad (4.3)$$

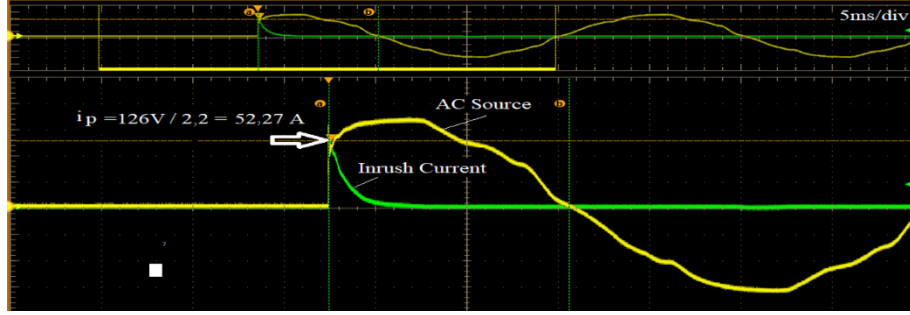
Tablo 4.1. Dalga şekline göre kalkış enerjisi ifadeleri [62]

A		$i=i_p \sin t \quad I^2 t = \left(\frac{1}{2}\right) i_p^2 t$
B		$I^2 t = \left(\frac{1}{3}\right) i_p^2 t$
C		$i=i_p e^{-\frac{t}{\tau}} \quad I^2 t = \left(\frac{1}{2}\right) i_p^2 t_1$

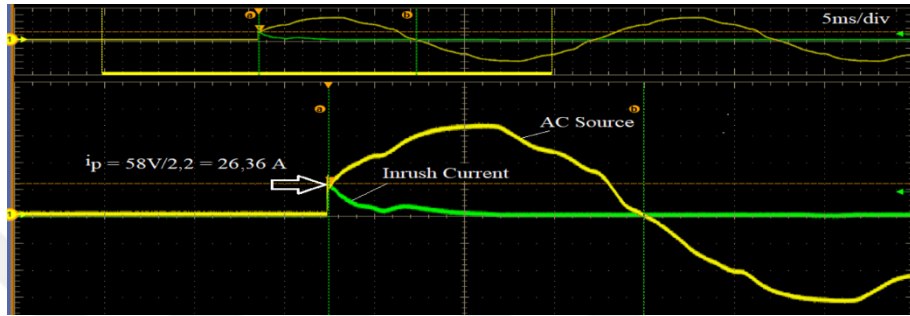
Kalkış akımının en büyük etkisi giriş ve doğrultucu-filtreleme katındaki sigorta, diyot, köprü diyot vb elemanlarda görülür. Bu nedenle, ölçülen kalkış akımının devredeki sigorta ve köprü doğrultucu üzerindeki etkisini kontrol etmek için kalkış enerjisi hesaplanır. Bu elemanların katalog değerleri ile karşılaştırılır. Kalkış enerjisi için kalkış akım-zaman grafiğindeki akımın sıfıra indiği süre önemlidir.

Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te tasarlanan LED sürücü devresinin, geleneksel yöntemle göre R_m ölçüm direnci ($R_m=2.2$ ohm) üzerinden alınan dört farklı kalkış akımı ölçümü görülmektedir. Kalkış akımı açısı, şekillerden de görüleceği üzere her tekrarda farklı ($74,25^\circ$, $22,5^\circ$, $94,5^\circ$ ve $61,5^\circ$) çıkmıştır. Şekil 4.2’de görülen kalkış akımında iki kursör arası (ΔT_c) $5,875$ ms olarak ölçülmüştür. Bir yarı period 10 ms olduğu için darbe anı (T_p) $4,125$ ms (10 ms- $5,875$ ms)’ye denk gelmektedir. Kaynak gerilimine ilişkin darbe açısı (α_p), oran orantı yardımıyla kolayca elde edilebilir.

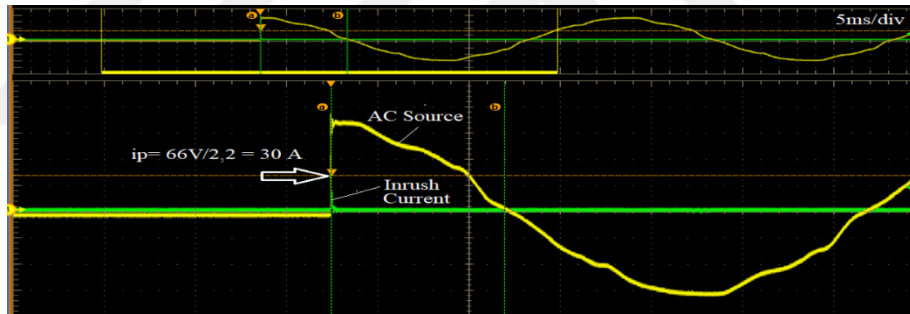
$$\alpha_p = 4,125 * \frac{180^\circ}{10} = 74,25^\circ \quad (4.4)$$



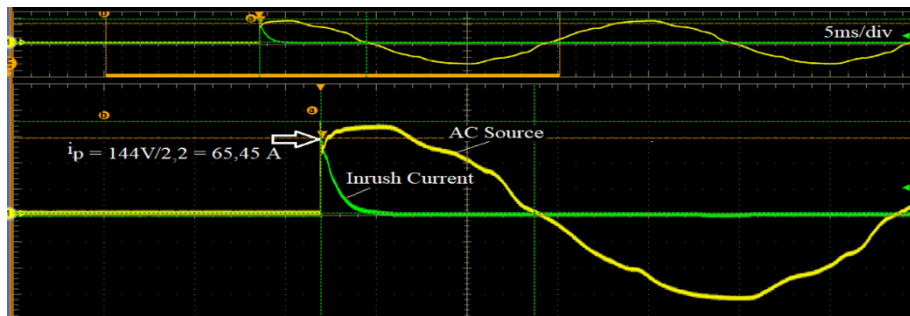
Şekil 4.2. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 74,25^\circ$



Şekil 4.3. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 22,5^\circ$



Şekil 4.4. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 94,5^\circ$



Şekil 4.5. Kalkış akımı ve AC giriş sinyali , $\alpha_p = 61,5^\circ$

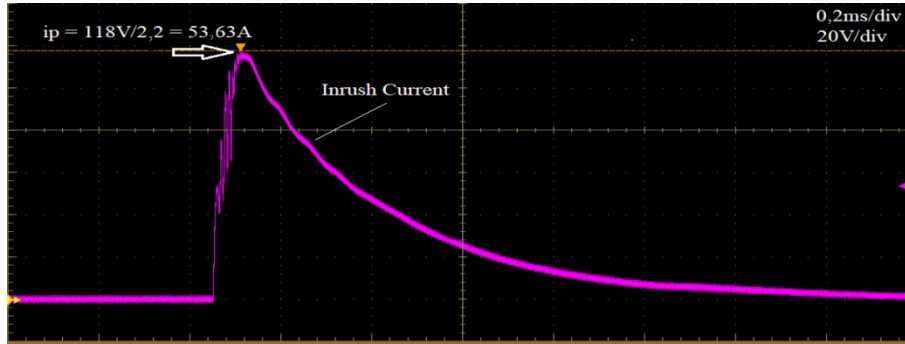
Diğer üç şekil için de darbe açısı benzer şekilde hesaplanabilir (Tablo 4.2). Tablodan da görüldüğü gibi her yeni denemede kalkış akım darbe açısı birbirinden farklıdır.

Kalkış akımının en etkili olduğu darbe açısı, AC sinyalin 90°C’de olmasına karşın kalkış darbesinin bu açiya denk gelmesi tesadüftür ve olasılığı düşüktür.

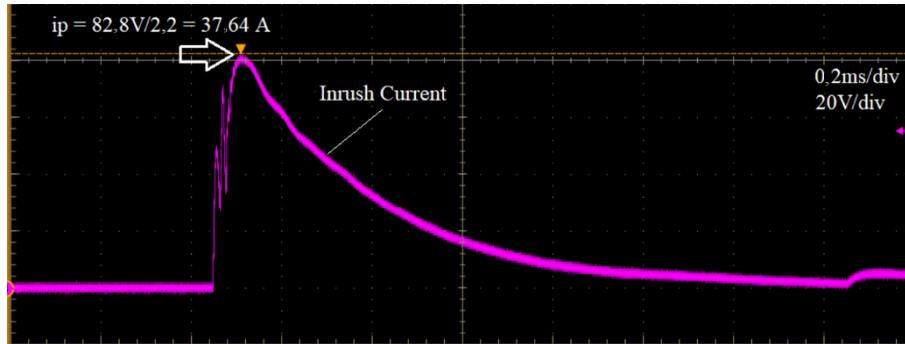
Tablo 4.2. Kalkış akım darbe açıları

	ΔT_c [ms]	T_p [ms]	α_p
Şekil 4.2	5,875	4,125	74,25°
Şekil 4.3	8,75	1,25	22,5°
Şekil 4.4	4,75	5,25	94,5°
Şekil 4.5	6,575	3,425	61,5°

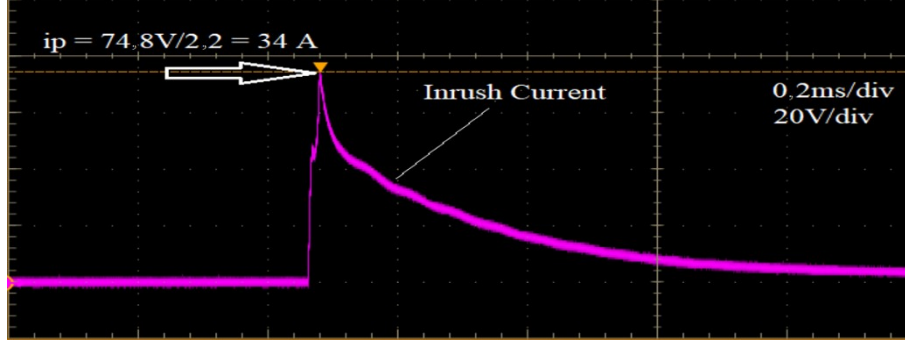
Etkili kalkış akım darbesinin diğer bir önemli koşulu ise kalkış akımını oluşturan ve doğrultma katında yer alan kapasitenin tamamen boş olmasıdır. Geleneksel kalkış akım ölçüm yönteminde gerçekleştirilen ardışık ölçümlerde bunun sağlanma imkanı yoktur. Ardışık iki darbe arasında kapasite tam boşalmamış olabilir. Ancak her yeni kalkış akımı darbesi öncesinde manuel olarak kapasite boşaltılarak bu sağlanabilir. Yukarıdaki tekrarlı ölçümlerde de her yeni darbe öncesi kapasite manuel olarak boşaltılmıştır. Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da kapasitenin şarj durumunun kalkış akım darbe genliği üzerindeki etkisini gösterebilmek için farklı şarj yüzdelerinde alınan ölçüm sonuçları görülmektedir.



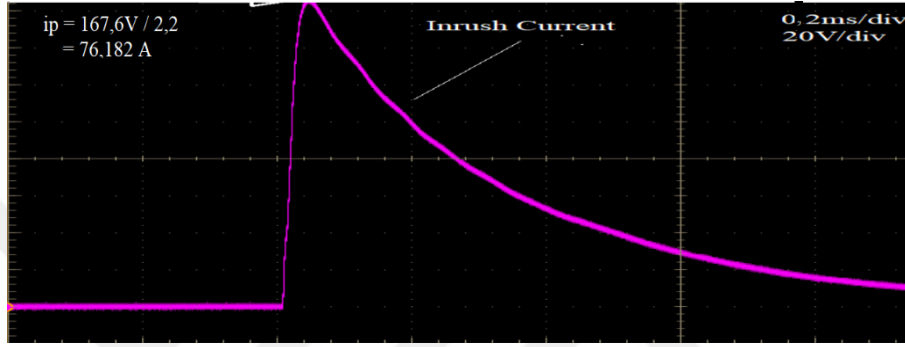
Şekil 4.6. Kalkış akımı: $i_p = 53,63$ A (kapasite %25 dolu)



Şekil 4.7. Kalkış akımı: $i_p = 37,64$ A (kapasite %50 dolu)



Şekil 4.8. Kalkış akımı: $i_p = 34$ A (kapasite %75 dolu)



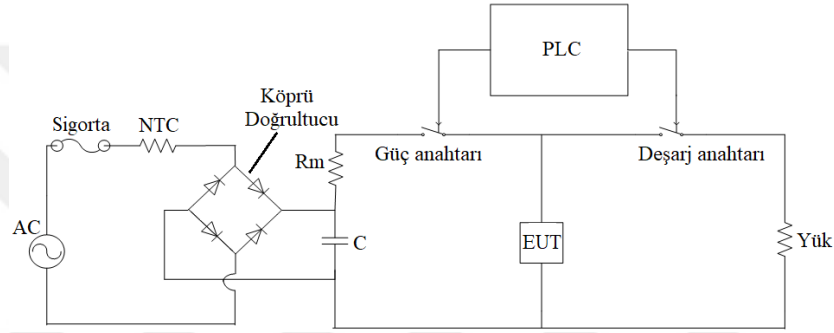
Şekil 4.9. Kalkış akımı: $i_p = 76,18$ A (kapasite boş)

4.1.1. Kalkış akımı testi için geliştirilen yeni ölçüm metodu

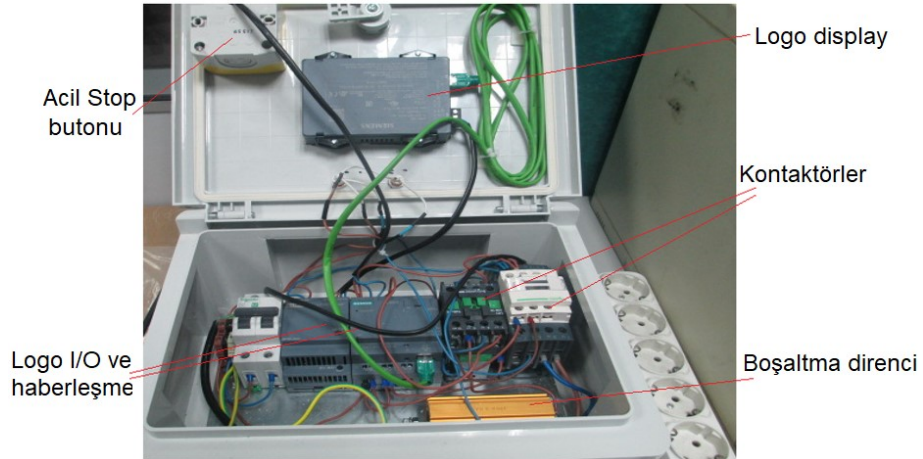
Mevcut uygulamalarda kalkış akım testinin, enerji kaynağının bir anahtar yoluyla manuel ya da yazılım kontrolü ile otomatik anahtarlanması ile gerçekleştiği bir önceki bölümde açıklanmıştı. Mevcut test yönteminde gözardı edilen hususlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, anahtarlama esnasında test altındaki ürüne uygulanan anlık darbe sinyalinin AC şebeke sinyalinin hangi açısında olduğunun bilinmemesidir (Şekil 4.2-Şekil 4.5). Oysaki kalkış enerjisinin en zorlu etkisi AC sinyalin tepe değerinde (90°) iken gerçekleşmektedir. Tekrarlı olarak gerçekleştirilen anahtarlamalarda dahi, sinyalin tepe değerinde mi yoksa sıfır noktasında mı anahtarlama yapıldığı tamamen tesadüftür. Sinyalin açısının tepe değerinde ayarlanabildiği oldukça yüksek maliyetli cihazlar bulunmaktadır. Fakat bu cihazlar oldukça yüksek maliyetli olmalarının yanında, test altındaki ürün tarafından ilk enerjilenme anında çekilecek olan kalkış akımını simüle etmek yerine ürüne harici olarak kV mertebesinde gerilim darbesi uygulamaktadır.

Bu tez çalışmasında, kalkış akımını ölçmek için yeni bir test metodu geliştirilmiş ve bu testin gerçekleştirilebilmesi için yeni bir test cihazı tasarlanmıştır (Şekil 4.10).

Ürünün sahadaki durumunu simüle ederek karşılaşılabileceği gerçek durumu sağlayabilmekte ve dayanımını belirleyerek gerekebilecek önlemlerin doğru bir şekilde alınabilmesine imkân vermektedir. Böylece gerek bu tez çalışmasına konu olan LED sürücü devreleri için gerekse diğer güç ve tüketici elektroniği uygulamaları için çok daha güvenilir ürünler tasarlanmasına katkıda bulunacaktır. Söz konusu tasarımı yapılan yeni cihaz ile ilgili olarak Türk Patent ve Marka Kurumu'na TR2017/06319 başvuru numarası ile patent başvurusunda bulunulmuştur. Geliştirilen cihazın temel devre yapısı ve gerçekleştirilmiş hali sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de görülmektedir. Önerilen sistemin anahtar doğruluk tablosu ise Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.10. Kalkış akımı test düzeneği



Şekil 4.11. Geliştirilen test düzeneği

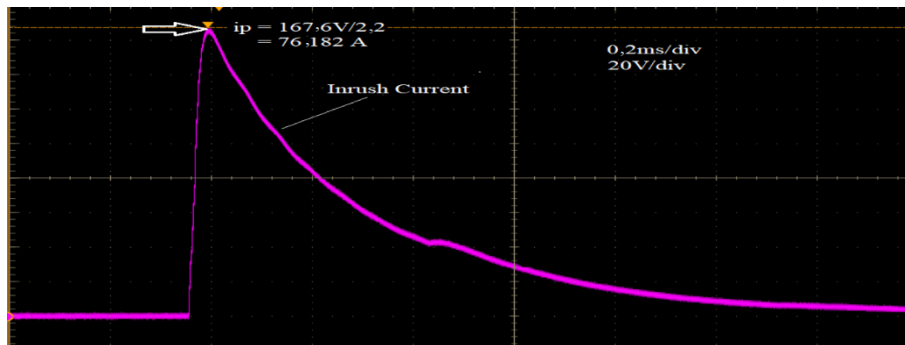
Tablo 4.3. Önerilen sistem anahtar doğruluk tablosu

Güç anahtarı	Deşarj anahtarı	Durum
0	0	Test edilen ürüne enerji gelmez.
1	0	Ürüne enerji gelir. Ürünün elektrolitik kapasitesi şarj oluyor.
0	1	Ürüne enerji gelmez. Ürünün elektrolitik kapasitesi deşarj direnci üzerinden boşalır.
1	1	Bu durum yasaklı durumdur. Kullanılmayacak.

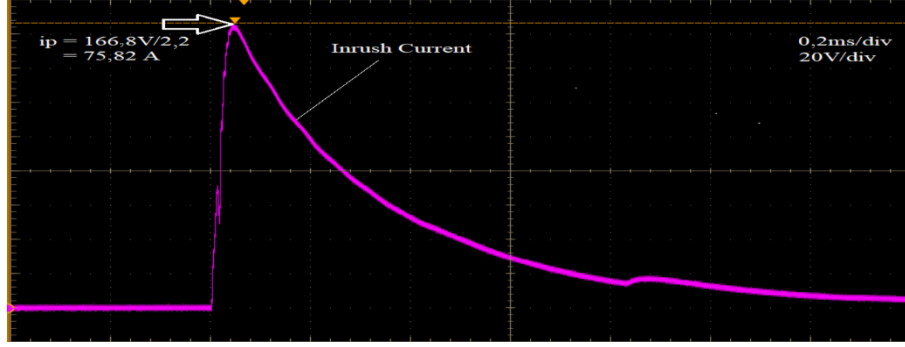
Şekil 4.10'da girişteki AC sinyal tam dalga doğrultulduktan sonra çıkışındaki elektrolitik kapasite üzerinden Güç Anahtarının konum değiştirmesi ile test altındaki ürüne (EUT) uygulanır. Anahtarlama anında ürün, besleme katındaki elektrolitik kapasitenin etkisi ile anlık yüksek genlikli akım çeker. Gerçekleştirilen sistem, doğrudan girişteki AC sinyali anahtarlamak yerine AC sinyalin tepe değerindeki doğrultulmuş sinyali anahtarlayarak en yüksek etkinin gözlemlenebilmesine olanak vermektedir.

Geliştirilen test cihazının (Şekil 4.11) diğer bir özğün noktası ise sistem sıfırlama fonksiyonudur. Kalkış enerjisinin en etkili olduğu durum; bu etkiyi oluşturan elektrolitik kapasitesinin boş olduğu durumdur. Hali hazırda mevcut hiçbir düzenek tekrarlı bir şekilde bu durumu sağlayamamaktadır. Oysa gerçekte, test altındaki ürünü tekrarlı kalkış akımına maruz bırakarak, ürün üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için sistem sıfırlanabilmektedir. Sıfırlama, her bir darbe akımı uygulaması ardından olup özetle elektrolitik kapasite üzerinde depo edilen enerjinin boşalabilmesi için yan bir yol açılmasıyla gerçekte gerçekleşmektedir. Sıfırlama yapılacağı zaman Güç Anahtarı kesime ve Boşaltma (Deşarj) Anahtarı iletime sokulur. Böylece test altındaki ürünün dolu durumda olan elektrolitik kapasitesi deşarj direnci (Yük) üzerinden boşalır. Artık sistem sonraki darbe sinyalini oluşturmaya hazırdır.

Geliştirilen yeni test düzeneği ve test metodu ile çok sayıda ölçüm alınmış ve bu ölçümlerden iki tanesi Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir. Alınan ölçümlerden 15 tanesi Tablo 4.4'te verilmiştir. Tüm ölçümlerdeki ortak nokta mevcut yöntemin sakıncalarının ortadan kalktığını göstermektedir. Ölçüm sonuçları birbirine oldukça yakındır.



Şekil 4.12. Kalkış akım ölçümü, I



Şekil 4.13. Kalkış akım ölçümü, II

Tablo 4.4. Kalkış akım ölçümleri (yeni metod)

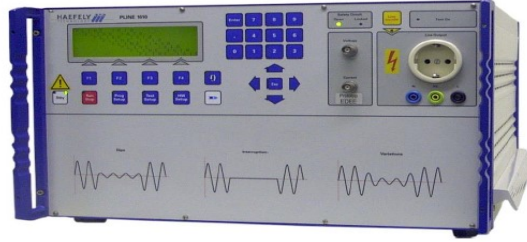
Ölçüm Tekrarı	Kalkış akım darbesi, i_p [A]
1	76,182
2	75,000
3	76,091
4	76,136
5	76,091
6	75,000
7	76,091
8	76,091
9	74,727
10	75,818
11	75,091
12	74,727
13	75,818
14	76,182
15	75,000

4.2. Gerilim Düşümü Testi (Voltage Dips Test)

Güç kalitesini ve ürün güvenilirliğini olumsuz etkileyen en yaygın sorunlardan biri gerilim düşümüdür. Gerilim düşümü, nominal gerilimin etkin değerinin 0.5 periyot-30 periyot arasındaki bir süre için düşmesidir. Düşüş miktarı, nominal gerilimin etkin değerinin %10 ile %90' ı arasındadır [63, 64].

Gerilim düşümü testinin amacı, şebeke gerilimindeki olası düşüşün ürün üzerindeki etkisini önceden belirlemek ve önleyici tedbirlerin alınmasını sağlamaktır. EN 61000-4-11 standardına [44] uygun olarak gerçekleştirilen testin sonucunda ürünün, Bölüm 2.7'de açıklanan karar ölçütlerini sağlıyor olması gerekmektedir. Bu test için karar ölçütü, "Kriter B" olarak belirlenmiştir. Gerek bu test, gerekse Bölüm 4.3'te anlatılmakta olan "kısa süreli kesinti testi" ve Bölüm 4.4'te anlatılmakta olan "gerilim

değişimi testi” için Haefely Pline cihazı kullanılmaktadır. Cihaz Şekil 4.14’te görülmektedir. Cihazda iki adet varyak (ayarlanabilir transformatör) bulunmaktadır. Bu varyaklardan birincisi, nominal gerilimi 0V – 250V aralığında ayarlamak için kullanılır. İkinci varyak ise programlanabilir girişler, gerilim düşmesi ve değişimi için kullanılmaktadır. Böylece çok karmaşık test rutinleri rahat bir şekilde tanımlanabilir.



Şekil 4.14. Haefely Pline test cihazı

Test, 25°C sıcaklık ve %40 bağıl nem değerine sahip ortamda yüksüz ve yüklü olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Test için, standartlara uygun olarak girilmesi gereken program bilgisi Tablo 4.5’te verilmiştir. Test süresince ve sonrasında ürünün tepkisi incelenir.

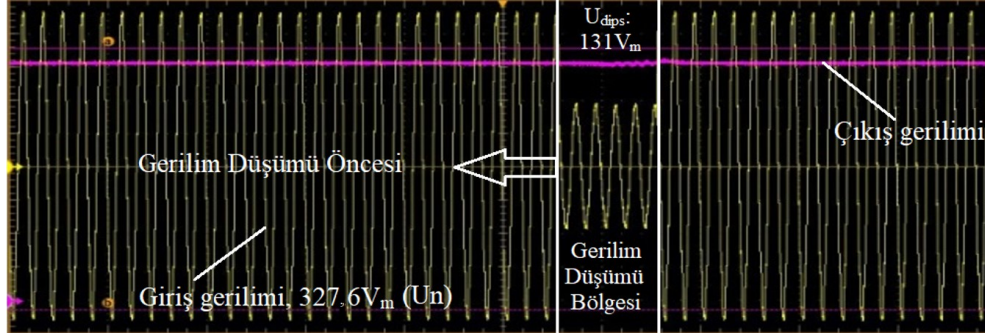
Tablo 4.5. Gerilim düşümü testi rutini

U_n	U_{dips}	T_{event}	T_{rep}	T_{test}
220-230 V _{rms}	40%	100 ms	10 sn	60 sn

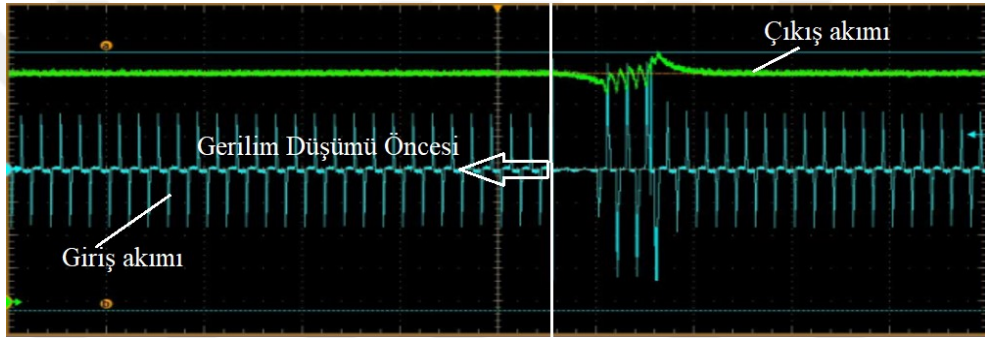
Tablo 4.5’te, U_n nominal gerilim değerini, U_{dips} test altındaki ürüne uygulanan gerilim değerinin nominal gerilim değerinin %40’ı kadar olacağını, T_{event} uygulanan düşük gerilimin süresini, T_{rep} testin gerçekleşme periyodunu ve T_{test} ise toplam test süresini göstermektedir. Testin gerçekleştirilmesi ile beraber LED sürücü devresine ait giriş gerilimi (sarı) ve çıkış gerilimi değişimi (pembe) Şekil 4.15’teki gibi elde edilmiştir. Giriş geriliminin maksimum değeri gerilim düşümünden önce 327,6V iken, %40 olarak uygulanan U_{dips} değerinin ardından 131V maksimum değerine düşmüştür. Bu durumda ölçülen çıkış gerilimi ise 36,4V değerindedir. Şekilden de görüldüğü gibi giriş gerilimindeki %60 oranındaki düşüşten sürücü devresi etkilenmemiştir. Şekil 4.16’da ise giriş akımı (mavi) ve çıkış akımlarının (yeşil) test ile oluşan değişimleri görülmektedir.

Gerçekleştirilen Gerilim düşümü testi sonuçlarından görülmüştür ki, LED sürücü devresinde herhangi bir arıza ve hatalı çalışma söz konusu değildir. Bu sonuç, söz

konusu test altındaki ürünün gerilim düşmesi bağısıklığının iyi olduğunu, bu açıdan güvenilirlik düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.15. Sürücü devresinin çıkış gerilim ve giriş gerilimi sinyali



Şekil 4.16. Sürücü devresinin çıkış akımı ve giriş akımı sinyali

4.3. Kısa Süreli Kesinti Testi (Short-Interruption Test)

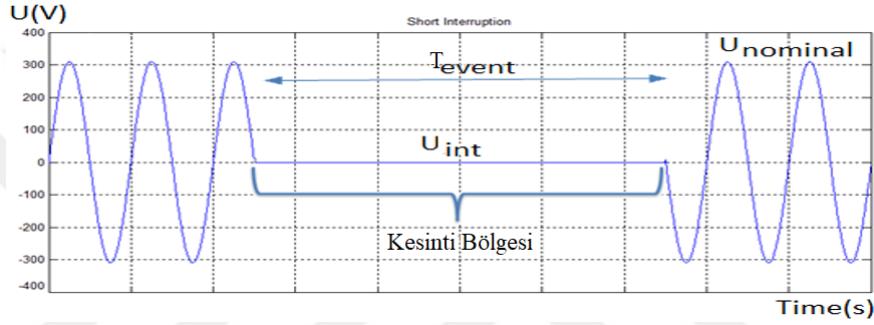
Şebeke gerilimindeki kısa süreli kesintiler, gerilim düşmesi ile benzer nedenlerden kaynaklanmakla birlikte, özellikle ani yük değişiminden meydana gelmektedir [45-47]. Standarta göre; şebeke geriliminin nominal değerinin %1'inden daha küçük genlikteki gerilim değerleri kısa süreli kesinti sınıfına girer. Gerçekleşen bu kesintinin kısa süreli tanımına girebilmesi için ise, kesintinin süresinin üç dakikadan kısa olması gerekmektedir [44, 64].

Test, 25°C sıcaklık ve %40 bağıl nem değerine sahip ortamda yüksüz ve yüklü olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. Test için, standartlara uygun olarak girilmesi gereken program bilgisi Tablo 4.6'da verilmiştir. Bu verilere göre gerçekleştirilen test süresince ve sonrasında ürünün tepkisi incelenir. Şekil 4.17'de kısa süreli kesinti testine ait test sinyali görülmektedir [45].

Tablo 4.6. Kısa süreli kesinti test rutini

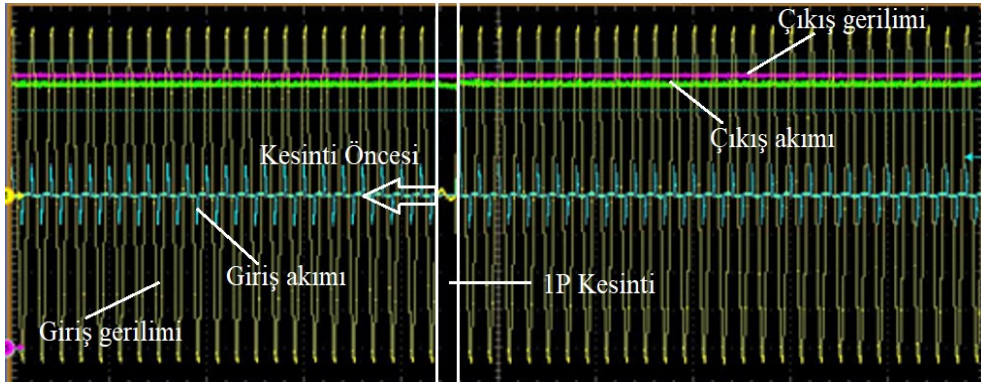
U_n	U_{int}	T_{event}	T_{rep}	T_{test}
220V _{AC}	0 %	20ms-200ms	10 s	60 s

Tablo 4.6'ya göre U_n nominal gerilim değerini, U_{int} test altındaki ürüne nominal gerilim değerinin %0'ı kadar gerilim uygulanacağını, T_{event} uygulanan kısa süreli kesinti süresinin 1 periyottan (20ms) 10 periyoda (200ms) kadar süreli olabileceğini, T_{rep} testin gerçekleşme periyodunu (10 saniye) ve T_{test} ise toplam test süresini (60 saniye) göstermektedir. Diğer bir deyişle 60 saniyelik toplam test süresince her 10 sn de bir 6 kere test uygulanmıştır.

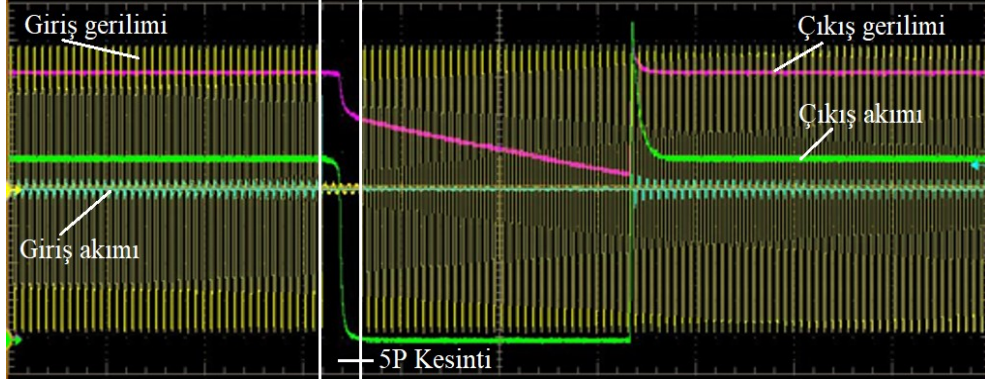


Şekil 4.17. Kısa süreli kesinti test sinyali

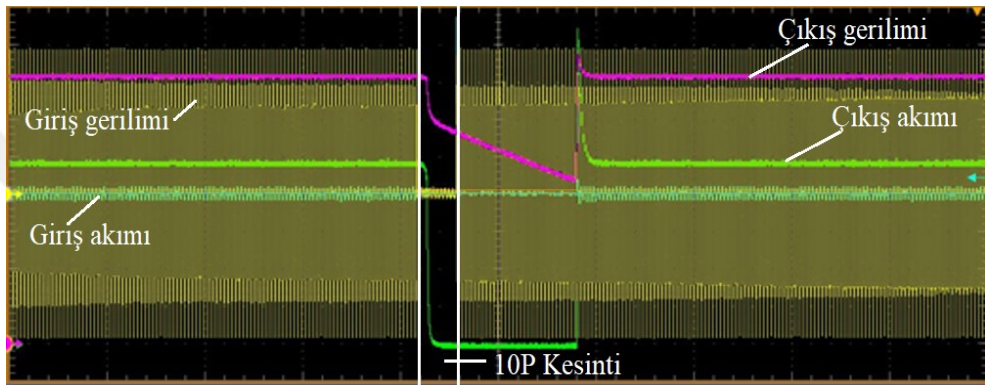
Testin gerçekleştirilmesi ile beraber LED sürücü devresine ait giriş ve çıkış gerilimi ile akım değişimleri her T_{event} değeri için ayrı ayrı aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Sırasıyla Şekil 4.18'de 1 periyot (1P=20ms) kesinti süresi için, Şekil 4.19'da 5 periyot (5P=100ms) kesinti süresi için ve Şekil 4.20'de 10 periyot (10P=200ms) kesinti süresi için giriş ve çıkış büyüklüklerinin değişimleri (sarı: giriş gerilimi, mavi: giriş akımı, pembe: çıkış gerilimi, yeşil: çıkış akımı) verilmiştir.



Şekil 4.18. 1P kesintide giriş akım ve gerilimi, çıkış akım ve gerilimi



Şekil 4.19. 5P kesintide giriş akım ve gerilimi, çıkış akım ve gerilimi



Şekil 4.20. 10P kesinti giriş akım ve gerilimi, çıkış akım ve gerilimi

Her üç şekilde de görülmektedir ki; giriş geriliminin kısa bir süreliğine (1 periyot, 5 periyot ve 10 periyot süreyle) kesilmesine karşın ürün arızalanmadan çalışmaya devam etmiştir. Dolayısıyla bu test açısından ürünün güvenilirlik düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir.

4.4. Gerilim Değişimi Testi (Voltage Variation Test)

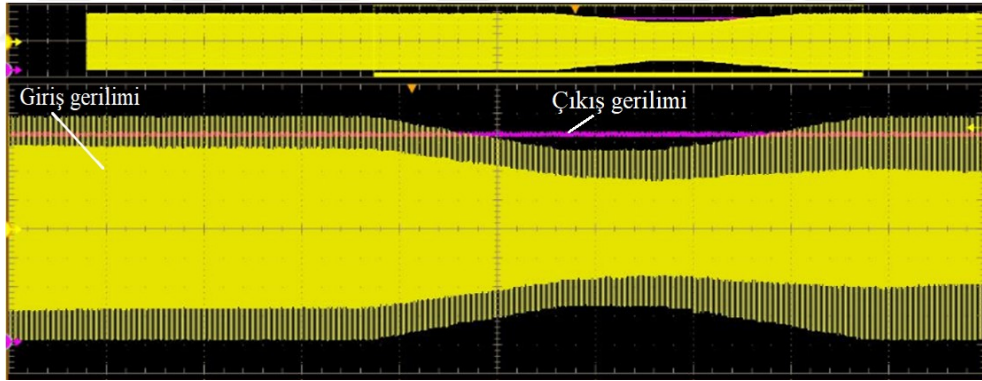
Şebekedeki gerilim değişimlerini simüle etmek ve ürün üzerindeki etkisini önceden belirleyerek önleyici tedbirlerin alınmasını sağlamak amacıyla şebeke gerilim değişim testi gerçekleştirilmiştir. EN 61000-4-11 standardına [44] uygun olarak gerçekleştirilen testin sonucunda ürünün Bölüm 2.7’de açıklanan Kriter B’yi sağlaması gerekir. Test, 25°C sıcaklık ve %40 bağıl nem değerine sahip ortamda yüksüz ve yüklü olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. Test için, standartlara uygun olarak girilmesi gereken program bilgisi Tablo 4.7’de verilmiştir. Bu verilere göre gerçekleştirilen test süresince ve sonrasında ürünün tepkisi incelenir.

Tablo 4.7. Gerilim değişimi test rutini

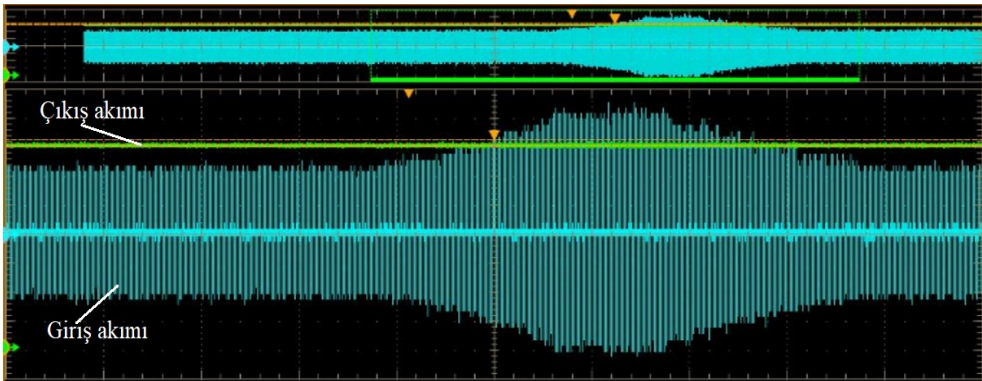
U_n	U_{var}	T_{event}	T_{rep}	T_{test}
220V _{AC}	70 %	t1:2sn, t2:1sn, t3:2sn	15 sn	60 sn

Tablo 4.7'ye göre U_n nominal gerilim değerini, U_{var} test altındaki ürüne nominal gerilim değerinin %70'i kadar gerilim uygulanacağını, T_{event} uygulanan gerilim değişiminin basamaklarını (U_n değerinden %70* U_n değerine 2sn'de düşeceğini, 1 sn süresince %70* U_n değerinde kalacağını ve %70* U_n değerinden U_n değerine yükselişin 2 sn süreceğini), T_{rep} testin gerçekleşme periyodunu (15 saniye) ve T_{test} ise toplam test süresini (60 saniye) göstermektedir. Diğer bir deyişle, 60 saniyelik toplam test süresince her 15 sn'de bir 4 kere test uygulanmıştır.

Testin gerçekleştirilmesi ile beraber LED sürücü devresine ait giriş gerilimi (sarı: $U_{g_max}=313,6V$) ve çıkış gerilimi değişimleri (pembe: $U_{_max}= 36,4V$) Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, giriş gerilimindeki değişime karşın çıkış geriliminde bir değişim olmamıştır. Şekil 4.22'de ise giriş akımı (turkuaz: $i_{g_max}= 0,92A$) ve çıkış akımı (yeşil: $i_{_max}= 0,50A$) değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.21. ıkış gerilim sinyali ve giriş gerilim sinyali



Şekil 4.22. ıkış akım sinyali ve giriş akım sinyali

Giriş akımı düşen gerilim ile birlikte artış gösterirken çıkış akımının etkilenmediği görülmektedir. Testin sonucunda görülmüştür ki; ürün arızalanmamış ve çalışmaya devam etmiştir. Dolayısıyla bu test açısından ürünün güvenilirlik düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir.

4.5. Elektrostatik Boşalma Testi (ESD: Electrostatic Discharge Test)

Bilindiği üzere elektrostatik boşalma (ESD), başta elektronik malzeme ve kart üreticileri olmak üzere endüstride ciddi bir sorun kaynağıdır. Elektronik cihazlar temas esnasında kullanıcı üzerindeki statik elektriğin ürün üzerinden boşalması sonucu (ESD) ürünlere ciddi zararlar verebilmekte ve hatta ömrünü tamamlamasına neden olabilmektedir. Özellikle mikrokontrolörler, yarı iletkenler, hassas film dirençler, kapasiteler vb elektronik malzemeler bu boşalmadan etkilenebilen başlıca elemanlardır. Bu durum üretici firmalar için maliyet, düşük güvenilirlik, beklenmeyen saha dönüşleri anlamına gelebilmekte ve bu nedenle başlı başına bir sorun teşkil etmektedir.

Elbetteki ESD nedeniyle özellikle üretim ve kontrol aşamalarında ürünün arızalanmasını önlemek adına personelin topuk bandı, ESD eldiveni kullanması gibi bireysel ve elektrostatik boşalmaya özel antistatik iletken zemin kaplamaları, antistatik masa ve sandalye kullanımı gibi birtakım önlemler mevcuttur. Fakat bu gibi önlemlere karşın yine de gerek üretim aşamasında gerekse tüketicinin kullanımı sırasında ürünün ESD darbesine maruz kalması söz konusu olabilmektedir.

Bu nedenle elektronik ürünlerde, ESD darbesinin etkisinin gözlemlenmesi ve olası arıza ve hataların önceden belirlenmesi, tasarım aşamasında bu gibi zararların minimize edilmesini sağlayacak önlemlerin alınması açısından oldukça kritiktir. Bu amaçla, Haefely ESD tabancası (Şekil 4.23) yardımıyla ürüne belirli koşullar dahilinde ESD darbesi uygulanarak olası hatalar simüle edilmektedir. Yapılan bu simüle çalışmaları EN61000-4-2 Standartı'na uygun olarak gerçekleştirilir. Standarta göre test seviyeleri Tablo 4.8'de verilmiştir [48]. Tablodan da görüleceği üzere 4 temel düzey mevcuttur. En üst seviye ve en yüksek darbe genliği 15kV olarak belirlenmiştir. Bu dört temel seviye dışında değer belirtilmemiş, tanımsız (x) bir seviye daha bulunmaktadır. Bu özel seviyede belirtilenlerden daha yüksek gerilimler uygulamak için özel test cihazı gerekebilir.



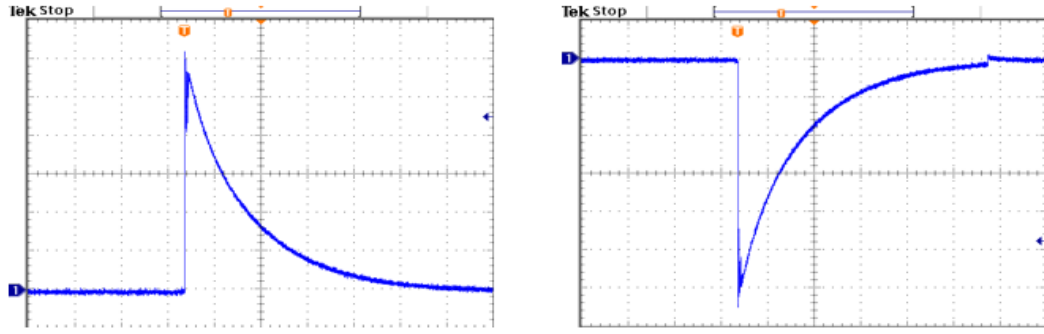
Şekil 4.23. a. ESD tabancası b. Temaslı darbe ucu c. Havadan darbe ucu

Farklı ürün grupları için uygulanacak ESD darbesinin genliği, polaritesi ve türü değişkenlik gösterir. Tez çalışması kapsamındaki LED aydınlatma sürücü devresi için havadan, her iki polaritede (+ ve -) 15kV test gerilim değerine sahip olan Seviye 4 de dahil olmak üzere her bir test geriliminde ayrı ayrı uygulama yapılmıştır. Her darbe sonrasında test altındaki ürünün fonksiyonları kontrol edilir. Ürünün servise gidecek şekilde arızalanmaması beklenmektedir. Ürünün kapanması, kilitlenmesi şayet kullanıcı müdahalesi ile (ürünün enerjisinin kesilip tekrar verilmesi, resetlenmesi) ortadan kalkıyor ve herhangi bir arızalı malzeme bulunmuyorsa ESD testi açısından sorun olarak değerlendirilmez.

Tablo 4.8. IEC 61000-4-2 test seviyeleri [13]

Temaslı ESD		Havadan ESD	
Seviye	Test Gerilimi (kV)	Seviye	Test Gerilimi (kV)
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X	X	X	X

Tasarlanan LED sürücü devresi LED aydınlatma cihazına (Şekil EK-B) montajlanmış ve ürüne ESD testi standart değerlerine uygun olarak hem + hem de – alternansta tekrarlı olarak (20 kez) uygulanmıştır. Test bitiminde, ESD darbesi sonucu LED sürücü devresinde herhangi bir arıza oluşmamıştır. Şekil 4.24.a ve b’de uygulanan + ve – alternanstaki ESD darbeleri görülmektedir.



Şekil 4.24. a (+) alternans 6 kV ESD darbesi b. (-) alternans 6kV ESD darbesi

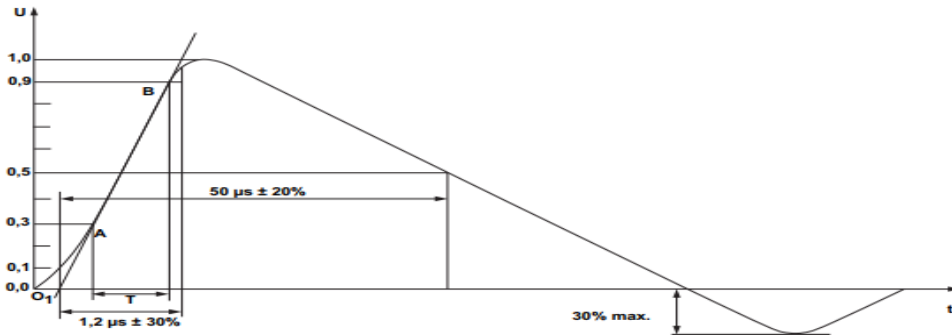
4.6. Yıldırım Darbe Testi (Lightning Surge Test)

Elektronik devrelerde yıldırım gerilim darbesinden dolayı oluşabilecek arızaların önceden belirlenerek, dayanım kapasitesini tanımlama ve olası önlemlerin ürün sahaya çıkmadan alınmasını sağlamak amacıyla elektronik cihazlara yıldırım darbe testi uygulanır. Test yüksek gerilim darbe simülatörü yardımıyla IEC 61000-4-5 standardı dikkate alınarak gerçekleştirilir. Standart kapsamında gerilim seviyelerine göre sınıflar tanımlanmıştır. Tablo 4.9’da bu sınıflara karşılık gelen gerilim seviyeleri görülmektedir [49].

Tablo 4.9. IEC61000-4-5 test seviyeleri

Seviye	Test Gerilimi
1	500 V
2	1 kV
3	2 kV
4	4 kV
X	Özel durum

X: belirtilen seviyelerin üstünde, altında ya da iki seviye arasında olabilir. Ürüne uygulanan yıldırım darbesi sinyali Şekil 4.25’te görülmektedir [49].



Şekil 4.25. Yıldırım darbe üreticisi tarafından üretilen darbe sinyali [49]

Darbe üretici 1,2µs/50µs süreli gerilim sinyali sağlar. Buradaki 1,2µs gerilim darbesinin yükselme süresidir. Standartta yükselme süresi, darbenin genliğinin %10'u değerinden %90'ı değerine kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. 50µs ise uygulanan gerilim darbe sinyalinin %10'u değerinden darbenin tepe noktasına çıktıktan sonra tekrar %50'si değerine düştüğü ana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır.

Yıldırım darbe testi, üründe enerji yokken ve enerji varken ayrı ayrı gerçekleştirilerek kriterlere uygunluğu kontrol edilir. Test kriteri uygulanan gerilim değerine göre değişmektedir. 3kV darbe için Bölüm 2.7'de açıklanan Kriter B dikkate alınırken, 4kV ve üstü darbelerde güvenlik açısından bir problem oluşup oluşmadığı, yangın, duman vb durumun gözlemlenip gözlemlenmediği dikkate alınır. İlave olarak PCB de tamir edilemeyecek bir durum oluşmamalıdır.

Tez çalışmasına konu olan LED sürücü devresi LED aydınlatma cihazına (Şekil B.1) montajlanmış ve ürüne yıldırım darbe testi standart değerlerine uygun olarak uygulanmıştır. Test bitiminde, yıldırım darbesi sonucu LED sürücü devresinde herhangi bir arıza oluşmamıştır. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen LED sürücü devresi için 7kV değerindeki yıldırım darbe değerine dayanabildiği görülmüştür. LED sürücü devresinin yıldırım darbesine karşı dayanımını sağlamak ve yıldırım darbesini sönmölemek üzere alınan önlem sayesinde yangın gibi herhangi bir güvenlik açığına meydan verecek bir sorun ile karşılaşılmamıştır. Bu amaçla; yıldırım etkisini sınırlamak için devreye varistör eklenmiştir.

5. GÜVENİLİRLİK TAHMİNİ VE ÖMÜR VERİSİ ANALİZİ

Güvenilirlik (hata yapma oranı) tahmini ve modellemesi için çok çeşitli standartlardan faydalanılır. Ürün henüz üretilmeden gerçekleştirilen tahminler sayesinde maddi olarak ve zamandan tasarruf sağlanır. Ayrıca iki farklı tasarım alternatifini karşılaştırmak için de yine güvenilirlik tahmininden yararlanılabilir.

Tahminler, çevresel koşulları ve stresleri hesaba katarak sonuç üretirler. Güvenilirlik tahminlerinde bu doktora tez çalışmasında MIL-217f standardı dikkate alınacaktır. Bu standart elektronik sistemler için kullanılmaktadır ve bazı varsayımlara dayanmaktadır. Bu varsayımlardan en önemlileri, sistemin ya da sistem bileşenlerinin sabit hata oranına sahip olduğu, tamir edilemeyen olduğu ve sıfır ürün olduğudur.

Güvenilirlik tahminlere bağlı olup, gerçek değerleri kesin olarak bilmek mümkün olmamaktadır. Ömür verisi analizi, gerçek değeri maksimum yakınsama ile tahmin edebilmektir.

Hata oranının neredeyse sabit olduğu kuvvet eğrisindeki (Şekil 2.1) faydalı ömür bölgesinin uzunluğu, ürün ya da sistemler için normal ömür bilgisi olarak değerlendirilir [37, 39, 65]. Bu periyot boyunca en düşük hata oranı görülür. Faydalı ömür bölgesi, güvenilirlik tahminlerinde en yaygın kullanılan zamandır. Parça temelli olarak gerçekleştirilen hata oranı ve sistem ömür hesabında en yaygın kullanılan standartlardan biri MILSTD-217f standardıdır. Bu standartta elektronik elemanlar için ayrı ayrı standartta belirtilen koşullarda ve şekilde testler/ölçümler yapılarak her bir eleman türü için birim zamandaki temel hata oranları (λ_b) hesaplanır [65-68].

Herhangi bir elektronik devrenin bu standartta göre hata oranı hesabında, elemanların tekil olarak temel hata oranı değerlerinden yola çıkılır. Sistemin ömrü ise sistemin toplam hata oranının tersidir. Ömür hesabına, elektronik devrede bulunan her bir elemanın katkısı bulunmasından dolayı, mevcut elemanların bacak sayılarından tiplerine, nominal değerlerine kadar birçok katalog değerine ve bu elemanlar üzerinde ölçülen akım, gerilim gibi ölçüm sonuçlarına, ölçüm esnasındaki ortamın sıcaklık

derecesi gibi çevresel faktörlere kadar oldukça fazla değişkenin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle ömür hesabına başlamadan önce söz konusu elektronik devrede kullanılan tüm elemanların listesi yukarıda sözü edilen değişkenler de dikkate alınarak oluşturulur. Kartta bulunan tüm elektronik malzemelerin üzerinden akan akım, gerilim düşümleri ayrı ayrı ölçülerek sonuçlar kaydedilir. Oldukça yoğun ve zahmetli geçen bu işlemin ardından kart üzerinde sıcaklık bilgileri toplanır. Sıcaklık bilgileri için termal kamera yardımıyla (termokupl da gerektiğinde kullanılabilir) termal haritalama gerçekleştirilir.

Elde edilen verilerden yararlanılarak her bir bileşen için hata oranı, standartta belirtilen temel hata oranları dikkate alınarak elde edilir. Eşitlik 5.1, tekil eleman için hata oranı formülünün genel gösterimini verir [65]. Bu eşitlikteki kimi katsayılar ilgili eleman için hesaba katılmayabilirken, kimi elemanlar için bu eşitlikte olmayan yeni katsayılar da eklenebilecek şekilde esnek bir yapıya sahiptir.

$$\lambda_k = \lambda_b * \Pi_T * \Pi_S * \Pi_Q * \Pi_E \quad (5.1)$$

λ_k : Elemanın toplam hata oranı. Birimi Failures/10⁶ Hours (FPMH: Failures Per Million Hours).

λ_b : Elemanın temel hata oranı. Elemanın grubuna (direnç, diyot, kapasitör, entegre vd), çeşidine (örneğin diyot için; doğrultucu diyot, zener diyot vd) göre belirlenmiş işlenmemiş hata oranı değeridir. Standartta Devre elemanları için bu değer mevcuttur. Birimi Failures/10⁶ Hours (FPMH: Failures Per Million Hours).

Π_T : Sıcaklık faktörü. Sıcaklığın eleman üzerindeki etkisinin hesaba katılabilmesi amacıyla belirlenmiş katsayıdır. Eleman türüne göre farklı değerler alır. Standartta nasıl alınması gerektiği bulunmaktadır.

Π_S : Elektriksel stres faktörü. Elemana göre stres faktörü değişik gösterir. Örneğin kapasite için gerilim temel alınırken direnç için güç dikkate alınır.

Π_Q : Kalite faktörü (=10). Devre elemanına göre değişmekle birlikte standartta alabileceği değerler mevcuttur.

Π_E : Çevre faktörü. Devre elemanına göre değişmekle birlikte standartta alabileceği değerler mevcuttur.

Tekil devre elemanları hata oranları ayrı ayrı bulunduktan sonra Eşiklik 5.2’de görülen genel matematiksel ifade yardımıyla sistem hata oranı ve hata oranı yardımıyla Eşitlik 2.2 ($1/\lambda_{\text{sistem}}$) kullanılarak sistemin ömrü hesaplanır.

$$\lambda_{\text{sistem}} = \sum_{j=1}^n N_j (\lambda_g \Pi_Q)_j \quad (5.2)$$

λ_{sistem} : Sistemin toplam hata oranı, FPMH

λ_g : Devre elemanının hata oranı, FPMH

Π_Q : j. devre elemanının kalite faktörü,

N_j : j. devre elemanının sayısı,

n : Sistemdeki toplam birbirinden farklı devre elemanı tipi sayısı,

Bu çalışmada sistemin ömür hesabı, uluslararası düzeyde en yetkin programlardan biri kabul edilen Reliasoft analiz programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

5.1. Dirençler İçin Hata Oranı Hesabı

Dirençler için hata oranı formülü Eşitlik 5.3’te verildiği gibidir [65].

$$\lambda_{\text{direnç}} = \lambda_b * \Pi_T * \Pi_p * \Pi_s * \Pi_Q * \Pi_E \quad (5.3)$$

Öncelikle direnç tipine göre EK-C’deki Tablodan ilgili dirence ait λ_b (temel hata oranı [FPMH]) değerleri belirlenir. Tabloda direnç tipine göre temel hata oranı değerleri yer almaktadır. Genellikle sabit ya da ayarlanabilir (değişken direnç) olup olmadığına bakmaksızın sargısız, film, chip dirençler için hata oranı 0,0037 alınırken sargılı dirençler için 0,0024 alınabilir.

Sıcaklık faktörünü (Π_T) bulmak için Tablo 5.1’den yararlanılır. Tablodan direnç tipleri için uygun değer kullanılır. Sıcaklık faktörleri iki sütun halinde verilmiştir. Bu sütunlardan Sütun 2, RC, RCR, RW, RWR, RE, RER tip dirençler için ve Sütun 1 ise diğer direnç tipleri için kullanılır. Direnç tiplerinin tanımları EK-C’deki tabloda gösterilmiştir. Düşük güçlü dirençlerde dış kılıf sıcaklığı ortam sıcaklığı olarak alınabilir. Güç tüketim faktörünü (Π_p) belirlemek için Tablo 5.2’den yararlanılır.

Tablo, direncin kataloğunda yazan nominal güce karşılık gelen güç tüketim faktörü değerlerinden oluşur. Direnç için elektriksel stres faktörü (Π_s), direnç üzerinde harcanan gücün nominal güce oranı olarak tanımlanır. Tablo 5.3'te hesaplanan elektriksel stres değerine karşılık olarak elektriksel stres faktörleri iki sütun halinde verilmiştir. Bu sütunlardan Sütun 2, RC, RCR, RW, RWR, RE, RER tip dirençler için ve Sütun 1 ise diğer direnç tipleri için kullanılır. Direnç tiplerinin tanımları EK-C'deki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Sıcaklık faktörü

T [°C]	Π_T , Sütun 1	Π_T , Sütun2
20	0,88	0,95
30	1,1	1,1
40	1,5	1,2
50	1,8	1,3
60	2,3	1,4
70	2,8	1,5
80	3,4	1,6
90	4	1,7
100	4,8	1,9
110	5,6	2
120	6,6	2,1
130	7,6	2,3
140	8,7	2,4

Tablo 5.2. Nominal güce karşılık gelen güç faktörü

Güç tüketimi [W]	Π_P	Güç tüketimi [W]	Π_P
0,001	0,068	3	1,5
0,01	0,17	4	1,7
0,13	0,44	5	1,9
0,25	0,58	10	2,5
0,50	0,76	25	3,5
0,75	0,89	50	4,6
1	1	100	6
2	1,3	150	7,1

Tablo 5.3. Elektriksel stres faktörü

Güç Stresi	Π_s , Sütun 1	Π_s , Sütun 2
0,1	0,79	0,66
0,2	0,88	0,81
0,3	0,99	1
0,4	1,1	1,2
0,5	1,2	1,5
0,6	1,4	1,8
0,7	1,5	2,3
0,8	1,7	2,8
0,9	1,9	3,4

Kalite faktörü (Π_Q) olarak standartta farklı değerler olmakla beraber, ticari uygulamalarda ve güvenilirlik seviyesi bilinmeyen devre elemanı için bu değer 10 olarak alınmaktadır.

Çevre faktörü (Π_E) değerini belirlemek için Tablo 5.4 kullanılmaktadır. Tabloda iki farklı çevre koşulu için çevre faktörü değerleri verilmiştir. Standartta bu iki koşulun dışında da çevresel faktörler mevcuttur. Fakat diğer tanımlar askeri, havacılık ve uzay çevresel koşulları için geçerli olduğu için tüketici elektroniği ürünlerinde çevresel faktör olarak GF olarak etiketlenirilmiş orta seviyeli kontrol edilebilen çevresel koşullara denk gelen çarpan hesaba katılır.

Tablo 5.4. Farklı çevre koşulları için çevre faktörü

Çevre	Tanım	Π_E
GB	Hareketsiz, sıcaklık ve nem kontrollü, bakımı kolayca yapılabilir ortamlar. Laboratuvar ve test cihazları, tıbbi elektronik cihazı, iş bilgisayarı ve füzeler.	1
GF	Orta seviyede kontrol edilebilen askeri ve uzay dışı çevreler.	4

5.2. Kapasiteler İçin Hata Oranı Hesabı

Kapasite için hata oranı formülü Eşitlik 5.4'te verildiği gibidir [65].

$$\lambda_{\text{kapasite}} = \lambda_b * \Pi_T * \Pi_C * \Pi_V * \Pi_Q * \Pi_E \quad (5.4)$$

Öncelikle kapasitenin tipine göre EK-D'deki tablodan λ_b değeri (kapasitenin temel hata oranı [FPMH]) belirlenir. Tabloda kapasitenin tipine göre temel hata oranı (λ_b) değerleri yer almaktadır.

Sıcaklık faktörünü (Π_T) bulmak için Tablo 5.5'ten yararlanılır. Tabloda sıcaklık değerlerine göre sıcaklık faktörü değeri iki farklı kolonda gösterilmiştir. Bu sütunlardan; Sütun 2, CM, CMR, CB, CY, CYR, CK, CKR, CC, CCR, CDR, CU, CUR, CE, PC, CT tip kapasiteler için ve Sütun 1 ise diğer kapasite tipleri için kullanılır. Kapasite tiplerinin tanımları EK-D'deki tabloda gösterilmiştir.

Kapasitans faktörünü (Π_C) belirlemek için Tablo 5.6'dan yararlanılır. Tabloda kapasitans değerine karşılık kapasitans faktörleri iki sütun halinde verilmiştir. Bu sütunlardan; Sütun 2, CSR, CWR, CL, CLR, CRL, CU, CUR, CE tip kapasiteler için ve Sütun 1 ise diğer kapasite tipleri için kullanılır.

Tablo 5.5. Sıcaklık faktörü

T [°C]	Sütun 1	Sütun 2
20	0,91	0,79
30	1,1	1,3
40	1,3	1,9
50	1,6	2,9
60	1,8	4,2
70	2,2	6
80	2,5	8,4
90	2,8	11
100	3,2	15
110	3,7	21
120	4,1	27
130	4,6	35
140	5,1	44
150	5,6	56

Tablo 5.6. Kapasitans faktörü

Kapasite değeri, C(μF)	Sütun 1	Sütun 2
0,000001	0,29	0,04
0,00001	0,35	0,07
0,0001	0,44	0,12
0,001	0,54	0,2
0,01	0,66	0,35
0,05	0,76	0,5
0,1	0,81	0,59
0,5	0,94	0,85
1	1	1
3	1,1	1,3
8	1,2	1,6
18	1,3	1,9
40	1,4	2,3
200	1,6	3,4
1000	1,9	4,9
3000	2,1	6,3
10000	2,3	8,3
30000	2,5	11
60000	2,7	13
120000	2,9	15

Kapasite için elektriksel stres faktörü (Π_V), kapasite üzerinden ölçülen gerilimin nominal gerilime oranı olarak tanımlanır. Tablo 5.7’de hesap edilen bu orana karşılık elektriksel stres faktörleri beş sütun halinde verilmiştir. Bu sütunlardan

Sütun 1; CP, CA, CZ, CZR, CQ, CQR, CH, CHR, CFR, CRH, CU, CUR, CE,
Sütun 2; CM, CMR, CB, CY, CYR,

Sütun 3; CK, CKR, CC, CCR, CDR,

Sütun 4; CSR, CWR, CL, CLR

Sütun 5 ise CV, PC, CT ve CG tip kapasiteler için kullanılır.

Tablo 5.7. Elektriksel stres faktörü

Gerilim Stresi	Sütun 1	Sütun 2	Sütun 3	Sütun 4	Sütun 5
0,1	1	1	1	1	1
0,2	1	1	1	1	1,1
0,3	1	1	1,1	1	1,2
0,4	1,1	1	1,3	1	1,5
0,5	1,4	1,2	1,6	1	2
0,6	2	2	2	2	2,7
0,7	3,2	5,7	2,6	15	3,7
0,8	5,2	19	3,4	130	5,1
0,9	8,6	59	4,4	990	6,8
1	14	166	5,6	5900	9

Kalite faktörü (Π_Q) olarak standartta farklı değerler olmakla beraber, ticari uygulamalarda ve güvenilirlik seviyesi bilinmeyen devre elemanları için bu değer 10 olarak alınmaktadır. Çevre faktörü (Π_E) değerini belirlemek için Tablo 5.8'den yararlanılmaktadır. Tabloda değişik çevre koşulları için çevre faktörü değerleri verilmiştir.

Tablo 5.8. Çevre faktörü

Çevre	Çarpan Değeri
GB	1
GF	10

5.3. Transformatör İçin Hata Oranı Hesabı

Transformatörler için hata oranı formülü Eşitlik 5.5'te verildiği gibidir [65].

$$\lambda_{\text{transf}} = \lambda_b * \Pi_T * \Pi_Q * \Pi_E \quad (5.5)$$

Öncelikle transformatör tipine göre Tablo 5.9'dan λ_b değeri (temel hata oranı [FPMH]) belirlenir. Tabloda transformatör tipine göre temel hata oranı değerleri yer almaktadır.

Sıcaklık faktörünü (Π_T) bulmak için Tablo 5.10' dan yararlanılır. Tabloda odak noktası sıcaklık değerlerine göre sıcaklık faktörü değeri gösterilmiştir. Kalite faktörü (Π_Q) değerini belirlemek için Tablo 5.11'den yararlanılmaktadır.

Tablo 5.9. Transformatör tipine göre temel hata oranı

Transformatör	λ_b
Flyback (< 20 Volts)	0,0054
Audio (15 -20K HZ)	0,014
Low Power Pulse (Peak Pwr. < 300W, Avg. Pwr. 5W)	0,022
High Power, High Power Pulse (Peak Power \geq 300W, Avg. Pwr. \geq 5W)	0,049
RF (10K - 10M HZ)	0,13

Tablo 5.10. Sıcaklık faktörü

T_{hs} [°C]	π_T	T_{hs} [°C]	π_T
20	0,93	110	2,6
30	1,1	120	2,8
40	1,2	130	3,1
50	1,4	140	3,3
60	1,6	150	3,5
70	1,8	160	3,8
80	1,9	170	4,1
90	2,2	180	4,3
100	2,4	190	4,6

Tablo 5.11. Kalite faktörü

Quality	π_Q
MIL-SPEC	1
Lower	3

Çevre faktörü (Π_E) değerini belirlemek için Tablo 5.12’de yararlanılmaktadır. Tabloda değişik çevre koşulları için çevre faktörü değerleri verilmiştir.

Tablo 5.12. Çevre faktörü

Çevre Etiketi	π_E
GB	1
GF	6

5.4. Bobin İçin Hata Oranı Hesabı

Bobin için hata oranı formülü Eşitlik 5.6’da verildiği gibidir [65].

$$\lambda_{bobin} = \lambda_b * \Pi_T * \Pi_Q * \Pi_E \quad (5.6)$$

Öncelikle bobin tipine göre λ_b değeri (temel hata oranı [FPMH]) belirlenir (Tablo 5.13). Tabloda bobin tipine göre temel hata oranı (λ_b) değerleri yer almaktadır. Sıcaklık faktörünü (Π_T) bulmak için Tablo 5.14’ten yararlanılır. Tabloda sıcaklık değerlerine göre sıcaklık faktörü değeri gösterilmiştir. Kalite faktörü (Π_Q) değerini

belirlemek için Tablo 5.15'ten yararlanılmaktadır. Çevre faktörü (Π_E), çevre etiketi GB olması durumunda 1, GF olması durumunda 6 alınır (Tablo 5.16).

Tablo 5.13. Bobin tipine göre temel hata oranı

Bobin tipi	λ_b
Fixed inductor or choke	0,00003
Variable inductor	0,00005

Tablo 5.14. Sıcaklık faktörü

T_{hs} [°C]	π_T	T_{hs} [°C]	π_T
20	0,93	110	2,6
30	1,1	120	2,8
40	1,2	130	3,1
50	1,4	140	3,3
60	1,6	150	3,5
70	1,8	160	3,8
80	1,9	170	4,1
90	2,2	180	4,3
100	2,4	190	4,6

Tablo 5.15. Kalite faktörü

Kalite Etiketi	π_Q
S	0,03
R	0,1
P	0,3
M, MIL-SPEC	1

Tablo 5.16. Çevre faktörü

Çevre Etiketi	π_E
GB	1
GF	6

5.5. Transistör İçin Hata Oranı Hesabı

Alçak frekans (200 MHz'den az) transistörleri için hata oranı formülü Eşitlik 5.7'de verildiği gibidir [65].

$$\lambda_{\text{transistor}} = \lambda_b * \Pi_T * \Pi_A * \Pi_P * \Pi_S * \Pi_Q * \Pi_E \quad (5.7)$$

İster NPN ister ise PNP olsun bu tip alçak frekans transistörleri için temel hata oranı değeri (λ_b) 0,00074 olarak alınır. Sıcaklık faktörünü (Π_T) bulmak için Tablo 5.17'den yararlanılır. Güç tüketim faktörünü (Π_P) belirlemek için Tablo 5.18'den yararlanılır.

Tablo, transistörün katalogunda yazan nominal güce karşılık gelen güç tüketim faktörü değerlerinden oluşur.

Tablo 5.17. Sıcaklık faktörü

T [°C]	Π_T	T [°C]	Π_T
25	1	105	4,5
30	1,1	110	4,8
35	1,3	115	5,2
40	1,4	120	5,6
45	1,6	125	5,9
50	1,7	130	6,3
55	1,9	135	6,8
60	2,1	140	7,2
65	2,3	145	7,7
70	2,5	150	8,1
75	2,8	155	8,6
80	3	160	9,1
85	3,3	165	9,7
90	3,6	170	10
95	3,9	175	11
100	4,2		

Tablo 5.18. Güç faktörü

Güç tüketimi [W]	Π_P
$\leq 0,1$	0,43
0,5	0,77
1	1
5	1,8
10	2,3
50	4,3
100	5,5
500	10

Transistör için elektriksel stres faktörü (Π_S), transistörün kollektör emiter üzerindeki gerilim düşümünün nominal kollektör emiter gerilimine oranı (V_S) için tanımlanır. Tablo 5.19'da, bu orana karşılık olarak elektriksel stres faktörü verilmiştir.

Kalite faktörü (Π_Q) değeri, transistör kalite tanımından yararlanılarak belirlenir (Tablo 5.20). Kalite sınıfı tanımlarında JAN ile başlayan değer askeri standartlara uygun olan transistörler için belirlenen kalite faktörleridir. TX ifadesi (JANTXV ve JANTX sınıf tanımlamalarında bulunan) ise ekstra test gerçekleştirilmiş anlamına gelmektedir. Bu nedenle şayet malzemenin katalogunda belirtilmemişse, tüketici elektroniği

uygulamalarında diğer seçeneklerden uygun olan ve genellikle “Lower” için verilmiş değer olan 5,5 alınır.

Tablo 5.19. Elektriksel stres faktörü

Gerilim Stresi	Π_s
$0 < V_s \leq 0,3$	0,11
$0,3 < V_s \leq 0,4$	0,16
$0,4 < V_s \leq 0,5$	0,21
$0,5 < V_s \leq 0,6$	0,29
$0,6 < V_s \leq 0,7$	0,39
$0,7 < V_s \leq 0,8$	0,54
$0,8 < V_s \leq 0,9$	0,73
$0,9 < V_s \leq 1$	1

Tablo 5.20. Kalite faktörü

Kalite sınıfı	Π_q
JANTXV	0,7
JANTX	1
JAN	2,4
Lower	5,5
Plastic	8

Çevre faktörü (Π_E) değerini belirlemek için Tablo 5.21’den yararlanılmaktadır. Tabloda iki farklı çevre koşulu için çevre faktörü değerleri verilmiştir. Standartta bu iki koşulun dışında da çevresel faktörler mevcuttur. Fakat diğer tanımlar askeri, havacılık ve uzay çevresel koşulları için geçerli olduğu için tüketici elektroniği ürünlerinde çevresel faktör olarak GF olarak etiketlenirilmiş orta seviyeli kontrol edilebilen çevresel koşullara denk gelen çarpan hesaba katılır.

Tablo 5.21. Çevre faktörü

Çevre	Tanım	Π_E
GB	Hareketsiz, sıcaklık ve nem kontrollü, bakımı kolayca yapılabilir ortamlar. Laboratuvar ve test cihazları, tıbbi elektronik ekipman, iş ve bilimsel bilgisayar ve füzeler.	1
GF	Orta seviyede kontrol edilebilen askeri ve uzay dışı çevreler. *	6

5.6. Örnek Hata Oranı ve Ömür Hesabı

Verilen açıklamalar doğrultusunda örnek olarak bir kapasite için hata oranı hesaplanmıştır. Daha sonra tasarlanan LED sürücü devresine ait hata oranı ve ömür hesabı örnekte anlatılan şekilde Reliasoft analiz programı yardımıyla yapılmıştır.

Karakteristik bilgileri ve elektriksel ölçüm değerleri aşağıdaki gibi olan bir kapasite için hata oranını ele alalım. Kapasite seramik tipidir ve tipi CQ ile tanımlanmaktadır. Çevre kullanım tanımı olarak GF verilmiştir.

Nominal DC gerilimi (V_{DC_nom}): $400V_{dc}$;

Devre elemanı çevre sıcaklığı (T_A): $60^{\circ}C$;

Uygulanan DC gerilim değeri (V_{DC}) : $200V$

Uygulanan AC gerilim değeri (V_{AC}) : $50V_{rms}$;

Kapasite değeri: $10pF$;

Kapasite için hata oranı formülü aşağıda tekrar verilmiştir.

$$\lambda_{\text{kapasite}} = \lambda_b * \Pi_T * \Pi_C * \Pi_V * \Pi_Q * \Pi_E \quad (5.8)$$

Öncelikle standarttan devre elemanı temel hata oranı (λ_b) EK-D'deki tablodan kapasite tipine uygun olarak seçilir. Tablodan da görüleceği üzere, CQ tipi seramik kapasite için bu değer $\lambda_b = 0,00051$ olarak verilmiştir.

Bu aşamadan sonra sırasıyla diğer katsayılar olan sıcaklık faktörü, kapasite faktörü, elektriksel stres faktörü, kalite faktörü ve çevre faktörü değerleri belirlenerek eşitlikte yerine konulur.

Sıcaklık değeri $60^{\circ}C$ olarak belirtilmiş. Bu sıcaklık değerine uygun sıcaklık faktörü Tablo 5.5'te $\Pi_T = 1,8$ olarak verilmiştir. Kapasite faktörü için Tablo 5.6'dan yararlanılır. Örnek olarak verilen kapasite CQ tipi seramik kapasite olduğu için sütun 1 dikkate alınır. Sütun 1'de $10pF$ için kapasite faktörünün $\Pi_C = 0,66$ olduğu görülmektedir. Elektriksel stres faktörünün bulunabilmesi için öncelikle o devre elemanı için elektriksel stres tanımını bilmek gerekir. Kapasite için elektriksel stres faktörünün, kapasite üzerinden ölçülen gerilimin nominal gerilime oranı olarak tanımlandığı daha önce ilgili bölümde ifade edilmiştir. Formül ile göstermek gerekirse;

$$S = \frac{V_{DC} + V_{AC_max}}{V_{DC_nom}} = \frac{220 + 50 * \sqrt{2}}{400} = 0,68 \quad (5.9)$$

olarak elde edilir. S gerilim stres değeridir. Tablo 5.7'den kapasitemiz CQ tipi seramik kapasite olduğu için Sütun 1'i dikkate alarak bu stres değerine karşılık gelen elektriksel stres faktörü yaklaşık olarak $\Pi_V = 2,9$ olarak elde edilir. Kalite faktörü güvenilirlik

seviyesi bilinmeyen devre elemanları için bu değer 10 olarak alınmaktadır. Güvenilirlik seviyesinin bilinmediğini varsayalım. Gerçekte kapasitenin güvenilirlik seviyesi ya katalogundan ya da üreticiye sorularak öğrenilebilir. Bu çalışmada bilinmediği ve öğrenilemediği varsayılmıştır. Bu nedenle $\Pi_Q=10$ olarak alınmıştır. Son olarak çevre faktörü de Tablo 5.8'den $\Pi_E = 10$ olarak belirlenebilir. Buna göre;

$$\lambda_{kap}=\lambda_b*\Pi_T*\Pi_C*\Pi_V*\Pi_Q*\Pi_E=0.00051*1,8*0,66*2,9*10=0,01757 \text{ FPMH} \quad (5.10)$$

Tüm devre elemanlarının bu örnekte gösterildiği şekilde ayrı ayrı hata oranları MIL-HDBK-217 standardına göre Reliasoft programıyla bulunmuştur. Hesaplama sonucu LED sürücü devresinin toplam hata oranı $\lambda_{devre}=3,4645$ FPMH olarak program tarafından hesaplanmıştır. Bu değer milyon saatteki hata miktarıdır ve bize toplam hata oranını vermektedir. LED sürücü devremizin ömrü ise (MTTF) aşağıdaki şekilde yaklaşık olarak hesaplanır;

$$\text{MTTF}=\frac{1}{3,4645*10^6}=288640 \text{ saat} \quad (5.11)$$

Mevcut LED sürücülerinin ömürleriyle karşılaştırıldığında (Tablo 3.1: 50000-70000 saat) elde edilen ömür oldukça yüksektir.

5.6.1. Ömür hesabında gerçekleştirilen iyileştirme

Bilindiği gibi gerek güç elektroniği gerekse tüketici elektroniği uygulamalarında kullanılan devre elemanlarının öz parametre değerleri (kataloglarda yazılıdır) sabit değerler değildir. Yapılarına ya da kendileri dışındaki çevresel koşullara göre belirli toleranslar içerebilmektedir. Fakat uygulamada kullanılan ve Bölüm 5.6'da detaylı bir şekilde anlatılan mevcut ömür hesabında bu tolerans değerleri dikkate alınmamaktadır. Bu durum ömür hesabının gerçeğe yakınsamasını olumsuz etkilemekte ve hatalı hesap ve analizlere neden olabilmektedir.

Ömür hesabı sonucundan sadece hata oranı ve yaşam bilgisi elde edilmez. Bu bilgilerin yanında, en az bu bilgiler kadar önemli olan saha geri dönüş oranı bilgisi gibi dolaylı olarak elde edilen veriler de vardır. Özellikle elektronik devrelerde sayıca baskın olan direnç ve kapasitör gibi devre elemanlarının toleransları dikkate alınmadan yapılan ömür hesabı sonucunda, hata oranında dolayısıyla saha dönüş oranlarında sapmalar

oluşacaktır. Bunun sonucunda toleranslar dikkate alınmadan gerçekleştirilen hesaplama ve analizler servis maliyeti, yedek parça stok miktarı, ürün stok maliyeti gibi firmalar için oldukça önemli olan diğer parametreleri de etkiler.

Bu tez çalışmasında, sözü edilen devre elemanlarının (özellikle direnç ve kapasitelerin) tolerans değerleri dikkate alınmadan (tipik değerleri), minimum toleranslı değerleri ve maksimum toleranslı değerleri dikkate alınmak üzere üç farklı durum için MIL-STD standartına uygun olarak hata oranları ve ömürleri hesaplanmıştır. Bu değerlerden yola çıkarak her üç durum için de ayrı ayrı güvenilirlikler ve saha dönüş oranları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler karşılaştırıldığında iddia edildiği gibi, saha dönüş oranları arasında fark olduğu görülmüştür. Minimum ve maksimum tolerans için hata oranlarından yola çıkarak hesaplanan saha geri dönüş oranları arasındaki fark “Saha Geri Dönüş Oranı Sapması” olarak isimlendirilmiştir. Ek olarak yine bu tez çalışmasında saha geri dönüş oranlarının kullanım süresi ile ilişkisi gözlemlenerek sürenin etkisi de vurgulanmıştır. Tüm hesaplamalar bir önceki bölümde detaylı anlatılan formülasyonları temel alan Reliasoft yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Önceki bölümde LED sürücü devresinin ömrü (MTTF) 288640 saat olarak hesaplanmıştır. Fakat bu ömür, tipik değerler için hesap edilmiş değerdir. Minimum tolerans değerleri dikkate alınarak elde edilen ömür değeri 289460 saat ve maksimum tolerans değerleri dikkate alınarak elde edilen ömür değeri ise 285620 saattir (Tablo 5.22). Görüldüğü üzere tipik değerlere göre gerçekleştirilen ömür hesabı, bu iki değer arasında olmak üzere farklı olabilmektedir. Bu farkın varlığı, aynı zamanda birim zamandaki hata oranları arasında da fark anlamına gelir ki, bu tez çalışmasında “Hata Oranı Sapması (HOS)” olarak yeni bir isimle adlandırılmıştır. Bu nedenle tasarımda tipik değerler dikkate alınarak yapılacak ömür ve saha dönüş hesapları yanıltıcı olabilmektedir. Bu gibi değişken durumlarda üreticiler daha yüksek güvenilirlikli ürün ortaya çıkarmak adına en kötümser duruma göre hareket edebilir ya da minimum maliyetle ortalama bir güvenilirlik değerini elde etmeyi tercih edebilirler. Fakat bu seçimin yapılabilmesi tolerans değerlerinin dikkate alındığı çoklu ömür hesabı ile mümkün olacaktır.

Tablo 5.22. Tolerans durumuna göre hata oranı ve ömür değerleri

	Hata oranı (λ)	MTTF (Ömür)
Tipik değerler	3,4645	288640 saat
Minimum tolerans	3,4548	289460 saat
Maksimum tolerans	3,5012	285620 saat

Geleneksel ömür ve saha dönüşü hesaplarında tipik değerlerin dikkate alınması yanında bir diğer kabul ise, yıllara göre ürünün hata davranışındaki değişimin dikkate alınmamasıdır. Bu doktora tez çalışmasındaki diğer bir yenilik ise toleransa bağlı birim zamandaki hata oranı sapma miktarının yaşlanmaya bağlı olarak değişiminin de hesaba katılmasıdır. Yıllara göre elde edilen değerlere bakıldığında hata olasılığının arttığı görülmektedir. Tablo 5.23'te sırasıyla tipik değerler (üçüncü sütun), minimum toleranslı değerler (dördüncü sütun) ve maksimum toleranslı değerler (beşinci sütun) dikkate alınarak her biri için ayrı ayrı yaşlanmaya bağlı birim zamandaki hata olasılığı değişim değerleri hesaplanmış olarak sunulmuştur.

Tablo 5.23. Yaşlanmaya bağlı hata oranı değişimi

Yıl	Saat	$\lambda(10^{-3})$		
		Tipik değerler	Minimum tolerans	Maksimum tolerans
1 yıl	4380	15,060	15,018	15,218
2 yıl	8760	29,893	29,810	30,205
3 yıl	13140	44,503	44,380	44,963
4 yıl	17520	58,893	58,731	59,497
5 yıl	21900	73,066	72,867	73,809
6 yıl	26280	87,026	86,79	87,904
7 yıl	30660	100,775	100,505	101,785
8 yıl	35040	114,318	114,013	115,454
9 yıl	39420	127,656	127,318	128,915
10 yıl	43800	140,738	140,424	142,171

Tablo 5.23'te görülen ilk sütun yaşlanma süresinin yıl cinsinden değeri, ikinci sütun yaşlanma süresinin saat cinsinden değerini ve diğer sütunlar ise yıllara göre hata olasılığını göstermektedir. Fakat yaşlanmaya bağlı olarak artan tek parametre hata olasılığı büyüklüğü değildir. Tablo 5.23 sütun 4 ve sütun 5'teki ortak özellik kendi içinde sürenin ilerleyişiyle birlikte hata olasılığının artıyor olmasıdır. Bu durumu daha iyi gözlemleyebilmek için zamana bağlı (ömür süresince yıllara bağlı) olarak maksimum tolerans ve minimum tolerans için hata olasılıkları farkından hata oranı sapma değerleri elde edilerek Tablo 5.24 oluşturulmuştur. Zamana bağlı olarak elde edilen hata oranı sapma değerleri kümesi "Hata Olasılığı Kümesi" olarak yeni bir

isimle tanımlanmıştır (Tablo 5.24). Bu tablonun ikinci sütunu yıllara göre hata olasılığındaki sapmayı (HOS) ve son sütun ise yıllara göre hata olasılığındaki sapma yüzdesini göstermektedir.

Tablo 5.24. Hata olasılığı kümesi

Yıl	Saat	HOS	% HOS
1 yıl	4380	0,0002	0,02
2 yıl	8760	0,000395	0,0395
3 yıl	13140	0,000583	0,0583
4 yıl	17520	0,000766	0,0766
5 yıl	21900	0,000942	0,0942
6 yıl	26280	0,001114	0,1114
7 yıl	30660	0,00128	0,128
8 yıl	35040	0,001441	0,1441
9 yıl	39420	0,001597	0,1597
10 yıl	43800	0,001747	0,1747

Yıllara göre elde edilen ve Tablo 5.24'te gösterilmiş hata olasılığı sapma değerlerinden yararlanılarak saha dönüşü hesabında elde edilen değerdeki sapma miktarı da bulunabilir. Tabloya göre bir yılsonunda maksimum tolerans ve minimum tolerans hata olasılıkları arasındaki farkın %0,02 olduğu görülmektedir. Hata olasılığı değerinden Saha Geri Dönüş Oranı (SGDO) aşağıdaki gibi belirlenir. Birimi ppm (milyon başına parça sayısı)'dir.

$$SGDO = \frac{\%HOS}{100} * 10^6 = \frac{0,02}{100} * 10^6 = 200 \text{ ppm} \quad (5.12)$$

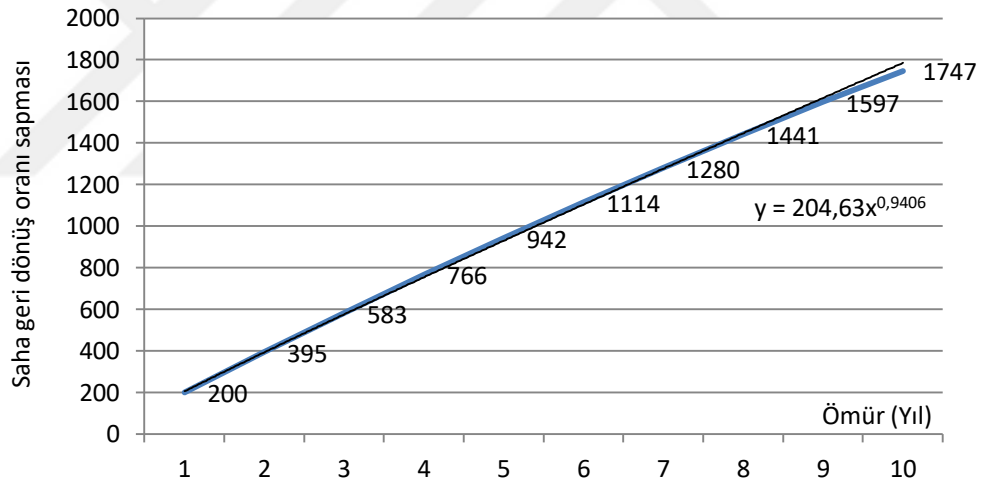
Bu değer; günde 12 saat kullanılan LED sürücü devresinin bir yılın sonunda, min ve max toleransların hesaba katılması durumundaki saha dönüş oranları arasındaki farkın milyonda 200 sürücü devresi olduğu anlamına gelir. 200 ppm'lik bir saha dönüş oranı sapma miktarı bile fazla iken yaşlanmaya bağlı olarak bu değer 10 yılda 1747'ye kadar yükselmesi üretici için sorun teşkil eder (Tablo 5.25). Saha dönüş oranındaki yanlış hesaplama, özellikle tahmine göre çıkan sapma, servis maliyeti, stok maliyeti, bulundurulması zorunlu yedek parça miktarı ve bulundurulmayan yedek parçanın eksik çıkması halinde katlanılması gereken ekstra maliyetler (yeni ürün verme zorunluluğu) gibi üretici için ilave maliyet ve kayıplara neden olmaktadır.

Tablo 5.25'deki veriler (SGDO) 10 yıl için işlendiğinde Şekil 5.1'deki eğri (mavi renkli) elde edilmektedir. Eğri uydurma ile bu değişim (Şekil 5.1 siyah renkli eğri)

Eşitlik 5.13'teki gibi formüle edilmiştir. Eğri yardımıyla ara değerlerde dahi sapma miktarları istenen zamanın yıl cinsinden değeri (L_y) yerine konularak kolayca bulunabilir. Yaşlanma ile birlikte toleransa bağlı saha geri dönüş oranındaki sapma miktarının da arttığı görülmektedir.

Tablo 5.25. Yaşlanmaya bağlı saha geri dönüş oranı sapması

Yıl	Yaşlanma miktarı	Saha geri dönüş oranı sapması
1 yıl	4380 saat	200
2 yıl	8760 saat	395
3 yıl	13140 saat	583
4 yıl	17520 saat	766
5 yıl	21900 saat	942
6 yıl	26280 saat	1114
7 yıl	30660 saat	1280
8 yıl	35040 saat	1441
9 yıl	39420 saat	1597
10 yıl	43800 saat	1747



Şekil 5.1. Yıllara göre saha geri dönüş oranı sapma değişimi

$$SGDO=204,63*L_Y^{0,9406} \quad (5.13)$$

Burada;

L_Y : Yıl cinsinden ömür miktarı.

6. DOLGU MALZEMESİNİN LED SÜRÜCÜ DEVRESİNİN GÜVENİLİRLİK, ÖMÜR VE EMC PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ

Özellikle dış ortam aydınlatma sistemlerinin ve sürücülerinin yağmur, kar, toz vb sıvı ve katı yabancı maddelere maruz kalma riskleri vardır. Bu nedenle gerek LED sürücü devreleri için gerekse diğer tüm güç ve tüketici elektroniği cihazları için üretici tarafından IPXY (Ingress protection) tanımı beyan edilmelidir. Bu tanım, elektronik devrelerin suya, toza ve katı cisimlere karşı sahip olduğu koruma seviyesini göstermektedir. X ve Y birer rakamla ifade edilir ve koruma sınıfının gerekliliklerini gösterir (Tablo 6.1) [67].

Tablo 6.1. IP tanımları tablosu [67]

“X”	Katı cisim girişi	“Y”	Sıvı girişi
0	Koruma yok.	0	Koruma yok.
1	50mm’den büyük katı cisimler giremez.	1	Damlayan suya karşı koruma (dikey olarak düşen damlalar).
2	12.5mm’den büyük katı cisimler giremez.	2	Dikey konumdan 15° açı ile damlayan suya karşı koruma.
3	2.5mm’den büyük katı cisimler giremez.	3	Dikey olarak 60°ye kadar herhangi bir açıda sprey halinde düşen suya karşı koruma.
4	1mm’den büyük katı cisimler giremez.	4	Herhangi bir yönde su sıçramasına karşı koruma.
5	Toza karşı dayanıklı.	5	Su jetlerine karşı koruma (6,3mm nozzle).
6	Toza karşı tam korumalı. Vakum uygulanmalıdır.	6	Güçlü su jetlerine karşı koruma (12.5 mm nozzle)
		7	1 m derinliğe kadar, kısa süreli suya batırılmaya karşı koruma.
		8	Suya uzun süre batırılmalara karşı koruma.
		9k	Yakın mesafeli yüksek basınçlı, yüksek sıcaklıktaki su püskürtmeye karşı koruma.

Bu çalışmada, daha güvenilir bir ürün elde edebilmek için tasarlanan LED sürücü devresinde IPXY sınıfı, IP66 olması düşünülmüştür. Tablo 6.1’den IP66’nın “Toza karşı tam korumalı ve güçlü su jetlerine karşı korumalı” anlamına geldiği görülmektedir. Bu koruma sınıfının gerekliliklerinin yerine getirilebilmesi için LED sürücü devresi kapalı bir kutu içine konulur. Fakat bu durumda LED sürücü devresi üzerinde ilave termal stres oluşur. Termal stres, devre elemanlarının daha hızlı

yaşlanmasına ve hatta tamamen bozulmasına neden olabilecek bir etkidir. Bu etki elektronik kartın ve ürünün güvenilirliğini ve ömrünü azaltmaktadır. IP korumayı sağlarken ürünün güvenilirliğini de korumak/arttırmak için LED sürücü devresi üzerinde oluşan ısının dışarı transfer edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, sürücü kartın yerleştirildiği kutunun içi ısıl iletken dolgu malzemesiyle doldurulur. Farklı özelliklere sahip farklı tipte dolgu bileşikleri (poliüretanlar, silikonlar, epoksiler, sıcak eriyik) vardır. Tipik olarak kullanılan dolgu malzemelerinin ısıl iletkenliği yüksektir (genellikle 0,35-1,8 W/m°C aralığında). Havadan (26,24mW /m°C) çok daha iyi, alüminyumdan (209W/m°C) daha düşüktür. Sürücü kart üzerindeki ısıyı sürücü kutusu yardımıyla dışarı transfer eder. Dolgu malzemesi, sürücü kart üzerindeki termal stresin azaltılmasına ek olarak IP66 sınıflandırmasının gerekliliklerinin sağlanmasına da katkı sağlar. Bu avantajlarına karşın dolgu malzemesinin bazı sakıncaları vardır. Bu bölümde, dolgu maddesinin LED sürücü devresinin güvenilirliği, ömrü ve elektromagnetik uyumluluk (EMC) performansı üzerine etkisi incelenmiştir.

Dolgu maddesi, hazırlanmış tek bir malzeme olabileceği gibi iki ayrı maddenin önceden belirlenmiş oranda karıştırılmasıyla da oluşabilir. Karışım oranı üretici tarafından belirtilir. Dolgu malzemesi, devreye elektriksel yalıtım, su ve nem geçirmez özelliği katar. Bu özelliği ile IP standartı gerekliliğini destekler. Bundan daha da önemlisi, termal iletkenliğinin iyi olması nedeniyle sağladığı faydadır. Farklı özelliklere sahip farklı tipte dolgu malzemeleri (poliüretanlar, silikonlar, epoksiler, sıcak eriyik) vardır. Viskozite, ısıl iletkenlik, ısıl genleşme katsayısı (Coefficient of Thermal Expansion, CTE), dielektrik dayanımı bu özelliklerden bazılarıdır. Viskozite akışkanlığın tam tersidir. Dolgu malzemesinin düşük viskozitesi, hava kabarcıklarını kolaylaştırır. Tipik olarak kullanılan dolgu malzemelerinin ısıl iletkenliği yüksektir. CTE, bir malzemenin sıcaklıktaki yükselme veya düşme ile ne kadar genişlediğini gösterir. Elektronik cihazlarda, bitişik malzemeler (cihaz, basılı devre kartı, lehim) arasındaki CTE uyumsuzluğunun düşük tutulacağı bir malzeme seçmek idealdir [69]. Cam geçiş sıcaklığı (T_g), malzemenin camsı bir malzemedan yumuşak bir malzemeye geçtiği sıcaklıktır. T_g 'nin üzerindeki bir sıcaklıkta, malzeme yumuşamaya başlayacaktır. Dielektrik dayanımı, bir malzemenin elektrik yalıtımının ne kadar iyi olduğunun bir ölçüsüdür. Yüksek dielektrik dayanım değeri, malzemenin elektriksel

yalıtım açısından daha iyi kalitede olduğu anlamına gelir. Bazı malzemelerin dielektrik dayanım değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Bazı malzemeler için dielektrik katsayısı

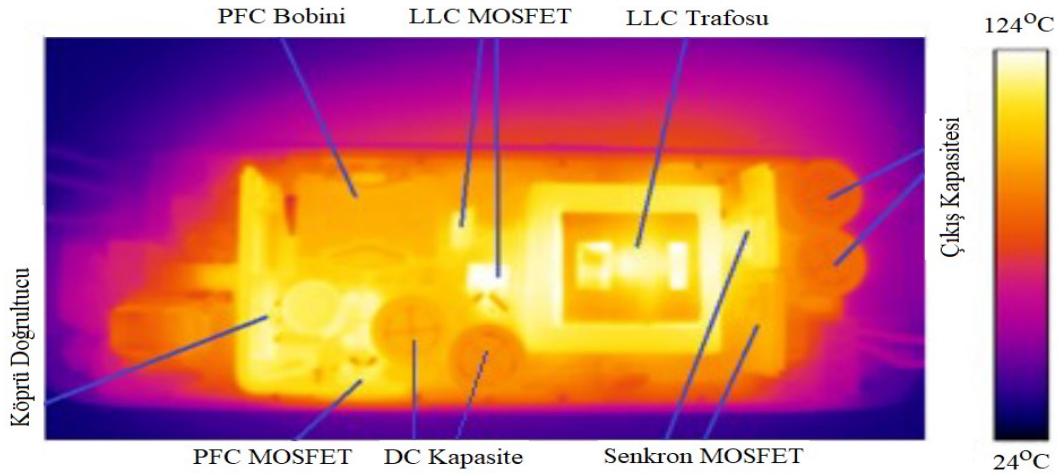
Dolgu malzemesinin türü	Dielektrik Yalıtım (kV/mm)
Hava	0,97
Polipropilen	23,6
Trafo dielektrik sıvısı	28-30
Poliüretan kaplama	47,2-78,7
Doğal kauçuk (yalıtkan)	100-215

Bu çalışmada kullanılan ve bazı temel özellikleri Tablo 6.3'te verilen dolgu malzemesi özel bir silikon karışımdır. Güç modülleri, eviriciler, adaptörler, algılayıcılar, LED aydınlatma sistemleri bu dolgu malzemesinin bazı tipik uygulama alanlarıdır. Kullanılan malzeme iyi bir akış yeteneğine sahiptir. İyi bir termal iletkendir [70].

Tablo 6.3. Kullanılan dolgu malzemesinin bazı temel özellikleri

Dolgu malzemesinin özelliği	Tipik Değeri
Viskozite, 20°C	4500cp
Termal İletkenlik	0.8W/m°C
CTE	Yaklaşık 250 ppm/°C
Dielektrik Dayanım	44KV/mm

Dolgu maddesinin LED sürücü devresindeki devre elemanları üzerine yaptığı termal etkiyi gözlemleyebilmek için, öncelikle dolgu maddesi olmadan sürücü devresinin termal haritalanması yapılmıştır. Termal haritalama yardımıyla LED sürücü kartın sıcaklık dağılımı elde edilir. Böylece dolgusuz durum için en sıcak bölge ve devre elemanları belirlenir. Şekil 6.1'de sürücü devresinin termal fotoğrafı bulunmaktadır.



Şekil 6.1. Dolgusuz LED sürücü devresi termal haritası [68]

Koyu renkten (24°C) açık renke (124°C) gittikçe sıcaklık artmaktadır. En sıcak bölgelerin ve bu bölgedeki bileşenlerin belirlenmesi bu çalışmada önemli bir katkıdır. LED sürücü devresindeki sıcak bileşenler PFC MOSFET, köprü doğrultucu, PFC bobin, DC kondansatör, LLC trafo, LLC MOSFET'ler, çıkış MOSFET'leri ve çıkış kondansatörleridir.

6.1. Dolgu Malzemesinin LED Sürücünün Güvenilirlik ve Ömür Performansı Üzerine Etkisi

Devre elemanları üzerindeki sıcaklık stresi, elemanların güvenilirliğini ve ömrünü olumsuz yönde etkiler. Sıcaklık önemli arıza mekanizmalarından biridir ve devre elemanın/ürünün ömrünü kısaltarak zarar verebilir. Sonuç olarak, sürücü arızalanabilir [71]. Yüksek sıcaklık nedeniyle devre elemanlarında meydana gelebilecek olumsuz etkilerden bazıları aşağıda belirtilmiştir.

MKP (Metallized Polypropylene) kondansatörlerin gerilim değerleri sıcaklıkla azalır [72]. Yüksek ortam sıcaklığı, alüminyum elektrolitik kondansatörlerin sıvı elektrolit kaybıyla ilgili ana nedenlerden biridir. Kapasite azalır ve eşdeğer seri direnç artar [73-74]. MOSFET ve diyot kataloglarında, sınır eklem sıcaklıkları (Junction temperature) belirtilmiştir. Eklem sıcaklığı oldukça kritik bir değerdir. Ek olarak, MOSFET Drain-Source iletim direnci, sıcaklık değişimiyle birlikte değişir. Diyot seçiminde en önemli parametrelerden biri ortalama ileri yön akımıdır (ARFC). ARFC sınır değerini azaltma üzerindeki etkilerinden birinin diyot kılıf sıcaklığının artması olduğu bilinmektedir. Bu örnekleri artırabiliriz. Elektronik bileşenlerin ısı sınırları vardır. Bu sınırlar içinde kalmak çok önemlidir. Bu sınırlara ek olarak, bazı bileşenlerin parametreleri sıcaklığın etkisiyle değişebilir. Bu, sistemin verimliliğini, güvenilirliğini, ömrünü ve güvenliğini etkiler.

Bu nedenle, yüksek sıcaklık değerlerinin azaltılması gerekir. Bunun için sürücü devresinin kutusu metalden yapılmıştır. Soğutma etkisini en üst seviyeye çıkarmak için sürücü kutusunun hava ile temas yüzeyi artırılabilir.

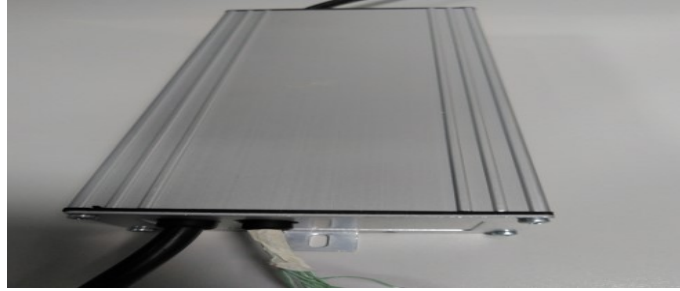
Sıcaklık problemine ilave olarak LED sürücü devresi, dış mekan aydınlatma ürünü olarak kullanılması nedeniyle neme ve toza maruz kalır. Bu, sürücü devresinin IP66 standardını sağlama zorunluluğuna neden olur. IP66 standardını sağlamak için

sürücünün tamamen kapalı olması gerekir. Kutuyu tamamen kapatmak, sürücü devre kaynaklı oluşan sıcaklığın kutunun içinde sıkışmasına neden olur. Dolgu malzemesi bu dezavantajı ortadan kaldırmak için kullanılır. Dolgu malzemesi tüm devre elemanlarının sürücü üzerindeki termal etkisinin metal kutuya minimum kayıpla iletilmesini sağlar. IP66 koruması bozulmaz. Dolgu malzemesinden istenen en önemli özellik elbette ki iyi bir termal iletkenliktir.

Dolgu malzemesinin LED sürücü kartı (kutusu içindeyken) üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için hem dolgulu hem de dolgusuz durumda termokupl yardımıyla sıcaklık ölçümleri alınır. Termokupllar, termal haritalama yardımıyla tespit edilen sıcaklığı kritik olan malzemeler üzerine sabitlenir (Şekil 6.2 ve Şekil 6.3).



Şekil 6.2. Termokupl bağlı LED sürücü kartı ve kart kutusu [68]



Şekil 6.3. IP korumalı kutu içinde LED sürücü [68]

Yapılan haritalama sonucu 50°C ortam sıcaklığında elde edilen en yüksek sıcaklığa sahip devre elemanları (kritik malzemeler) ve sıcaklık değerleri hem dolgulu hem de dolgusuz durum için Tablo 6.4'te verilmiştir. Dolgu malzemesi kullanılmazsa, elektronik bileşenler titreşim, ısı veya diğer çevresel koşullar nedeniyle arızalanabilir. Dolgu malzemesi doğru şekilde uygulanırsa, aşırı ısınma ortadan kalkar ve sürücü devresindeki bileşenler arasında termal denge sağlanır. Tablo 6.4'teki dolgulu ve

dolgunsuz durum için alınan sıcaklık ölçümleri karşılaştırıldığında, dolgulu durumda sıcaklıkların nasıl düştüğü görülmektedir. Ayrıca Tablo 6.4'ten görüldüğü üzere dolgunsuz durum için en sıcak devre elemanı (123,5°C) ile en soğuk devre elemanı (88,1°C) arasındaki sıcaklık farkı 35,5 °C olmasına karşın, dolgulu durum için bu sıcaklık farkı değeri (82,7-71,8) 10,9°C'ye kadar düşer. Bu sonuç bize dolgunun ilave bir avantajını sunmaktadır ki, o da dengeli ısı dağılımına verdiği katkıdır [68].

Tablo 6.4. Kritik malzeme sıcaklıkları [68]

Devre elemanı	Sıcaklık, Dolgunsuz durum (°C)	Sıcaklık, Dolgulu durum (°C)
PFC Mosfet	98,6	74,6
Köprü Doğrultucu	100,9	75,4
PFC Trafosu	96,3	73,7
DC Kapasite	98,1	74,6
LLC Trafosu	123,5	82,7
LLC Mosfet 1	114,2	80,2
LLC Mosfet 2	117,6	81,6
Çıkış Mosfeti 1	115,2	80,1
Çıkış Mosfeti 2	116,6	81,6
Çıkış Kapasitesi 1	88,1	71,8
Çıkış Kapasitesi 2	93,4	73,3

Sıcaklığın düşmesi, LED sürücü kartındaki termal gerilmenin azaldığı anlamına gelir. Bu azalma, sürücü devresinin güvenilirliğini ve ömrünü artırır. Özellikle alüminyum elektrolitik kondansatörlerin ömrü, diğer devre elemanlarıyla kıyaslandığında sıcaklığa karşı en hassas olanlardan biridir [75]. Sıvı elektrolit kaybı, alüminyum elektrolitik kondansatörlerin en baskın hata mekanizmasıdır ve yüksek ortam sıcaklığı en önemli nedenlerden biridir. Yüksek ortam sıcaklığı, sıvı elektrolit kaybı nedeniyle bir arızaya neden olacak kadar uzun süre devam ederse, kapasite azalır ve eşdeğer seri direnç artar [73-74]. Bu durum sadece kondansatörü etkileyen bir durum değildir. Aynı zamanda LED sürücünün ve tüm aydınlatma sisteminin güvenilirliğini de etkiler. Sıcaklığın yanı sıra, dalgalanma akımı ve gerilim de elektrolitik kondansatörlerin ömrünü doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, sürücü devresinin kullanım ömründeki en etkili bileşenlerden biri olan elektrolitik kondansatörlerin ömrü, LED sürücünün dolgu maddesi ile doldurulmamış durumu ve doldurulmuş durumu için ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Kondansatörün ömrünü etkileyen faktörler (sıcaklık, dalgalanma akımı ve gerilim) ile olan ilişkisi Eşitlik 6.1'de verilmiştir [76].

$$L=L_0 * F_T * F_r * F_v \quad (6.1)$$

L: Tahmini kullanım ömrü (saat)

L_0 : Kondansatör veri sayfasında tanımlanan kullanım ömrü (= 10000 Saat)

F_T : Sıcaklık faktörü

F_r : Dalgalanma akımı faktörü

F_V : Gerilim faktörü

Sıcaklığın elektrolitik kondansatörün ömrü üzerindeki etkisini daha iyi göstermek için, Eşitlik 6.1'deki dalgalanma akımı faktörü ve gerilim faktörünün sabit olduğu varsayılarak tahmini ömür (L) büyüklüğü doğrudan F_T 'ye göre ifade edilir. Sıcaklık faktörü Eşitlik 6.2'deki gibi verilir [65]. Sıcaklık faktörü dışındaki faktörler Eşitlik 6.3'te belirtildiği gibi ifade edilerek, tahmini ömür büyüklüğü Eşitlik 6.4'teki halini alır.

$$F_T = 2^{\frac{T_{\max} - T_a}{10}} \quad (6.2)$$

T_{\max} : Kondansatör veri sayfasında tanımlanmış maksimum sıcaklık (= 105°C)

T_a : Ölçülen sıcaklık (°C)

$$KF = L_0 * F_r * F_V \quad (6.3)$$

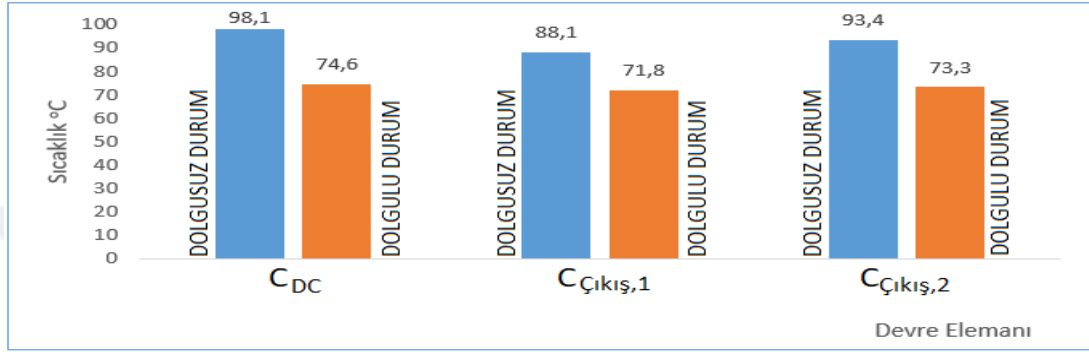
$$L = KF * F_T \quad (6.4)$$

Tablo 6.5, LED sürücü devresinin dolgulu ve dolgusuz durumlarında elektrolitik kondansatörlerin ölçülen sıcaklık değerlerini ve bu sıcaklık değerlerine karşılık gelen ömür değerlerini göstermektedir. Son sütun, sürücü kutusunun dolgu maddesiyle doldurulmasından sonra sürücünün ömründeki yüzde artışını göstermektedir. Tablo 6.5'ten açıkça görülmektedir ki, dolgu maddesinin kullanılmasından sonra kondansatör sıcaklıkları önemli ölçüde azalmıştır. Şekil 6.4'te, incelenen devre elemanlarının (C_{DC} , $C_{\text{Çıkış},1}$, $C_{\text{Çıkış},2}$) sıcaklıkları görülmektedir.

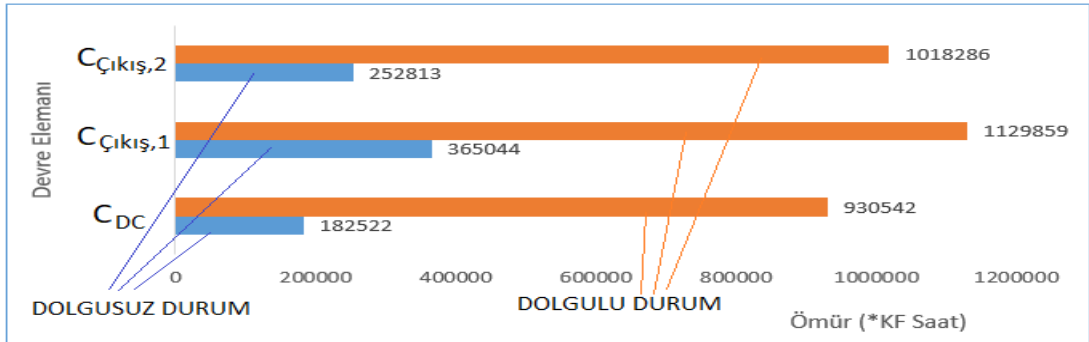
Tablo 6.5. DC ve çıkış kondansatörlerinin ömürlerinin karşılaştırılması

Devre Elemanı	Ömür (dolgusuz)		Ömür (Dolgulu)		Ömürdeki artış %
	Sıcaklık (°C)	Ömür (*KF Saat)	Sıcaklık (°C)	Ömür (*KF Saat)	
C_{DC}	98,1	182522	74,6	930542	509,824
$C_{\text{Çıkış},1}$	88,1	365044	71,8	1129859	309,513
$C_{\text{Çıkış},2}$	93,4	252813	73,3	1018286	402,782

Diğer yandan, dolgu malzemesini kullandıktan sonra, kapasite kullanım ömrü de önemli ölçüde artmıştır (Tablo 6.5). Bu artış, güvenilirliğin artması anlamına gelir. Şekil 6.5'te, incelenen devre elemanlarının (C_{DC} , $C_{Çıkış,1}$, $C_{Çıkış,2}$) ömürleri görülmektedir. Özellikle, ölçülen sıcaklık değeri sınır değerlere yakın olduğunda, dolgu malzemesinin kullanılması durumunda kapasite ömründeki artış çok daha yüksektir.



Şekil 6.4. Dolgulu ve dolgusuz durum için DC ve çıkış kondansatörlerinin sıcaklıkları



Şekil 6.5. Dolgulu ve dolgusuz durum için DC ve çıkış kondansatörlerinin ömürleri

6.2. Dolgu Malzemesinin LED Sürücünün EMC Performansı Üzerine Etkisi

Güvenilirlik açısından yukarıda açıklanan olumlu katkıları olmasına karşın, dolgu malzemesinin EMC (elektromanyetik uyumluluk) üzerine etkisi incelendiğinde bu unsurun mutlaka dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Oysa ki yapılan literatür taramasında bu duruma ilişkin bir çalışmaya rastlanmamış, bu tez kapsamında yapılan yayın çalışmasıyla [68] bu eksiklik giderilmiştir. Bu kapsamda hem dolgulu durum hem de dolgusuz duruma ait EMC performansını gözlemlemek için CE (Conducted Emission) testi uluslararası standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen CE testi için kurulan deney düzeneği Şekil 6.6 ve

Şekil 6.7’de görülmektedir. Şekil 6.6’da bir AC LISN (Line Impedance Stabilization Network) LED armatüre bağlanmıştır. AC LISN üzerindeki bir anahtar kullanılarak hat ve nötr gürültü ölçümü yapılır. LED armatür bu tez çalışmasında sözü edilen sürücü devre ile sürülmektedir. CE testi EN55015 standardına göre yapılır. Bu standart, yapılan AC yayılım sınırlarını belirler. Bu armatür için gürültü frekans aralığı 9 kHz - 30 MHz arasındadır.

Elde edilen test sonuçları Şekil 6.8 (dolgusuz durum) ve Şekil 6.9 (dolgulu durum)’da verilmiştir. Dolgusuz durumda CE testi sonucunda gürültü seviyesi sınır değerlerin altında kalmasına karşın dolgu sonrasında limit aşılmıştır.

Dolgu maddesinin devre üzerindeki kapasitif/endüktif etkisi gibi nedenlerle oluşan gürültü seviyesindeki artış sonucu limit aşılmıştır. Frekansın sınır değerlerin üstünde olduğu frekanslar ve ölçüm sonuçları, en yüksek değer ve ortalama değer için sırasıyla Tablo 6.6 ve Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.6. Dolgulu durum için gürültü ölçüm sonuçları - Tepe

Frekans (MHz)	Tepe değer (dBµV)	Margin (dB)	Limit (dBµV)
0,85	55,5	0,5	56
1,078	56,4	-0,4	56
1,338	56,9	-0,9	56
1,566	57,6	-1,6	56
1,826	57,8	-1,8	56
2,006	58,3	-2,3	56
2,07	57,6	-1,6	56
2,314	57,2	-1,2	56
2,438	58,2	-2,2	56
2,674	57,7	-1,7	56
2,706	57,2	-1,2	56
2,742	55,8	0,2	56
3,246	53,7	2,3	56

Tablo 6.7. Dolgulu durum için gürültü ölçüm sonuçları - Ortalama

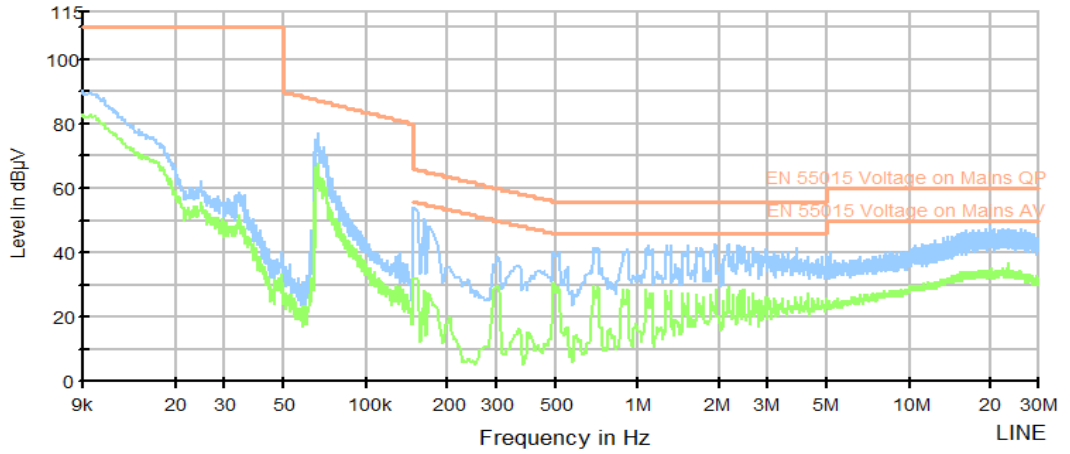
Frekans (MHz)	Ortalama tepe (dBµV)	Margin (dB)	Limit (dBµV)
0,85	46,6	-0,6	46
1,338	46,9	-0,9	46
1,826	46,7	-0,7	46
2,07	46	0	46
2,314	46,3	-0,3	46
2,438	48	-2	46
2,674	46,6	-0,6	46
3,246	44,2	1,8	46



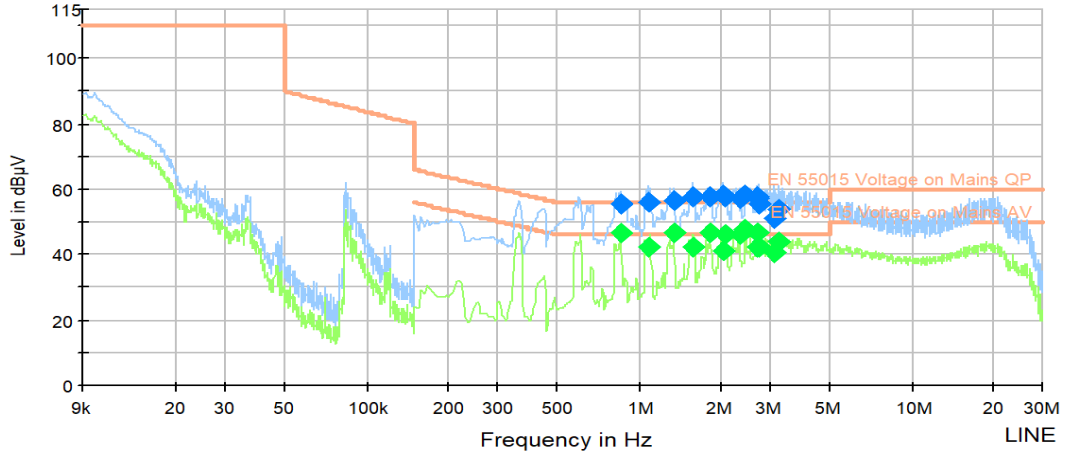
Şekil 6.6. AC LISN'in LED armatüre bağlantısı [68]



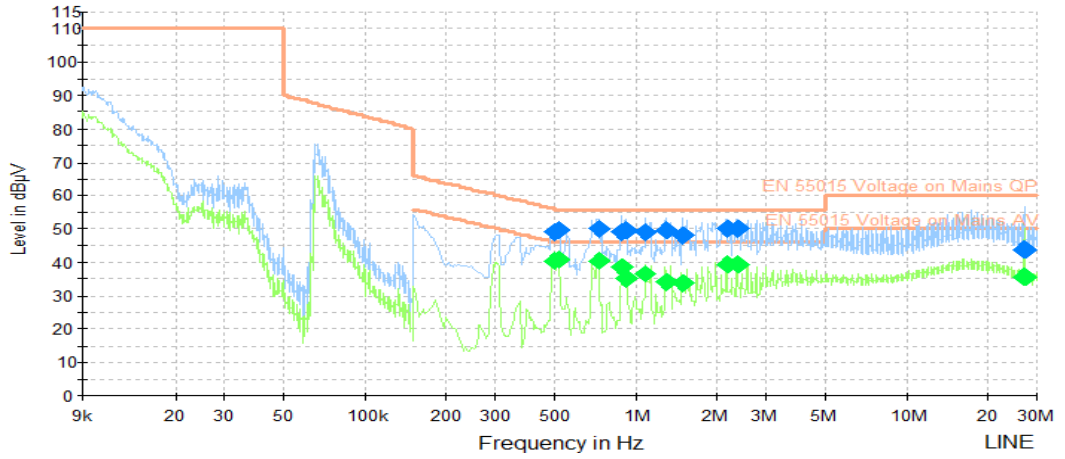
Şekil 6.7. Deney düzeneği [68]



Şekil 6.8. Dolgusuz durum için CE testi sonucu [68]



Şekil 6.9. Dolgulu durum için CE testi sonucu [68]



Şekil 6.10. İyileştirilmiş dolgulu durum [68]

Dolgu malzemesi, sargılı elemanda sargılar (diferansiyel mod şok bobini, ortak mod şok bobini, çıkış filtresi bobini, PFC transformatörü ve LLC transformatörü) arasına ya da sargı çekirdek arasına dolar. Endüktans değeri, Eşitlik 6.5 ile ifade edildiği gibi manyetik alan parametreleri ve akım gibi bazı değişkenlere göre belirlenir. Çekirdek ve sargılar arasındaki malzeme hava boşluğu değilse, manyetik geçirgenlik, μ , ve dolayısıyla manyetik akı yoğunluğu B değişecektir (Eşitlik 6.7). Bu nedenle, devrede kullanılan filtrenin endüktansı, dolgu maddesi nedeniyle değişmiştir. Bu değişiklik gürültü seviyesini etkiler.

$$L = \frac{\int BHdv}{I^2} \quad (6.5)$$

$$B = \mu H \quad (6.6)$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (6.7)$$

B: Manyetik akı yoğunluğu (Wb/m²)

μ : Manyetik geçirgenlik (H/m)

H: Manyetik alan yoğunluğu (A/m)

μ_0 : Hava boşluğunun geçirgenliği ($4\pi 10^{-7}$ H/m)

μ_r : Bağlı geçirgenlik

Sargılı elemanların endüktif değerinde ya da gürültü bastırma kondansatörlerinin kapasite değerinde değişiklik yapılarak test tekrarlanmıştır. Bunun sonucunda gürültü seviyesi limit altına düşürülebilmektedir (Şekil 6.10). Bu amaçla faz-toprak hattı arasına ve nötr-toprak hattı arasına 1nF'lık YCap kondansatörler ile faz-nötr hatları arasına 2x43uH endüktansı değerinde hat filtre bobini kullanılmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gelişen güç ve tüketici elektroniği dünyası için kuşkusuz en önemli parametrelerden biri ürün güvenilirliğidir. Güvenilirlik analizlerinin yetersiz yapılması ya da yeterince önemsenmemesi maddi, zaman, saygınlık hatta can kaybına neden olabilmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında LED sürücü devre tasarımı yapılırken yüksek verim ve güç katsayısı ile beraber temel olarak yüksek güvenilirlik hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasının iki temel ayağı bulunmaktadır. Bunlar güç elektroniği ve güvenilirliktir. Bu aşamalar TÜBİTAK tarafından desteklenen 116E023 numaralı, “Güç Elektroniği Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi ve LED Sürücü Devrelerine Uygulanması” başlıklı proje ile paralel olarak yürütülmüştür.

Güç elektroniği kapsamında kendi alanındaki mevcut 100W üstü çift aşamalı LED sürücü devreleri ile karşılaştırıldığında yüksek verimli, yüksek güç katsayılı ve yüksek güvenilirlikli bir sokak aydınlatma LED sürücü devresi tasarlanmıştır.

Mevcut sürücü devrelerindeki verim %90-%92 aralığında iken tasarlanan devrenin verimi %94,39’dur. Güç katsayısı ise mevcut sürücü devrelerinde 0,90-0,96 aralığında olmasına karşın tasarlanan devrenin güç katsayısı 0,975’tir.

Tasarlanan HB dönüştürücünün transformatörü için bir eşdeğer devre kullanılmıştır. Literatürde orta uçlu olmayan transformatör için kullanılan modele bir katkı yapılarak, orta uçlu transformatörlere de uygulanacak şekilde model daha genel hale getirilmiştir.

Güvenilirlik alanında ise tasarımı da etkileyen bir dizi çalışmalar ve yenilikler yapılmıştır. Mevcut sürücü devrelerinin ömrü 50000-70000 saat iken tasarlanan sürücü devresinin ömrü 288640 saattir.

Tasarımı gerçekleştirilen devre için, kalkış akımının olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılabilmesi etkilerinin önceden belirlenebilmesine bağlıdır. Bu amaçla gerçekleştirilen kalkış akım testinin bilinen sakıncalarını (AC sinyalin tepe noktasında anahtarlama yapılamaması, elektrolitik kapasite kaynaklı kalkış akımının yüksek etkili

olarak tekrarlanabilir olmaması) ortadan kaldıracak yeni bir test metodu geliştirilmiş ve bu metodun uygulanabilir olmasını sağlayacak yeni bir test cihazı tasarlanmıştır.

Ek olarak kalkış akımının öngörülemeyen olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için yeni bir bastırma hücresi bu çalışma kapsamında sunulmuştur. Sistemin enerjilendirilmesi ile birlikte oluşan kalkış akımı bastırma hücresindeki bastırma direnci olan Rb tarafından karşılanır. Röle bobinin enerjilenmesi ile mıknatıs özelliği kazanır, karşısında duran metal paleti çekmesiyle röle anahtarlanarak ilettime geçer. Akımı üzerine alır ve bastırma direncini devre dışı bırakır. Böylece direncin sürekli devrede kalması ve üzerinde oluşacak güç kaybı önlenmiş olur.

Klasik ömür hesabının sakıncaları aktararak toleransların da dâhil edildiği geliştirilmiş bir ömür hesabı MIL-STD standartına bağlı olarak sunulmuştur. Mevcut yöntemle geliştirilen yöntem karşılaştırılarak önemi ve etkisi ortaya konulmuştur. Günde 12 saat kullanılan LED sürücü devresinin bir yıl sonunda, minimum ve maksimum toleransların hesaba katılması durumunda saha dönüş oranları arasındaki fark milyonda 200 sürücü devresidir (200ppm). 200 ppm'lik bir saha dönüş oranı sapma miktarı bile fazla iken yaşlanmaya bağlı olarak bu değer 10 yılda 1747'ye kadar yükselmektedir. Saha dönüş oranındaki bu yanlış hesaplama, özellikle tahmine göre oluşan sapma miktarı, servis maliyeti, stok maliyeti, bulundurulması zorunlu yedek parça miktarı ve bulundurulmayan yedek parçanın eksik çıkması halinde katlanması gereken ekstra maliyetler (yeni ürün verme zorunluluğu) gibi üretici için ilave maliyet ve kayıplara neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasına konu olan sokak aydınlatma LED sürücü devrelerinde en önemli tasarım zorunluluklarından biri şüphesiz IP kodlaması ve buna uygun tasarımın gerçekleştirilmesidir. Bu aşamada sürücü devresi IP gerekliliklerini sağlayabilmek adına kapalı ve dış ortamdan izole bir kutu içine konulur. Bu durumda oluşan sıcaklık stresini ortadan kaldırmak için çeşitli yöntemler kullanılabilmesine rağmen etkili yöntemlerin başında dolgu malzemesi gelmektedir. Fakat tasarımda dolgu maddesinin sadece ısıl etkisi dikkate alınmaktadır. Oysaki dolgu maddesinin avantajları (ısıl iletkenlik, termal dengenin sağlanması vb) yanında EMC üzerine etkisi gözardı edilmemelidir. Bu tez çalışması sırasında EMC üzerine etkisi araştırılmış ve deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. CE testi hem dolgusuz hem de dolgulu durum

için tekrarlanmıştır. Dolgulu durumda her ne kadar devre elemanlarının sıcaklıklarında iyileşme görülmüş olsa da CE performansında (EMC) yaşanan olumsuzluk da sunulmuştur.

Bu sayılanların dışında tasarlanan sürücü devresinin şebeke gerilimindeki düşme (%40), şebeke gerilimindeki kısa süreli kesintiler (20ms-200ms arası) ve şebeke gerilimindeki değişimlere karşı da bağışıklığı kontrol edilmiştir. Yapılan ölçümlerde bu üç şebeke problemine karşı da güvenilir olduğu görülmüştür. Ayrıca ESD ve yıldırım darbelerine karşı bağışıklığı yapılan testle kontrol edilmiş ve ESD için 15kV hava ve yıldırım için ise 7kV darbe seviyelerinde dahi bir problemle karşılaşılmamıştır. Sürücü devresine sözü edilen şebeke problemlerine karşı bağışıklığı arttırmak ve hata oluşmasının önüne geçmek için yeni koruma hücreleri eklenmiştir. Koruma hücreleri tez metni içinde detaylandırılmıştır.

Mevcut uygulamalarda, EMC performansını arttırmak için filtre uygulamaları gerçekleştirilir. Fakat teorik olarak tasarlanan filtreler, uygulamada filtreleme görevlerini yeterince yerine getirememektedir. Bu nedenle, filtre elemanlarının değerlerinin deneme yanılma yolu ile belirlenmesi yaygın bir uygulamadır. Bu tez çalışmasının içeriğinden yola çıkılarak özellikle dolgu maddesi türüne (ya da diğer uygulamalarda EMC üzerinde bozucu etki yapan diğer parametrelere) bağılı olarak EMC filtre tasarımı üzerine çalışmalar yapılabilir.

Çok maliyetli olan “Güvenilirlik tahmini ve analizi” yazılımları için yerli program geliştirme çalışmalarına önem verilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bannister D., LED Driver Circuit Using Flyback Converter to Reduce Observable Optical Flicker by Reducing Rectified AC Mains Ripple, 2015, EP Patent No. 2936930 A1, AccurIC Ltd.
- [2] Young-Kee M., Clauberg B., Hontelé BJE, Driver Circuit with PWM Output, 2003, US Patent No. 6586890 B2, Koninklijke Philips Electronics N.V.
- [3] Liu G. G., Constant Voltage Dimmable LED Driver, 2013, US Patent No. 8497637 B2, Gang Gary Liu.
- [4] Sun S., Yu D., Hu L., Current Ripple Canceling LED Driver, 2015, US Patent No. 9107260 B2, Shanghai Bright Power Semiconductor Co. Ltd.
- [5] Wang Y., Filtz D. S., LED Driver Circuits and Methods, 2015, US Patent No. 9155139 B2, Rockwell Automation Technologies, Inc.
- [6] Zhan X., Greenfeld F. F., Yu X., Inrush Current Limiter for an LED Driver, 2011, US Patent No. 20110025217, Intersil Americas Inc.
- [7] Paasschens J.C.J., Harmsma S., Toorn R.v.d., Dependence of Thermal Resistance on Ambient and Actual Temperature, *IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology, Proceedings of the 2004 Meeting*, California, USA, 12-14 Eylül 2004.
- [8] Yang S., Bryant A., Mawby P., Xiang D., Ran L., Tavner P., An Industry-Based Survey of Reliability in Power Electronic Converters, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2011, 47(3), 1441-1451.
- [9] Wang H., Zhou D., Blaabjerg F., A Reliability-Oriented Design Method for Power Electronic Converters, *IEEE Twenty-Eighth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Long Beach, CA, USA, 17-21 Mart 2013.
- [10] Gürbüz O. D., Reliability Improvement of RF Mems Devices Based on Lifetime Measurements, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 269406.
- [11] Çakır S., Tolerance Based Reliability Analysis of an Analog Electric Circuit, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 286086.
- [12] Özcelep Y., MOS Tranzistörlerde Hızlı Yaşlandırma ile Güvenilirlik Koşullarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 184505.

- [13] Tekcan T., The Design of a Test Method to Identify Reliability Problems of Consumer Electronic Product During Early Phases Of Development, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2012, 328324.
- [14] Cluskey P.Mc, Reliability of Power Electronics Under Thermal Loading, *7th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, Nuremberg, Germany, 6-8 Mart 2012.
- [15] Pippola J., Frisk L., Kokko K., Kiilunen J., Marttila T., Effect of Input Power Interruptions on Power Electronics Reliability, *7th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, Nuremberg, Germany, 6-8 Mart 2012.
- [16] Manikam V.R., Tolentino E.N., Ramuhzan F.N., Tajuddin N.M., Aripin A., Improving Reliability for Electronic Power Modules, *36th International Electronic Manufacturing Technology Conference*, Malaysia, 11-13 Kasım 2014.
- [17] Pippola J., Vaalasaranta I., Marttila T., Kiilunen J., Frisk L., Product Level Accelerated Reliability Testing of Motor Drives With Input Power Interruptions, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2015, **30**(5), 2614-2622.
- [18] Haghbin S., Electrical Failure Mode and Effect Analysis of a 3,3 kW Onboard Vehicle Battery Charger, *IEEE EPE'16 ECCE Europe*, Karlsruhe, Almanya, 5-9 Eylül 2016.
- [19] O'Donnell S., Debauche J.L., Wheeler P., Castellazzi A., Silicon Carbide MOSFETs in More Electric Aircraft Power Converters: The Performance and Reliability Benefits over Silicon IGBTs for a Specified Flight Mission Profile, *IEEE EPE'16 ECCE Europe*, Karlsruhe, Almanya, 5-9 Eylül 2016.
- [20] Kuldaşlı E.D., Elektrik Enerji Sistemlerinde Güvenilirlik Temelli Bakım, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251025.
- [21] Akçay E., Enerji İletim Sistemlerinde Güvenilirlik Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2007, 212247.
- [22] Gençaydın E., Hata Ağacı ve Blok Diyagramı Yöntemi ile Koruma Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi ve Çözüm Önerileriyle Türkiye Elektrik İletim Sistemine Uygulanması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 312243.
- [23] Arias M., Vázquez A., Sebastián J., An Overview of the AC-DC and DC-DC Converters for LED Lighting Applications, *AUTOMATIKA*, 2012, **53**(2), 156–172.
- [24] Pawellek A., Duerbaum T., LED-Ballasts in Lighting Applications – A Comparison of Cost Effective One Stage Topologies, *IEEE EPE'16 ECCE Europe*, Karlsruhe, Almanya, 5-9 Eylül 2016.

- [25] Zibold A., Reiner R., Weiß B., Kunzer M., Quay R., Wagner J., Waltereit P., Ambacher O., High Voltage GaN-Based Schottky Diodes in Non-Isolated LED Buck Converters, *IEEE EPE'16 ECCE Europe*, Karlsruhe, Almanya, 5-9 Eylül 2016.
- [26] Gürbüz Y., Güç Faktörü Düzeltmeli Güç LED Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2012, 315926.
- [27] Luz P.C.V., Cosetin M.R., Bolzan P.E., Maboni T., Prado R.N.do, A Family of Isolated Integrated Drivers with Reduced Capacitors for Light System Based on Power LEDs, *2013 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)*, Gramado, RS, Brezilya, 27-31 Ekim 2013.
- [28] İnal İ., Optimization of Illumination Yields of Buck-Based Power LED Drivers, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 2012, 318447.
- [29] Arias M., Lamar D.G., Sebastian J., Balocco D., Diallo A.A., High-Efficiency LED Driver without Electrolytic Capacitor for Street Lighting, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2013, **49**(1), 127-137.
- [30] Kıyak İ., Rüzgâr-Güneş Hibrid Güç Sistem Beslemeli Bir Mekânın Aydınlık Düzeyinin LED'li Armatürler Kullanılarak Kontrolü, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 276027.
- [31] Dupuis R. D., Krames M. R., History, Development and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes, *Journal of Lightwave Technology*, 2008, **26**(9), 1154-1171.
- [32] Yu L., Yang J., The Topologies of White LED Lamps' Power Drivers, *3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, Hong Kong, China, 20-22 Mayıs 2009.
- [33] Tuladhar L. R., Resonant Power Mosfet Drivers for LED Lighting, Yüksek Lisans Tezi, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Youngstown State University, A.B.D., 2009.
- [34] Kim C. J., Kim E. S. and Shin H. K., A Study on the Power LEDs Drive Circuit Design with Asymmetrical Half-bridge Resonant Converter, *International Conference on Electrical Machines and Systems*, Tokyo, Japonya, 15-18 Kasım 2009.
- [35] Krykunov, O. Comparison of the DC/DC-Converters for Fuel Cell Applications, *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 2007, **1**(3), 512-520.
- [36] Keçecioglu D., *Reliability Engineering Handbook*, 2, DEStech Publications, Pennsylvania, USA, 2002.

- [37] Kim J.H., Chung J.K., Sung H.K., Rhyu S.H., A Study on the Reliability Evaluation of Driving Parts for Note Handling Units, *IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Shanghai, China, 14-16 Ağustos 2006.
- [38] Martz H.F., Waller R.A., *Bayesian Reliability Analysis*, 1 edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 1982.
- [39] Klutke G.A., Kiessler P.C., Wortman M.A., A Critical Look at the Bath Tub Curve, *IEEE Transactions on Reliability*, 2003, **52**(1), 125 – 129.
- [40] Ristow A., Begovic M., Pregelj A., Rohatgi A., Development of a Methodology for Improving Photovoltaic Inverter Reliability, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2008, **55**(7), 2581 – 2592.
- [41] Bentley, J.P. *An Introduction to Reliability and Quality Engineering*, Longman Scientific and Technical, John Wiley & Sons, New York, USA, 1993.
- [42] Demirci Ş., Improving Aircraft Engine Maintenance Effectiveness and Reliability Using Intelligent Based Health Monitoring, Doktora Tezi, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul, 2009, 293781.
- [43] Demir M., Yıldız A.B., Kahramanoğlu G., Calculating of Fuse Melting Point for Power Electronics Circuits by Inrush Energy and Determination of the Eligibility, *IEEE 18th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'16 ECCE Europe*, Karlsruhe-Germany, 5-9 Eylül 2016.
- [44] BS EN 61000-4-11, Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 4: Testing and Measurement Techniques, Section 11: Voltage Dips, Short Interruptions and Voltage Variations Immunity Tests, *British/European Std*, 1994.
- [45] Demir M., Yıldız A.B., Iltir M., Determination of the Effect of Short-Term Interruptions in Mains Voltage on the Reliability of Consumer Electronics Products, *International Conference on Environment and Electrical Engineering, (IEEE IEEEIC 2017)*, Milan, Italy, 6-9 Haziran 2017.
- [46] Djokic S.Z., Milanovic J.V., Kirschen D.S., Sensitivity of AC Coil Contactors to Voltage Sags, Short Interruptions, and Undervoltage Transients, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2004, **19**(3), 1299-1307.
- [47] Bollen M.H.J., *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, IEEE Press, New York, 2000.
- [48] IEC 61000-4-2, Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 4-2: Testing and Measurement Techniques -Electrostatic Discharge Immunity Test, 2008.
- [49] IEC 61000-4-5, Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 4-5: Testing and Measurement Techniques - Surge immunity test, 2001.

- [50] Çelik M. ve Genç C., Baskı Devre Kart Elemanlarının Mekanik Yorulma ve Hassasiyet Analizleri, *Gazi Üniversitesi, Müh.Mim.Fak. Dergisi*, 2010, **25**(1), 27-38.
- [51] Tekcan A.T., Kahramanoğlu G., Yatır M.N., Kirişken B., Gündüzalp M., Saha Geri Dönüş Oranını Ar-Ge Aşamasında İndikatör ile Tahmin Etme Yöntemi, *EMO Bilimsel Dergi*, 2011, **1**(2), 67-74.
- [52] Bayle F. ve Mettas A., *Acceleration Models in Reliability Prediction Standards: Justification and Improvements*, ARS Europe: Berlin, Germany, 2010.
- [53] Murata Manufacturing Co.Ltd., NTC Thermistors: NTPAN3R0L, <https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/1870999.pdf>, (Ziyaret tarihi: 07 Ocak 2019).
- [54] On Semiconductor, Critical Conduction Mode PFC Controller: NCP1608, <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCP1608-D.PDF>, (Ziyaret tarihi: 07 Ocak 2019).
- [55] On Semiconductor, N Channel MOSFET 600V 9,5A: FQPF10N60C, <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/FQP10N60C-D.pdf>, (Ziyaret tarihi: 07 Ocak 2019).
- [56] Fairchild Semiconductor, FAN7631: Advanced PFM Controller for Half-Bridge Resonant Converters, <http://www.mouser.com/ds/2/149/fan7631-297810.pdf>, (Ziyaret tarihi: 23 Mayıs 2018).
- [57] Richtek, Isolated Secondary-Side LED Lighting Dimmable Current Controller: RT8457A, https://www.richtek.com/assets/product_file/RT8457A_DS8457A-02.pdf, (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2018).
- [58] Dugan R. C., McGranaghan M. F, Santoso S., Beaty H. W., *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA, 2003.
- [59] Chan J.Y., Milanovic J.V., Severity Indices for Assessment of Equipment Sensitivity to Voltage Sags and Short Interruptions, *EEE Power Engineering Society General Meeting*, Tampa, FL, USA, 24-28 Haziran 2007.
- [60] Djokic S.Z., Munshi S.M., Cresswell C.E., The Influence of Overcurrent and Undervoltage Protection Settings on ASD Sensitivity to Voltage Sags and Short Interruptions, *4th IET Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD)*, Glasgow, United Kingdom, 2-4 Nisan 2008.
- [61] Wang S., Xu L., Zhai G., Bian X., Study on EMS of Solid State Relay (SSR) with Voltage Dips and Short Interruptions, *The 11th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Wuhan, China, 17-20 Ekim 2008.
- [62] Littelfuse, Fuse characteristics, terms, and consideration factors, https://www.littelfuse.com/~media/electronics/application_guides/littelfuse_fuseology_application_guide.pdf, (Ziyaret tarihi: 07 Ocak 2019).

- [63] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, S. Santoso, H.W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA, 2003.
- [64] Demir M., Yıldız A.B., Kavcı M., Nil M., Şebeke Gerilimindeki Azalmaların Tüketici Elektroniği Ürünlerinin Güvenilirliğine Etkisinin Belirlenmesi, *Celal Bayar University Journal of Science*, 2004, **13**(2), 529-536.
- [65] MIL-HDBK-217F, Military handbook, Department of Defence, 1990.
- [66] Alam M.K., Khan F.H., Reliability Analysis and Performance Degradation of a Boost Converter, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2014, **50**(6), 3986-3994.
- [67] Villanueva I., Juarez M.A., Martinez P.R, Sosa J.M., Vazquez G., Comparative Analysis of the Reliability of Drivers for Power LED, 2015 *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing*, Ixtapa, Mexico, 4-6 Kasım 2015.
- [68] Demir M., Ağır T., Yıldız A. B., Effect of Potting Material on Reliability and EMC Performance of LED Drivers, *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 2019, **9**(8), 1542-1548.
- [69] Manoharan S., Patel C., Dunford S., Morillo C., McCluskey P., Aging characteristics of green mold compound for use in encapsulation of microelectronic devices, *IEEE 68th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, San Diego, CA, USA, May 2018.
- [70] Lackwerke Peters GmbH & Co. KG, Technical Report VU 4694 E, http://files.interconti.cz/200000566-1c1a51d139/vu4694e_0409002e_tr_002.pdf, Kempen, Germany, 25th February 2019.
- [71] Yang S., Xiang D., Bryant A., Mawby P., Ran L., Tavner P., Condition Monitoring for Device Reliability in Power Electronic Converters: A Review, *IEEE Trans. Power Electron.*, 2010, **25**(11), 2734-2752.
- [72] Alonso J. M., Viña J., Vaquero D. G., Martínez G., Osorio R., Analysis and Design of the Integrated Double Buck–Boost Converter as a High-Power-Factor Driver for Power-LED Lamps, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2012, **59**(4), 1689–1697.
- [73] Lall P., Sakalaukus P., Davis L., Reliability of Solid-State Lighting Electrical Drivers Subjected to WHTOL Accelerated Aging, *Fourteenth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, Orlando, FL, USA, May 2014.
- [74] Celaya J. R., Kulkarni C., Saha S., Biswas G., Goebel K., Accelerated aging in electrolytic capacitors for prognostics, 2012, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Reno, NV, USA, Jan. 2012.

- [75] Andresen M., Kuprat J., Raveendran V., Falck J., Liserre M., Active Thermal Control for Delaying Maintenance of Power Electronics Converters, *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 2018, 4(3), 13-20.
- [76] RUBYCON Corporation, Technical Notes for Electrolytic Capacitor, <http://www.rubycon.co.jp/en/products/alumi/pdf/life.pdf>, Accessed 22 Nov. 2018.
- [77] Di Piazza M. C., Ragusa A., Vitale G., Design of Grid-Side Electromagnetic Interference Filters in AC Motor Drives With Motor-Side Common Mode Active Compensation, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2009, 51(3), 673-682.
- [78] Jayasree P. V. Y., Priya J. C., Poojita G. R. and Kameshwari G., EMI Filter Design for Reducing Common-Mode and Differential-Mode Noise in Conducted Interference, *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2012, 5(3), 319-329.
- [79] Hayt W.H., Buck J.A., Engineering Electromagnetics, Tata McGraw-Hill, Sixth Edition, New Delhi, 2001.



EKLER

EK – A

Tübitak Proje Sonuç Raporu verilmiştir;



T.C.
TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU BAŞKANLIĞI
Araştırma Destek Programları Başkanlığı

Sayı : 24395168/161.3.1/E.262420

01/12/2017

Konu : 116E023 Numaralı Proje - Sonuç Raporu

Sayın Doç. Dr. Ali Bekir YILDIZ

Yürütücülüğünü yaptığınız 116E023 numaralı ve "Güç Elektroniği Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi Ve Led Sürücü Devrelerine Uygulanması" başlıklı projenizin Sonuç Raporu, Grup Yürütme Kurulumuzun 24/11/2017 tarih ve 276 sayılı toplantısında görüşülmüş ve ilgili raporun kabulüne karar verilmiştir.

Bu proje kapsamında yapacağınız çıktılarınıza ilişkin bilgilerin ardeb-pts.tubitak.gov.tr adresinden erişebileceğiniz çıktı ekleme bölümüne girilmesi ve ilgili dosyaların bu bölüme yüklenmesi önem taşımaktadır.

Bilgilerinizi saygılarımla rica eder, çalışmalarınızda başarılar dilerim.

Doç. Dr. Cengiz ARICI
ARDEB Başkan Yardımcısı V.

Bilgi Notu:

- TÜBİTAK tarafından kabul edilebilir geçerli bir mazeret bildirilmeksizin; proje gelişme raporlarının sözleşmede belirtilen tarihlerde, proje sonuç raporlarının ise, sözleşmede belirtilen proje bitiş tarihinden itibaren 2 (iki) ay içinde gönderilmemesi halinde, ilgili rapor dönemine ait Proje Teşvik İkramiyeleri (PTİ) ödenmeyecektir.

Bu belge, 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununa göre Güvenli Elektronik İmza ile imzalanmış ve proje yürütücüsünün (Doç. Dr. ALİ BEKİR YILDIZ) TÜBİTAK ARDEB PROJE TAKİP SİSTEMİ hesabına yüklenmiştir.
Evrak doğrulması talepleri, ebys@tubitak.gov.tr adresine e-posta yoluyla yapılabılır.

Atatürk Bulvarı No:221 06100 Kavaklıdere/ANKARA
Telefon No: (0312) 468 53 00 Fax No: (0312) 427 74 89
e-Posta: iletisim@tubitak.gov.tr İnternet Adresi: www.tubitak.gov.tr

Bilgi İçin: Sefa HANKÖYLÜ
Ornvanı: Bil.Prog.Uzman Yrd.
Tel: +90 312 298 1222



- Proje ekibi tarafından, TÜBİTAK desteği ile yürütülen/sonuçlandırılmış olan projeler kapsamında yapılan yayınlarda [makale, kitap, bildiri (sözlü sunum/poster sunum), tez, yayılım vb.] proje sözleşmesi ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği (AYEK) gereğince ilgili proje numarası ile birlikte TÜBİTAK desteği belirtilmelidir.

- Proje sözleşmeniz gereği, proje kapsamında yapacağınız hiçbir yayın, iş ve işlemlerde TÜBİTAK logosu kullanılamaz.

- 03/11/2012 tarihinden sonra sonuçlanan projelerde, projelerin yürütücü ve araştırmacılarını ödüllendirmek amacıyla Proje Performans Ödülü (PPO; ppo.tubitak.gov.tr) uygulamasına başlanmıştır. Bu uygulamaya paralel olarak proje çıktılarının değerlendirilmesi de ARDEB Proje Takip Sistemi (ardeb-pts.tubitak.gov.tr) üzerinden yapılmaktadır. Bu kapsamda projenize ait çıktıların PTS'ye yüklenmesi önem taşımaktadır.

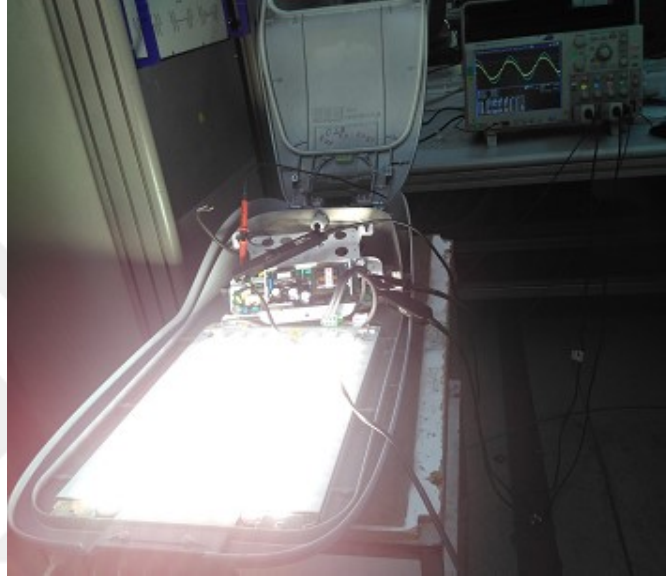
Bu belge, 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununa göre Güvenli Elektronik İmza ile imzalanmış ve proje yürütücüsünün (Doç. Dr. ALİ BEKİR YILDIZ) TÜBİTAK ARDEB PROJE TAKİP SİSTEMİ hesabına yüklenmiştir.
Evrak doğrulaması talepleri, ebys@tubitak.gov.tr adresine e-posta yoluyla yapılabılır.

Atatürk Bulvarı No:221 06100 Kavaklıdere/ANKARA
Telefon No: (0312) 468 53 00 Fax No: (0312) 427 74 89
e-Posta: iletisim@tubitak.gov.tr İnternet Adresi: www.tubitak.gov.tr

Bilgi İçin: Sefa HANKÖYLÜ
Önvanı: Bil.Prog.Uzman Yrd.
Tel: +90 312 298 1222

EK – B

LED sürücü devresi irtibatlı aydınlatma cihazı test düzeneği ve sürücü devresinin elektriksel büyüklükleri verilmiştir;



Şekil B. 1. LED aydınlatma cihazı test düzeneği

Tablo B. 1. LED sürücü devresi elektriksel büyüklükler

Şebeke gerilimi, $U_{s,rms}$ [V]	219,4
Şebeke frekansı, f [Hz]	50
Giriş akımı, $I_{g,rms}$ [A]	0,695
Giriş gücü, P_g [W]	148,67
Güç katsayısı, $\cos\phi$	0,975
HB MOSFET anahtarlama frekansı, [KHz]	142
HB trafo primer sarım sayısı, [sarım]	30
HB trafo primer endüktansı, [μ H]	600
HB trafo sekonder sarım sayısı, [sarım]	2*6
HB trafo kaçak endüktansı, [μ H]	134
Maksimum doluluk oranı, D_{max}	0,5
Çıkış gerilimi, U_c [V]	41,2
Çıkış akımı, I_c [A]	3,406
Çıkış gücü, P_c [W]	140,327
Verim, [%]	94,39

EK - C

Direnç tiplerinin tanımları ve temel hata oranı değerleri [15] verilmiştir;

Tablo C. 1. Direnç tiplerinin tanımları ve temel hata oranı değerleri

Style	Description	λ_b
RC	Resistor, Fixed, Composition (Insulated)	0,0017
RCR	Resistor, Fixed, Composition (Insulated) Est. Rel.	0,0017
RL	Resistor, Fixed, Film, Insulated	0,0037
RLR	Resistor, Fixed, Film (Insulated), Est. Rel.	0,0037
RN (R, C or N)	Resistor, Fixed, Film, Established Reliability	0,0037
RM	Resistor, Fixed, Film, Chip, Established Reliability	0,0037
RN	Resistor, Fixed Film (High Stability)	0,0037
RD	Resistor, Fixed, Film (Power Type)	0,0037
RZ	Resistor Networks, Fixed, Film	0,0019
RB	Resistor, Fixed, Wirewound (Accurate)	0,0024
RB R	Resistor, Fixed, Wirewound (Accurate) Est. Rel.	0,0024
RW	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type)	0,0024
RWR	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type) EstR. el.	0,0024
RE	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type, Chassis	0,0024
RE R	Mounted)	0,0024
RTH	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type, Chassis	0,0019
RT	Mounted) Est. Rel.	0,0024
RTR	Thermistor, (Thermally Sensitive Resistor),	0,0024
RR	Insulated	0,0024
RA	Resistor, Variable, Wirewound (Lead Screw	0,0024
RK	Activated)	0,0024
RP	Resistor, Variable, Wirewound (Lead Screw	0,0024
RJ	Activated), Established Reliability	0,0037
RJ R	Resistor, Variable, Wirewound, Precision	0,0037
RV	Resistor, Variable, Wirewound (Low Operating	0,0037
RQ	Temperature)	0,0037
RV C	Resistor, Variable, Wirewound, Semi-Precision	0,0037

EK - D

Kapasite tiplerinin tanımları ve temel hata oranı değerleri [15] verilmiştir;

Tablo D. 1. Kapasite tiplerinin tanımları ve temel hata oranı değerleri

Style	Description	λ_b
CP	Capacitor, Fixed, Paper- Dielectric, Direct Current (Hermetically Sealed in Metal Cases, HSMC)	0,00037
CA	Capacitor, By-pass, Radio - Interference Reduction, Paper Dielectric, AC and DC (HSMC)	0,00037
CZ, CZR	Capacitor, Feed through, Radio Interference Reduction AC and DC (HSMC), Established and Nonestablished Reliability	0,00037
CQ, CQR	Capacitor, Fixed Plastic (or Paper-Plastic) Dielectric(HSMC, ceramic or glass cases)	0,00051
CH	Capacitor, Fixed, Metallized Paper, Paper Plastic or Plastic Film) Dielectric, Direct Current (HSMC)	0,00037
CHR	Capacitor, Fixed, Metallized Paper, Paper-Plastic Film or Plastic Film Dielectric	0,00051
CFR	Capacitor, Fixed, Plastic (or Metallized Plastic) Dielectric, Direct Current in Non-Metal Case	0,00051
CRH	Capacitor, Fixed Supermetallized Plastic Film Dielectric (DC, AC or DC and AC) HSMC, Established Reliability	0,00051
CM	Capacitors, Fixed, Mica Dielectric	0,00076
CMR	Capacitor, Fixed, Mica Dielectric, Established Reliability	0,00076
CB	Capacitor, Fixed, Mica Dielectric, Button Style	0,00076
CY	Capacitor, Fixed, Glass Dielectric	0,00076
CYR	Capacitor, Fixed, Glass Dielectric, Established Reliability	0,00076
CK	Capacitor, Fixed, Ceramic Dielectric (General Purpose	0,00099
CKR	Capacitor, Fixed, Ceramic Dielectric (General Purpose), Established Reliability	0,00099
CC, CCR	Capacitor, Fixed, Ceramic Dielectric (Temperature Compensating), Established and Nonestablished Reliability	0,00099
CDR	Capacitor, Chip, Multiple Layer, Fixed, Ceramic Dielectric, Established Reliability	0,0020
CSR	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Solid Electrolyte), Tantalum, Established Reliability	0,0040
CWR	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Tantalum), Chip, Established Reliability	0,00005
CL	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Nonsolid Electrolyte), Tantalum	0,00040
CLR	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Nonsolid Electrolyte), Tantalum Established Reliability	0,00040
CRL	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Nonsolid Electrolyte), Tantalum Cathode	0,00040
CU, CUR	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Aluminum Oxide), Established Reliability and Nonestablished Reliability	0,00012
CE	Capacitor, Fixed Electrolytic (DC, Aluminum, Dry Electrolyte, Polarized)	0,00012
CV	Capacitor, Variable, Ceramic Dielectric (Trimmer)	0,0079
PC	Capacitor, Variable (Piston Type, Tubular Trimmer)	0,0060
CT	Capacitor, Variable, Air Dielectric (Trimmer)	0,0000072
CG	Capacitor, Fixed or Variable, Vacuum Dielectric	0,0060

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Demir M., Ağır T., Yıldız A. B., Effect of Potting Material on Reliability and EMC Performance of LED Drivers, *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 2019, **9(8)**, 1542-1548.

Demir M., Yıldız A.B., Ağır T., Observation of the Effects of Electrostatic Discharge and Lightning Surge on the Reliability of a LED Circuit Driven by Half-Bridge Converter, *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, (SPEEDAM 2018)*, Amalfi Coast, Italy, 20-22 Haziran 2018.

Demir M., Yıldız A.B., Iltir M., Determination of the Effect of Short-Term Interruptions in Mains Voltage on the Reliability of Consumer Electronics Products, *International Conference on Environment and Electrical Engineering, (IEEE EEEIC 2017)*, Milan, Italy, 6-9 Haziran 2017.

Demir M., Yıldız A.B., Kavcı M., Nil M., Şebeke Gerilimindeki Azalmaların Tüketici Elektroniği Ürünlerinin Güvenilirliğine Etkisinin Belirlenmesi, *Celal Bayar University Journal of Science*, 2004, **13(2)**, 529-536.

Demir M., Yıldız A.B., Kahramanoğlu G., Importance of Reliability for Power Electronic Circuits, Case Study: Inrush Current Test and Calculating of Fuse Melting Point, *IEEE Power Electronics and Motion Control Conference (IEEE-PEMC 2016)*, Varna-Bulgaria, 25-30 Eylül 2016.

Demir M., Yıldız A.B., Kahramanoğlu G., Calculating of Fuse Melting Point for Power Electronics Circuits by Inrush Energy and Determination of the Eligibility, *IEEE 18th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'16 ECCE Europe*, Karlsruhe-Germany, 5-9 Eylül 2016.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Üsküdar/İstanbul' da doğan Murat Demir, ilk ve orta öğrenimini İstanbul' da tamamladıktan sonra Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2000 yılında mezun oldu. 2001 - 2004 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans programını başarıyla tamamladı. 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde doktora programına başladı. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde ve Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde toplam 9,5 yıl boyunca araştırma görevlisi olarak görev yaptı. 2012 yılında üniversitedeki görevinden ayrılarak Vestel Elektronik Sanayi ve Tic. A.Ş firmasında Ar-Ge bölümünde çalışmaya başladı. Halen aynı firmada kıdemli güvenilirlik uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir.