



T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANA BİLİM
DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYDINLATMA AMAÇLI KULLANILAN
LED'LERİN SÜRÜCÜ DEVRELERİNİN
TASARIM ESASLARININ İNCELENMESİ

MEHMET RESUL AĞCABAY

T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYDINLATMA AMAÇLI KULLANILAN LED’LERİN
SÜRÜCÜ DEVRELERİNİN TASARIM ESASLARININ
İNCELENMESİ

MEHMET RESUL AĞCABAY

DANIŞMAN: PROF. DR. ÖMER FARUK FARSAKOĞLU

KİLİS

2023

ÖZET

AYDINLATMA AMAÇLI KULLANILAN LED'LERİN SÜRÜCÜ DEVRELERİNİN TASARIM ESASLARININ İNCELENMESİ

Mehmet Resul AĞCABAY

Elektrik – Elektronik Ana Bilim Dalı

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Danışman: Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU

Sayfa: 51

Yıl: 2023

Son yıllarda enerji tasarrufunun artmasıyla, günlük yaşamda her alanda LED teknolojisine ilgi artmıştır. LED'ler diğer yüksek maliyetli, düşük verimli aydınlatma sistemlerinin aksine düşük maliyet ve yüksek verimle ve farklı renk seçenekleriyle kullanılmaktadır. LED teknolojisinde olumlu yanlarının yanı sıra olumsuz yanları da bulunmaktadır. LED'ler uygulanan elektriksel gücün ancak % 20-30 'unu ışık enerjisine çevirebilmektedir. Geriye kalan kısım ısıya dönüşmektedir. Buda sistemde istenmeyen bir olumsuz durumdur. Bu tez çalışmasının temel amacı, LED'lerin sürücü devrelerinin kullanılan LED gücüne göre incelenmesidir. Yaptığımız inceleme ve çalışmalarda LED sürücülerinin güç değerlerine göre tasarımları üzerinde bir tasarım metot oluşturulmuştur. Buna göre sürücü devre tasarımı, LED'lerin güç değerlerine göre metodolojik bir platform üzerine yerleştirilmiştir. Diğer taraftan LED soğutma ünitelerinin esasları üzerinde inceleme yapılarak konuya bir esas getirilmiştir. Bunun ötesinde yüksek güçteki LED'lerin metal ve gazlı soğutma sistem analizi yapılarak karşılaştırma sonuçları detaylandırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: LED sistemleri, LED sürücü devre tasarımı, LED soğutma üniteleri, yüksek güçteki LED'lerin metal ve gazlı soğutma üniteleri.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DESIGN ESSENTIALS OF LED'S DRIVER CIRCUITS USED FOR THE ILLUMINATION

Mehmet Resul AĞCABAY

Department of Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU

Kilis 7 Aralık University, Graduate Education Institute

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU

Page: 51

Year: 2023

With the increasing importance of energy saving in recent years, interest in LED technology in every field of daily life. LEDs are used with higher efficiencies and different color options with lower outputs without other high performance, low efficiency lighting limitations. LED technology has both positive and negative aspects. LEDs can convert only 20-30% of the installed power into light energy. The remainder turns into heat. A negative negative impact of Buddha systems. The main purpose of this thesis is to examine the LEDs according to the LED sizes used by the driver circuits. According to a design method on the systems according to the power values of the examination and consuming LED values we did. Accordingly, the driver circuit design is placed on a platform according to the power values of the LEDs. Other times, review structures on the merits of LED cooling systems are turned into a baseline. Going beyond this, the metal and gas cooling system analysis design comparison results of high-power LEDs are detailed.

Keywords: LED systems, LED driver circuit design, LED cooling units, metal and gas cooling units of high power LEDs.

TEŐEKKÖR

Bu tezimi hazırlarken öncelikle benden hiçbir yardım ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer, kıymetli hocam Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOğLU'na ve her konuda yanımda duran ve psikolojik olarak beni destekleyen eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



25/01/2023

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, kullanmış olduğum tüm bilgiler ve yorumlar için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi, hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili bu beyanıma aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza

Mehmet Resul AĞCABAY

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç	4
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. LED’ler	5
2.2. LED Sürücü Devresi Temelleri.....	7
2.3. Pasif Sürücü Devreleri	10
2.4. Aktif Sürücü Devreleri	10
2.5. LED Sürücü Çeşitleri	16
2.5.1. Akım sınırlamalı (Constant current) LED sürücüler	16
2.5.2. Gerilim sınırlamalı (Constant voltage) LED sürücüler	17
2.5.2.1. Open frame (Açık tip) LED sürücüler	19
2.5.2.2. Yukarı-Adım(Yükselme) LED Sürücüleri (Boost)	19
2.5.2.3. Aşağı-Adım (Sıçrama) LED Sürücüleri (Buck)	19
2.5.2.4. Aşağı-Yukarı Adım LED Sürücüleri (Buck-boost)	19
2.5.2.5. Çoklu Topolojili LED Sürücüleri	19
2.5.2.6. İndüktörsüz (Şarj Pompası) LED Sürücüleri	19

2.5.2.7. μ Modül LED Sürücüleri	20
3. ANALİZ VE HESAPLAMALAR.....	21
3.1 Geri tip DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürücü devreleri.....	21
3.2 1 watt için LED sürücü devresi	23
3.3 3 watt için LED sürücü devresi	25
3.4 5 watt için LED sürücü devresi	27
3.5 10 Watt için LED sürücü devresi.....	29
3.6 LED soğutma sistemleri	30
3.6.1 LED’lerde Isı transferi	31
3.6.2 Soğutucular	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	36
6. KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ	39

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1. Sürücü topolojisinin değerlendirilmesi	25
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Basit LED sürücü devresi	21
Şekil 2. 2. LED akım-gerilim grafiği	21
Şekil 2.3. Lineer regülatör LED sürücüsünün çalışma prensibi	23
Şekil 2.4. Bir dizi LED sürücü uygulamaları için gerçek açık-yarı iletken şeması	24
Şekil 2.5. SS anahtarlama sürücü bloğu şeması	26
Şekil 2.6. TS anahtarlama sürücü bloğu şeması	28
Şekil 2.7. ileri akım-gerilim grafiği	29
Şekil 2.8. LED'in akım-sıcaklık grafiği	30
Şekil 2.9. LED Akım gerilim grafiği	32
Şekil 3.1. LM3404'ün yaygın biruygulaması	35
Şekil 3.2. LM3404 ile 1 watt LED sürme devresi	38
Şekil 3.3. 1 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş voltajıyla verimliliğin değişimi	39
Şekil 3.4. 1 watt LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi	40
Şekil 3.5. LM 3404 ile 3 watt LED sürme devresi	41
Şekil 3.6. 3 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş voltajıyla verimliliğin değişimi	42
Şekil 3.7. 3 watt LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi	43
Şekil 3.8. 3 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş gerilimine göre verimliliğin değişimi	44
Şekil 3.9. LM 3404 ile 5 watt LED sürme devresi	45
Şekil 3.10. 5 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş voltajına göre verimliliğin değişimi	46
Şekil 3.11. 5 watt LED sürme devresinde LED akım değerinin giriş voltajına göre değişimi	47
Şekil 3.12. 5 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş gerilimine göre verimliliğin değişimi	47
Şekil 3.13. LM317 ile 10 watt LED sürme devresi	48
Şekil 3.14. LED metal soğutucusu	51

KISALTMALAR DİZİNİ

LED: Light Emitting Diode,

PCB: Printed Circuit Board

MCPCB: Metal Core PCB

T: Sıcaklık

mm: milimetre

C: Santigrat

Cm: Santimetre

A: Amper

V: Volt

W: Watt

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji maliyetlerinin ve enerjiye olan ihtiyacın artması enerjide daha uygun maliyetlere yönelmeyi sağlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte daha tasarruflu televizyonlar, bilgisayarlar, her türlü elektronik sistem geliştirilmesine hız verilmiştir. Ticari olarak da daha az enerji tüketen A sınıfı sistemler özendirilmektedir. Günümüzde LED teknolojisi neredeyse her alanda kendine yer edinmektedir. LED teknolojisi, yüksek verimliliği nedeniyle aydınlatmada çok önemli bir rol oynamaktadır. LED tabanlı aydınlatma ile daha kaliteli ve tasarruflu aydınlatmalar elde edilmektedir. Günümüzde Dünya genelinde hem iç mekân hem de dış mekân aydınlatmalarının, LED teknolojisine dönüştüğü bir dönem yaşanmaktadır. Buna rağmen LED'ler, üzerine uygulanan gücün sadece %20-25'lik kısmını ışık enerjisine dönüştürürken, geriye kalan kısmını ısı enerjisine dönüştürmektedir. Ülkemizde sokak ve toplu alan aydınlatmalarında kullanılan yüksek güç tüketimli, düşük verimli lambaların yerini yakın bir zamanda LED aydınlatma armatürleri alacaktır. LED aydınlatmaları: enerji tasarrufu, uzun ömür, aydınlatma verimliliği ve düşük bakım maliyetleri özelliklerinden dolayı en çok bilinir ve tercih edilir aydınlatma çeşidi olmuştur. Ev, dükkân, ofis, fabrika, dış mekân ve özellikle otomotiv sektörü gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. LED'ler yüksek ışık verimliliğine sahip aydınlatma elemanları olsa da bir sistem içine dâhil edildiğinde ışık çıktısında bazı düşüşler görülebilmektedir. Işıktaki bu kaybı kontrol altına almak için ürün tasarımı ve malzeme seçimi son derece önemlidir. Doğru bir tasarımla yapılmış bir aydınlatma elemanı, düşük güç tüketimiyle yüksek ışık çıktısı elde edilecek, bu sayede ise enerji tasarrufu sağlayacaktır. Aydınlatma armatürü, başlangıçtaki ışık akısının yüzde 30'unu kaybettiği zaman, kullanım ömrü tamamlanmış olarak kabul edilir. Armatürün uzun kullanım ömrüne sahip olabilmesi için iyi bir ısı yönetimine sahip olması gerekmektedir. Özellikle yüksek güçlü LED'lerin kullanıldığı sistemlerde verim, tasarım ile doğrudan ilişkilidir. LED tasarımında ilk olarak kullanılacak LED çipinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. LED çiplerinin optik-ısı-elektriksel karakterizasyonu, tasarım aşamasından önce yapılmalı ve tasarımı buna göre yapılmalıdır. LED çipinin sıcaklığa bağlı olarak verdiği ışık miktarı, verimi, renk değişimi, optik ve ısı güçlerinin ayrıştırılması ve çektiği gücün hesaplanması sıcaklık kontrollü ölçüm sistemleri yardımı ile belirlenmelidir.

Ofis aydınlatması ve LED teknolojisi üzerine yapılan çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir; Malezya'nın ulusal uygulamalı Ar-GE merkezi MIMOS Berhad'dan bir grup araştırmacının yaptığı çalışmada renk sıcaklığının insan üzerindeki psikolojik ve fizyolojik etkileri üzerine 10 ofis çalışanı üzerinde kontrollü bir deney yapmıştır. Bu çalışmayla; bilgisayar tabanlı işler yapılan ofis ortamlarında soğuk beyaz ve gün ışığı renk sıcaklıklarının sıcak beyaz renk sıcaklığına göre daha faydalı olduğu sonucuna varılmıştır. Yonsei Üniversitesi, Mimarlık Mühendisliği Bölümü'nden Byung-Lip Ahn'ın önderlik ettiği çalışmada LED aydınlatmaların ofislerde soğutma ve ısıtma sistemlerine dolayısıyla enerji tüketimine olan genel etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda da ofis aydınlatmalarında LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinin kullanımının binanın enerji verimliliğini artıracak sonucuna varılmıştır (Yılmaz et al., 2019). İç mekân aydınlatmalarında gözlemcilerin belirlenen koşullar altında bir aydınlatma sistemine bakarken ki parlamanın rahatsız etme derecesi olasılığıdır. VCP değeri 0-100 aralığında değişen, gözlemcilerden kimsenin aydınlatma konforundan memnun olmadığında 0 iken tüm gözlemcilerin memnun olması durumunda ise 100 olmaktadır. İtalya'da INRIM araştırma enstitüsünde yapılan çalışmada genel olarak LED aydınlatmaların rahatsız edici kamaşmaya yol açtığı ancak bu sorunun ışık kaynağının bir difüzör yardımıyla gizlenerek aşılabildiği gösterilmiştir. Difüzör aynı zamanda daha homojen bir ışık dağılımı sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Tayvan'da Nan Kai Teknoloji Üniversitesi'nde LED'lerin soğutma performansı üzerine yapılan çalışmada yüksek güçlü LED'lerin harcadığı enerjinin %20-30'unu ışığa, kalan enerjiyi ise ısıya dönüştürdüğü ve açığa çıkan bu ısının LED'lerin jonksiyon sıcaklığını artırarak LED'in ışık yoğunluğunu, renk dengesini ve ömrünü olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Önerilen pasif soğutma sisteminin ısıyı verimli bir şekilde dağıtarak, ışık kaynağının ömrünü uzatarak koruyabildiği sonucuna varılmıştır (Yılmaz et al., 2019). Tayvan'da Ulusal Kaohsiung Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde Jin-Cherng Shyu önderliğinde yapılan çalışmada LED'lerde giriş gücünün büyük bir kısmının ısıya dönüştüğü, açığa çıkının bu ısının ciddi problemlere sebep olduğu belirtilmiştir. LED'in jonksiyon sıcaklığının düşük seviyelerde tutulmasının yüksek ışık verimi, sabit ışık çıktısı, sabit dalga boyu ve daha uzun kullanım ömrü için bir anahtar olduğu belirtilmiştir (Yılmaz et al., 2019). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı'ndan bir grup araştırmacı ofis aydınlatmalarında kullanılan 4x18W'lık floresan lambalı

armatürler yerine LED panel armatürlerin uygulanması halinde aydınlık düzeyleri ve düzgünlük gibi parametrelerdeki değişimleri ve olası enerji tasarrufu oranlarını belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışma sonucunda, floresan lambalı armatürler yerine LED ışık kaynaklı panel armatürlerin birebir değişimiyle aydınlık düzeyinde %1,3 oranında artış, düzgünlük değerlerinde iyileşmeler ve enerji verimliliği açısından %59 oranında ciddi bir tasarruf elde edildiği belirtilmiştir. Sistemde tüketilen elektrik enerjisi içinde yaklaşık %20 gibi bir paya sahip aydınlatma tesisatlarında gerçekleştirilebilecek tasarruf önlemleri “enerji verimliliği” çalışmalarında üzerinde önemle durulan konudur. Bu sayede, daha az enerji harcayarak daha çok ışık üretebilen LED (ışık yayan diyot) teknolojileri, günümüzde hızla aydınlatma tesislerine girmeye başlamıştır. Etki faktörlerinin yüksek olması, renk seçenekleri ve uzun ömür dayanabilmeleri gibi özellikleri ön plana çıkarılarak, LED ışık kaynakları iç ve dış tesislerde aydınlatma amaçlı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. LED’lerde ışık akısı ve ömürlerinin en fazla sıcaklık değişiminden dolayı konvansiyonel ışık kaynaklarına oranla çok daha fazla olumsuz etki aldığı bilinmektedir. Aydınlatma amaçlı kullanılacak yüksek güçlü LED’lerin karakteristiklerine göre bir optik tasarım gerçekleştirildikten sonra verimli çalışma koşullarının üretilmesi amaçlı tasarımlar yapılmalıdır. LED’lerde yüksek sıcaklığa neden olan bu durum, LED’in ışık çıkışı, ışık rengi ve ömrünü olumsuz etkilemektedir. Özellikle yüksek güçlü LED’lerde, sıcaklık, izin verilen sınırın altında tutulmalıdır. Bu nedenle, LED’in ısı yönetimi, LED performansının artması için öneme sahiptir.

Bu çalışmada, aydınlatmada kullanılan yüksek güçlü LED’lerin sürücü devreleri incelenmiş olup soğutma sistemleri araştırılmıştır. Geliştirilen soğutucu model üzerinde yüksek güçlü 1 adet COP LED kullanılmıştır. Sayısal metal soğutuculu led içinde sayısal olarak tekrar edilmiştir. Analizler sonunda, sistemin belirli noktalardaki sıcaklık değeri alınıp tablo elde edilmiştir. Sayısal sonuçların doğrulanması için deneysel çalışma yapılmıştır. LED’lerin ömrünü etkileyen en önemli faktör ısıdır. LED’lerin çalışmasıyla ortaya çıkan ısı kontrol altına alınırsa, ışık kaynağı uzun zamanlarda bile sorunsuz çalışabilir. Bu çalışmada tasarlanacak LED soğutma devresiyle ve devamında yapılacak ısı analizi sonuçları deney yardımıyla ortaya çıkartılacaktır.

1.1. Amaç

Bu tez çalışmamızda; LED'lerin güç değerlerine göre sürücü devre tasarımları proteus programı yardımıyla yapılması, güç devrelerine göre devre değişimleri, devre analizleri ve aydınlatma amaçlı kullanılan yüksek güçlü LED'lerin soğutucu devrelerinin incelenmesi konularını kapsamaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1.LED'ler

LED'ler elektrik voltajına karşı çok hassastır. Voltajdaki küçük bir değişiklik akımda buna bağımlı olarak çok fazla değişir. Çalışma sırasında LED'lerin ulaştığı sıcaklık voltajı ve buna bağlı dolaylı olarak akımı da etkiler. Bir LED veya LED dizisini çalıştırmak için gereken gücü sağlayan kaynağa LED sürücüsü adı verilir. LED'lerin çok fazla akım çekerek arızalanmasını önlemek için sabit akımlı güç kaynakları kullanılmaktadır. LED sürücüsü, LED ışıklar için çok önemli bir parçadır. Bu kısım sistemin performansını uzun süre korumasını ve LED'in üreticisi tarafından belirtilen kullanım ömrüne kadar düzenli çalışmasını sağlar. LED sürücüsü LED'lere uygun olan akımı sağlar, giriş voltajı dalgalanmalara karşı onları korur, yüksek gerilim, kısa devre, aşırı yük koruması sağlar, harmonikleri azaltır ve güç faktörünü düzenler. Tasarım, LED aydınlatma uygulamaları için özel olarak geliştirilmiş bir entegre devre seçimi ile başlar. Texas Instruments, ST, Infineon ve ON Semiconductor gibi entegre devre üreticileri, değişen güç ve özelliklere sahip LED sürücülerinin referans tasarımlarını paylaşır (Yılmaz, 2021). Sürücü özelliklerine göre bazı hesaplamalar yapılır ve kullanılacak diğer devre elemanları (direnç, diyot, kondansatör, transistör, sigorta) belirlenir. Şematik tasarımın ardından baskılı devre kartı (PCB) tasarımına geçilir. PCB tasarımı, belirtilen performans kriterlerini (verimlilik, güç faktörü, THD) karşılamak için çok önemlidir.

PCB tasarımı yapıldıktan sonra PCB üretilir. Devre kartı üretimi PCB üreticileri tarafından yapılmaktadır. PCB üretiminin ardından lehimleme aşamasına geçilir. LED sürücü bileşenleri karta otomatik lehimleme makinesi ile lehimlenmektedir. Bazı üreticilerin kendi lehimleme hatları olsa da bazıları bu hizmeti dışarıdan temin etmektedir. Sürücü devresinde konnektör yoksa kablo giriş ve çıkış noktalarına lehimlenir. Genellikle kahverengi ve mavi kablolar kullanılır girdi ve kırmızı ve siyah kablolar kullanılır çıktı. Kırmızı kablo çıkışında lehimlenmiştir anot (+), siyah kablo için katot (-). Lehimleme işleminden sonra sürücü devresi ihtiyaca göre metal veya plastik bir yuvaya yerleştirilir. Dış ortamda çalışması planlanan LED sürücülerde suya ve toza karşı dayanıklılık sağlamak için kasa içerisine reçine doldurulur. Sürücünün içine doldurulan kimyasal aynı zamanda sertleşir ve sürücüyü titreşim, şok ve diğer fiziksel hasarlara karşı korur. Sürücünün

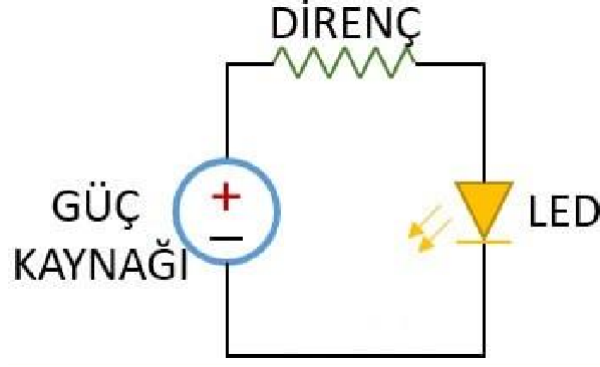
temel özellikleri, LED sürücü muhafazası üzerine lazer markalama veya etiket ile yazılmıştır. Philips, Osram, Mean Well, Tridonic, Lifud, Inventronics, Eaglerise ve Moso, dünyanın önde gelen LED sürücü üreticileridir. çok önemli bir bileşendir. En iyi parlaklık ve uzun ömür için doğru voltaj ve akım değerlerini sağlar. Ayrıca sürücü devreleri, yüksek verim ve güvenilirliğe sahip ışık sisteminin elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Çeşitli aydınlatma uygulamaları, kullanım gereksinimini ve mevcut enerji kaynaklarını karşılayan farklı sürücü topolojilerine ihtiyaç duyar (Öztoprak, 2020). Gerçek uygulamalarda, LED sürücüsünün elektrik gereksinimlerini ve uygun maliyetli talepleri karşılamak için pasif ve aktif devreler uygulanmaktadır. LED sürücü devreleri araştırması, pil veya AC hattı gibi bir DC kaynağına bağlı LED aydınlatma sistemlerindeki sorunları ve çözümleri değerlendirir. Güç faktörü düzeltmesi ve harmonik bozulma gibi AC hat bağlantısı gereksinimleri hem sürücü topolojisi hem de kontrol optimizasyonu ile ilgilenilir. Ayrıca, devre seçiminde hacim azaltma ihtiyacı incelenir. Ayrıca, sürücü devrelerinde kullanılan izole edilmiş ve izole edilmemiş güç dönüştürücülerinin hem güç talebi hem de besleme kaynağı bazında farklı topolojileri açıklanmış ve eleştirel olarak değerlendirilmiştir.

LED sürücü devresinin tasarımı, performanslı bir ışık sistemi elde etmek için önemli bir rol oynar. Işık parlaklığı, sağlanan ileri akımın işlevidir. Bu nedenle, LED akımla çalışan bir cihazdır. Sürücü devresi, gerekli parlaklık için doğru akım seviyesini sağlamalı ve ayrıca aşağıdakiler gibi diğer özelliklerle uyumlu olmalıdır (Öztoprak, 2020) : zor koşullarda çalışma durumlarında (örneğin çok düşük sıcaklıklarda nakliye veya genel olarak hizmet ihtiyaçlarının sürekliliği için) gerekli olan yüksek güvenilirlik, Kaynak olarak pilli taşınabilir aydınlatma sistemleri durumunda kayıpları azaltmak ve performansı ve özerkliği artırmak için yüksek verimlilik, LED ampullere, aydınlatma armatürlerine ve modern aydınlatma sistemlerine mümkün olduğunca kompakt sahip olma taleplerini karşılamak için tahrik devrelerini düzenlemek için küçük hacimli güç dönüştürücüler, Hataya dayanıklı özelliği ile titreme gibi olayları önlemek için parlaklığı ayarlamak için kontrolde esneklik ve hassasiyet, ışık yayıcı diyotların aşırı voltajlara karşı savunmasızlığı ve ters voltajlara karşı düşük direnç nedeniyle gerekli aşırı gerilim koruması (örneğin, LED sokak lambalarında elektrik şebekesinden yüksek voltaj yükselmeleri meydana gelebilir),

Giriş düşük voltajı, sıcaklık veya dönüştürücü güç anahtarlarının kısa devresi gibi ek koruma işlevleri, yüksek güç faktörü (PF), tatmin edici bir güç kalitesi dalga biçimine ve dolayısıyla düşük Elektromanyetik parazit (EMI) içeriğine sahip AC güç kaynağı durumunda. Spesifik olarak, AC bağlantılı LED sürücüsünde yüksek bir PF, birinin yanında bir yer değiştirme güç faktörüne ve oldukça düşük toplam harmonik bozulmaya (THD) sahip bir giriş akımına yol açar. Ayrıca LED ışık sistemi, standart IEEE-Std-519 ve IEC 61000-3-2 gibi harmonik akımlarla ilgili ulusal ve uluslararası standartlar ve düzenlemelere uygun olmalıdır. Sürücü devrelerinin diğer özellikleri devre yapısı ile ilgilidir. Devre çözümleri pasif veya aktif topolojiler olabilir (Yılmaz, 2021). Aktif devreler lineer veya anahtarlama tip olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca, çıkış akımı sınırlıysa ve düşük voltaj kaynağı söz konusuysa sürücü devreleri yalıtılmamış olabilir veya güvenli çalışma koşullarının hâkim olduğu ve daha yüksek bir çıkış akımı istendiğinde yalıtılabilir. Buna ek olarak, bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT), katı hal lambaların sürüşünü daha akıllı ve daha akıllı hale getirmekte, buna göre geliştirilen kullanıcı arayüzleri aracılığıyla uzaktan ve kontrollü iletişim sistemleri aracılığıyla parlaklık seviyesi (karartma) ve renklerin değiştirilmesine olanak sağlamaktadır.

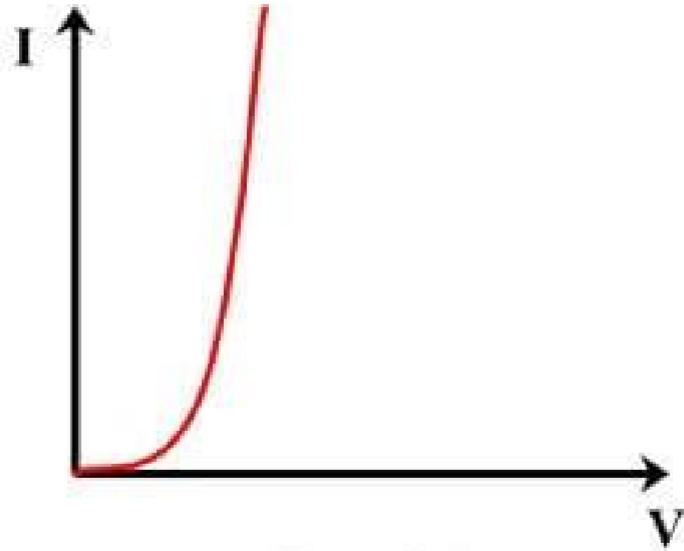
2.2. LED Sürücü Devresi Temelleri

Bir LED cihazında yayılan ışık, akımın artışını takip eder. Sağlanan akımla neredeyse orantılıdır. Bununla birlikte, voltaj ve ışık çıkışı arasındaki ilişki oldukça doğrusal değildir. Doğrudan voltaj V düşüşü ve akım I , silikon diyot için tipik bir üstel fonksiyonla bağlantılıdır. Genel sistem olarak şekil 2.1 voltaj-akım özelliği, beyaz bir LED gösterilmiştir. Eğri, diyot doğru akımını kontrol etmek için seri dirençli değişken bir voltaj kaynağı ile elde edilmiştir. Şekil 2.1’de LED karakterizasyonu devre şeması görülmektedir. Kaynaktan çıkan gerilim bir direnç üzerinden geçerek LED’e ulaşır. Şekil 2.2 de ise devredeki LED’in akım-gerilim grafiği verilmektedir.



Şekil 2.1 Basit LED sürücü devresi (Aktaş et al., 2003)

LED'in çalışma voltajı veya çalışma gerilimi, üzerinden 20 miliamper akım geçerken bacakları arasında oluşan voltaj farkıdır. LED üzerinden ne kadar fazla akım geçerse o kadar parlak yanar. Tabii ki her LED için bu akımın bir maksimum değeri var. Elektronik marketlerde satılan standart LED için maksimum akım değeri yaklaşık olarak 30 miliamperdir. Gerçek devrelerde, LED için yeterli parlaklık düzeyi için gereken akım genelde 20 miliamper olarak düşünülür. Ve diğer devre elemanlarının değerleri genelde bu akım şiddetini sağlayacak şekilde seçilir. LED için, üzerinden geçen akım ile bacakları arasındaki voltaj farkının grafiği aşağıda gösterildiği gibi üsteldir.



Şekil 2.2 LED akım-gerilim grafiği (Aktaş et al., 2003)

Şekil 2.2'deki grafik aynı zamanda temel lineer LED parlaklık kontrolüdür. Şekil 2.1'e atıfta bulunularak, iki kontrol yaklaşımı gerçekleştirilebilir. İlk metodolojide, LED I-V eğrisi, talep edilen ileri akımı üretmek için gereken voltajı ayarlamak için kullanılır. İkinci sürüş yaklaşımında, LED cihazı, ileri voltaj kontrolünde küçük varyasyonlar nedeniyle yüksek akım değişimini ortadan kaldırarak LED'i sürmek için bir sabit akım kaynağı ile kontrol edilir. Gerçekten de voltaj-akım eğrisinin yüksek eğimi, diyot boyunca önemli bir akım değişikliği taşıyabilen küçük bir voltaj değişikliğine yol açar. Sonuç olarak yayılan ışıktaki önemli bir değişiklik görünür. Herhangi bir titremeyi önlemek için LED'lerin sabit bir akım kaynağına ihtiyacı vardır. Ayrıca, sabit akım kontrol devreleri, yük kısa devresi için sağlamdır, ancak yükün tamamen açık koşullarına maruz kalır. LED'ler farklı türde pasif veya aktif devrelerle çalıştırılabilir. Ayrıca aktif sürücü devreleri lineer veya anahtarlama topolojilerinde sınıflandırılabilir.

2.3. Pasif Sürücü Devreleri

LED'in istenilen parlaklığı elde etmesi için sağlanacak akım ve gerilim miktarları farklı devreler ile sağlanabilir. Pasif LED sürücüleri, pasif bileşenlerin (örneğin dirençler, kapasitörler, manyetik bileşenler) ve silikon diyotların özel kullanımına sahiptir. En basit ve en güvenilir devreler pasif devrelerdir. Bu basit ve uygun maliyetli devreler, lineer veya anahtarlama sürücü devreleri gibi performans göstermez ve çıkış akımının hassas kontrolü olmadan çalışır. Genellikle AC akım dalgalanması ile bir DC akımı sağlarlar, ancak yine de dinamik performans ve verimlilikle karşılaştırıldığında güvenilirlik ve hizmet sürekliliğinin hâkim parametreler olduğu durumlarda kullanılırlar. Uygulama örnekleri, karmaşık devrelerin daha savunmasız olabileceği zorlu çevresel koşullarda çalışan dış mekân sokak lambalarıdır. Akımı sabitlemek ve sınırlamak için AC hattı ile LED ampul yükü arasında bir empedans kullanılması zorunludur. Bu pasif topolojilerin ana dezavantajları, düşük PF ve THD özellikli, bazen standartlara uymak için yeterli değildir. Pasif LED sürücüler kayıplı ve kayıpsız (ideal) pasif devreler olmak üzere iki ana kategoride düzenlenebilir.

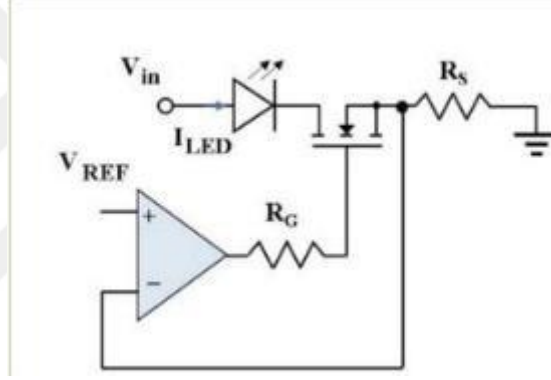
Kayıplı pasif sürücü genellikle şebeke voltajını sürülecek LED sayısı ile uyumlu bir değere indiren bir transformatörden (Yük genellikle LED dizilerinden oluşur), alternatif voltajı düzelteren bir köprü doğrultucu devresinden, bir elektrolitik kapasitörden oluşur. AC dalgalanmasını azaltır ve son olarak LED'lerle seri olarak bir direnç. Akım sınırlaması, basit bir direnç vasıtasıyla elde edilir. Bazı LED sürücü uygulamalarında,

rezistörün yerini bir lineer devre alır.

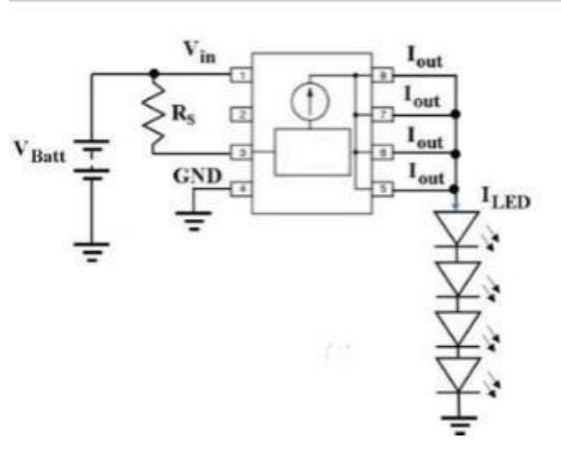
2.4. Aktif Sürücü Devreleri

Düşük güç uygulamalarında lineer regülatörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kayıplar nedeniyle güç arttıkça, bu düzenleyiciler, akım ayarlı anahtarlama dönüştürücüleri ile değiştirilir. Birçok uygulamada, tekli veya dizi konfigürasyonlu LED diyotlar, özel entegre devre cihazlar.

Bir lineer regülatörün çalışma prensibi Şekil 2.4a'da gösterilmektedir. Gerekli sabit akım, bir algılama direnci ve bir referans voltajı algılama direnci üzerindeki gerçek voltajla karşılaştıran bir karşılaştırma devresi aracılığıyla geri besleme yoluyla oluşturulur.



Şekil 2.3 Lineer regülatör LED sürücüsünün çalışma prensibi



Şekil 2.4 Bir dizi LED sürücü uygulamaları için gerçek açık-yarı iletken şeması

Bu tip regülatör genellikle entegre bir şekilde gerçekleştirilir. Entegre çözüm, devre ve sistem tasarımlarını basitleştirerek kart alanını ve bileşen sayısını azalttığı için daha çekicidir. Olarak Şekil 2.4 b pil kaynağı (Açık-Yarı İletken) ile entegre bir regülatör uygulama devresi, bir LED kordonu 500 mA'e kadar tahrik edilmesi için gösterilmiştir.

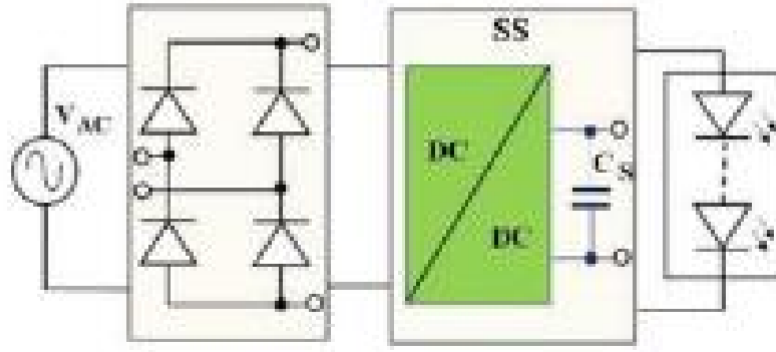
Özellikle taşınabilir güç uygulamaları için yüksek parlaklığa ve geliştirilmiş enerji verimliliğine sahip LED sistemlerine yönelik sürekli artan talep, çeşitli özelliklere ve daha iyi akım eşleştirme/düzenlemesine sahip daha gelişmiş anahtarlama LED akım kontrol sürücülerinin sunulmasına yol açmıştır. Anahtarlama işleminde güç cihazlarının kullanılması, verimle ilgili lineer regülatörlerin sınırlarının üstesinden gelmesine olanak tanır. Ayrıca, son nesil güç cihazlarının artan anahtarlama frekansı, kompakt hacimli, azaltılmış çekirdek boyutuna sahip indüktör ve yüksek frekanslı (HF) transformatör kullanımına izin verir. Güç aralığına ve galvanik izolasyon ihtiyacı, boyut ve maliyet etkinliği, kolay karartma yeteneği, modüler yaklaşım kullanılabilirliği ve verimlilik hedefi gibi diğer özelliklere bağlı olarak çeşitli dönüştürücü topolojileri mevcuttur. Anahtarlama dönüştürücülerde akım ve gerilim kontrolü, darbe genişlik modülasyonu (PWM) stratejisi ile sağlanır. Bir pil kaynağında, anahtarlama LED

sürücüsü, otomotiv veya taşınabilir elektronik cihazlar gibi çeşitli uygulamalarda birden fazla LED dizisinin ve dizisinin yönetiminde etkilidir. Doğrusal ve pasif çözümlerle karşılaştırıldığında artıları ve eksileri olan anahtarlama sürücü devresinin ana tasarım özellikleri Tablo 2.1'de rapor edilmiştir.

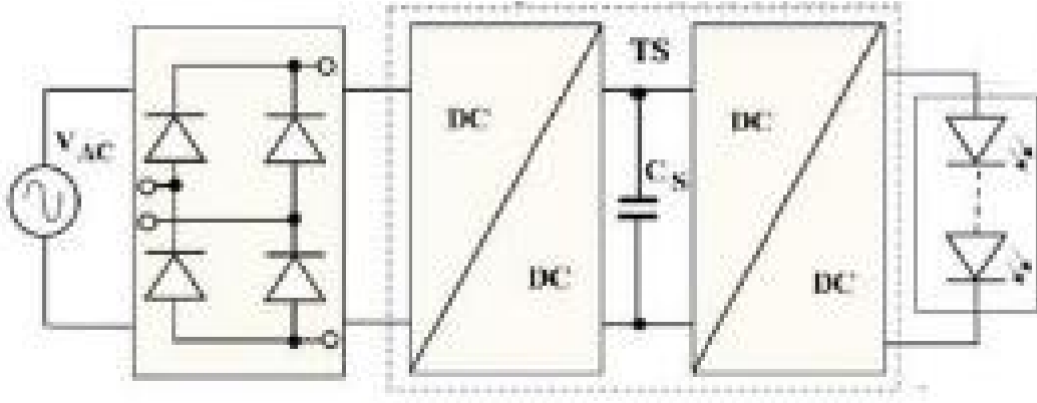
Tablo 2.1 Sürücü topolojileri değerlendirmesi

Sürücü topolojisi	Akım kontrol yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Pasif	Direnç	- Kolay tasarım - Düşük maliyet	- Doğru akım kontrollü değil - Yüksek güçlü LED için dirençte yüksek güç kaybı - Artan LED güç talebi için düşük verimlilik
Aktif doğrusal	Doğrusal kontrol döngüsü	- Doğru akım kontrolü - Akım kontrolü ile karartma yeteneği	- Daha düşük verimlilik - Artan LED güç talebi ile ısı emici ihtiyacı ile yüksek güç kaybı
Aktif anahtarlama	PWM akım kontrolü	- Yüksek verim - PWM kontrolü ile karartma yeteneği	- Daha karmaşık tasarım - Daha yüksek maliyet - EMI tasarım kısıtlaması

AC kaynağında, anahtarlama LED sürücüleri, özellikle iç mekân uygulamalarında kullanılır. Elektrik şebekesine bağlı topolojiler için güç faktörü çok önemli bir rol oynar. İki çözüm izlenir. İlk çözümde, PFC, gerçek sürüş devresi ile birlikte tek bir aşamada oluşturulabilir. Bu durumda, tek aşamalı sürücü (SS) olarak adlandırılır. SS sürücü blok şemasıdır artı filtre kondansatörü Cı S bildirilmiştir Şekil 2.5. SS sürücü devresinde, filtre kondansatörü genellikle yüksek bir PF elde etmek için yüksek frekans tarafında bulunan DC-DC dönüştürücüden sonra bağlanır. İkinci yaklaşımda, sürücü topolojileri iki aşamalıdır (TS). İlk aşama bir ön uç PFC dönüştürücüdür ve ikinci aşama, bir LED dizisinde istenen akımı kontrol eden bir DC-DC dönüştürücüdür. Olarak Şekil 2.6'de bir TS sürücüsünün blok şeması gösterilmiştir. TS sürücüsünde, filtre kondansatörü, yüksek PF elde etmek için PFC DC-DC dönüştürücünün iki yarı kademeli akış aşağısı arasına yerleştirilir. SS sürücüleri düzenlemesi, daha karmaşık kontrol pahasına bileşen maliyetini ve hacmini önemli ölçüde azaltarak verimliliği önemli ölçüde artırabilir. Düşük güçlü ve küçük boyutlu ampullerde tek kademeli topolojiler kesinlikle tercih edilmelidir. TS çözümü, ek devre ve maliyet pahasına PFC kontrol tasarımı ile ayrılan DC-DC dönüştürücünün karartma özelliği ile doğru ve esnek kontrol sağlar. Ayrıca, ikinci kademe DC-DC dönüştürücü ile elektrolitik olmayan bir kondansatör kullanılması mümkündür. İkinci aşama, LED cihazların ömrüyle karşılaştırılabilir bir kullanım ömrüne sahip bir AC-DC LED sürücüsü elde etmek için çıkış voltajındaki düşük frekanslı dalgalanmayı telafi eder. Orta güç aralığında, tasarım kısıtlamalarının değiş tokuşuna bağlı olarak SS veya TS topolojileri seçimi. Genel olarak, TS yaklaşımı daha yüksek güç uygulamalarında uygundur.



Şekil 2.5 SS anahtarlama sürücü bloğu şeması (www.sarnikon.com)



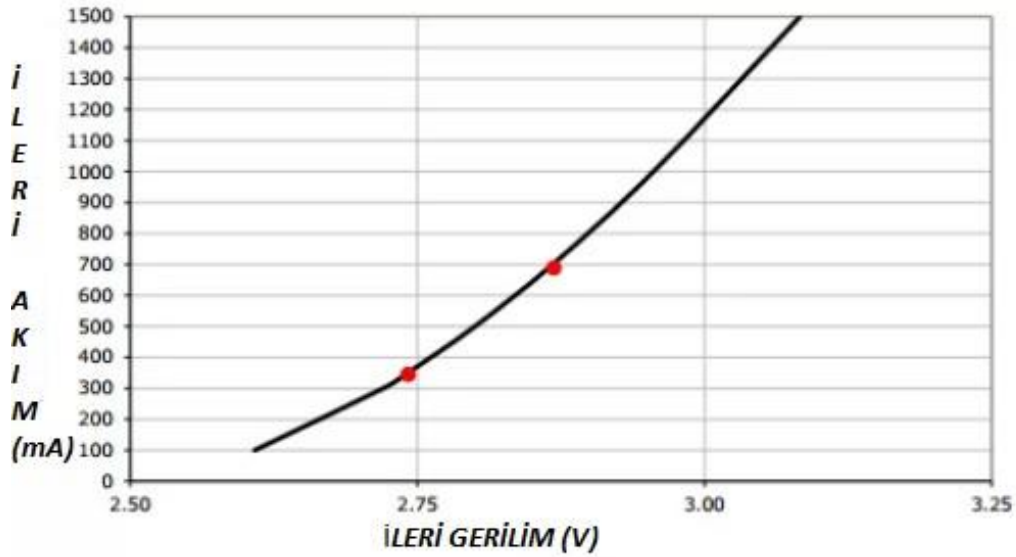
Şekil 2.6 TS anahtarlama sürücü bloğu şeması (www.sarnikon.com)

Yüksek parlaklıkta Işık Yayan Diyotlar (HB-LED'ler) için endüstriyel ortam ve daha yüksek güç talebi olması durumunda, üç fazlı AC kaynağı sağlanabilir. Bu uygulamalarda DC-DC dönüştürücüye güç sağlamak için üç fazlı doğrultucu kullanılabilir. Üç fazlı AC kaynağında ayrıca çok hücreli bir dönüştürücü çözümü kullanılabilir. Bu topoloji yaklaşımında, üç fazlı güç şebekesine yıldız veya üçgen bağlantıda üç adet tek fazlı dönüştürücü düzenlenir ve çıkışta paralel bağlantıyla bağlanır.

2.5. LED SÜRÜCÜ ÇEŞİTLERİ

2.5.1. Akım Sınırlamalı (Constant current) LED Sürücüler:

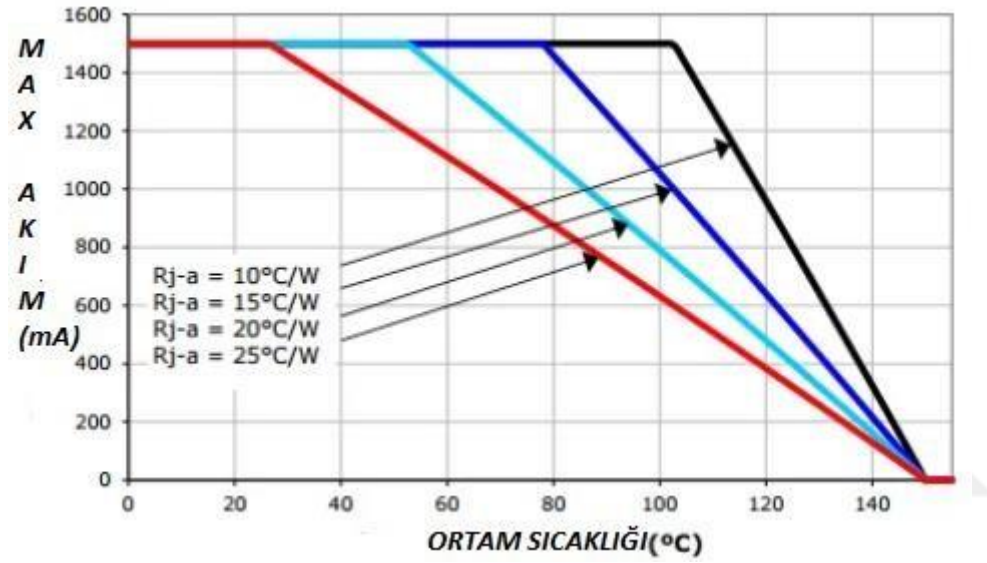
Bu besleme kaynakları Power-LED'lerin beslemesinde kullanılmaktadır. Power-LED'lerin güçleri genelde 0.5W, 1W, 2W, 3W ve 5W olup, bunlar genelde 350mA, 700mA, 1050mA, 1400mA ve 1750mA LED sürücüler (LED driver) ile beslenmektedir. Yüksek güçlü LED'lere bakarsanız, benzersiz bir özellik, LED'e uygulanan ileri voltaj ile içinden akan akım arasındaki üstel ilişkidir. Bunu aşağıdaki Şekil 1'de Cree XP-G2'nin elektriksel özelliklerinden açıkça görebilirsiniz. LED açıldığında, voltajdaki en küçük %5'lik değişiklik (2.74V - 2.87V) bile akımda %100'lük bir artış yaratabilir. Kırmızı işaretlerde görebileceğiniz gibi XP-G2'ye sürülen akım 350mA'dan 700mA'ya çıktı.



Şekil 2.7 ileri akım-gerilim grafiği

Şimdi daha yüksek akım, LED'i daha parlak hale getiriyor, ancak aynı zamanda sonunda LED'i aşırı çalıştıracak. Cree'nin maksimum ileri akım ve farklı ortam sıcaklığı koşullarındaki değer düşürme eğrilerinin özellikleri için Şekil 2.7'ye bakın. Yukarıdaki örnekte, XP-G2 LED'ini 700mA'da sürmeye devam edeceğiz, ancak akım sınırlama cihazınız olmasaydı, sıcaklık artışı nedeniyle elektriksel özellikleri değiştiği için LED

daha fazla akım çekirdi (www.devreokulu.com). Bu, nihayetinde mevcut yolu sınırın üzerine çıkaracaktır. Özellikle daha sıcak ortamlarda. Aşırı iletir akım, sistem içinde ekstra ısıya neden olur, LED'lerin ömrünü kısaltır ve sonunda LED'i mahveder. Burada daha ayrıntılı olarak açıklanan bu termal kaçak diyoruz. Yüksek güçlü LED'lere güç sağlamak için tercih edilen yöntemin sabit akım LED sürücüsü ile olmasının nedeni budur. Sabit bir akım kaynağı ile, voltaj sıcaklıkla değişse bile, sürücü LED'i aşırı sürmeden akımı sabit tutar ve termal kaçakları önler.



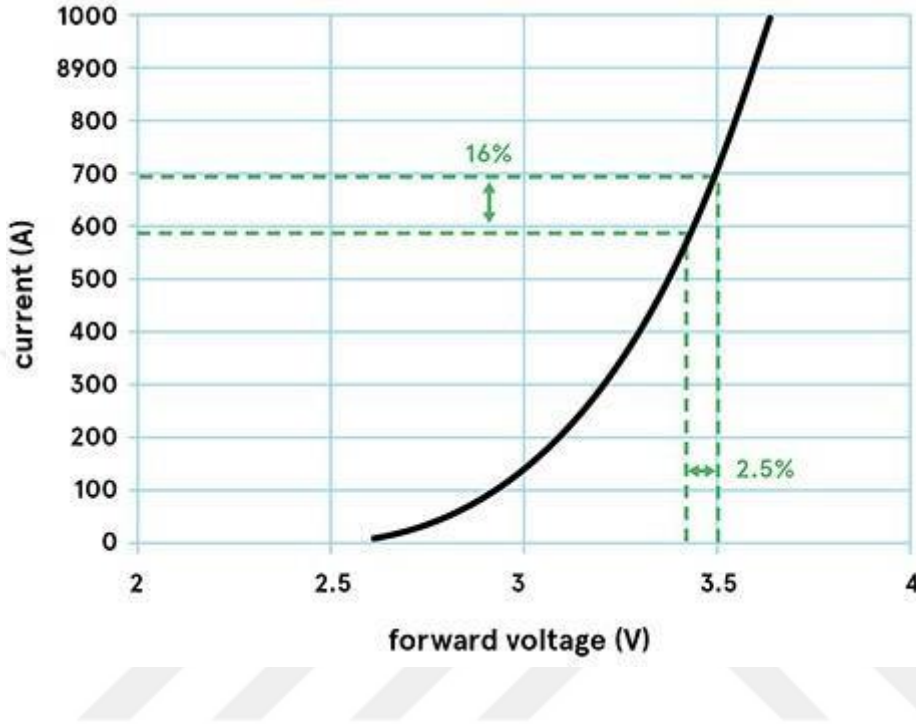
Şekil 2.8 LED'in akım-sıcaklık grafiği

Bu nedenle, kendi armatürünüzü oluştururken veya yüksek güçlü LED'lerimizle çalışırken, sabit akım sürücüleri kullanmak sizin yararınıza olacaktır çünkü: LED'ler için belirtilen maksimum akımı ihlal etmekten kaçınırlar, bu nedenle yanma/termal kaçaktan kaçınırlar. Tasarımcıların uygulamaları kontrol etmesi daha kolaydır ve daha tutarlı parlaklığa sahip bir ışık oluşturmaya yardımcı olur.

2.5.2. Gerilim Sınırlamalı (Constant voltage) LED Sürücüler:

Standart 3 mm ve 5 mm LED'ler genelde 20mA akımla çalışmakta olup bu LED'lerin beslemesinde sabit gerilim sağlayan besleme kaynakları (AC/DC güç

kaynakları) kullanılmaktadır. Genelde bu tür LED'ler 12V sabit gerilim veren güç kaynakları ile beslenmektedir.



Şekil 2.9 LED Akım gerilim grafiği

LED'ler, bir DC voltajıyla çalıştırıldığında bağlantıların ışık ürettiği yarı iletkenlerdir. Tüm yarı iletkenler gibi, elektriği yalnızca bir yönde iletirler ve sonuç olarak bağlantı telleri polariteyi gösterir. Anottan (+) katoda (-) elektrik akımı geçtiğinde LED'den ışık gelir.

Üretilen ışık miktarı uygulanan voltaj ve akımla orantılıdır. Çok fazla voltaj uygulanırsa veya çok fazla akım geçerse, LED emitör kalıcı olarak hasar görür. LED ışık iletildiğinde ve ürettiğinde, akım akışı ileri akım ve uygulanan voltaj, ileri voltaj olarak adlandırılır.

2.5.2.1. Open frame (Açık tip) LED sürücüler:

Bu tip LED sürücülerin soğutma tipi ısı dağılımını arttırmak için açık hava konveksiyon soğutmalıdır. Üzerinde bulunan potansiyometre ile çıkış akımını nominal değerinin % 75-100 değerinde tutabilir. Tam yükte -30-70° aralığında düzenli bir şekilde çalışabilir.

2.5.2.2. Yukarı-Adım(Yükselme) LED Sürücüleri (Boost):

Step-up (boost) regülatör LED sürücü devreleri yüksek voltaj gerektiren seri bağlı birden fazla LED'i sürmek için gerekli olan gerilimi üretir ve böylece LED'lere gerekli akımı sağlar. Bu nedenle birden fazla LED'in çektiği akımı karşılayarak LED'lerin eşit şekilde parlaklık vermelerine olanak sağlarlar.

2.5.2.3. Aşağı-Adım (Sıçrama) LED Sürücüleri (Buck):

Step-Down (buck) LED sürücüleri birçok otomotiv ve sanayide uygulamalarında olduğu gibi giriş voltajının LED voltajından daha düşük olduğu uygulamalar için idealdir. Bu LED sürücüler en yüksek verimlilik, en düşük gürültü ve en az yer kaplama olanağı sunarlar.

2.5.2.4. Aşağı-Yukarı Adım LED Sürücüleri (Buck-boost):

Buck-Boost LED sürücüleri giriş voltajının LED voltajından büyük veya küçük olduğu durumlarda LED'in çalışmasını sağlar. Bu özellikleri giriş voltajının sürekli değişken olduğu durumlarda idealdir. Bu LED sürücüler yüksek verimlilik, düşük gürültü ve az yer kaplama olanağı sunmaktadırlar.

2.5.2.5. Çoklu Topolojili LED Sürücüleri:

Bu yapıdaki sürücüler boost, buck ve boost-buck sürücülerin bileşiminden oluşmaktadır. Hem seri hem de paralel bağlı LED yapılarında kullanılabilirler. Diğer sürücüler gibi yüksek performans ve düşük gürültü gibi özellikleri vardır.

2.5.2.6. İndüktörsüz (Şarj Pompası) LED Sürücüleri:

Beyaz LED'leri sürmede kullanılmaktadır. Düşük voltajda lineer regülatör, yüksek voltajda şarj pompası görevi görürler.

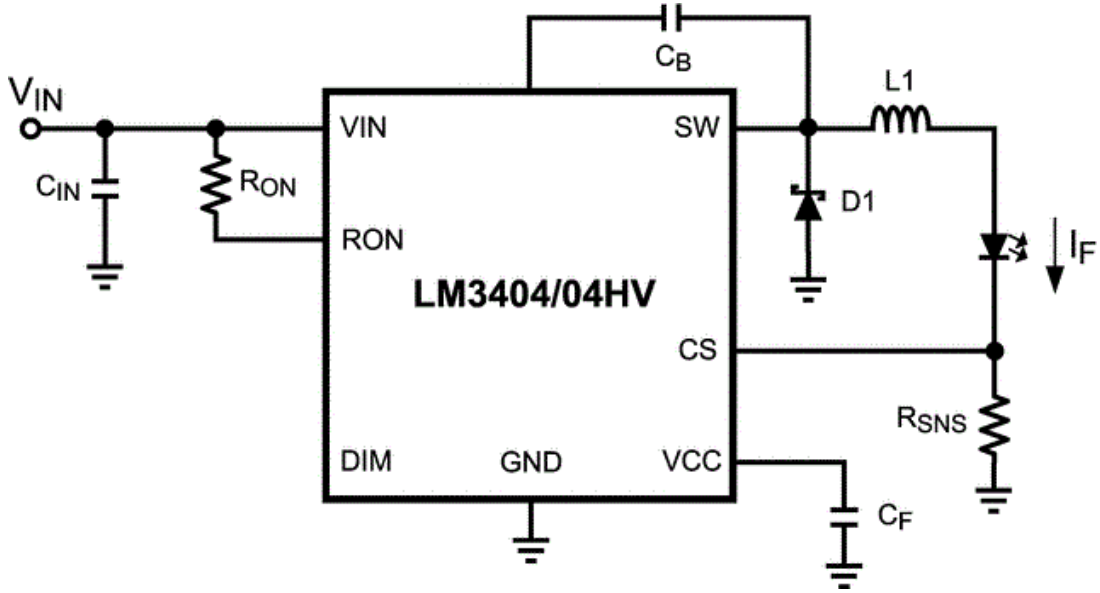
2.5.2.7. μ Modül LED Sürücüleri:

μ Module LED 1A'e kadar akımlarda LED sürüş için komple bir çözüm sunar. İndüktör dâhil tüm ana devre, küçük, düşük profilli LGA paketinde bulunur.

3. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

3.1 Geri tip DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürücü devreleri

Geri DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürücü devreleri tasarımı yapılırken en yaygın olarak kullanılan LM 3404 entegresi kullanılmıştır. LM 3404 entegresiyle 1watt, 3watt ve 5watt gücünde LED sürme devreleri proteus programı yardımıyla tasarlanmıştır. Daha sonra bu devreler için ayrı ayrı sonuçlar incelenmiştir. LM 3404'ün gerilim düşürücü bir entegre görevi olup daha düşük bir referans gerilim değerine, daha esnek bir giriş voltaj opsiyonuna ve daha hızlı sonuç verme özelliği vardır. Bu devre LED sürücüleri için doğrusal akım sağlamaktadır. Bunun ilave olarak 1.2 amper gibi yüksek akım gerektiren yerlerde çoğunlukla tercih edilmektedir. Şekil 3.1 LM 3404'ün yaygın devre tasarımını gösterir.



Şekil 3.1 LM3404'ün yaygın bir uygulaması

LED üzerindeki akım değerini toprağa potansiyometre üzerinden (R_s N_s) aktarıldığında $V_s N_s$ olarak bir gerilim sinyal değeri oluşturulmaktadır. $V_s N_s$ giriş pini üzerinden C_s pin ucu tarafından entegre geri besleme yapılarak referans voltaj değeri (V_{REF}) 200 mili voltla karşılaştırılmaktadır. Gerilim değeri V_{REF} değerinin altına indiğinde güç MOSFET üzerindeki karşılaştırma kısmı açılmaktadır.

Devrenin Açık bekleme süresi (t_{ON}), bir direnç (R_{ON}) ve giriş gerilim değeri (V_{in})'le ayarlanmaktadır. t_{ON} Süresi boyunca MOSFET iletimde kalmaktadır.

Devrenin açık kalma süresi;

$$t_{on} = 1.34 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{R_{on}}{V_i} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Sabit anahtarlama frekans değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır;

$$f_{SW} = \frac{V_o}{1.34 \cdot 10^{-10} \cdot R_{on}}, \quad (3.2)$$

Burada V_o ,

$$V_o = n \cdot V_f + 200 \text{ mV} \quad (3.3)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Diğer taraftan ise V_f LED ileri yön gerilim değerini, n ise devrede kullanılan seri LED sayısını göstermektedir. Devredeki tüm parametreleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplamak mümkündür.

LED akım değeri:

$$I_L - M_{in} = \frac{0.2}{R_{SNS}} - \frac{V_o \cdot t_{SNV}}{L} \quad (3.4)$$

Maksimum çıkış gerilimi:

$$D_{max} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} - t_{OFF} - MIN} \quad (3.5)$$

$$V_{Omax} = D_{max} \cdot V_i \quad (3.6)$$

Maksimum LED sayısı:

$$n_{max} = \frac{V_{Omax} - 200 \text{ mV}}{V_{Fmax}} \quad (3.7)$$

Çıkış kondansatörü devrede değilken düşürücü akımı:

$$\Delta_{iL} = \Delta_{IF} = \frac{V_i - V_o}{L} \cdot t_{ON} \quad (3.8)$$

Çıkış kapasitörü varken düşürücü dönüştürücü akımı:

$$\Delta_{IF} = \frac{\Delta_{iL}}{1 + \frac{r_D}{z_C}} \quad (3.9)$$

Toplam LED empedansı:

$$Z = ESR + \frac{1}{2 \pi \cdot f_{SW} \cdot C_o} \quad (3.10)$$

Giriş kapasitörü:

$$C_{in \min} = \frac{I_F \cdot t_{ON}}{\Delta_{iL_{max}}} \quad (3.11)$$

Çıkış indüktörü:

$$L = \frac{V_i - V_o}{\Delta i_L} t_{on} \quad (3.12)$$

Akım algılayıcı direnç değeri:

$$R_{SNS} = \frac{0.2 \cdot L}{I_F \cdot L \cdot V_0 \cdot t_{SNS} - \frac{V_i - V_o}{2} \cdot t_{on}} \quad (3.13)$$

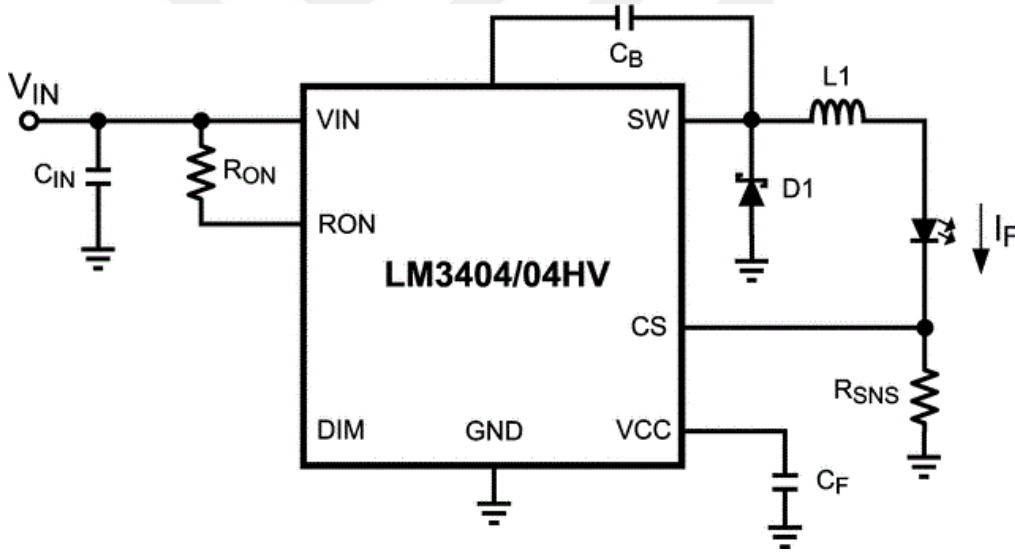
Toplam çıkış gücü (P_o):

$$P_o = I_F \cdot V_o \quad (3.14)$$

bağıntılarıyla hesaplanır.

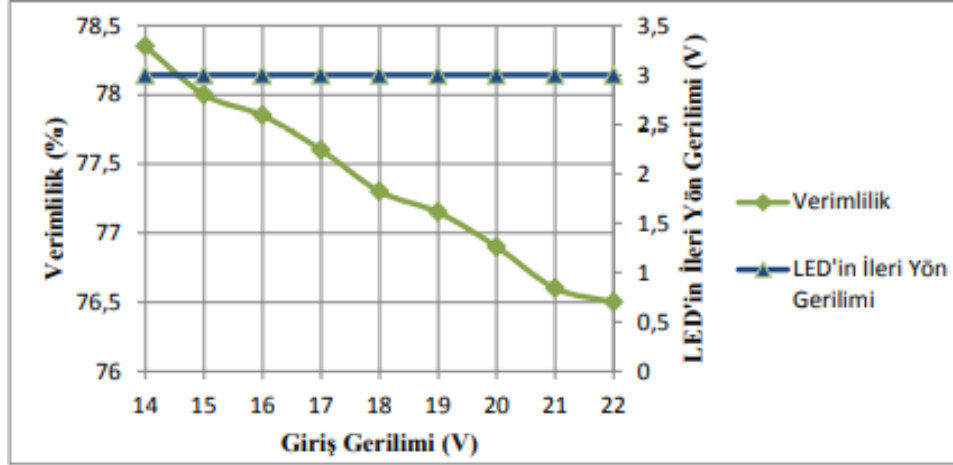
LM3404 entegresiyle tasarlanan LED sürme devresinde girişteki voltaj 12-24 V aralığında değerlerde iken çıkış akım değeri 350-700 mA olarak ayarlanarak 1watt, 3watt ve 5watt güç performans değerlerine göre devre tasarımları yapılmış olup sonuç simülasyonları her bir ayrı devre için elde edilmiştir (Deveci, 2015)

3.2 1 watt için LED sürücü devresi



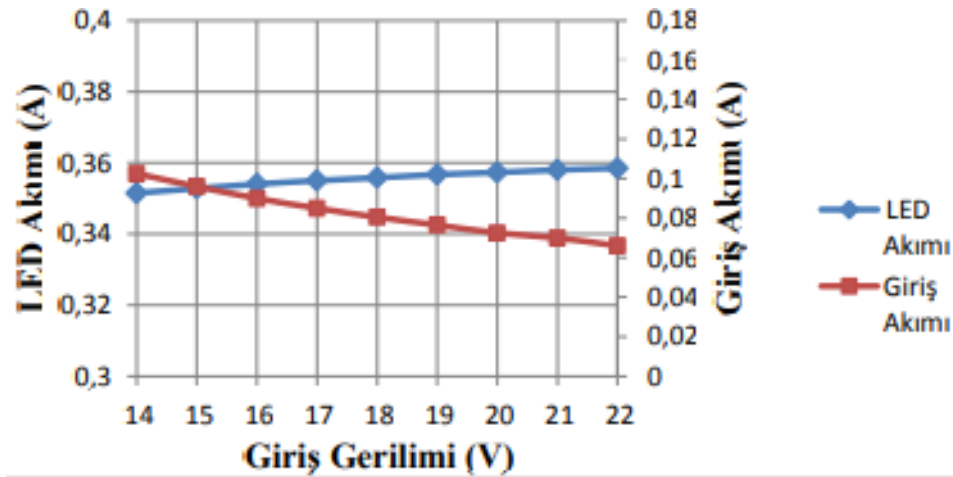
Şekil 3.2 LM3404 ile 1 Watt LED sürme devresi

LM3404 entegresi kullanılarak tasarlanan LED sürme devresinde giriş voltajı 12-24volt aralığında değişim sağlarken LED akımı 1 wattlık LED sürme devresi için 350 miliamper olmaktadır. Şekil 3.2’de 1 wattlık led sürme devresi verilmiştir. Şekil 3.3-3.4-3.5’de 1wattlık LED sürme devresinin proteus devre analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.3 1 Watt gücündeki LED sürme devresinin giriş gerilimine göre verimliliğin değişimi

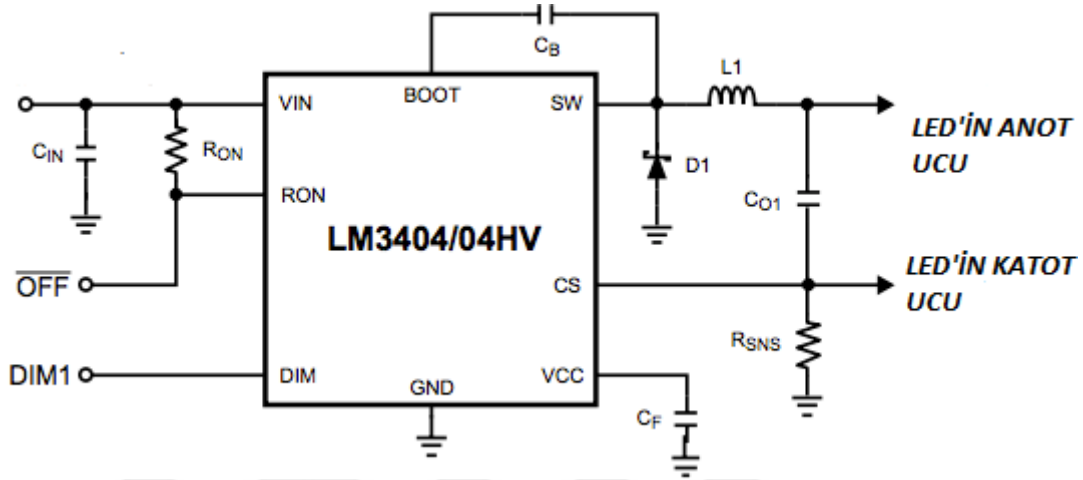
Şekil 3.3'de 1 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş voltajına göre verimliliğin değişim grafiği verilmiştir. Yukarıda şekil incelendiğinde çıkış güç değerinin 1.12 watt, LED üzerinde harcanan gücün 1.05 w olduğu görülmektedir. LED'in harcadığı gücün ve LED sürme devresindeki toplam gücün devrenin giriş voltajından bağımsız olduğu görülmüştür.



Şekil 3.4 1 watt'lık LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi

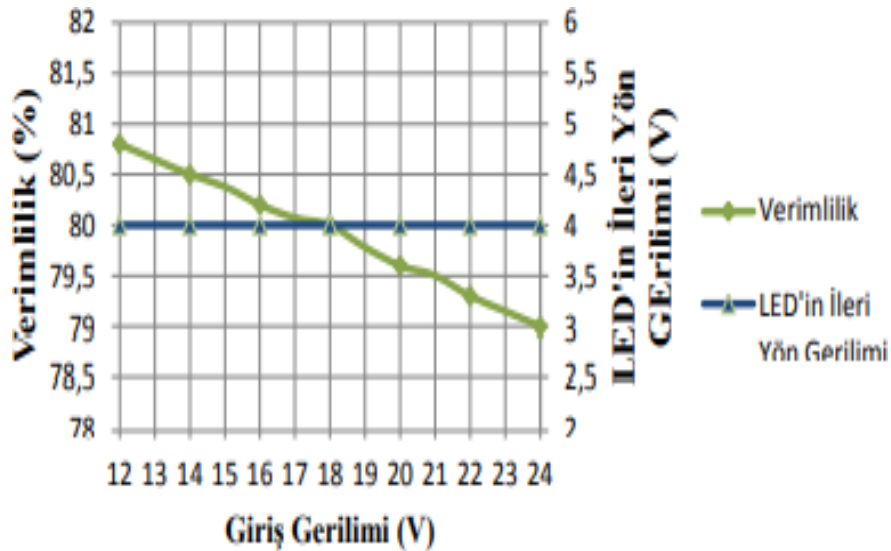
Yukarıdaki Şekil 3.4’de 1 watt’lık LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi gösterilmektedir. Giriş voltajının değeri arttıkça LED üzerinden geçen akım değerinin de arttığı görülmüştür.

3.3 3 watt için LED sürücü devresi



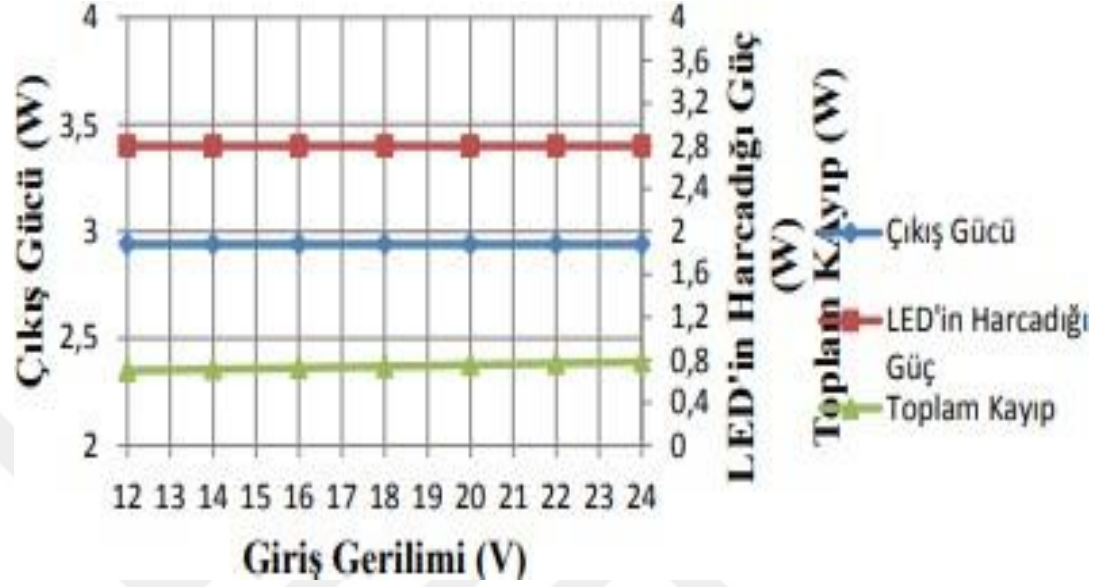
Şekil 3.5 LM 3404 ile 3 watt LED sürme devresi

LM3404 entegresi kullanılarak tasarlanan LED sürme devresinde giriş voltajı 12-24 volt aralığında değişim sağlarken LED akımı 3 wattlık LED sürme devresi için 700 miliamper olmaktadır. Şekil 3.5’de 3 wattlık LED sürme devresi verilmiştir. Şekil 3.6-3.7-3.8’de 3 wattlık LED sürme devresinin proteus devre analiz sonuçları verilmiştir.



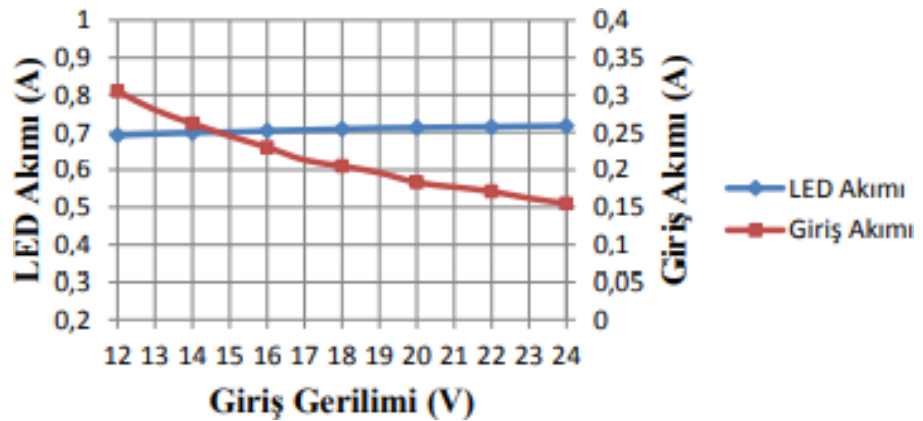
Şekil 3.6 3 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş gerilimine göre verimliliğin değişimi

Şekil 3.6'da 3 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş voltajına göre verimliliğin değişim grafiği verilmiştir. Sonuç olarak verimlilikle giriş geriliminin ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.7 3 watt'lık LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi

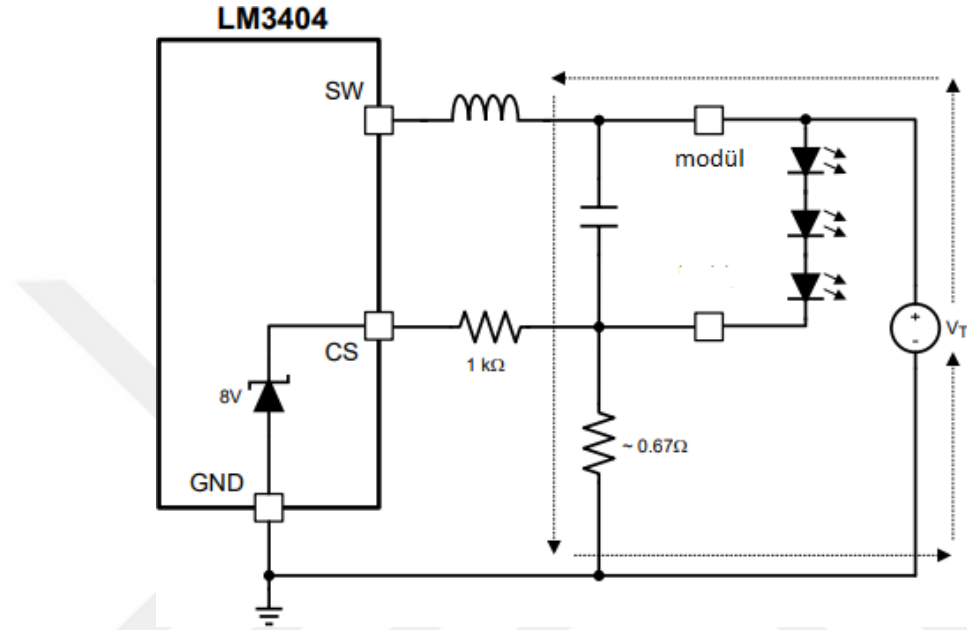
Yukarıdaki şekil 3.7'de 3 wattlık LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 3.7 incelendiğinde çıkış güç değerinin 2.94 watt, LED üzerinde harcanan gücün ise 2.8 watt olduğu görülmüştür. Sonuç olarak devrenin çıkış gücünün giriş gerilimine bağlı olmadığı görülmüştür.



Şekil 3.8 3 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş gerilimine göre verimliliğin değişimi.

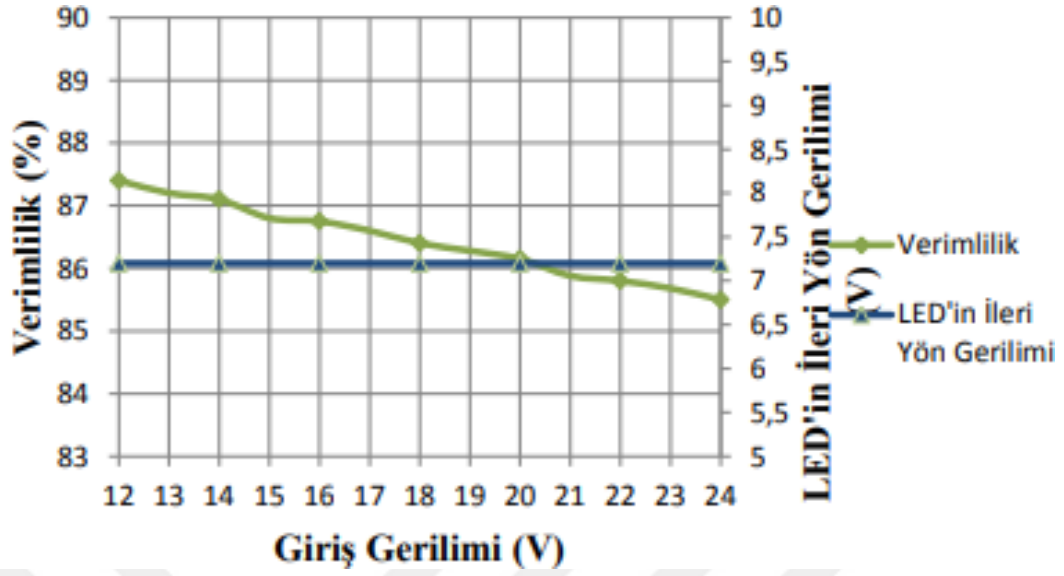
Yukarıdaki Şekil 3.8’de 3 wattlık LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi gösterilmektedir. Giriş voltajının değeri arttıkça LED üzerinden geçen akım değerinin azaldığı görülmüştür.

3.4 5 watt için LED sürücü devresi



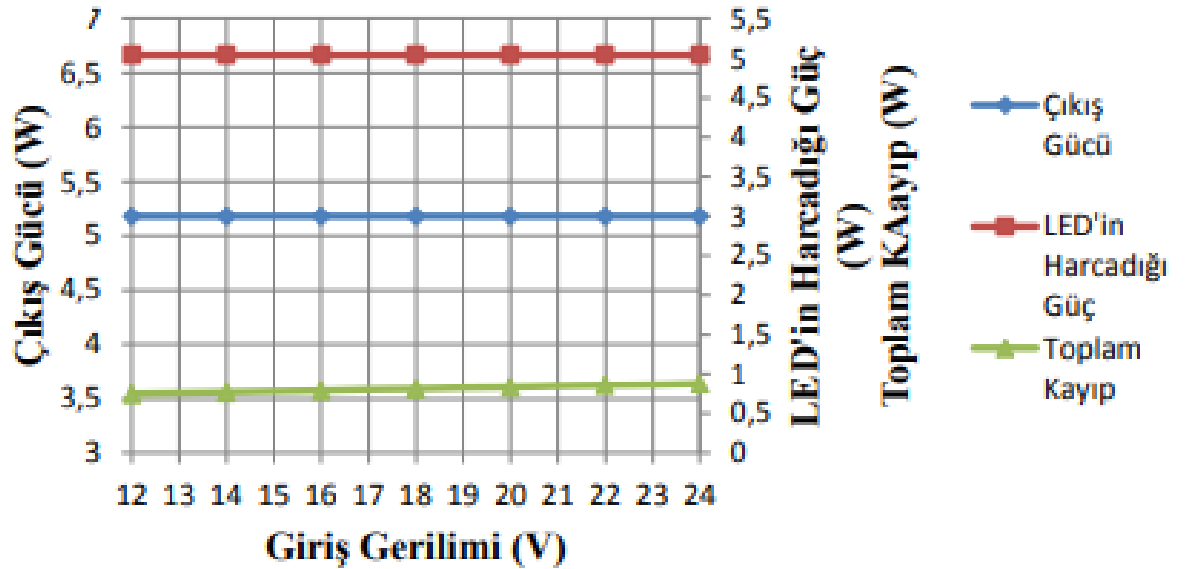
Şekil 3.9 LM 3404 ile 5 watt LED sürme devresi

LM3404 entegresi kullanılarak tasarlanan LED sürme devresinde giriş voltajı 12-24 volt aralığında değişim sağlarken çıkış akımı 700 miliamper olmaktadır. Şekil 3.9’da 5 wattlık LED sürme devresi verilmiştir. Şekil 3.10-3.11-3.12’de 5 wattlık LED sürme devresinin proteus devre analiz sonuçları verilmiştir. Sonuç olarak giriş voltajı yükseldikçe verimin düştüğü ve giriş voltaj değerinin değişimine bağlı olarak ileri yön LED yön voltajında değişiklik görülmemiştir.



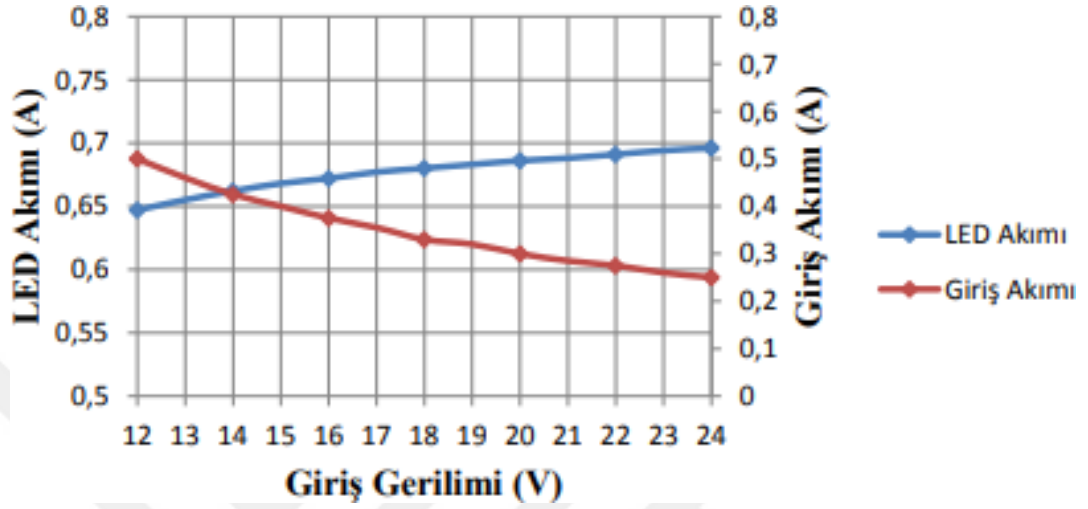
Şekil 3.10 5 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş gerilimine göre verimliliğin değişimi

Şekil 3.10'da 5 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş voltajına göre verimliliğin değişim grafiği verilmiştir. Çıkış gücü değerinin 5.18 watt'ta sabit kaldığı Şekil 3.10'da görülmektedir. Sonuç olarak verimlilikle giriş geriliminin ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. LED devre analizleri Şekil 3.11-3.12-3.13'de görülmektedir.



Şekil 3.11 5 watt LED sürme devresinde LED akımının giriş voltajına göre değişimi

Yukarıdaki şekil 3.11’de 5 wattlık LED sürme devresindeki LED giriş akımının giriş voltajına göre değişimi gösterilmektedir. Sonuç olarak devrenin giriş voltajı arttıkça LED akım değerinin de yükseldiği görülmüştür.

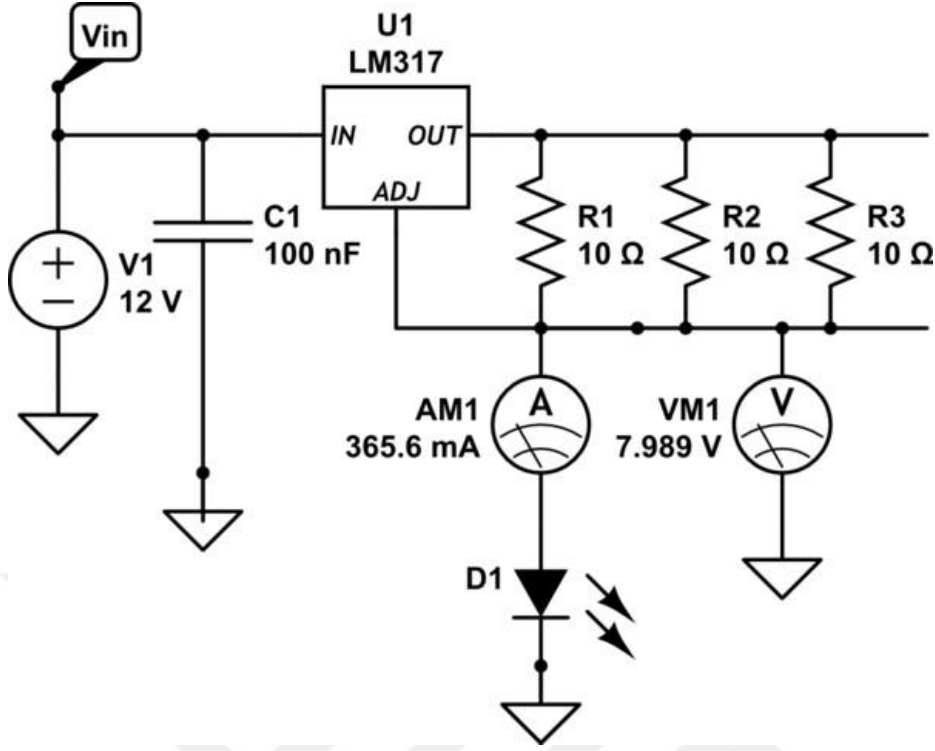


Şekil 3.12 5 watt gücündeki LED sürme devresinin giriş gerilimine göre verimliliğin değişimi

Yukarıdaki Şekil 3.12’de 5 Wattlık LED sürme devresindeki LED giriş akımın giriş voltajına göre değişimi gösterilmektedir. Giriş voltajının değeri arttıkça LED üzerinden geçen akım değerinin azaldığı görülmüştür.

3.5 10 Watt için LED sürücü devresi

10 Watt LED için LM3404 entegresinden LM317 entegresine geçiş yapılmıştır. Aşağıda şekil 2.21’de 10 watt gücünde bir LED için sürücü devresi verilmiştir.



Şekil 3.13 LM317 ile 10 watt LED sürme devresi

Giriş ile Çıkış arasındaki 1,25 volt korunur (LM317'nin çalışma prensibi). Bu nedenle paralel olarak her 10 ohm, bu konfigürasyonda çıkışa 125mA ekleyecektir veya bir şeyin 900 ma almasını istiyorsak, o zaman 1,38 Ohm'a yaklaştıracak bir kombinasyon oluşturmamız gerekmektedir. Bu dirençte bir watt'ın üzerinde yakarsınız ve LM317'nin kendisindeki (en azından güç kullanımı için en iyi "akıllı direnç" olarak kabul edilir.) çoğunlukla basittir ve sadece birkaç bileşen içerir.

Yukarıda yorumlandığı gibi "12V'de 2-3A" 24-36 watt olacaktır. 12V'de 10 watt 833 mA, 9V'de 10 watt 1111 mA olacaktır. LED'lerin öncelikle akımla çalışan cihazlar olduğuna dikkat etmek önemlidir. Yani, akım ve özellikle maksimum akım, kontrol etmemiz gereken önemli bir parametredir.

3.6 LED soğutma sistemleri

LED birim olarak düşünüldüğünde 340 mili watt ya da daha yüksek güçte olabilirler. LED'in üzerindeki enerjinin büyük kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Normal bir LED için üzerindeki enerjinin %70'i ısı enerjisine dönüşmektedir. LED

üzerindeki bu ısının orada durmaması, dağıtılması gerekmektedir. Aksi taktirde ısı LED üzerinde bozulmaya neden olmaktadır. Buda LED üzerinde verimin düşmesine neden olmaktadır. Verimin düşmesi demek LED ömrünün de kısılması demektir (www.sarnikon.com).

3.6.1 LED’lerde Isı transferi

LED’lerde sıcaklık olumsuz yönde etki eden bir parametredir. Bu nedenle LED üzerindeki sıcaklık etkeni olabildiğince minimum seviyede tutulmalıdır. Bunun en kolay yolu ise LED üzerinde biriken ısının başka bir yere iletiminin sağlanmasıdır. Isının farklı transfer yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan başlıcası LED üzerindeki ısının havaya, metale, radyasyon ile transferidir. En basit hal olarak LED ısı iletim değeri düşük olan bir reçine içine yerleştirilir. Bu reçine saydam özelliktedir. Böylece LED üzerinde biriken tüm ısı LED çipinin arkasına yönlendirilmiş olur. LED’in üzerindeki sistem sıcaklığı veya ortam sıcaklığı ne kadar düşük olursa LED o kadar verimli çalışmış olur. Yani LED’den en yüksek oranda verim alabilmek için ısının minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir. LED öz direnci üretim aşamasında kullanılan değerlere bağlı olarak değişmektedir. LED’ler bir soğutucuyla bağlantılı bir metal çekirdek ile devre kartına yerleştirilir. Bu devre üzerindeki oluşan ısı radyasyon yardımıyla dağıtılmaktadır.

3.6.2 Soğutucular

LED’ler üzerinde biriken ısının bir şekilde transfer edilmesi gerekmektedir. LED çekirdeğinin arkasına termal macun yardımıyla yerleştirilen metal soğutucu LED üzerinde biriken ısının havaya transferi görevini üstlenmektedir.



Şekil 3.14 LED metal soğutucusu (Yılmaz, 2021)

Yukarıdaki şekil 3.14 de görüldüğü gibi metal soğutucu LED ile LED sürücüsü arasında yer almaktadır. Metal soğutucu kıvrımlı bir şekilde tasarlanmaktadır. Bunun nedeni kıvrımlar arasından hava akışı yoluyla sistem üzerindeki ısı havaya transfer edilmektedir. Soğutucu metal olarak alüminyum tercih edilmektedir. Bunun nedeni kolay işlenebilir, bakıra göre daha ucuz maliyetli, ısıl öz direnci daha düşük olmalarından dolayı tercih edilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada LED güçlerine göre sürücü devre modelleri tasarımı yapılmış olup ayrı ayrı incelemesi yapılmıştır. LED sürücü devreleri öncelikle akım sınırlamalı ve gerilim (voltaj) sınırlamalı olarak iki başlıkta incelenmiştir. Konu içerisinde de ayrı ayrı incelendikten sonra akım sınırlamalı devrelerin daha avantajlı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılan literatür taramaları sonucunda da çıkan sonucun tutarlı olduğu görülmüştür.

Akım ve gerilim sınırlamalı sürücü devrelerinin her ikisi de LED çıkış parlaklığının daha kuvvetli olması ve daha verimli çalışması için kullanılmaktadır. Bunun nedeni LED'in üzerine uygulanan elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren bir devre elemanı olmasıdır. LED üzerine uygulanan akım değeri ne kadar fazla olursa üretilen ışık şiddeti fazla olmaktadır. Ancak, LED'ler üzerindeki akım değeri sınırlandırılmazsa gereğinden fazla akım çekerler. LED'lerin maximum çalışma akımının üzerinde akım çekmesi LED üzerinde oluşan ısının da artmasına neden olmaktadır. Buda LED'in çalışma ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Daha da artarsa LED'in bozulmasına sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı LED üzerine uygulanan akım değerinin sınırlandırılması gerekmektedir. Akım sınırlandırılmalı sürücü devreleri üzerine uygulanan sınırlı gerilim değerine göre çıkış LED akım değerini sabit tutmak için tasarlanmıştır. Bu sürücüler devre boyunca tüm LED'ler üzerinde belirlenen akım değerini sabit tutmaktadır. Bu akım ve gerilim değerleri sürücü üzerinde de belirtilmek zorundadır. Buna bağlı olarak o sürücü ile kaç watt LED beslenebilir hesaplanabilmektedir. Örnek verirsek, LED akım aralığı 300-500 mili amper aralığında gerilim değeri ise 12-18 volt aralığında o zaman

$$P= I \cdot V \quad (4.1)$$

Bağıntısından;

$$P_1 : 0.3 \cdot 12 = 3.6 \text{ watt} \quad (4.2)$$

$$P_2 : 0. \cdot 18 = 9 \text{ watt} \quad (4.3)$$

Olarak hesaplanmaktadır. Yani bu sürücü devresi 3.6-9 watt aralığındaki LED'leri sürebilmektedir.

Gerilim sınırlandırılmalı sürücüleri ise tek ve sabit bir gerilim kaynağı için LED sürmek için tasarlanmıştır. En yaygın şekilde kullanılan çeşitleri 12 – 24 volt 'dur.

Gerilim sınırlamalı sürücü devrelerinde ise çalışabileceği maximum akım ve gerilim değeri belirtilmektedir.

Örnek olarak: 12 V – 4 amper yazmaktadır.

(4.1) bağıntısından:

$$P: 12 \cdot 4 = 48 \text{ watt} \quad (4.4)$$

Yani örnek verilen bu sürücü devresi en fazla 48 watt gücündeki bir LED ya da LED grubunu besleyebilir. Bu çalışmada akım sınırlamalı devreler üzerinden farklı güçteki LED sürme devreleri incelenmiş ve grafik sonuçları analiz edilmiştir.

1 Watt sürücü devresi

Bu güç değerindeki sürücü devresi için LM 3404 entegresi kullanılmıştır. Giriş voltaj aralığı 12-24 volt aralığında iken çıkış akım değeri 350 mili amper olmuştur. Araştırma sonuçlarından da görüldüğü gibi akım sınırlandırılmalı sürücü devrelerinde giriş gerilim aralığına göre sabit akım çıkışı olmaktadır. Yani sonuçlarımız ile literatür sonuçları birbiriyle bağdaşmaktadır.

Daha sonra bu güç değeri için grafikler elde edilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Güç değerine göre verime bakıldığında çıkış güç değerinin 1.12 watt, LED üzerinde harcanan gücün 1.05 w olduğu görülmüştür. LED'in harcadığı güç ile devredeki toplam güç değerinin devrenin giriş voltajından bağımsız olduğu görülmüştür. İlave olarak devredeki giriş voltajının değeri arttıkça LED üzerinden geçen akım değerinin de arttığı görülmüştür.

3 Watt sürücü devresi

Bu güç değerindeki sürücü devresi için LM 3404 entegresi kullanılmıştır. Giriş voltaj aralığı 12-24 volt aralığında iken çıkış akım değeri 700 mili amper olmuştur. Araştırma sonuçlarından da görüldüğü gibi akım sınırlandırılmalı sürücü devrelerinde giriş gerilim aralığına göre sabit akım çıkışı olmaktadır. Yani sonuçlarımız ile literatür sonuçları birbiriyle bağdaşmaktadır. Daha sonra bu güç değeri için grafikler elde edilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Güç değerine göre verime bakıldığında çıkış güç değerinin 2.94 watt, LED üzerinde harcanan gücün 2.05 w olduğu görülmüştür. Sonuç olarak devrenin çıkış güç değerinin giriş geriliminden bağımsız olduğu görülmüştür. Devredeki giriş voltajının değeri arttıkça LED üzerinden geçen akım değerinin azaldığı görülmüştür.

5 Watt sürücü devresi

Bu güç değerindeki sürücü devresi için LM 3404 entegresi kullanılmıştır. Giriş voltaj aralığı 12-24 volt aralığında iken çıkış akım değeri 700 mili amper olmuştur. Araştırma sonuçlarından da görüldüğü gibi giriş voltajının değeri arttıkça verimin düştüğü ve giriş voltaj değerinin değişimine bağlı olarak ileri yön LED voltajında değişiklik gözlemlenmemiştir.

Daha sonra bu güç değeri için grafikler elde edilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Güç değerine göre verime bakıldığında çıkış güç değerinin 5.18 watt değerinde sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Devrenin verimi ile giriş geriliminin ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Giriş voltajının değeri arttıkça LED üzerinden geçen akım değerinin azaldığı görülmüştür.

10 Watt sürücü devresi

Bu güç değerindeki sürücü devresi için LM 317 entegresi kullanılmıştır. LM 317'nin çalışma prensibi gereği giriş ile çıkış arasındaki 1.25 volt değeri korunmuştur. Bu nedenle paralel olarak her 10 ohm, bu konfigürasyonda çıkışa 125 miliamper ekleyecektir veya 900 miliamper almasını istiyorsak, o zaman 1,38 Ohm değerine yaklaştıracak bir kombinasyon oluşturmamız gerekmektedir. Bu dirençte bir watt'ın üzerinde yakarsınız ve LM317'nin kendisindeki çoğunlukla basittir ve sadece birkaç bileşen içerir. 12 volt için 2-3A 24-36 watt olacaktır. 12 volt için 10 watt 833 miliamper, 9 volt için 10 watt 1110 miliamper olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

LED sürücü devreleri üzerine yapılan bu tez çalışmasında; ilk önce LED'lerden optimum seviyede fotoemisyon elde etmek için gerekli olan akım LM 3404 ve LM 307 entegre devre kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu entegre devrelerinin kullanımı ile akım sınırlamalı buck tipi DC-DC düşürücülü LED sürücü devrelerinin tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Tasarımı yapılan devrelerin simülasyonları, Proteus 8.6 devre programı ile elde edilmiştir. Daha sonra bu program kullanılarak elde edilen bu grafikler ve oluşturulan tablolar incelenmiştir. İlk olarak direnç, LED ve Entegre Devreler kullanılarak tasarımı yapılan; 1, 3, 5 ve 10 Watt sürücü devrelerinin simülasyonları devre programları yardımıyla elde edilmiştir. Tasarlanan devrenin girişine 12-24 volt gerilim uygulanarak LED üzerindeki akım-gerilim değerleri ölçülerek güç değerleri ve verimi hesaplanmıştır. Daha sonra bu sonuçlar her bir ayrı devre için yorumlanmıştır. Giriş gerilimine bağlı olarak sürücü devrelerde güç kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple 12 Volt gerilim uygulanan devrenin 24 Volt uygulanan devreye göre daha verimli çalıştığı görülmüştür. Yani giriş gerilimi ile verimlilik arasında ters bir orantı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda giriş gerilimi arttıkça çıkış akımının sabit kaldığı görülmüştür. Bu sürücü devresinde giriş voltaj değeri arttıkça devredeki verimin azaldığı ve çıkış akım değerinin sabit kaldığı belirlenmiştir. Bu devrede kullanılan LM3404 entegresi üzerinde kayıp, devre iletimde olduğunda yaklaşık olarak 4.5 Watt olmaktadır. Buna bağlı olarak da devrenin verimi düşmektedir.

Buck tipi DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürücü devreleri LM 3404 ve LM317 kullanarak 1, 3, 5 ve 10 Watt olarak tasarlanarak grafikler elde edilmiştir. Buck tipi DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürme devresi için akım, güç, verim grafikleri ayrı ayrı simülasyon programında elde edilmiştir. Verim değerlerinin giriş voltaj değerlerinin artması ile azaldığı görülmektedir. İleri yön akım değerlerinin ise giriş voltaj değerlerinden bağımsız olduğu görülmektedir. Yani giriş voltajı artınca sabit kalmaktadır. Buck tipi DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürücü devresinde çıkış gücü ve giriş gerilimleri incelendiğinde çıkış gücünün sabit kaldığı görülmektedir. Devrenin giriş voltajına göre LED üzerinde harcanan güç değerleri sabit kalmaktadır. Toplam kayıp değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Giriş voltajına bağlı olarak LED üzerindeki harcanan toplam güç sabit olup toplam devre kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Giriş

voltaj değeri arttıkça LED üzerindeki akım değerin de birlikte arttığı, fakat devre giriş akım değerin azaldığı gözlemlenmiştir. Buck tipi DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürücü devrelerinde, yalnız tek bir direnç ile tasarlanan LED sürme devresinden ve LM 317 entegresiyle tasarlanan LED sürme devrelerinden verim değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Devre sonuçları alınan LED sürme devreleri kendi aralarında karşılaştırma yapıldıklarında 5 Watt LED sürme devresinin daha verimli olduğu, 5 adet 1 Watt LED sürme devresinin yerine 1 adet 5 Wattlık sürücü devresi kullanmanın daha verimli olduğu sayısal sonuçlarla ortaya çıkmaktadır.

LM 3404 regülatörü kullanılarak 5 Watt güce sahip bir LED sürme devresi yapılarak grafik sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra bu LED sürme devresinin akım, gerilim, güç ve verim hesapları yapılmıştır. Tasarımı yapılan düşürücü temelli DC-DC akım sınırlandırılmalı LED sürme devresinden iki temel sonuç elde edilmiştir.

Birincisi, giriş voltaj değeri arttıkça LED üzerindeki akım değerin arttığı, giriş akım değerin ise azaldığı görülmektedir. Buna ilave olarak giriş voltaj değeri arttıkça çıkış güç değeri belli bir noktaya kadar yükseldiği, çıkış voltaj değerin de giriş voltaj değerinden bağımsız olarak sabit kaldığı görülmektedir.

Diğer bir elde edilen sonuç ise tasarımını yaptığımız sürücü devresinde giriş voltaj değerin artırılması ile verimin azaldığının gözlenmesidir.

6. KAYNAKLAR

- Aktaş, M. ve Okumuş, H.İ. (2003). *Asenkron Motorun Adaptif Histerezis Bandlı Doğrudan Moment Kontrolünde İnverter Sabit Anahtarlama Frekansının Elde Edilmesi*, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10.Ulusal Kongre Merkezi İstanbul, 114-117. https://www.emo.org.tr/ekler/bf4585c28e2fda6_ek.pdf
- Deveci, F. (2015). LED aydınlatma ve LED sürücüler. <https://www.firatdeveci.com/led-aydinlatma-ve-led-suruculer>
- Öztoprak, M. (2020). *Entegre nedir, ne işe yarar?* <https://www.aydinlatma.org/entegre-nedir-ne-ise-yarar.html>
- Yılmaz, E., Şahin, İ. ve Kocadağ, N.Y. (2019). *LED ı ışık kaynaklı, enerji tasarruflu ve yüksek verimli ofis aydınlatma armatürü tasarımı*, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2):138-150. <http://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.02.03>.
- Yılmaz, E. (2021). *LED sürücü üretimi nasıl yapılır, Türkiye’de üretiliyor mu?* <https://www.aydinlatma.org/led-surucu-uretimi-nasil-yapilir-turkiyede-uretiliyor-mu.html>
- Yılmaz, E. (2021). *LED soğutucu nedir, nasıl üretilir?*. <https://www.aydinlatma.org/led-sogutucu-nedir-nasil-uretilir.html>
- <https://devreokulu.com/LedVoltaji.html>
- <https://sarnikon.com/tr/teknik-destek-44-pg/teknik-bilgiler-28-pg/ledin-calisma-prensibi-32-pg>
- <https://sarnikon.com/tr/aluminyum-sogutucu-ve-led-kasalar-115-c>

ÖZGEÇMİŞ

1. KİŞİSEL BİLGİLER			
Adı Soyadı	: Mehmet Resul AĞCABAY		
Unvanı	: Elektrik – Elektronik Mühendisi		
ORCID	: 0000-0003-3492-962X		
Doğum tarihi	:		
Doğum yeri	:		
E mail	:		
2. ÖĞRENİM BİLGİLERİ			
Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Elektrik – Elektronik Mühendisliği	FIRAT ÜNİVERSİTESİ	2019
3. YABANCI DİL BİLGİSİ			
1-)			
2-)			
3-)			
4. MESLEKİ DENEYİM VE ÜYELİKLER			
1-)			
2-)			
3-)			
5. YAYINLAR VE ÖDÜLLER			
1-)			
2-)			
3-)			