

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇIKIŞ GÜCÜ AYARLANABİLEN, AKIM BESLEMELİ LED SÜRÜCÜ
DEVRESİ TASARIMI**

Nihal ÇETİN ACAR

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

2014

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇIKIŞ GÜCÜ AYARLANABİLEN, AKIM BESLEMELİ LED SÜRÜCÜ
DEVRESİ TASARIMI**

Nihal ÇETİN ACAR

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

Bu tez 27/01/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Selim BÖREKÇİ
Doç. Dr. Ali KIRÇAY
Yrd. Doç. Dr. S. Cumhuri BAŞARAN

2014

ÖZET

ÇIKIŞ GÜCÜ AYARLANABİLEN, AKIM BESLEMELİ LED SÜRÜCÜ DEVRESİ TASARIMI

Nihal ÇETİN ACAR

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selim BÖREKÇİ

Ocak 2014, 44 Sayfa

Son yıllarda yarı iletken teknolojilerindeki gelişmelerin yanında enerji verimliliğine verilen önem de giderek artmaktadır. Bir çok teknolojik alanda LED kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. LED'lerin düşük enerji tüketimi, uzun ömürlü ve çevre dostu olma gibi avantajlarından dolayı özellikle aydınlatmada kullanımı yaygındır. LED'lerin daha verimli ve kararlı bir şekilde kullanılması için kullanılan sürücü devre oldukça önemlidir, bu nedenle günümüzde birçok sürücü devre tasarımları yapılmıştır.

Bu çalışmada da akım beslemeli, çıkış gücü ayarlı, paralel rezonans sürücü devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Devre girişi akım beslemeli olduğundan giriş akımı daha sabittir ve daha az harmonik bileşen içermektedir. Devrenin rezonans kısmında manyetik etkileşimli bobin kullanılmıştır, bu bobin ile yük ve anahtarlama kısmı arasında elektriksel izolasyon sağlanmıştır. Devrede anahtarlama kontrolü sürücü entegre ile yapılmıştır. LED sürücü devrenin çıkışına bağlanan bir manyetik denetimli bobin sayesinde çıkış gücü %50 oranında ayarlanabilir hale getirilmiştir. Böylece 22.5 kHz anahtarlama frekansında, 33 Watt çıkış gücüne sahip, düşük maliyetli, basit yapılı ve çıkış gücü %50 oranında ayarlanabilir LED sürücü devresi tasarlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: akım beslemeli, manyetik etkileşim, manyetik denetimli bobin, LED

JÜRİ: Doç. Dr. Selim BÖREKÇİ (Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Ali KIRÇAY
Yrd. Doç. Dr. S. Cumhur BAŞARAN

ABSTRACT

Nihal ÇETİN ACAR

M.Sc. Thesis in Electrical and Electronical Engineering

Supervisor: Doç Dr. Selim BÖREKÇİ

January 2014, 44 pages

DESIGN OF A CURRENT FED LED DRIVER WITH OUTPUT POWER DIMMING

In recent years, besides improvement of semiconductors technologies, given importance to energy efficiency is increasing rapidly. Usage of the LED in many areas is quite popular. Especially in illumination LED are preferred widely because of their long life time, low energy consumption and environment friendly. To use LEDs more efficiency driver circuit is quite substantial, thus many kinds of driver circuit designed.

In this study a current fed, parallel resonant LED driver circuit with %50 dimming, design is proposed. By the means of the designed circuit LEDs can be operated more efficiency and stable. Circuit input current is more constant and includes fewer harmonics because of the current fed technique. There is a coupled inductor in the resonant tank of circuit, with this coupled inductor electrical isolation ensured between power stage and the load. Switching control signals are ensured for MOSFET gate by a gate driver IC. By the means of the controlled inductor to connect out of the circuit, output power can be dimmed about %50. Thus, in 22.5 kHz switching frequency and 33 W output power, a low cost, more stable, simple structured and dimmable LED driver circuit is designed.

KEYWORDS: current fed, dimming, controlled-inductor, magnetically coupled, LED

COMMITTEE: Doç. Dr. Selim BÖREKÇİ (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Ali KIRÇAY

Yrd. Doç. Dr. S. Cumhuri BAŞARAN

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilimsel katkı ve yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr Selim Börekci'ye en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarında beden yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarım ile maddi manevi her zaman yanımda olan aileme ve eşime teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	4
2.1 Işık Yayan Diyot (LED-Light Emitting Diode)	4
2.2 LED Sürücü Devreleri.....	8
2.3 DC-AC Dönüştürücüler (İnverterler)	12
2.4 Temel DC/AC Dönüştürücülü Sürücü Devreleri	14
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1 Çıkış Gücü Ayarlı LED Sürücü Devrenin Tasarımı	15
3.1.1 LED Sürücü Devrenin Modellenmesi	15
3.1.2 LED Sürücü Devrenin Matematiksel Analizi	16
3.1.2.1 Akım Beslemeli Yarım Köprü AC/DC Dönüştürücü	16
3.1.2.2 Paralel Rezonans Devresi.....	19
3.1.2.3 Manyetik Etkileşimli Bobin Tasarımı	22
3.1.3 Sürücü Devre Anahtarlama Kontrolü.....	26
3.1.4 Manyetik Denetimli Bobin ile Çıkış Akımı Kontrolü.....	27
3.2 LED Sürücü Devrenin Benzetimi	30
3.3 LED Sürücü Devrenin Deneysel Uygulaması.....	32
3.3.1 Tasarlanan Sürücü Devrenin Baskı Devresinin Oluşturulması.....	32
3.3.2 LED Modülünün Oluşturulması.....	33
3.3.3 Tasarlanan LED Sürücünün Deneysel Analizi	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	38
5. SONUÇ	40
6. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	Manyetik etkileşimli bobin dönüşüm oranı
A_L	Endüktans faktörü, H
B_{max}	Maksimum manyetik alan şiddeti, Gauss
C_{in}	Giriş kondansatörü, F
C_r	Rezonans Kondansatörü, F
C_s	Diyak şarj kondansatörü, F
D_d	Diyak
D_1, D_2, D_3, D_4	Diyot
D_Z	Zener Diyot
f	Frekans, Hz
f_r	Rezonans frekansı, Hz
f_s	Anahtarlama frekansı, Hz
I	Akım, A
I_{rms}	Akımın ortalama değeri
L_p	Rezonans bobini primer endüktansı, H
L_s	Rezonans bobini sekonder endüktansı, H
L_{T1}	S_1 anahtarı tetikleme sargısı endüktansı, H
L_{T2}	S_2 anahtarı tetikleme sargısı endüktansı, H
L_{in1}, L_{in2}	Akım besleme bobini endüktansı, H
N	Sarım sayısı
N_p	Rezonans bobini primer sarım sayısı
N_s	Rezonans bobini sekonder sarım sayısı
$N_{T1, T2}$	Tetikleme sargıları sarım sayısı
P_{in}	Giriş gücü, W
P_o	Çıkış gücü, W
P_s	Depolanan güç
P_d	Harcanan güç
Q	Kalite faktörü
R	Direnç, Ω
$R_{yük}$	Yük Direnci, Ω
S_1, S_2	MOSFET güç anahtarları
T	Periyot, S
X_L	Bobin empedansı, Ω
V_{in}	Giriş gerilimi, V
V_s	Kaynak Gerilimi
V_f	Gerilim Düşümü

Kısaltmalar

LED	Light emitting diode(ışık yayan diyot)
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
EMI	Elektromanyetik etkileşim
MOSFET	Metal oksit yarıiletken alan etkili transistör
SAA	Sıfır akım anahtarlama
SGA	Sıfır gerilim anahtarlama



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. LED'in akım – gerilim karakteristiği.....	5
Şekil 2.2. LED'in temel eşdeğer devresi a-) İletim durumu eşdeğer devresi b-)Kesim durumu eşdeğer devresi.....	5
Şekil 2.3. LED çalışma akımı- ışık akısı karakteristiği.....	6
Şekil 2.4. LED çalışma akımı-ortam sıcaklığı karakteristiği	7
Şekil 2.5. LED'in termal direnç katmanları	7
Şekil 2.6. Pasif LED sürücü devre şeması	8
Şekil 2.7. Temel bir pasif LED sürücü devresi	9
Şekil 2.8. Aktif LED sürücü devre şeması.....	9
Şekil 2.9. Seri rezonans devresi basit gösterimi.....	10
Şekil 2.10. Empedans değerinin frekans ile değişimi	11
Şekil 2.11. Seri Rezonans dönüştürücülü aktif LED sürücü devresi	11
Şekil 2.12. Paralel rezonans devresinde empedansın frekans ile değişimi.	12
Şekil 2.13. DC-AC dönüştürücülerin temel gösterim	12
Şekil 2.14. a-) Gerilim beslemeli seri rezonans inverter b-) Akım beslemeli paralel rezonans inverter.	13
Şekil 2.15. Yaygın olarak kullanılan yarım köprü lamba sürücü devreleri	14
Şekil 3.1. Tasarlanması amaçlanan akım beslemeli, kendinden tetiklemeli yarım köprü paralel rezonans LED sürücü devresi.....	15
Şekil 3.2. Tasarlanması amaçlanan LED sürücü devresinde, anahtarlama gerilimleri ve anahtarlar üzerindeki gerilim dalga şekilleri.....	16
Şekil 3.1. Gerilim Beslemeli Yarım Köprü İnverter	17
Şekil 3.2. Yarım köprü DC/AC dönüştürücünün temel dalga şekilleri	18
Şekil 3.4. -a) Paralel rezonans dönüştürücü devresi. -b) Paralel rezonans eşdeğer devresi	20

Şekil 3.5. L_1 ve L_2 bobinleri manyetik etkileşimi temel gösterimi.	23
Şekil 3.6. IR2153 yarım köprü sürücü entegre devre şeması.....	27
Şekil 3.7. Manyetik denetimli bobin.....	28
Şekil 3.8. Değişken bobin değerinin uygulanan DC akıma göre değişimi	29
Şekil 3.7. Tasarlanan LED Sürücü Devrenin Pspice Benzetim Şeması.....	30
Şekil 3.8. LED Sürücü Devrenin Çıkış Akımı Dalga Şekli	31
Şekil 3.9. Tasarlanan LED sürücü devrenin çıkış gerilimi dalga şekli	31
Şekil 3.10. LED sürücü devrenin PCB şeması.....	32
Şekil 3.11. Tasarlanan LED sürücü devresi	33
Şekil 3.12. LED modülünün yapısı	33
Şekil 3.13. Tasarlanan LED sürücü devrenin çıkış gerilimi dalga şekli	34
Şekil 3.14. Değişken bobin en yüksek değerinde iken ölçülen LED akım ve gerilimi...35	
Şekil 3.15. Değişken bobin en düşük değerinde iken ölçülen LED akım ve gerilimi. ...36	
Şekil 3.16. Mosfet Drain-Source gerilimi ve darin akımı dalga şekilleri.	36
Şekil 3.17. a-) Manyetik denetimli bobin değerinin uygulanan DC akıma göre değişimi. b-) Çıkış akımının manyetik denetimli bobine uygulanan DC akıma göre değişimi.....	39
Şekil 3.18. a-) Sürücü devre çıkış gücünün frekansa anahtarlama frekansına göre değişimi. b-) Sürücü devre çıkış gücünün değişken bobine uygulanan DC akıma göre değişimi.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1: Yarım Köprü ve Tam Köprü Dönüştürücülerde Nüve Türüne Göre, Maksimum Akı Yoğunluğunda, Elde Edilebilecek Maksimum Çıkış Gücü	25
Tablo 3.2 Manyetik etkileşimli bobinin nüve özellikleri	25
Tablo 3.1 Devrenin Özellikleri ve Parametreleri	30
Tablo 4.1 Benzetim ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	38



1. GİRİŞ

Işık eski çağlardan beri insan hayatında önemli bir yer tutmaktadır. Zaman içinde gelişen teknoloji ve güneş ışığının yetersiz kalması insanları farklı ışık kaynakları bulmaya yöneltmiştir. Ateş ilk ışık kaynağı olarak keşfedilmiş, bitkisel yağların keşfedilmesiyle ateş mumla ve daha sonra çeşitli petrol ürünleriyle zenginlik kazanmıştır. 1800'lü yılların başında İngiltere'de ampulle ilgili çalışmalar başlamış ve 1879'da Thomas Alva Edison ilk Flamanlı ampülü bulmuştur. Akkor lambalarda ışığıyan madde olarak bambu, karbon, platin gibi maddeler denenmiş daha sonraları uzun ömürlü çözümler olarak cam ampuller vakumlanarak kararlı gazlar eklenmiştir. Daha sonraki yıllarda ampul teknolojisini daha fazla geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapıldı ve 1937 yılında florasan lamba ilk kez New York Dünya Fuarında insanlara tanıtıldı. Flüoresan çalışma prensibi bir ark lambasında, alçak basınçlı cıva buharının deşarjı ile oluşturulan morötesi ışınımın flüoresan etkili yüzeye temas ettirilerek görünür hale getirilmesi, şeklinde açıklanabilir. 20. Yüzyılın en önemli icatların biri olarak görülen flüoresan lambalar günümüze kadar sürekli geliştirilmiştir ve kullanımı yaygınlaşmıştır. Kullanım alanının çok fazla yaygınlaşması beraberinde birçok araştırma ve gelişmeyi de getirmiştir. Mekanik malzemeler, optiksel hesaplamalar, balast devreleri, sürücü devreler gibi birçok alanda araştırmalar yapılmıştır. Özellikle sürücü ve balast devreleri hakkında literatürde oldukça fazla çalışma yer almaktadır.

Günümüzde ise en popüler ışık kaynaklarından biri LED'ler yani ışık yayan diyotlardır. Gelişen teknoloji ile birlikte LED'lerin kullanım alanları oldukça artmıştır. Düşük enerji tüketimi, yüksek verimlilik, çevre dostu ve uzun ömürlü olma gibi birçok avantajı sayesinde, genel amaçlı aydınlatmanın yanında otomotiv sektöründen, bilgisayar teknolojilerine ve endüstriyel ürünlerin tasarımına kadar aydınlatmaya ihtiyaç duyulan tüm alanlarda kullanışlı hale gelmiştir. İlk LED 1907 yılında icat edilmiş ancak 1960'lı yıllarda ticari olarak kızılötesi LED'ler piyasada yer almaya başlamıştır. Beyaz ve yüksek güçlü LED'ler çok yakın tarihte 1996'dan sonra ticari olarak üretilmeye başlamıştır. Bu kadar geniş alanda kullanılabilir olması kullanım teknolojilerinin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Özellikle aydınlatma alanında LED'lerin daha verimli kullanımı için birçok sürücü devre çeşidi geliştirilmiştir.

Kullanılan sürücü tipleri genel olarak pasif ve aktif sürücü devreler olarak ikiye ayrılırlar. Pasif sürücüler yarı iletken anahtarlama elemanı içermezler ve bu devrelerde anahtarlama kontrol devresine ihtiyaç duyulmaz. Yapıları basit olduğunda maliyetleri de düşüktür (Chen vd 2010, Hui vd 2010). Bu avantajlarının yanında boyutlarının büyük olması ve genellikle elektrolitik kondansatör bulundurmaları gibi dezavantajları da vardır. Bu durumda devrenin güç kayıpları artar, kararlılığı ve ömrü azalır. Elektrolitik kondansatör nedeniyle genellikle devrenin çıkış gerilim bir parça dalgalı olabilir. Çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için geri besleme devresine ihtiyaç duyulur (Michael 2004, Lam vd 2008). Bu yöntem de büyük olan devre boyutlarının daha da artmasına ve paralelinde maliyetin de yükselmesine neden olur.

Aktif LED sürücüleri anahtarlama modda çalışan LED sürücülerdir. Genellikle LED'e sabit DC akım uygulanan birçok çeşidi mevcuttur. Buck, boost ve flyback gibi DC-DC dönüştürücü tipleri ucuz maliyetli ve basit yapıları nedeniyle oldukça fazla tercih edilir ancak bu tip dönüştürücülerde devre giriş ve çıkışı birbirinden

bağımsız değildir. Çıkış akımı giriş gerilimine bağlı olarak değişir ve çok sayıda çıkış akımı aralığı elde edilemez. Çıkış akım seviyeleri bakımından flyback dönüştürücü daha avantajlıdır ancak transformatör kaçak empedansı nedeniyle snubber devresine ihtiyaç duyulabilir (Abramovitz vd 2013). Yapılan bazı araştırmalarda AC akım ile sürülen LED'lerden daha yüksek ışık şiddeti elde edildiği ifade edilse de LED sürücü devrelerde genellikle DC akım sağlayan devreler tercih edilmiştir, (Chang ve Lai 2007). AC sürücülerde çıkış akımı sinüzoidal olduğundan, akımın en yüksek değeri daha fazla olabilir ve bu da daha parlak ışık şiddeti elde edilmesini sağlar, ancak bu akım yükselişleri çok kısa süreli ve fazla olduğundan kararlı bir ışık şiddeti elde edilemeyebilir, ayrıca yüksek akım artışları LED ömrünü kısaltabilir.

Rezonanslı LED sürücü devrelerinde anahtarlama frekansı oldukça yüksektir ve bu nedenle anahtarlama kayıpları azdır ve devrenin boyutları daha küçüktür. Rezonans devrelerinde çıkış akımı giriş geriliminden bağımsızdır ve çıkış akımı seviyesi aralığı oldukça geniştir. Rezonans devreli LED sürücülerinin verimi geleneksel dirençli LED sürücülere göre daha fazladır (Chansri 2011, Shrivastava ve Singh 2012). Çıkış akımının istenilen aralıkta elde edilebilmesi LED sürücü devrelerinde oldukça önemli bir özelliktir. LED'ler lineer olmayan bir yapıya sahiptir bu nedenle çok küçük akım değişimlerine karşı oldukça duyarlıdır. Çalışma gerilimindeki çok küçük bir değişiklik çalışma akımında büyük değişimlere neden olabilir ve bu da LED'in kararlı çalışmasını olumsuz yönde etkileyerek ışık şiddetinde ani değişimlere yol açar. Daha sabit, kırışmasız bir ışık şiddeti elde edebilmek için kullanılan LED sürücünün akımı oldukça kararlı olmalıdır.

Aydınlatmada alanında kullanılmak üzere tasarlanan devrelerde en popüler uygulamalardan biri de ışık şiddeti ayarı için kontrol devresi tasarımıdır. Enerjinin verimli kullanılabilmesi açısından bu oldukça önemlidir, fazla ışığa ihtiyaç olmadığı durumlarda ışık şiddetinin isteğe göre ayarlanabilmesi ile gereksiz enerji tüketimini engellenmiş olur. Giriş gerilimi, anahtarlama frekansı gibi çıkış akımına etki edebilecek parametrelerin değiştirilmesi ile ışık şiddetinin ayarlanması birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmıştır. Anahtarlama frekansının değiştirilmesi çoğu zaman tercih edilen bir çözüm olmakla birlikte, rezonanslı devrelerde rezonans frekansının değişimine neden olabilir, ayrı bir kontrol geri besleme devresi gerektiğinden devrelerin yapısı oldukça karmaşık olmaktadır. Bunun yanında, frekans değişimleri devrede EMI problemlerinin oluşturmaktadır.

Giriş voltajını değiştirerek çıkış akımının kontrolü de sıklıkla kullanılan bir başka yöntemdir. Ancak giriş akımının değiştirilebilmesi için devre girişinde değişken DC gerilim üretebilen bir dönüştürücü devre bulunmalıdır. Devre girişine ek bir dönüştürücü devre bağlanması, sürücü devrenin boyutlarının, maliyetinin ve güç kayıplarının artmasına neden olmaktadır.

Işık şiddeti ayarı, Medini'nin (1998) çalışmasında yük dengeleyici olarak kullandığı manyetik denetimli bobin ile yapılabilir. Aynı nüve üzerine iki farklı sarım uygulanarak tasarlanan bobindeki, sarımlardan birine DC akım uygulandığında, diğer sarımın endüktans değeri değişmektedir. Bu endüktanstaki değişim çıkış akımını değiştirerek LED parlaklığını değiştirmektedir. Çıkış akımı değişimi, giriş geriliminden ve anahtarlama frekansından bağımsızdır, ayrıca her endüktans değişiminin ile rezonans

frekansı da değiştiğinden, devre yine sabit çıkış akımı ile çalışmaya devam etmektedir (Berekci ve nc 2008).

Bu alışmada LED'in kararlı ve verimli bir Şekilde çalışmasını sağlamak için akım beslemeli, paralel rezonans, çıkış akımı ayarlanabilir bir LED sürücü devresinin tasarlanması amaçlanmıştır. Tasarlanan devrede akım beslemeli yarım köprü paralel rezonans inverter, MOSFET sürücü kontrol devresi ve manyetik denetimli bobin ile LED modülü kısımlarından oluşmaktadır. Tasarlanan sürücü devrenin anahtarla frekansı 25 kHz, maksimum giriş gerilimi 400 volt ve ortalama çıkış akımı 350 mA seviyesindedir. ıkış gücü 33 Watt'tır ve 33 adet seri bağlı LED'i sürmek üzere tasarlanmıştır.



2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Gündelik hayatta enerji tüketimi göz önüne alındığında aydınlatma kaynakları düzenli olarak kullanılmakta ve toplam tüketim içerisinde oldukça önemli yer tutmaktadır. Ülkemizde toplam enerji tüketimi göz önüne alındığında aydınlatmada harcanan enerji toplam enerji tüketiminin yüzde 20'sini oluşturmaktadır (Onaygil vd 2005). Bu nedenle aydınlatmada verimli ürünlerin kullanılması önem kazanmıştır. Son dönemlerde oldukça fazla kullanılan LED lambalar, florasan ve akkor flamanlı lambalara göre oldukça tasarruflu ve uzun ömürlüdür. Florasan ve kompakt florasanlar ampullere göre daha tasarruflu sayılabiliyor ancak elektromanyetik ışınlarından dolayı insan sağlığını zarar vermektedir. Ayrıca ultraviyole ışımaya yaparak göz ve cilt sağlığını da zarar vermektedir. Aydınlatmada enerji tasarrufu sağlamak ve insan sağlığını korumak için LED kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Verimli ve sağlıklı bir ışınım elde edebilmek için LED'in kararlı çalışması gerekmektedir. LED'in kararlı bir şekilde çalıştırılabilmesi için sürücü devre seçimi oldukça önemlidir. Bu çalışmada da LED'i verimli bir şekilde çalıştıracak, uygun maliyetli ve basit yapıda bir sürücü devre tasarlanması amaçlanmıştır.

2.1 Işık Yayan Diyot (LED-Light Emitting Diode)

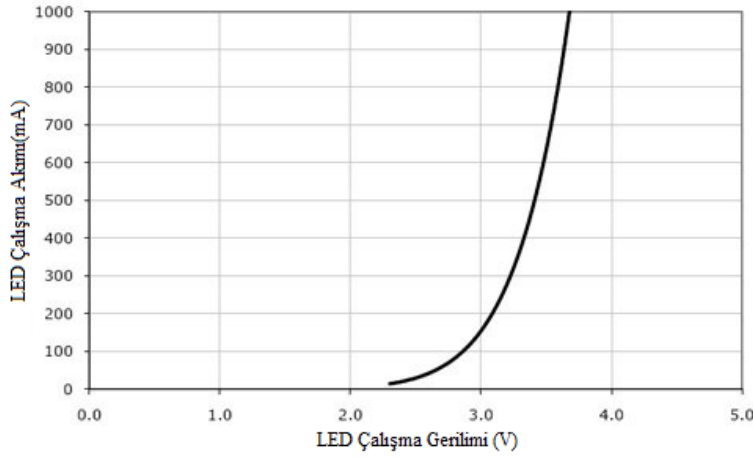
LED ana maddesi silikon olan, elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren yarı iletken bir elemandır. Bu yarıiletken elemanlar görünür ışık, kızılötesi, mor ötesi gibi çeşitli dalga boylarında, yüksek parlaklıkta ışık verebilme özelliğine sahiptir. LED'in en önemli kısmı olan LED çipi, ışığın belli bir doğru yayılmasını sağlar ayrıca LED çipinin içeriğinde bulunan kimyasal katkı maddelerine göre de ışık rengi değişir. Çeşitli ışık renkleri elde etmek üzere, galyum, arsenik, fosfat, alüminyum, indiyum gibi kimyasallar kullanılır. Kullanılan kimyasal bileşenin yapısına göre farklı dalga boyunda ışınım elde edilir.

LED direnci üzerinde geçen akıma göre değişiklik gösterir ve bu nedenle dinamik dirençli olarak nitelendirilir.(1.2)'de olduğu gibi gösterilir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi dinamik direncin yapısı lineer olmaktan oldukça uzaktır ve akım değişimlerine büyük hassasiyet gösterir. LED üzerinde harcanan güç akım ve gerilime bağlı olarak (1.1)'de olduğu gibi elde edilir.

(1.1)

$$P = V \times I$$

$$R_{LED} = \frac{V_s - V_f}{I} \quad (1.2)$$

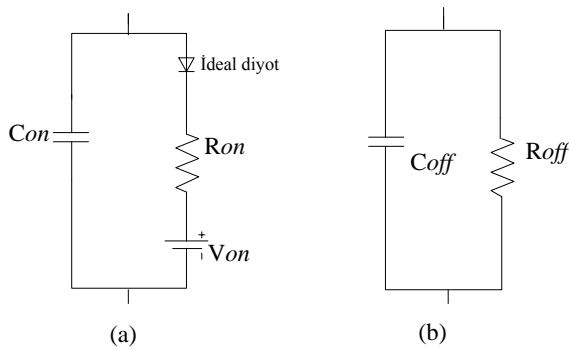


Şekil 2.1. LED'in akım – gerilim karakteristiği.

Led'in performansının belirlenmesinde dört ana kıstas vardır.

- Parlaklık,
- Renk,
- Kullanım süresi ve
- Işık dağılımıdır.

Performans renk açısından değerlendirildiğinde renk sıcaklığı ve tutarlılığı mümkün olan en uygun değerde olmalı gözü çok yormamalıdır, genellikle üretim aşaması ile ilgidir. Işık dağılımı da yine üretimle alakalı olup, LED'in ışık yönünün, tek ya da çok yönlü olmasını kapsar, daha çok LED çipinin özelliğine bağlıdır. Parlaklık ve kullanım süresi kıstaslarında ise her ne kadar üretim aşaması da etkili olsa, LED'in kullanım koşulları, maruz kaldığı akım ve gerilim değerleri de oldukça önemlidir (Philips 2010).

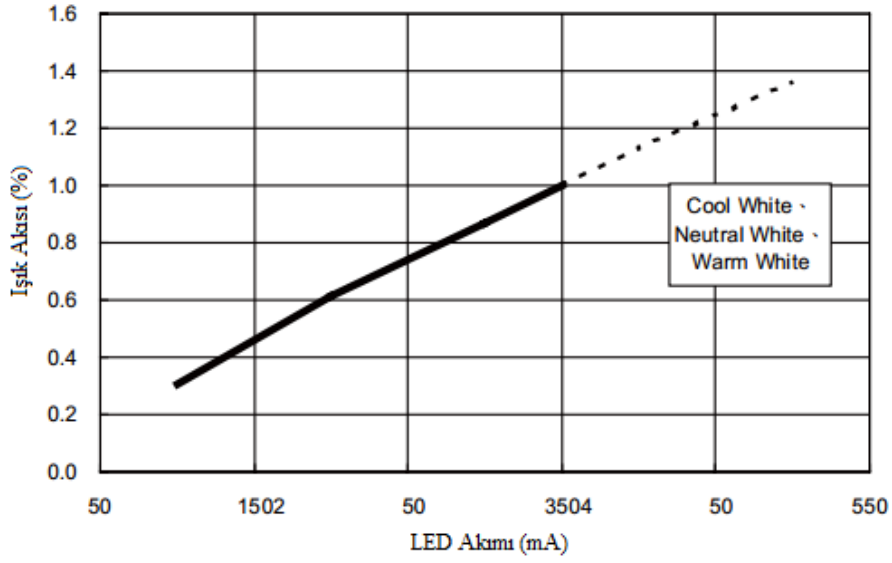


Şekil 2.2. LED'in temel eşdeğer devresi a-) İletim durumu eşdeğer devresi b-)Kesim durumu eşdeğer devresi

Şekil 2.2.'de LED'in iletim ve kesim durumlarındaki basitleştirilmiş eşdeğer devresi görülmektedir. Şekil 2.2, a-)da olduğu gibi iletim durumunda eşdeğer devre sabit DC gerilim kaynağı, ideal diyot ve bir kondansatörden oluşmaktadır. İletim durumunda C_{ON} kondansatörünün empedansı R_{ON} 'dan oldukça büyüktür, akım R_{ON} ve

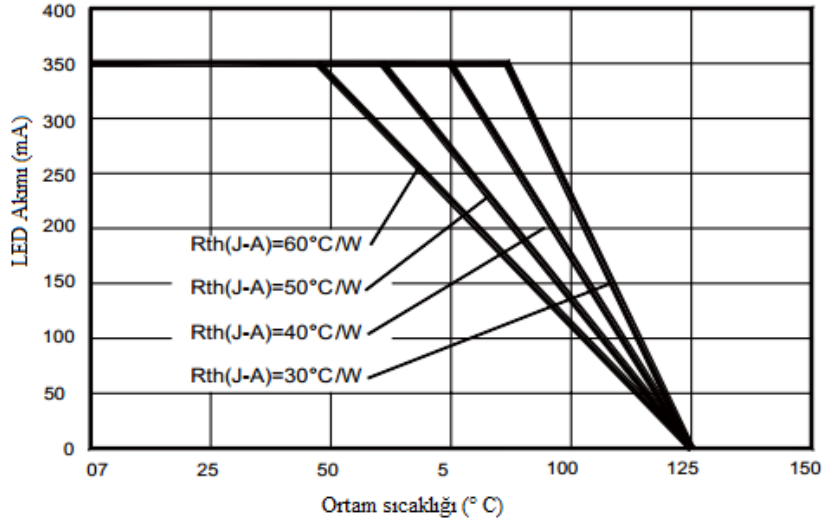
ideal diyot üzerinden akar. Kesim durumunda ise R_{OFF} direnci C_{OFF} kondansatörünün empedansından oldukça büyüktür ve üzerinden akım akmaz bu durumda LED yanmaz (Chao vd 2010, Yu-sheng vd 2011).

LED'den istenilen parlaklıkta ışık şiddeti elde etmek için sürücü devreler kullanılır. Sürücü devrenin çıkış akım ve gerilim değerine göre LED'in çalışma noktası değişir. Akım - gerilim karakteristiğinde görüldüğü gibi LED'in lineer olmayan yapısı nedeniyle akım değişimlerine karşı oldukça duyarlıdır, uygulanan akımın oldukça kararlı ve sabit olması gereklidir (Edison-opto 2011). Az miktardaki gerilim dalgalanması bile LED akımında büyük değişikliğe yola açar.



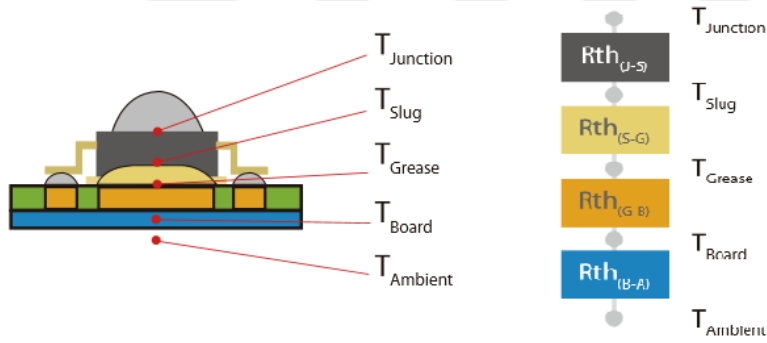
Şekil 2.3. LED çalışma akımı- ışık akısı karakteristiği

Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi LED'den elde edilen ışık şiddetinin yoğunlu çalıştırma akımı ile doğru orantılıdır. Akım ve ışık şiddeti arasında doğrusala oldukça yakın bir ilişki vardır LED'in en parlak seviyeye ulaştığı 350 mA seviyesine kadar akım arttıkça ışık şiddeti de artar ancak akımın daha fazla artması LED'in aşırı ısınarak tahrip olmasına neden olur. Bunun yanında LED akımındaki değişiklikler ışık şiddetinin değiştirerek kırışımalara neden olur, bu durum hem sağlıklı aydınlatmada istenmeyen bir durumdur hem de LED çalışma ömrünü kısaltır.



Şekil 2.4. LED çalışma akımı-ortam sıcaklığı karakteristiği

LED'in çalışma akımında sıcaklığında etkisi önemlidir. Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi sıcaklığının artması LED'in çalışma akımını olumsuz etkileyerek verimi düşürür.



Şekil 2.5. LED'in termal direnç katmanları

LED'in sağlıklı bir şekilde çalıştırılabilmesi için çalışma sıcaklığının önemi büyüktür. Çalışma sıcaklığını etkileyen faktörler Şekil 2.5'deki gibidir, ortam sıcaklığı, kart sıcaklığı, bağlantı noktası sıcaklığı gibi etkenler çalışma sıcaklığını etkileyerek ışık şiddetinin değişmesine neden olabilir.

$$R_{th(J-A)} = R_{th(J-S)} + R_{th(S-G)} + R_{th(G-B)} + R_{th(B-A)} \quad (1.2)$$

$$T_{Junction} = T_{Ambient} + R_{th(J-A)} + P_{Dissipation} \quad (1.3)$$

$$T_J = T_A + R_{th(J-A)} + P_{Dissipation} \quad (1.4)$$

Bağlantı noktası sıcaklığı ara katmanların sıcaklıkları toplandığında (1.3)'de olduğu gibi elde edilir. Termal direnç değerleri genellikle LED'in teknik dokümanlarında mevcuttur, ortam sıcaklığı, çalışma akım ve gerilimi bilindiği takdirde bağlantı noktası sıcaklığını hesaplamak mümkündür. Böylelikle uygun sıcaklıkta güvenli ve uzun ömürlü kullanım sağlanmış olur.

LED karakteristikleri incelendiğinde performansı etkileyen faktörlerin doğrudan çalışma akımını etkilediği görülmektedir. LED'in uygun koşullarda çalıştırılabilmesi için sabit akım ile sürülmesi oldukça önemlidir. Bundan dolayı, sürücü devre tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri çıkış akımının mümkün olduğunca sabit olmasıdır.

2.2 LED Sürücü Devreleri

LED'in lineer olmayan akım-gerilim karakteristiğinin dolayı çalışma gerilimi dalgalanmasını engellemek, daha kararlı bir ışık şiddeti elde etmek amacıyla çeşitli sürücü devreleri geliştirilmiştir. LED sürücü devrelerinde bulunması gereken en önemli kısıtlar şunlardır;

- Sabit akım
- Yüksek verim
- Güvenirlik ve kararlılık
- Koruma

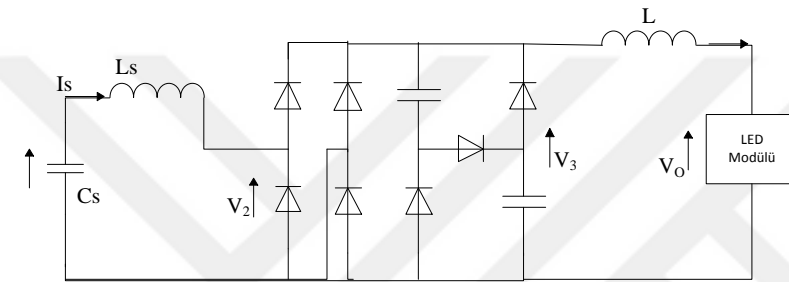
Sürücü akımının en sabit olduğu durumda güvenli, kararlı ve yüksek verimli çalışma sağlanmış olur. Sabit akımla çalışan LED'de daha az enerji kaybı, yani daha az ısınma meydana gelir, bu da daha uzun ömürlü kullanım anlamına gelir. İyi bir sürücü devrede yalnızca çıkış akımı ve gerilimi dikkate alınarak tasarım yapılmamalıdır, çünkü LED ömrünü ve çalışma düzenini, kararsız çalışma akımı kadar şebekenin olumsuz etkileri ve yalıtım problemleri de etkilemektedir. Güvenilirlik açısından sürücünün, şebekenin olumsuz etkilerine karşı korunması da önemlidir. Ayrıca anormal durumlarda devrenin kendi kendini de korumaya alması gerekmektedir.

LED sürücüler genellikle aktif ve pasif sürücüler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Şekil 2.6.'da gösterilen pasif LED sürücüleri devre yapılarının basit olmaları, yarı iletken anahtarlama elemanı ve anahtarlama kontrol devresi gerektirmemesi gibi avantajlara sahiptir.



Şekil 2.6. Pasif LED sürücü devre şeması

Pasif sürücüler genel de AC gerilimin doğrultulması ve uygun filtre devresi ile dalgalanması azaltılarak, LED'in sürülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu türlü devrelerde çıkış akımı yeterince sabit olmamak ile birlikte filtre amaçlı elektrolitik kondansatörler kullanılmakta veya Şekil 2.7'deki gibi karmaşık yapıları valley-filled devrelerinin kullanılması gerekmektedir. Elektrolitik kondansatörler devrenin boyutlarını hantallaştırarak LED ömrünün de kısalmasına neden olmaktadır (Tse vd 1996, Jinrong vd 1998). Çıkış akımındaki dalgalanma seviyesinde, genellikle insan gözünün algılayıp algılamadığı kıstası göz önünde bulundurulmuştur ve insan gözünün algılayamadığı dalgalanmalar normal kabul edilmiştir. Bu durum her ne kadar uygulanabilirlik açısından uygun olsa da tolerans gösterilen dalgalanmalar LED'in kullanım süresini etkilemekte genel anlamda maliyeti yükseltmektedir. Bu nedenle genellikle kullanım ömrünün daha uzun, ışık şiddetinin daha kararlı olduğu anahtarlamalı devreler tercih edilmektedir.



Şekil 2.7. Temel bir pasif LED sürücü devresi

Aktif LED sürücülerde Şekil 2.8'de görüldüğü gibi çıkış kısmında anahtarlamalı modda çalışan bir dönüştürücü devre bulunmaktadır. Bu dönüştürücü kısmında LED'e sabit DC akım uygulayan alçaltıcı, yükseltici, flyback, gibi dönüştürücüler yaygın olarak kullanılmaktadır (Soares vd 2012). Yapıları basit ve çıkış akımı sabit DC olduğundan sürücü devrelere iyi bir alternatif olabilir. Ancak bu DC-DC doğrultucularında çıkış akımı ile giriş gerilimi birbirinden bağımsız değildir. Bu nedenle çıkış akımı farklı aralıklarda elde edilemez. Alçaltıcı ve yükseltici tip devrelerde devre çıkışı yalıtımlı olmadığından devrede koruma sorunu meydana gelebilir.



Şekil 2.8. Aktif LED sürücü devre şeması

Rezonans dönüştürücülerde anahtarlama frekansı oldukça yüksektir. Devreler küçük ve hafiftir, giriş voltajı oldukça fazla ve verim yüksektir. Rezonans devrelerde çıkış akımı giriş geriliminden bağımsız olduğundan, devre akım kontrolsüz, akım kaynağı gibi kullanılabilir. Bu sayede farklı aralıklarda çıkış akımı elde edilebilir. Bu avantaj LED performansı açısından en önemli kıstas olan sabit akım prensibi için de oldukça uygundur.

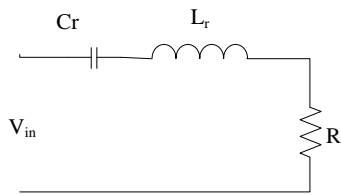
Yüksek frekans aralıklarında çalışabilen rezonans devreleri endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektronik balastlar, indüksiyon ısıtma, DC gerilim kaynakları, yaygın kullanım alanlarından bazılarıdır. Rezonans devrelerin en önemli avantajları şu şekildedir;

Sıfır akım anahtarlama(SAA-ZCS)
Sıfır gerilim anahtarlama(SGA-ZVS)

Anahtarlama gücü elektroniği devrelerinde yarı iletken anahtarlama elemanı frekansla alakalı olarak kesim ve iletim durumlarında olur. Her bir iletim veya kesime geçme durumunda eleman üzerinde bir güç kaybı oluşur. Bu kayıplar anahtarlama kayıpları olarak adlandırılır. Devrelerde anahtarlama frekansı arttıkça, iletim ve kesime geçme durumu da sıklaşır ve bu yüzden anahtarlama kayıpları da artar. Kayıplar devrenin verimini düşürmekle birlikte, anahtarın aşırı ısınmasına neden olarak devrede istenmeyen durumlar oluşturabilir. SAA ve SGA yöntemleri ile bu anahtarlama kayıpları büyük oranda azaltılarak devrenin oldukça yüksek güç ve frekanslarda güvenli çalışması sağlanır. Ancak yüksek akım ve gerilim değerlerinden dolayı SGA ve SAA yöntemlerinin uygulamaları bir miktar zordur (Bodur 2010). Rezonans devreleri seri rezonans ve paralel rezonans olmak üzere ikiye ayrılır.

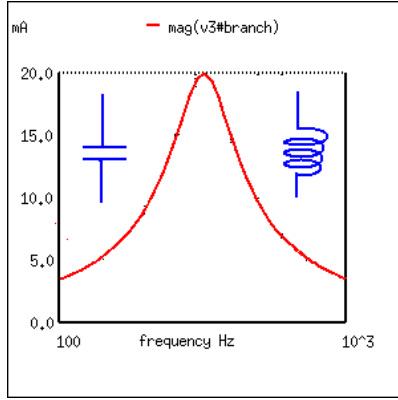
a) Seri Rezonans Devreleri

Seri rezonans devreleri Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi bir direnç, kondansatör ve bobinin seri bağlanmasıyla oluşur. Seri rezonans devresinde devre empedansı rezonans frekansında çok küçüktür yani devre tamamen omiktir denilebilir. Rezonans frekansından uzaklaştıkça empedans değeri artar. Rezonans frekansının altındaki frekanslarda kondansatörün empedansı, bobin empedansından daha büyük olduğundan çıkış empedansı kapasitif durumdadır. Rezonans frekansının üzerinde bobin empedansı daha büyük olduğundan çıkış empedansı indüktif durumdadır.



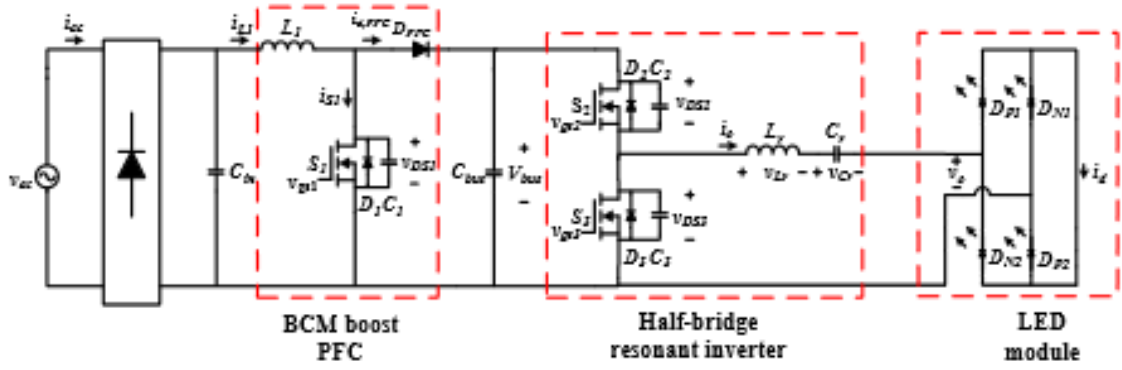
Şekil 2.9. Seri rezonans devresi basit gösterimi

Şekil 2.10.'de görülen devrenin rezonans eğrisi olup bu eğrinin şeklini Q- Kalite faktörü belirler. Q kalite faktörü devrenin rezonans kalitesi olarak da tanımlanabilir.



Şekil 2.10. Empedans değerinin frekans ile değişimi

Şekil 2.11’de aktif LED sürücü olarak sınıflandırılan bir seri rezonans dönüştürücülü sürücü devre görülmektedir.

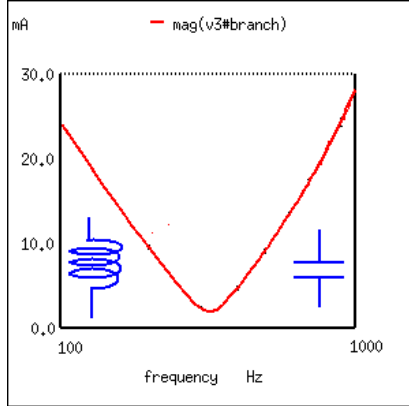


Şekil 2.11. Seri Rezonans dönüştürücülü aktif LED sürücü devresi

b) Paralel Rezonans Devresi

Paralel rezonans devresi Şekil 2.5.’deki temel DC-DC dönüştürücü devresinde olduğu gibi bir direnç, kondansatör ve bobinin paralel bağlanmasıyla oluşmuştur. Paralel rezonans devreleri genellikle düşük gerilim ve yüksek akımlı devrelerde tercih edilir. Çıkış bobini genellikle akımdaki dalgalanmaları filtreleyerek çıkışta daha sabit bir akım elde edilmesini sağlar.

Paralel rezonans devrelerinde devrenin empedansı rezonans frekansında en yüksek değerini alır ve rezonans frekansından uzaklaştıkça azalır. Bu yüzden rezonans frekansında devre akımı en yüksek değerini alır, rezonans frekansından uzaklaştıkça azalır. Paralel rezonans devresinin akım frekans ilişkisi Şekil 2.12. ‘de gösterildiği gibidir.

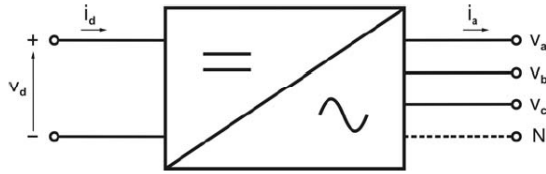


Şekil 2.12. Paralel rezonans devresinde empedansın frekans ile değişimi.

Paralel rezonans devreleri indüksiyon ısıtma, kaynak cihazları, led sürücü, kondansatör ve akü şarj devreleri gibi uygulamalarda dönüştürücü devrelerle birlikte, sabit akımlı güç kaynağı gibi kullanılırlar. Paralel rezonanslı devrelerde çıkış akımı yüke bağlı olarak değişebilir, değişken yüklü uygulamalarda anahtarlama frekansı, rezonans frekansına eşit olduğu durumlarda çıkış akımı ile yük tamamen bağımsız olur ve akım dalgalanmaları olmaz (De falco vd 2012). Bu yüzden sabit akım çıkışının önemli olduğu uygulamalarda paralel rezonans devreleri iyi bir alternatif olabilir.

2.3 DC-AC Dönüştürücüler (İnverterler)

DC elektrik enerjisine AC'ye dönüştüren devreler DC-AC dönüştürücü (inverter) olarak adlandırılır, çalışma prensipleri Şekil 2.9'de görüldüğü gibidir. Bu dönüştürücülerin, motor kontrolü, kesintisiz güç kaynakları, güneş enerjisi uygulamaları, elektronik balastlar, aktif güç şebeke filtreleri gibi oldukça yaygın kullanım alanları bulunmaktadır. DC-AC dönüştürücülerde SCR, BJT, MOSSFET, IGBT gibi kontrollü anahtarlama elemanları kullanılır. Anahtarlama kontrolünde PWM anahtarlama tekniği en sık kullanılan teknikler arasındadır. Anahtarlama kontrolü sayesinde çıkış geriliminin frekansı istenilen aralıkta elde edilebilir. Ancak bu kontrol devresine ve yöntemine bağlı olarak çıkış harmonikleri ve devre girişinde dalgalanmalar oluşabilir. DC-AC dönüştürücüler çeşitli açılardan sınıflandırılmıştır (Bodur 2010).



Şekil 2.13. DC-AC dönüştürücülerin temel gösterim

DC Giriş Kaynağına Göre

Gerilim Beslemeli Dönüştürücüler
Akım Beslemeli Dönüştürücüler

Faz Sayısına Göre

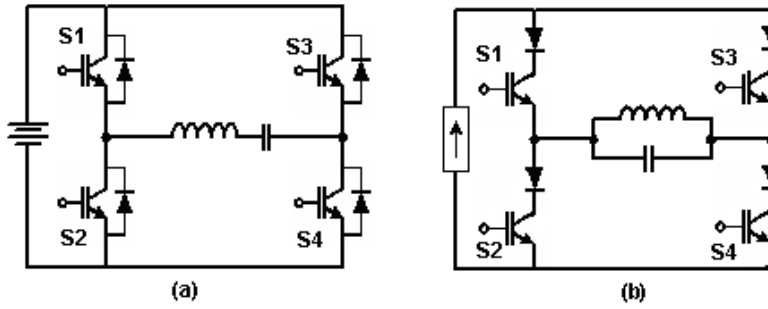
Tek Fazlı Dönüştürücüler
Üç Fazlı Dönüştürücüler

Anahtarlama Kontrol Türüne Göre

Kare Dalga Dönüştürücüler
Boşluklu veya Kısmi Kare Dalga Dönüştürücüler
PWM Dönüştürücüler

Devre Yapısına Göre

Tam Köprü Dönüştürücüler
Yarım Köprü Dönüştürücüler
Push Pull Dönüştürücüler



Şekil 2.14. a-) Gerilim beslemeli seri rezonans inverter b-) Akım beslemeli paralel rezonans inverter.

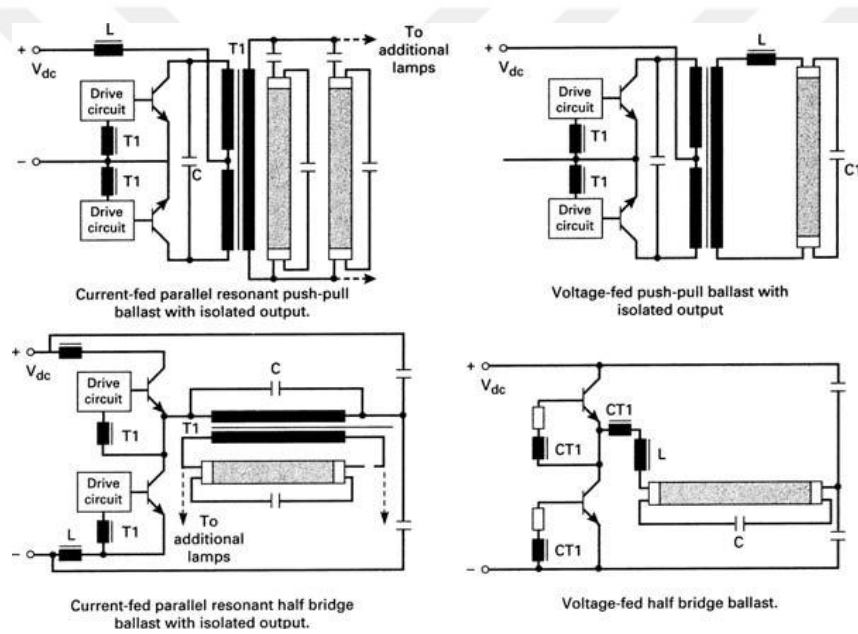
Şekil 2.14'da gerilim beslemeli seri rezonans dönüştürücü ve akım beslemeli paralel rezonans dönüştürücü temel devre şekilleri gösterilmektedir. Gerilim beslemeli seri rezonans dönüştürücüler, basit ve ucuz maliyetli olmalarının yanında ilk çalışma anında oluşabilecek yüksek gerilimlere ve geçici akımlara karşı korumalı olmaları sebebiyle oldukça yaygın kullanılmaktadır. Ancak gerilim beslemeli dönüştürücülerde başlangıç akımı yükün çalışma akımından yaklaşık 5 ila 10 kat daha fazladır ve yükü kısa devre durumundan korumayı zorlaştırır.

Ayrıca gerilim beslemeli seri rezonans dönüştürücülerde voltaj kazancı, kalite faktörü ile bağıntılı olduğundan rezonans frekansına yaklaşıldıkça çıkış geriliminde istenmeyen artışlar olabilir, akım beslemeli paralel rezonans dönüştürücüde gerilim kazancı kalite faktörüne bağlı olmadığından çıkışta istenmeyen gerilim artışları yaşanmaz (Faa-jeng vd 1999).

Akım beslemeli devrelerde başlangıç akımı daha düşük ve sabittir, anahtarlar kesim durumunda iken voltaj stresi oluşmaz. Akım beslemeli devrelerde çıkış akımı daha sinüzoidal ve sabittir. Bu nedenle sabit akımlı uygulamalarda daha fazla tercih edilmektedir (Pressman 2009). Bu çalışmada da LED akımının mümkün olduğu kadar sabit olması istenildiğinden, basit yapısı ve düşük anahtar kesim gerilimine sahip yarım köprü, akım beslemeli bir DC-AC dönüştürücü tasarlanması amaçlanmıştır.

2.4 Temel DC/AC Dönüştürücülü Sürücü Devreleri

DC-AC yarım köprü dönüştürücüler kolay yapıları, ucuz maliyetleri ve dayanıklılığı gibi özellikleri nedeniyle, 220 volt girişli elektronik balastlarda yaygın olarak kullanılırlar. Çıkışı kare dalga olan yarım köprü dönüştürücüdün sinüsoid çıkış sinyali elde etmek için rezonans devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Rezonans devresi ile anahtarlama kayıplarının azaltılması, anahtarın kesim durumunda, yüksek kesim geriliminden korunması gibi avantajlar da sağlanmaktadır.



Şekil 2.15. Yaygın olarak kullanılan yarım köprü lamba sürücü devreleri

Yaygın olarak kullanılan yarım köprü sürücü devreler Şekil 2.9'daki gibi akım beslemeli ve gerilim beslemeli olarak iki farklı modele sahiptir. Akım beslemeli olan devrede Şekil 2.9. -a)'da görüldüğü gibi fazladan iki adet bobin yer almaktadır. Ancak daha önce de bahsedildiği gibi akım beslemeli devrede kesim anında, anahtarlar üzerindeki gerilim daha düşüktür ayrıca, gerilim beslemeli devrelerde başlangıç anında, çalışma akımının 5 ila 10 katı kadar yüksek akım geçişleri görülebildiğinden, yükü kısa devre durumlarına karşı korumak zordur.

Akım beslemeli devrelerde çıkış akımı ideal sinüzoidde daha yakın olduğu için daha yüksek verim elde edebilmek ve aynı anda daha fazla paralel LED sırasını çalıştırabilme imkanı göz önünde bulundurulduğu için bu çalışmada yarım köprü paralel rezonans DC-AC dönüştürücü devre tercih edilmiştir.

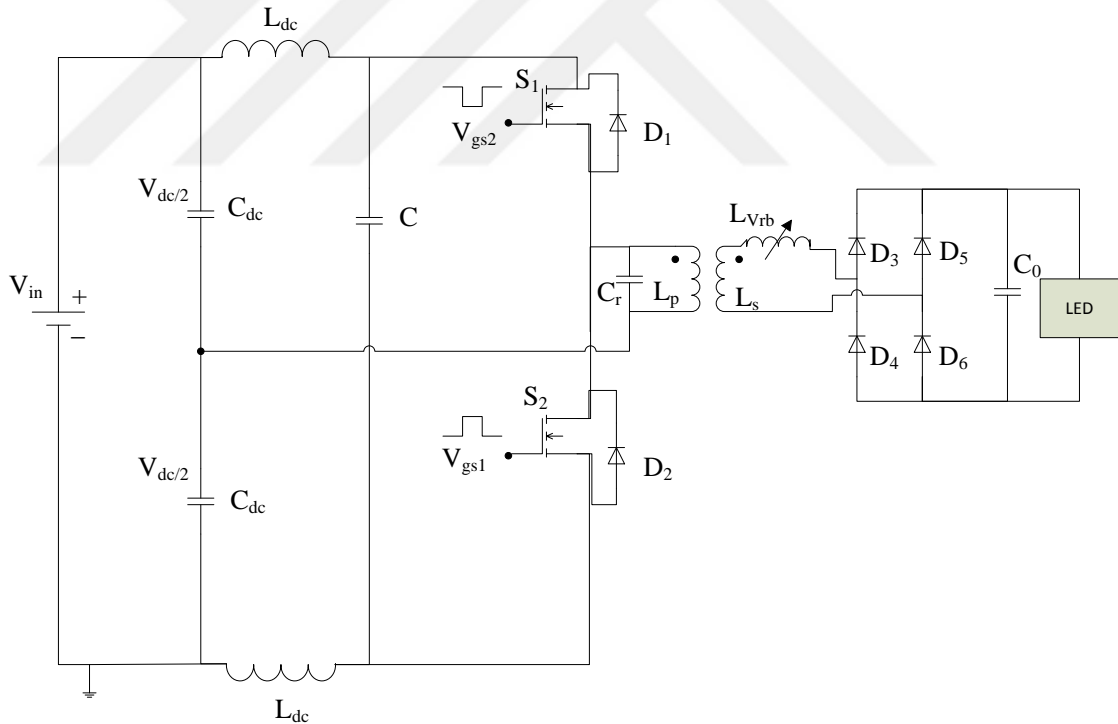
3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada 33 W çıkış gücüne sahip, 22.5 kHz çalışma frekansında, 400 V giriş gerilimi ve 99 V çıkış gerilimine sahip, akım beslemeli, çıkış akımı ayarlı yarım köprü paralel rezonans LED sürücü devresi tasarlanmıştır. Sürücü devrede yük olarak, 33 adet seri bağlı Edixeon A-1 serisi LED bulunan paralel iki kol bulunmaktadır. Sürücü devrenin 400 Volt DC giriş gerilimi ayarlı DC kaynaktan sağlanmıştır. Sürücü devrenin DC-AC dönüştürücü kısmı, yarım köprü paralel rezonans dönüştürücüden oluşmaktadır. Çıkış akımı bir tam köprü doğrultucu ve kondansatör ile doğrultularak daha sabit bir şekilde LED modülüne aktarılmıştır. Rezonans bobinin sekonderine seri bağlanan manyetik denetimli bobin ile çıkış akımı değiştirilerek LED modülün ışık şiddeti %50 oranında ayarlanabilir hale getirilmiştir. Sürücü devrenin, dönüştürücü kısmına ve kontrol yöntemine ait detaylı bilgi sonraki bölümlerde verilmiştir.

3.1 Çıkış Gücü Ayarlı LED Sürücü Devrenin Tasarımı

3.1.1 LED Sürücü Devrenin Modellenmesi

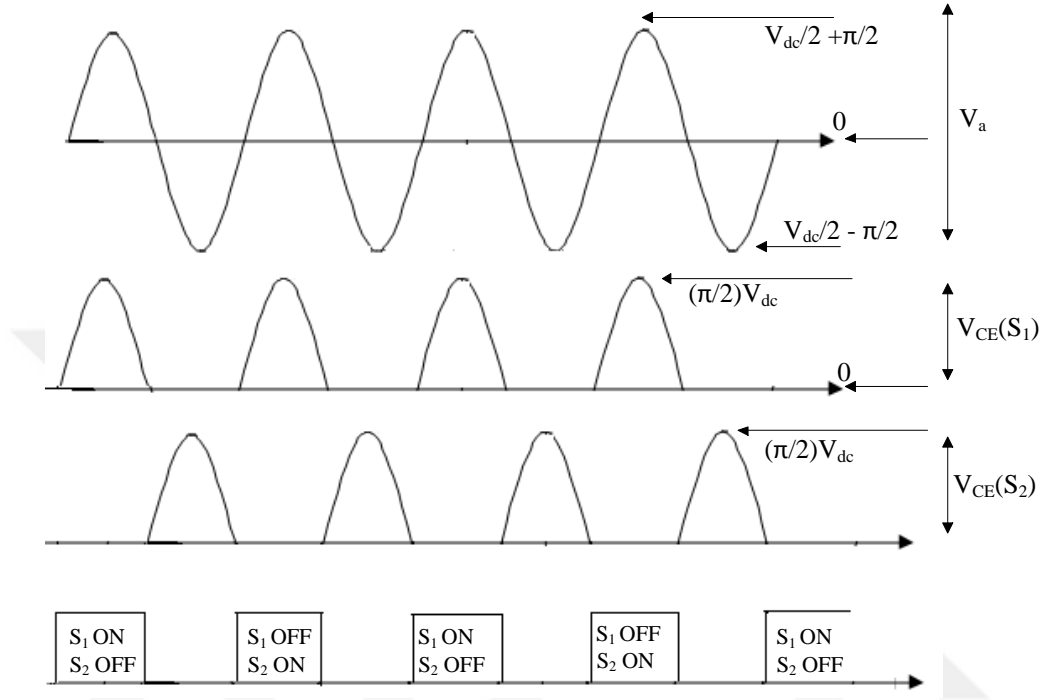
Tasarlanması amaçlanan devrenin elektriksel modellenmesi Şekil 3.1.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.1. Tasarlanması amaçlanan akım beslemeli, kendinden tetiklemeli yarım köprü paralel rezonans LED sürücü devresi.

Devrenin yük ile anahtarlama kısmının elektriksel olarak yalıtımını, rezonans devresindeki manyetik etkileşimli bobin sağlamaktadır. Bu manyetik etkileşimli bobinin tasarım aşamaları sonraki bölümlerde daha detaylı olarak anlatılacaktır. Anahtarlama

kontrolünde IR2153 sürücü entegre kullanılmıştır. Yarım köprü uygulamalar için özel tasarlanmış bu entegrede iki çıkış bulunmaktadır. İki çıkış birbiriyle ters polariteli ve %50 çalışma zamanına sahip kare dalga sinyal üretmektedir. Böylelikle anahtarların Şekil 3.2.'de görülen ve yarım köprü dönüştürücüde olması istenildiği gibi %50 çalışma zamanı ile çalıştırılması sağlanacaktır.



Şekil 3.2. Tasarlanması amaçlanan LED sürücü devresinde, anahtarlama gerilimleri ve anahtarlar üzerindeki gerilim dalga şekilleri

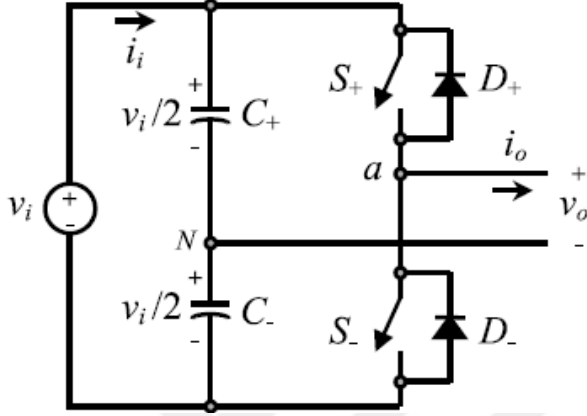
3.1.2 LED Sürücü Devrenin Matematiksel Analizi

Önceki kısımlarda bahsedilen avantajları göz önüne alınarak Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi akım beslemeli, çıkış akımı ayarlanabilir, paralel rezonans sürücü devre tasarlanması amaçlanmıştır. Tasarımın matematiksel hesaplama kısımları sırasıyla dönüştürücü devre, rezonans kısmı ve manyetik etkileşimli bobin tasarımı olarak verilmiştir.

3.1.2.1 Akım Beslemeli Yarım Köprü AC/DC Dönüştürücü

DC-AC dönüştürücüler çok fazlı ve tek fazlı dönüşüm sağlayan, sinüzoidal çıkışının genlik, frekans ve fazı kontrol edilebilen devrelerdir. DC-AC dönüştürücülerin birçok uygulama alanı mevcuttur, uygulamalarda genellikle, yük için gerekli olan enerjiyi sağlamak için, şebeke gerilimini frekansı yükseltmek için harmoniklerinden arındırılır. Bu frekansın yükseltilmesi işlemi için mevcut bulunan AC enerji önce DC'ye çevrilir ve tekrardan AC'ye dönüştürmek için DC-AC dönüştürücülere ihtiyaç duyulur.

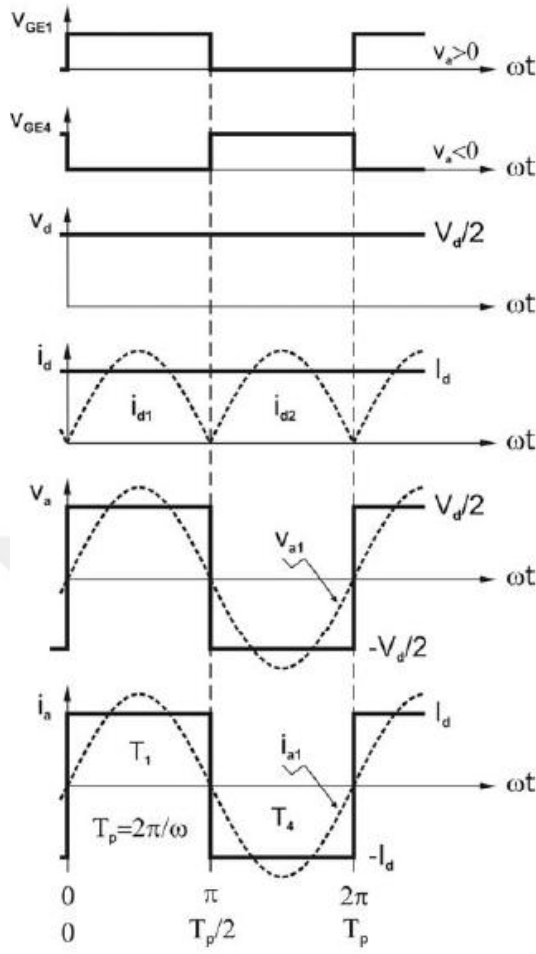
Şekil 3.1.'de yarım köprü DC-AC dönüştürücünün basit bir gösterimi görülmektedir. Burada görüldüğü gibi devrede iki adet anahtar ve girişte kaynak gerilimini ikiye bölen kondansatörler bulunmaktadır. Kondansatörler küçük akım harmoniklerini azaltmak için gerilimi ikiye bölerek orta uçlu gerilim kaynağı gibi davranırlar. Anahtarlar ise yarı zamanlı olarak iletimde kalır, iki anahtarın aynı anda iletimde olması engellenerek olası bir kısa devre tehlikesinin önüne geçilmiş olur (Rashid 2001).



Şekil 3.1. Gerilim Beslemeli Yarım Köprü İnverter

Devrede ilk yarı periyotta iletimde olan S1 anahtarı pozitif kısım, diğer yarı periyotta iletimde olan S2 anahtarı negatif kısım olarak adlandırılabilir. Devrede orta uçtaki V_a gerilimi bir periyot boyuca aşağıdaki gibi değişir.

$$V_a = \begin{cases} \frac{V_d}{2} & 0 < \omega t < \pi \text{ aralığı} \\ -\frac{V_d}{2} & \pi < \omega t < 2\pi \text{ aralığı} \end{cases}$$



Şekil 3.2. Yarı köprü DC/AC dönüştürücünün temel dalga şekilleri

$0 < \omega t < \pi$ aralığında S1 anahtarı iletimde, S2 anahtarı kesim durumundadır. Bu zaman aralığı pozitif yarı periyot olarak adlandırılır ve V_d gerilimi $V_d/2$ 'ye eşittir. $\pi < \omega t < 2\pi$ aralığında V_a gerilimi $-V_d/2$ 'ye eşittir ve negatif yarı periyot olarak adlandırılır. Gerilimdeki bu değişime bağlı olarak akım da, $(V_d/2)/R$ şeklinde olmak üzere ilk yarı periyotta pozitif, ikinci yarı periyotta negatif I_a değerini alır. Omik yüklü bir yarı köprü dönüştürücü için temel dalga şekilleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Çıkış gerilimi ve temel bileşenin efektif değeri (3.2) ve (3.4)'de ifade edildiği gibidir (Bodur 2010).

$$V_a = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{V_d}{2}\right)^2 d(\omega t)} = \frac{V_d}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} |d(\omega t)|} \quad (3.1)$$

$$V_a = V_f = \frac{V_d}{2} \quad (3.2)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{V_d}{2} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2}{\pi} \frac{V_d}{2} \left| -\cos(\omega t) \right|_0^{\pi} \quad (3.3)$$

$$V_{a1} = V_{f1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{V_d}{2} \quad (3.4)$$

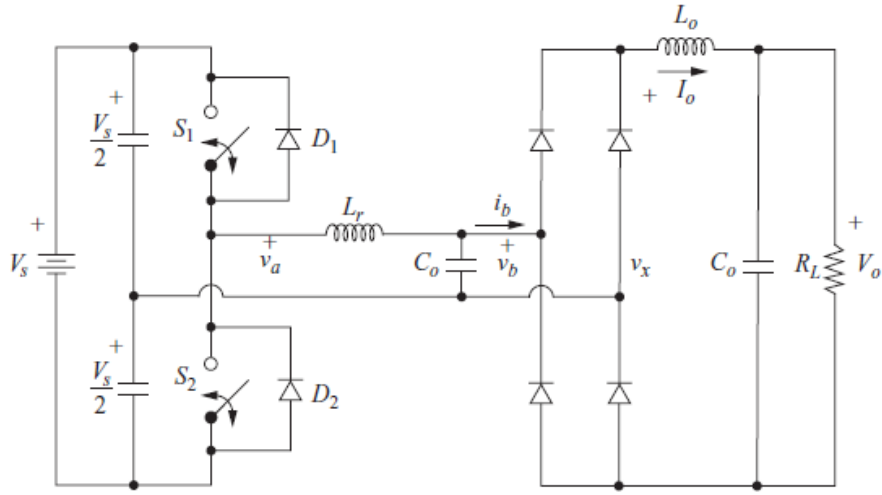
$$I_d = \frac{V_d/2}{R} \quad (3.5)$$

Gerilim beslemeli dönüştürücüler birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak gerilim beslemeli devrelerde, giriş empedansı düşük olduğundan, anahtarlama elemanları üzerinde on-off geçişlerinde yüksek gerilimler ve istenmeyen kısa devre durumları oluşabilir, bu devrelerde çıkış gerilimi de bir miktar dalgalı olabilir. Orta gerilim seviyesinde, yüksek kaliteli çıkış akımı ve gerilimi gerektiren uygulamalarda genellikle akım beslemeli dönüştürücüler tercih edilmektedir (Rashid 2001). Akım beslemeli devrelerde kaynak ve anahtarlar arasında bulunan yeterince büyük değerli bobin sayesinde giriş empedansı yüksektir. Anahtarlama geçiş durumlarında yüksek gerilimlerin oluşması engellenir. Devrenin giriş akımı daha kararlıdır. Bu durum çıkışta daha sabit ve kontrollü akım elde edilmesini sağlar, dalgalanmalar daha az olduğu için yüksek çıkış akım ve gerilime sahip güç kaynağı uygulamalarında da kullanılması daha avantajlıdır.

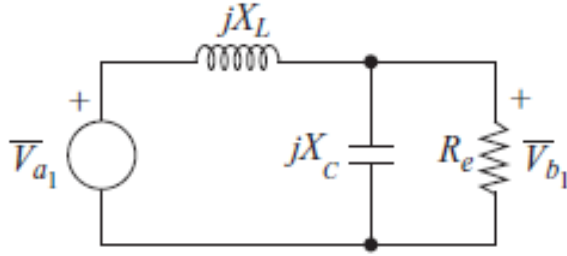
3.1.2.2 Paralel Rezonans Devresi

Şekil 3.3(a)'da temel bir paralel rezonans dönüştürücü devre görülmektedir. Tasarlanmak istenen LED sürücü devrenin paralel rezonans devresi tasarımı kısmında bu temel dönüştürücü devre teorik hesaplamaları göz önünde bulundurularak matematiksel analiz yapılmıştır. Eşdeğer devresi Şekil 3.4'de gösterildiği gibi olan paralel rezonans devre tasarımı yapılırken matematiksel işlemlerin basitleştirilmesi için bir takım kabuller yapılmıştır;

- Anahtarların ideal olduğu kabul edilmiştir.
- İletim durumunda S_1 ve S_2 anahtarlarının r_{ds} direncine eşdeğer olduğu ve kesim durumunda açık devre olduğu varsayılmıştır.
- Anahtarlama kayıpları ile MOSFET çıkış kapasitansı ihmal edilmiştir.
- Kalite faktörü Q_L yeterince yüksek ve rezonans elemanları L_r , C_r , R akımlarının sinüzoidal olduğu kabul edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.4. -a) Paralel rezonans dönüştürücü devresi. -b) Paralel rezonans eşdeğer devresi

Eşdeğer devrenin, eşdeğer dirençli kondansatör geriliminin akımına oranı olarak (3.7)'de olduğu gibi ifade edilebilir. Burada çıkış gerilimi V_o , köprü çıkış gerilimi V_x 'e eşittir (Hart 1997).

$$V_o = V_x = \frac{2V_{x1}}{\pi} = \frac{2V_{b1}}{\pi} \quad (3.6)$$

$$R_e = \frac{V_{b1}}{I_{b1}} = \frac{V_o \pi / 2}{4I_o / \pi} = \frac{\pi^2}{8} \left(\frac{V_o}{I_o} \right) = \frac{\pi^2}{8} R_L \quad (3.7)$$

Eşdeğer devrenin giriş geriliminin çıkış gerilimine oranı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{V_{b1}}{V_{a1}} = \left| \frac{1}{1 - (X_L/X_C) + j(X_L/R_e)} \right| \quad (3.8)$$

Burada V_b çıkış gerilimi, V_b geriliminin doğrultulmuş ortalama değerine eşittir.

$$V_{b1} = \frac{V_o \pi}{2} \quad (3.9)$$

V_a gerilimi ise devre girişindeki yarım köprü kısmının çıkışındaki kare dalga gerilimin genlik değerine eşittir.

$$V_{a_1} = \frac{4(V_s/2)}{\pi} \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.9) ve (3.10) birbirine oranından giriş-çıkış ilişkisi (3.11)'deki gibi tanımlanabilir.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{4}{\pi^2} \left| \frac{1}{1 - (X_L/X_C) + j(X_L/R_e)} \right| \quad (3.11)$$

Çıkış geriliminin giriş gerilimine bağlı değeri (3.12)'da olduğu gibi ifade edilir.

$$V_o = \frac{4V_s}{\pi^2 \sqrt{[1 - (X_L/X_C)]^2 + (X_L/R_e)^2}} \quad (3.12)$$

Eşitlik (3.12)'den yola çıkarak (bkz 2.3.2) paralel rezonans eşdeğer devrenin kalite faktörü (3.13)'de ve açılma frekansı (3.14)'de gösterildiği gibi elde edilir (Hart 1997).

$$Q = \frac{R_L}{\omega_o L_r} \quad (3.13)$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (3.14)$$

Tasarlanması amaçlanan devre Şekil 3.1.'de gösterildiği gibidir (Pressman 2009). Pressman versiyonuna benzer şekilde, devrede rezonans kısmında bir izolasyon trafosu bulunmaktadır. Rezonans frekansı, (3.13)'den yola çıkarak (3.15)'de ifade edildiği gibidir. Primer kısmının endüktansı L_m olmak üzere, C_r rezonans kondansatörüdür. İstenilen rezonans frekansında uygun C_r seçimi ile L_m değeri (3.6)'daki gibi hesaplanır.

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_m C_r}} \quad (3.15)$$

Şekil 3.1'deki devrede 400 Volt DC giriş gerilimi 220 Volt şebeke geriliminin doğrultulması ile elde edilmiştir. $\pm\%15$ tolerans da göz önünde bulundurularak 220 V AC gerilimin doğrultulmuş maksimum değeri (3.16)'daki gibidir.

$$V_{DCmax} = 1.15 \times \sqrt{2} \times V_{AC} \quad (3.16)$$

Şekil 3.1’de yarım köprü dönüştürücünün orta nokta V_a gerilimi de (3.8)’de olduğu gibidir. Yarım köprü dönüştürücüdeki orta uçlu gerilim kaynağı metodu ile gerilim ikiye bölünmüş olur, (3.17)’de olduğu gibi transistörler üzerine düşen gerilim Push-Pull tip gibi dönüştürücülere oranla yarı yarıya düşürülmüş olur. Böylece daha düşük gerilimlere dayanabilen transistör kullanılarak ve maliyet azaltılmış olur (Pressman 2009). Anahtar üzerindeki akımın ortalama değeri ise, çıkışta P gücünde bir LED yükünün bulunduğu varsayılırsa, (3.18)’de ifade edildiği gibi olur.

$$V_a = \frac{\pi}{2} V_{DC} \quad (3.17)$$

$$I_{Dav} = \frac{P}{EV_{DC}} \quad (3.18)$$

Şekil 3.5.’de yarım köprü dönüştürücünün temel dalga Şekilleri görülmektedir. Rezonans devresi primer kısmı üzerinde oluşan gerilimin tepeden-tepeye değeri (3.17)’deki gibidir. Şekilde anahtar drain-source gerilimleri artma azalma durumları net bir şekilde görülmektedir. Anahtar geriliminin sıfır olduğu durumda anahtarlama sağlanarak (SGA) anahtarlama kayıpları da önemli ölçüde azaltılmıştır.

Şekil 3.4’de giriş kısmında bulunan L_{dc} bobinleri, akım besleme bobini olarak tanımlanmaktadır. Bobin değeri giriş akımında izin verilen maksimum dalgalanma göz önünde bulundurularak (3.19)’da ifade edildiği gibi hesaplanır. Burada I_{rmax} giriş akımındaki maksimum dalgalanmayı ifade etmektedir.

$$L_{dc} = \frac{V_i}{2fI_{rmax}} \quad (3.19)$$

Pratikte akım besleme bobinin seçiminde, rezonans bobininin yaklaşık olarak 4-5 katı büyüklüğünde olacak şekilde de kabuller yapılmaktadır (Kazimierczuk 1995). Şekil 3.5.’de L_1 ve L_2 ise sırasıyla manyetik etkileşimli rezonans bobininin primer ve sekonder sargılarını ifade etmektedir. L_{Vrb} değişken bobin de çıkış akımının ayarlanmasında kullanılan manyetik denetimli bobini ifade etmektedir. Bu sargılara ait modelleme sonraki kısımda verilmiştir.

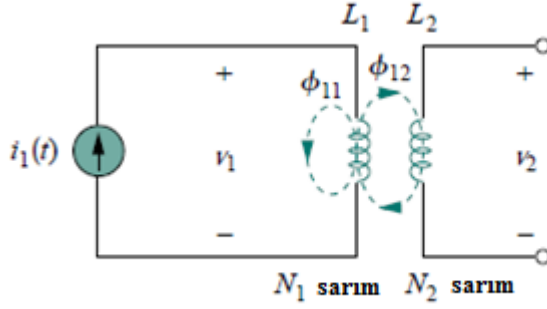
3.1.2.3 Manyetik Etkileşimli Bobin Tasarımı

Bir bobine akım uygulandığında, bobin etrafında oluşan manyetik alan şiddeti Biot-Savart yasasına göre (3.20)’de olduğu gibi uygulanan akım ile doğru orantılı olarak değişir. Faraday yasasına göre de manyetik alan içerisinde bulunan bir bobinin uçlarında indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Bu elektro motor kuvveti, devreden geçen elektromanyetik alanın türevi ile doğru orantılı olarak değişir ve (3.21)’deki gibi verilir.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot d_s \times \dot{r}}{r^2} \quad (3.20)$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3.21)$$

Buna göre bir bobinin manyetik alanı içerisinde başka bir bobin konulduğunda iki bobin birbiriyle manyetik etkileşir ve her iki bobinde gerilim meydana gelir, bu etkileşim manyetik kuplaj veya ortak endüktans olarak adlandırılır. Manyetik etkileşimli bobinler de bu teori temelinde, elektriksel bağlantı olmaksızın bir taraftan diğer tarafa enerji transferini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. L₁ ve L₂ bobinleri manyetik etkileşimi temel gösterimi.

Şekil 3.5.'de sırasıyla N₁ ve N₂ sarım sayısına sahip L₁ ve L₂ bobinleri arasında herhangi bir fiziksel bağlantı bulunmamaktadır. L₁ bobini üzerindeki manyetik akı (3.22)'de olduğu gibidir ve iki bileşene sahiptir. Bu bileşenlerden ϕ_1 yalnızca L₁ üzerinden akan akı, ϕ_{12} her iki bobinden akan manyetik akıdır.

$$\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{12} \quad (3.22)$$

ϕ_1 sebebiyle L₁'de indüklenen gerilim ve ϕ_{12} sebebiyle L₂'de indüklenen gerilim sırasıyla (3.23) ve (3.24)'de olduğu gibidir.

$$v_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} \quad (3.23)$$

$$v_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt} \quad (3.24)$$

Bobin üzerinden akan akımın değeri, $L_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{di_1}$ olmak üzere (3.25)'deki gibi yazılabilir.

$$v_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{di_1} \frac{di_1}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (3.25)$$

Benzer Şekilde L₂ üzerinden akan akımın değeri (3.26)'da olduğu gibidir.

$$v_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{di_1} \frac{di_1}{dt} = M_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (3.26)$$

Eşitlik (3.26)'da M_{21} , L_1 bobininden akım akması ile oluşmuştur ve L_2 bobininin ortak endüktansını ifade etmektedir. Eşitlik (3.27)'deki gibi gösterilir.

$$M_{12} = N_1 \frac{d\phi_{21}}{di_2} \quad (3.27)$$

$$M_{12} = M_{21} = M \quad (3.28)$$

(3.28)'deki M_{12} ve M_{21} eşitliğinden ortak endüktans M olarak ifade edilebilir.

Devrede depolanan toplam enerjinin genel ifadesi (3.29)'daki gibidir. Endüktansların karşılıklı polaritelerine göre ortak voltaj artı veya eksi olarak etki eder.

$$w = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \mp M i_1 i_2 \quad (3.29)$$

Toplam enerji sıfırdan küçük olamayacağından (3.29)'daki ifade (3.30)'daki gibi de ifade edilebilir.

$$\frac{1}{2} (i_1 \sqrt{L_1} - i_2 \sqrt{L_2})^2 + i_1 i_2 (\sqrt{L_1 L_2} - M) \geq 0 \quad (3.30)$$

$$M \leq \sqrt{L_1 L_2} \quad (3.31)$$

Eşitlik (3.31)'de de görüldüğü gibi ortak(mutual) endüktans, nüvedeki bobinlerin endüktansının geometrik ortalamasından daha büyük olamaz.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (3.32)$$

Bobinlerin endüktanslarının geometrik ortalamasına yaklaşımı (3.32)'de olduğu gibi k katsayısıyla ifade edilir ve bu katsayı manyetik etkileşim katsayısı olarak adlandırılır. k katsayısının 1'en yakın olduğu durumda sargılar arası etkileşim en yüksektir.

Tasarlanan sürücü devrenin paralel rezonans kısmında elektriksel izolasyonu sağlamak için manyetik etkileşimli bobin modeli kullanılmıştır. Bu manyetik etkileşimli bobin tasarımına ilk olarak devrenin çıkış gücü ve çalışma frekansı göz önünde bulundurularak, nüve seçimi ile başlanmıştır. Bobin tasarımında E tipi nüveler, çok sayıda sargı ucunun giriş ve çıkış ucunun bulunması, tellerin tam olarak nüve tarafından sarılmamasından dolayı ısınmanın fazla olmaması, ucuz maliyeti ve endüstride kolay bulunması gibi avantajlarından dolayı, en yaygın olarak kullanılan nüve türleridir. Ayrıca 5W-10kW arasında çok çeşitli E tipi nüve bulunabilir. Bu yüzden bu çalışmada da tasarlanan bobinde E tipi nüve kullanılmıştır.

Core	A_e, cm^2	A_b, cm^2	$A_e A_b, \text{cm}^4$	Output power in watts at										Volume, cm^3
				20 kHz	24 kHz	48 kHz	72 kHz	96 kHz	150 kHz	200 kHz	250 kHz	300 kHz		
EE Cores, Ferroxcube-Philips														
814E250	0.202	0.171	0.035	3.1	3.7	7.4	11.2	14.9	23.2	30.9	38.7	46.4	0.57	
813E187	0.225	0.329	0.074	6.6	8.0	15.9	23.9	31.8	49.7	66.3	82.9	99.5	0.89	
813E343	0.412	0.359	0.148	13.3	16.0	31.8	47.8	63.6	99.4	132.5	165.7	198.8	1.64	
812E250	0.395	0.229	20.6	24.8	49.3	74.1	98.7	154.2	154.2	205.6	257.0	308.4	1.93	
782E272	0.577	0.968	0.559	50.0	60.3	120.1	180.4	240.2	375.3	500.4	625.6	750.7	3.79	
E375	0.810	1.149	0.931	83.4	100.5	200.1	300.6	400.2	625.4	833.9	1042.4	1250.8	5.64	
E21	1.490	1.213	1.807	161.9	195.2	388.6	583.8	777.2	1214.6	1619.4	2024.3	2429.1	11.50	
783E608	1.810	1.781	3.224	288.8	348.1	693.1	1041.2	1386.2	2166.2	2888.4	3610.4	4332.5	17.80	
783E776	2.330	1.810	4.217	377.9	455.5	906.7	136.2	1813.4	2834.0	3778.7	4723.4	5668.1	22.90	
E625	2.340	1.370	3.206	287.2	346.2	689.2	1035.5	1378.5	2154.3	2872.4	3590.4	4308.6	20.80	
E55	3.530	2.800	9.884	885.6	1067.5	2125.1	3192.5	4250.1	6642.0	8856.1	11070.1	13284.1	43.50	
E75	3.380	2.160	7.301	654.2	788.5	1569.7	2358.2	3139.3	4906.1	6541.5	8176.9	9812.3	36.00	
EC Cores, Ferroxcube-Philips														
EC35	0.843	0.968	0.816	73.1	88.1	175.4	263.6	350.9	548.4	731.2	913.9	1096.7	6.53	
EC41	1.210	1.350	1.634	146.4	176.4	351.2	527.6	702.4	1097.7	1463.6	1829.5	2195.4	10.80	
EC52	1.800	2.130	3.834	343.5	414.1	824.3	1238.4	1648.6	2576.4	3435.3	4294.1	5152.9	18.80	
EC70	2.790	4.770	13.308	1192.4	1437.3	2861.3	4298.6	5722.6	8943.2	11924.2	14905.3	17886.4	40.10	

Tablo 3.1. Yarım Köprü ve Tam Köprü Dönüştürücülerde Nüve Türüne Göre, Maksimum Akı Yoğunluğunda, Elde Edilebilecek Maksimum Çıkış Gücü

Tablo 3.1.'de de görüldüğü gibi E21 tipi nüve 24 kHz'de yaklaşık 100 W'lık çıkış gücü için uygun bir seçimdir. Kullanılan E tipi nüve fiziksel özellikleri tablo 3.2'de verilmiştir. Manyetik etkileşimli bobinde elektriksel olarak yalıtılmış bakır tel kullanılarak primer ve sekonder sargıları aynı nüve üzerine üst üste sarılır. Teller yalıtılmış olduğundan sargılar arasında elektriksel bağlantı bulunmaz.

A_e	4.08 cm^2
A_L	45.6×10^{-9}
Derinlik	2.7 cm
Yükseklik	5.5 cm

Tablo 3.2. Manyetik etkileşimli bobinin nüve özellikleri

Tasarlanan bobinin primer sargılarının sayısı Faraday kanunlarından yola çıkarak (3.33)'de olduğu gibi hesaplanır.

$$N_p = \int_0^\pi \frac{V dt (10^{+8})}{A_e dB} = \int_0^\pi \frac{V dt (10^{+8})}{2A_e B_m} \quad (3.33)$$

Burada B_m maksimum akı yoğunluğunu, $\int_0^\pi V dt$, yarı periyottaki gerilim değişimini ifade etmektedir. Sekonder sarım sayısı (3.35) bağıntısında olduğu gibi, devre çıkışında LED'ler üzerine düşen toplam gerilim göz önünde bulundurularak primer sargılarıyla orantılı olarak bulunur. Aynı zamanda primer ve sekonder

gerilimlerinin oranı dönüşüm oranını vermektedir. Sekonder endüktans değeri, dönüşüm oranının karesine bağlı olarak (3.36)'deki gibi hesaplanır.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad (3.34)$$

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p \quad (3.35)$$

$$\frac{L_p}{L_s} = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 \quad (3.36)$$

Rezonans frekansına göre belirlenen primer ve sekonder endüktans değerleri ve hesaplanan sarım sayısı değerlerine endüktans faktörü olarak adlandırılan A_L (1000 sarıma karşılık gelen mH türünden endüktans değeri) değeri de (3.37)'de olduğu gibi ifade edilir.

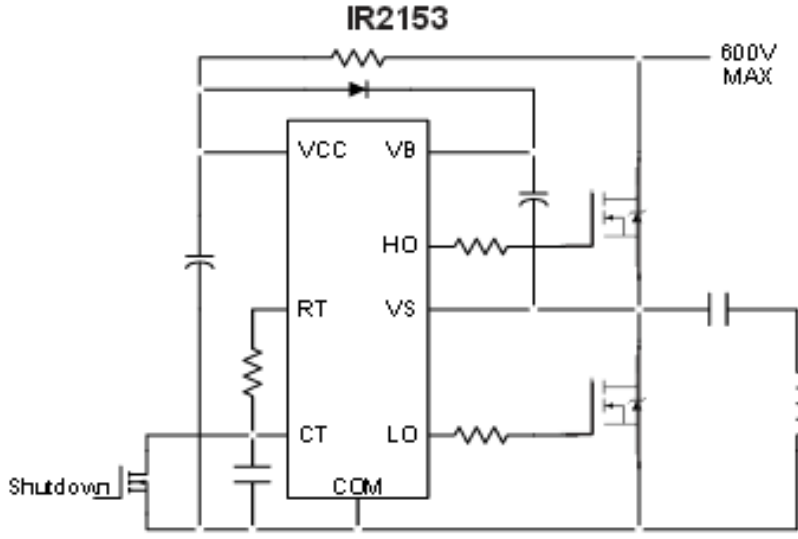
$$L = N^2 \times A_L \quad (3.37)$$

Nüve katsayısı endüktans değeri sabit olup genellikle katalog değerlerinde belirtilir, ayrıca nüvenin hava boşluğuna göre değişebilmektedir. Bobin sarımında kullanılan telin kalınlığı üzerinden geçecek akım değerine bağlıdır ve (3.38)'deki ortalama akım değerine göre seçilebilir.

$$I_{RMS} = \frac{P}{V_a/\sqrt{2}} \quad (3.38)$$

3.1.3 Sürücü Devre Anahtarlama Kontrolü

Sürücü devrenin anahtarlama kontrolünde devre şeması Şekil (3.6)'da görülen IR2153 yarım köprü sürücü entegre kullanılmıştır. IR2153 entegre yarım köprü dönüştürücü anahtarları sürmek için geliştirilmiş iki adet çıkış sinyaline sahiptir. Çıkış sinyalleri %50 çalışma zamanına sahip ve ters polaritelidir. Ayrıca anahtarlama sinyalleri arasındaki 1,2 us ölü zaman sayesinde anahtarların aynı anda ilettime girmesi engellenmiştir.



Şekil 3.6. IR2153 yarım köprü sürücü entegre devre şeması

Entegre giriş geriliminin en yüksek değeri 600 volt olduğundan yüksek gerilim uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilir. Giriş direnci ile ayarlanabilen kaynak akımı 5 mA'den büyük olduğunda entegre sinyal üretmeye başlamaktadır. Şekilde görülen R_T ve C_T değerlerinin değişimine bağlı olarak çıkış sinyallerinin frekansındaki değişim (3.39)'da olduğu gibidir.

$$f = \frac{1}{2 \times \ln(2) \times R_T \times C_T} = \frac{1}{1.3863 \times R_T \times C_T} \quad (3.39)$$

Tasarlanan sürücü devrede R_T direnci olarak 100k ayarlı direnç kullanılarak anahtarlama frekansının değişken olarak da elde edilmesi amaçlanmıştır. Sürücü entegre devresinde az sayıda eleman içermesi, çıkış frekansının değişken olması ve çıkış sinyalleri arasında ölü zaman bulunması gibi avantajlarından dolayı oldukça kullanışlıdır.

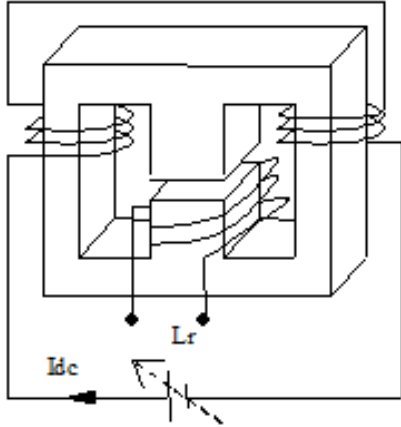
3.1.4 Manyetik Denetimli Bobin ile Çıkış Akımı Kontrolü

Lamba ve LED sürücü gibi devrelerde çıkış gücü değiştirilerek, ışık şiddeti denetimi gerçekleştirilmektedir. Çıkış gücü değişimi anahtarlama frekansı, giriş gerilimi, rezonans frekansının değiştirilmesi ile gerçekleştirilebilir. En yaygın olarak kullanılan yöntemler anahtar frekansının değiştirerek ve giriş voltajının değiştirerek çıkış gücünün kontrol edilmesidir.

Son zamanlarda oldukça popüler olan anahtarlama frekansının değiştirilmesi ile çıkış gücünün kontrolü yönteminde, çıkış akımını geniş bir aralıkta elde edebilmek için devre geniş frekans aralığında çalışmalı, kullanılan nüve, anahtar ve sürücü devre bu yüksek frekansa dayanıklı olmalıdır. Yüksek frekanstan dolayı EMI problemi ve anahtarlar üzerinde olumsuz etkiler oluşabilir (Tam vd 2006).

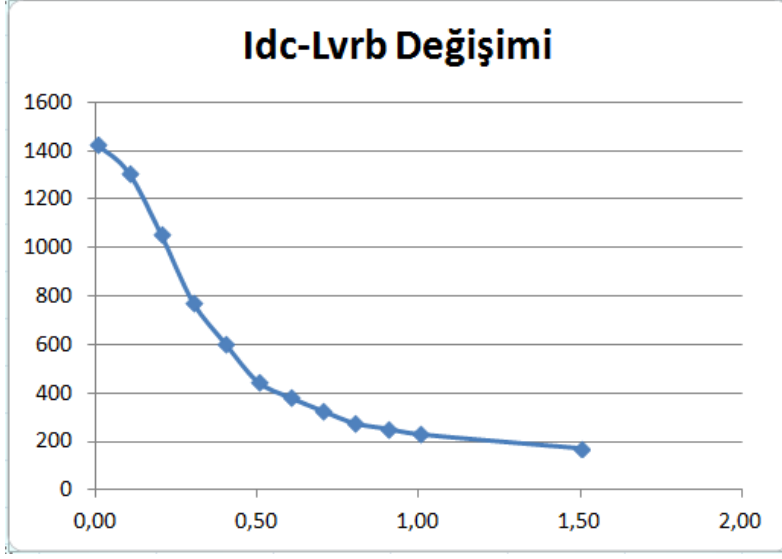
Giriş geriliminin değiştirilerek çıkış gücünün kontrol edildiği uygulamalar da oldukça yaygındır. Bu uygulamalarda sürücü devre girişine değişken bir DC güç kaynağı eklenerek giriş gerilimi değiştirilir ve çıkış gücü ayarlanır. (Mohsin ve Richard 2012). Devre girişine bağlanan bu değişken dönüştürücüler devrenin boyutlarının ve maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Devrede yarı iletken eleman arttığından güç kayıplarında da artış meydana gelir. Ayrıca LED'ler, akım gerilim karakteristiğindeki lineer olmayan yapıdan dolayı gerilim değişimi ile güç kontrolüne çok uygun değildir. Bazı uygulamalarda her iki yöntem kıyaslanmış ve değişken anahtarlama frekanslı uygulamalarda artan frekans nedeniyle rezonans bobininin empedansının arttığı ve bununla birlikte kayıpların da arttığı ifade edilmiştir(Ho vd 2001).

Tasarlanan devrede diğer yöntemlerden farklı olarak çıkış gücünün değiştirilmesi rezonans frekansının değiştirilmesi yapılmaktadır. Bu amaçla daha önceki çalışmalarda lamba sürücü devrelerinde kullanılan manyetik denetimli bobin kullanılması amaçlanmıştır(Medini vd 1994). Devrede rezonans kısmında sekonder sargısına seri bağlanan bir değişken bobin yardımı ile rezonans frekansının değiştirilmiştir. Değişken bobinde Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi iki adet farklı sargı bulunmaktadır.



Şekil 3.7. Manyetik denetimli bobin

İki adet E tipi nüve kullanılarak oluşturulan bu bobinde, sargılardan bir tanesi nüve orta kolunda diğer sargı iki yan kolda bulunmaktadır. Yan kollardaki sarım iki tarafa eşit sarılan sargıların seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Bu yan kollardaki sargıya DC akım uygulandığında, orta koldaki sarımın endüktans değeri değişmektedir. Uygulanan DC akıma bağlı bobinin değişen endüktans değeri Şekil 3.8.'deki grafikte olduğu gibidir.



Şekil 3.8. Değişken bobin değerinin uygulanan DC akıma göre değişimi

Primere seri bağlı olan bu sargının endüktans değerinin değişimiyle rezonans devresinin empedansı da değişmekte ve sonuç olarak rezonans frekansı da değişmektedir. Değişen empedans ile doğru orantılı olarak da çıkış akımının değeri de artmakta yada azalmaktadır. Bu sayede LED ışık şiddetinin kontrolü giriş gerilimi veya anahtarlama sinyallerini değiştirmeye gerek kalmadan değiştirilebilmektedir.

Değişken bobin ile sadece çıkış empedansı değiştirilerek akımın değişmesi sağlandığından, anahtarlama frekansının değiştirilmesi veya giriş geriliminin değiştirilmesine gerek kalmamıştır. Çıkış empedansı her değişiminde rezonans frekansı da değiştiğinden, devrenin rezonans durumunda bir değişim olmamaktadır. Bu durumda sıfır gerilim anahtarlama şartları değişmediğinden, devrede ışık ayarına bağlı fazladan anahtarlama kayıpları oluşmaz.

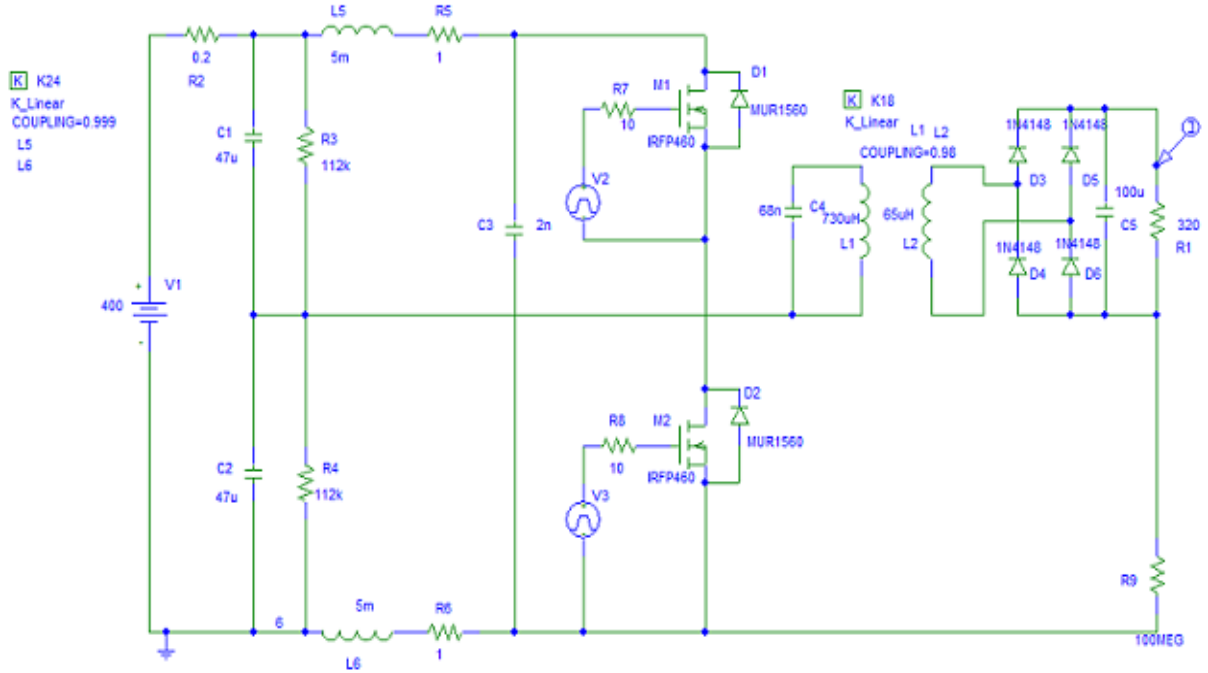
3.2 LED Sürücü Devrenin Benzetimi

Tasarımı yapılan LED sürücü devrenin benzetimi pspice programı kullanılarak yapılmıştır. Devre parametreleri bir önceki kısımda açıklanan tasarım adımları izlenerek Tablo 3.3.'de olduğu gibi seçilmiştir.

DC giriş gerilimi	400 V
Nominal LED Akımı	350 mA
Anahtarlama Frekansı, f_s	22.5 kHz
Anahtar Çalışma Zamanı, D	0.5
Rezoanans Endüktansı, Primer L_r	716 uH
Rezoanans Endüktansı, Sekonder L_r	65 uH
Rezonans Kondansatörü, C_r	68 nF
Akım Besleme Bobin Endüktansı	5 mH
Giriş Kondansatörleri, C_{in}	47 uF

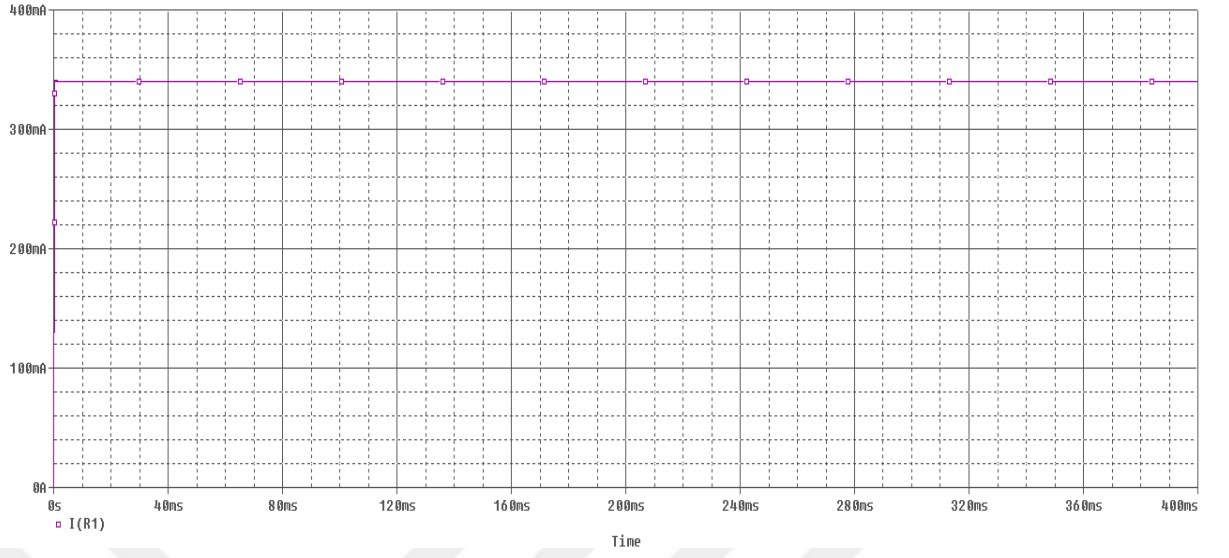
Tablo 3.3. Devrenin Özellikleri ve Parametreleri

Seçilen bu parametreler ile oluşturulan sürücü devrenin benzetim şeması Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.



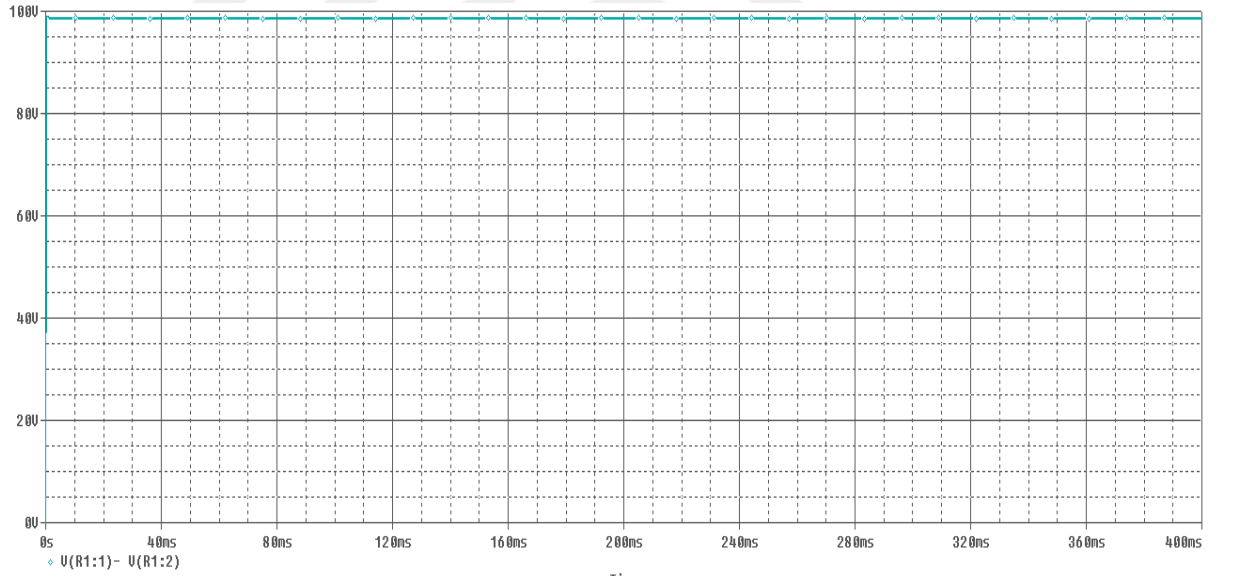
Şekil 3.7. Tasarlanan LED Sürücü Devrenin Pspice Benzetim Şeması

Benzetimde LED'ler yerine, uygulama devresinde kullanılacak LED'lerin dirençleri hesaplanarak yük olarak aynı değerde direnç kullanılmıştır. Bu durumda devre çıkışında elde edilen akım Şekil 3.8'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.8. LED Sürücü Devrenin Çıkış Akımı Dalga Şekli

Şekilde’de görüldüğü gibi çıkış akımının maksimum yaklaşık 350 mA olup, sabit DC formdadır. Çıkış gerilimi dalga şekli de Şekil 3.9.’da verildiği gibidir.

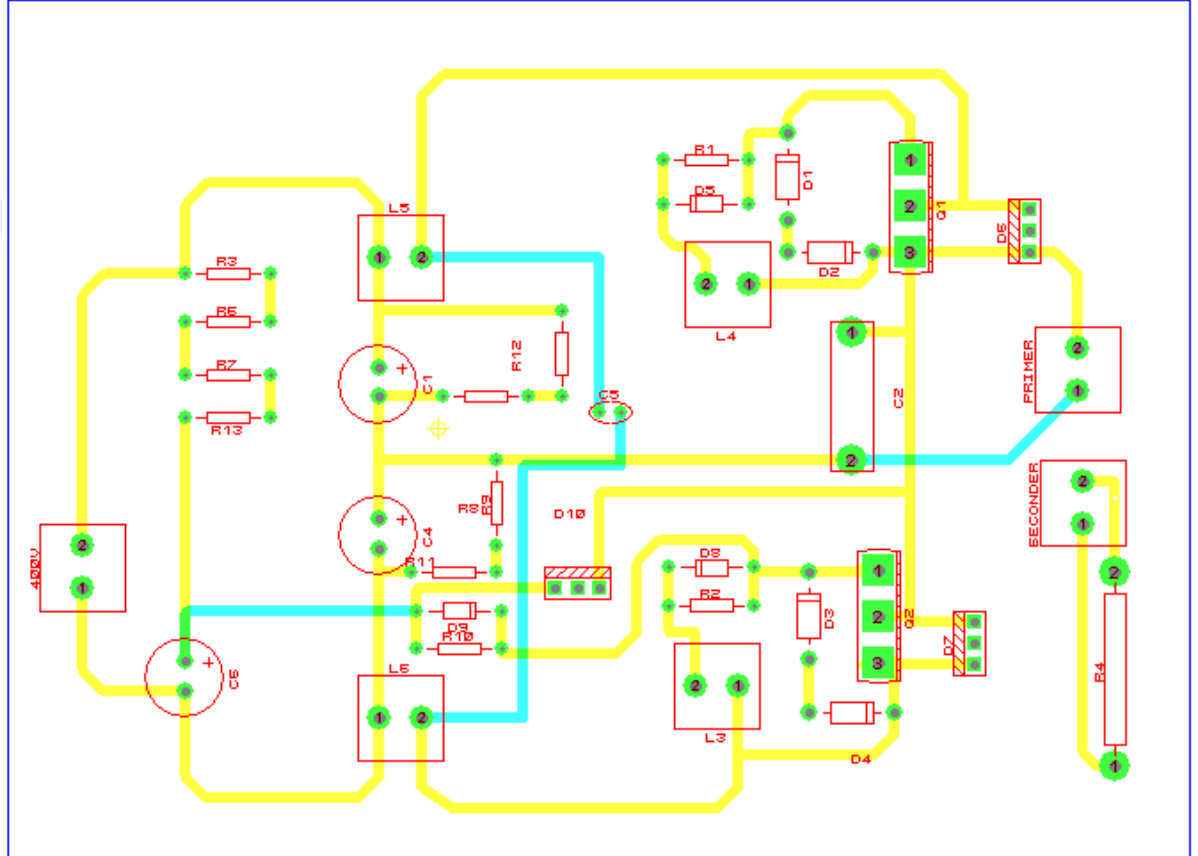


Şekil 3.9. Tasarlanan LED sürücü devrenin çıkış gerilimi dalga şekli

3.3 LED Sürücü Devrenin Deneysel Uygulaması

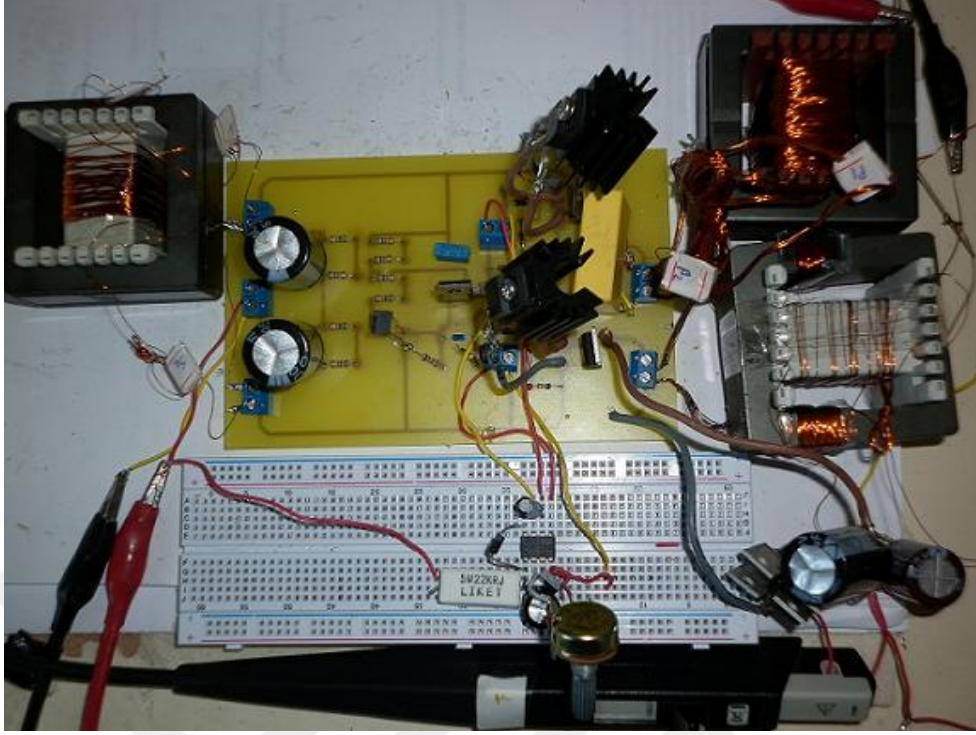
3.3.1 Tasarlanan Sürücü Devrenin Baskı Devresinin Oluşturulması

Tasarlanan LED sürücü devrenin benzetiminin istenilen sonucu vermesi üzerine Proteus çizim programında. PCB şablonu Şekil 3.10.'da olduğu gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.10. LED sürücü devrenin PCB şeması

Elektronik kart LKPF Pro-Mat S42 baskı devre cihazı ile çizdirilerek, uygun elemanlar yerleştirilerek Şekil 3.11.'deki gibi oluşturulmuştur..



Şekil 3.11. Tasarlanan LED sürücü devresi

3.3.2 LED Modülünün Oluşturulması

Sürücü devre uçlarına yük olarak Edixeon-LA1 serisi her biri 1 Watt gücünde, soğuk beyaz renkli LED'ler kullanılmıştır. LED modülünde Şekil 3.12'de görüldüğü gibi iki adet paralel kolu LED dizisi bulunmaktadır.

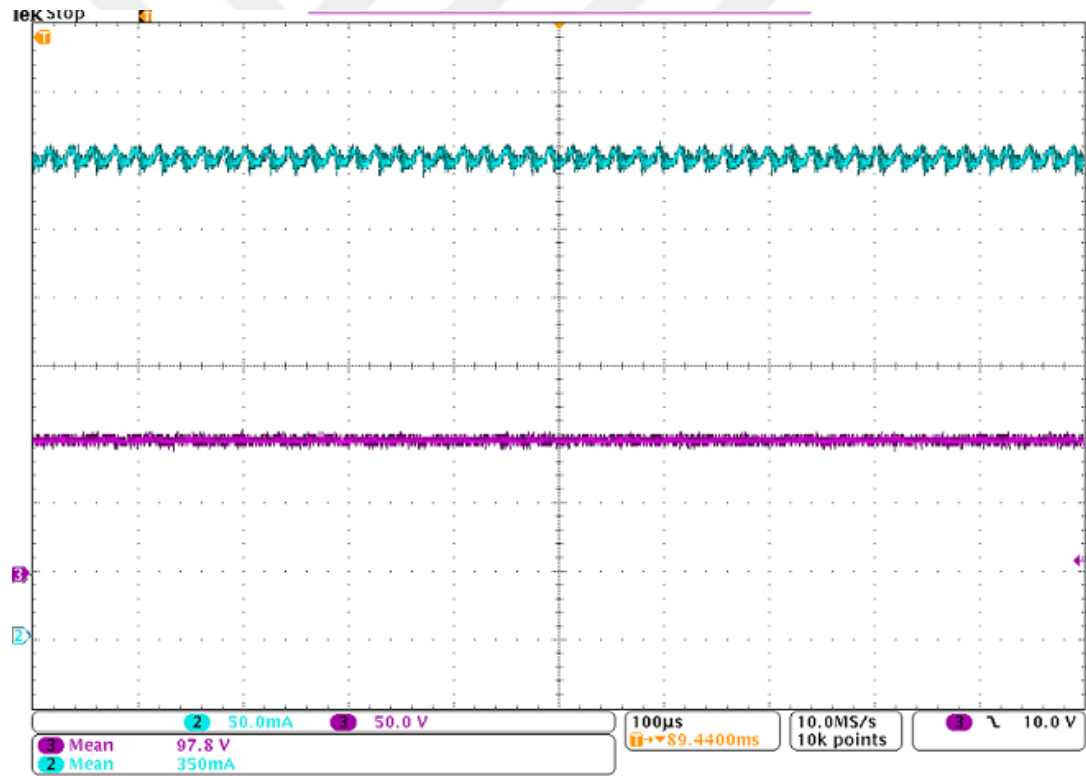


Şekil 3.12. LED modülünün yapısı

LED modülünde 33 adet 1 W'lık LED bulunmaktadır. Toplam çıkış gücü 33 Watt'dır. Şekilde görüldüğü gibi her bir LED pcb üzerine kutupları uygun olacak şekilde lehimlenmiştir. Bu küçük pcb'ler bağlantı sırasında karmaşıklığı azalttığı gibi kısa süreli çalışmada soğutucu görevi de görmektedir. LED'ler ilk olarak küçük pcb'lere lehimlendikten sonra seri bağlı olacak şekilde birleştirilmiştir

3.3.3 Tasarlanan LED Sürücünün Deneysel Analizi

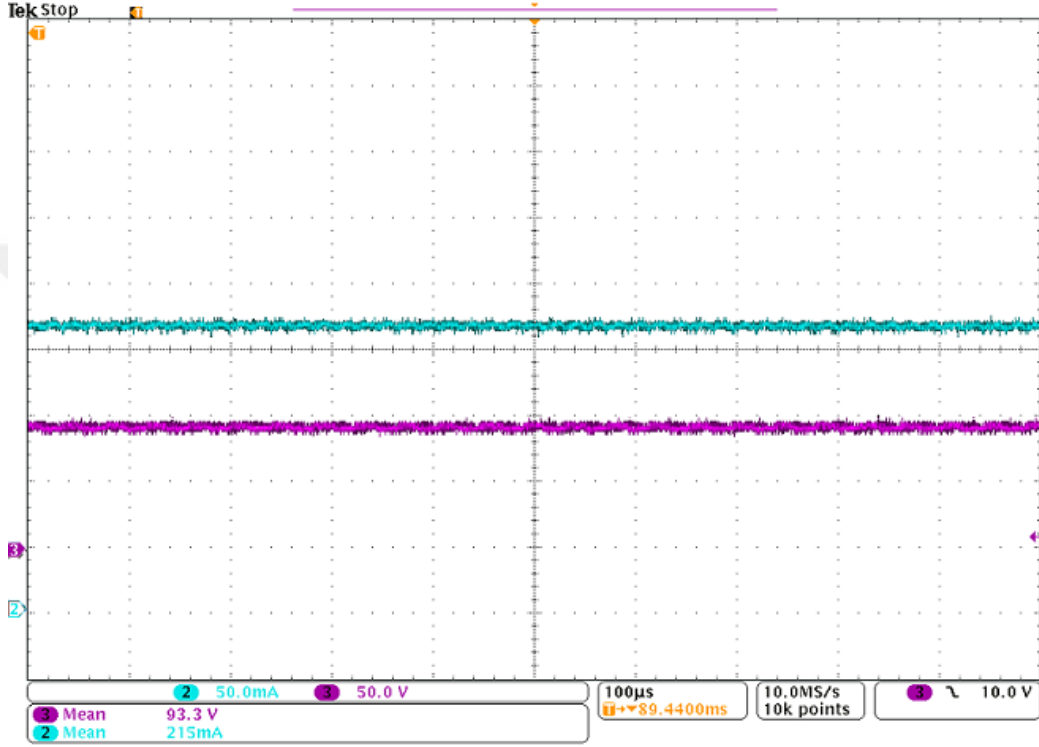
Şekil 3.12.'de tasarımı tamamlanan sürücü devre çıkışına, Şekil 3.13.'de LED modülü bağlanarak, devre girişi sabit 400 V ile enerjilendirilmiştir. Ölçümler Tektronix DPO4004 osiloskop, PB5210 diferansiyel gerilim probu ve TCP312 akım probu ile yapılmıştır. Devre ilk olarak manyetik denetimli bağlanmadan, çıkış güç kontrolsüz olarak çalıştırılmıştır. Bu durumda çalışırken ölçülen çıkış akım ve gerilimi dalga şekli Şekil 3.13.'de olduğu gibidir. Şekilde 2. kanaldan yapılan ölçüm çıkış akımını, 3. kanaldan yapılan ölçüm de çıkış gerilimini göstermektedir. Çıkış akımının en yüksek değeri 350 mA, çıkış geriliminin en yüksek değeri de 97.8 volt olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.13. Tasarlanan LED sürücü devrenin çıkış gerilimi dalga şekli

Devre, çıkış güç kontrolü olmadan çalıştırıldığı için 350 mA çıkış akımında, katalogta da belirtildiği gibi LED'lerden en yüksek ışık şiddeti elde edilmiştir. Bu durumda elde edilen çıkış akımı yüksek frekansta ve sabit olduğundan LED ışığında bir kırpışma gözlemlenmemiştir.

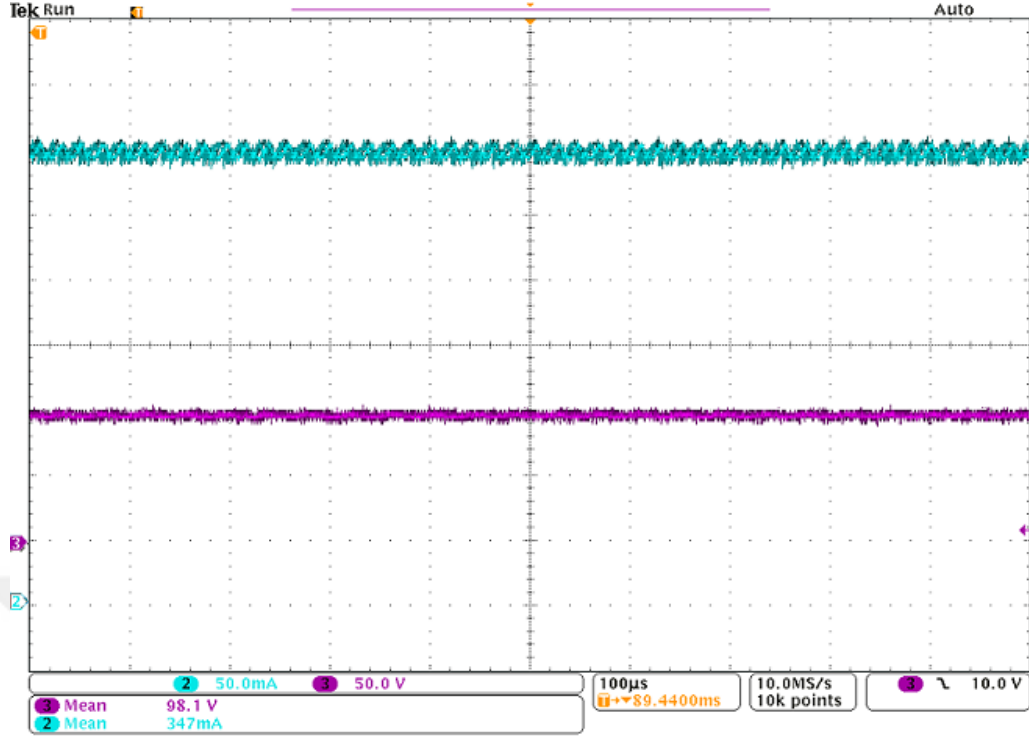
Sürücü devrenin tam yükte ve sabit akımda çalışmadan istenilen değerlere uygun olarak çalıştırıldıktan sonra çıkış gücünün ayarlanması kısmına geçilmiştir. Rezonans devresinin sekonder sargısına değişken bobin seri bağlanarak çıkış gücü kontrol edilmiştir. İlk olarak değişken bobin değeri en yüksek değerine getirilerek çıkış empedansı yükseltilmiş ve LED düşük akımda çalıştırılmıştır. Bu durumda değişken bobine uygulanan I_{dc} değeri sıfıra eşittir. Ölçülen LED akım ve gerilimi Şekil 3.14.'de olduğu gibidir.



Şekil 3.14. Değişken bobin en yüksek değerinde iken ölçülen LED akım ve gerilimi.

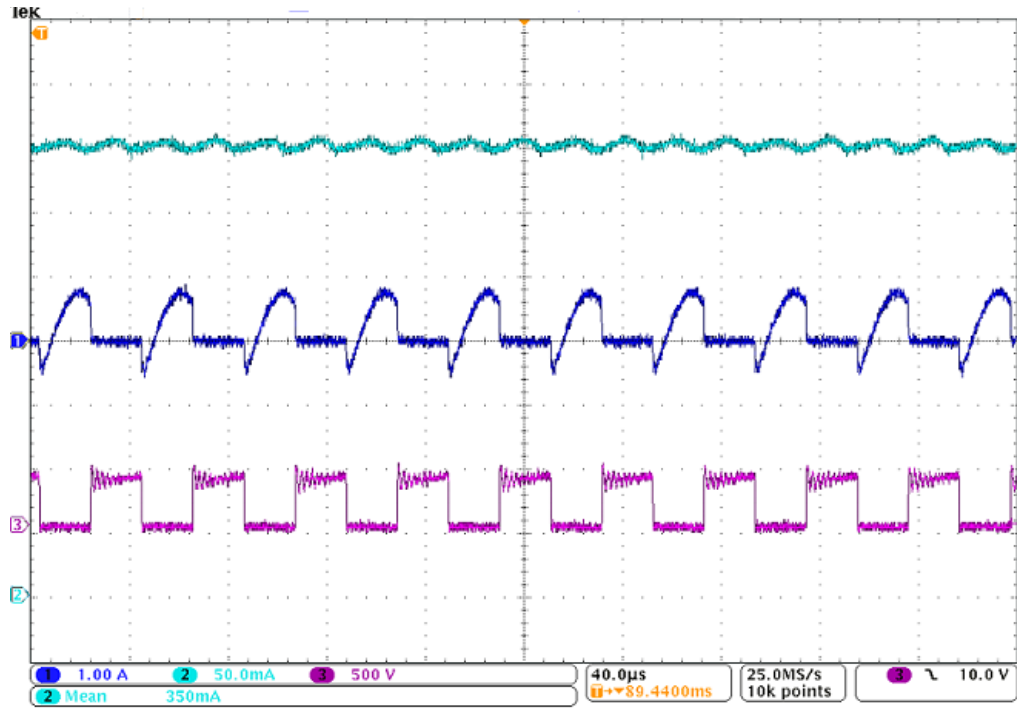
Değişken bobin en yüksek değerinde iken devre çıkış empedansı arttığından, azalan çıkış akımına bağlı olarak çıkış gücü ve LED ışık şiddeti azalmıştır. Bu durumda LED'lerin çalışma akımının en yüksek değeri 215 mA, gerilimin en yüksek değeri 93.3 volt olarak ölçülmüştür. LED ışık şiddetinde yaklaşık %50 azalma görülmüştür.

Aynı ölçümler değişken bobin en küçük değerine ayarlanarak tekrarlanmıştır. Bu durumda değişken bobine uygulanan I_{dc} değeri 1,5 A'dir. Çıkış empedansı küçüldüğünden, LED akımı ve ışık şiddeti artmıştır. Ölçülen LED akımı ve gerilimi Şekil 3.15.'de görülmektedir.



Şekil 3.15. Değişken bobin en düşük değerinde iken ölçülen LED akım ve gerilimi.

Değişken bobin en küçük değerinde iken çıkış akımı yaklaşık 350 mA olduğundan devre yine tam yükte çalışmış ve ışık şiddeti en yüksek değerini almıştır.



Şekil 3.16. Mosfet Drain-Source gerilimi ve drain akımı dalga şekilleri.

Devrede anahtarlama elemanı olarak SK2605 MOSFET'ler kullanılmıştır. S_1 MOSFET'ine ait drain-source gerilimi ile drain akımlarının dalga Şekilleri Şekil 3.15.'de görüldüğü gibidir.

Darin-Source gerilimi ve drain akımı ölçümleri, devre çıkışında değişken bobin bağlı olduğu durumda ve en yüksek çıkış gücünde yapılmıştır. Şekil 3.16'da da görüldüğü gibi anahtarlama kayıplarını engellemek için sıfır gerilim anahtarlama tekniği kullanılmıştır. Değişken bobinin rezonans kısmına eklenerek ve güç denetiminin yapılmasının sıfır gerilim anahtarlama her hangi bir olumsuz etkisi olmamıştır.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

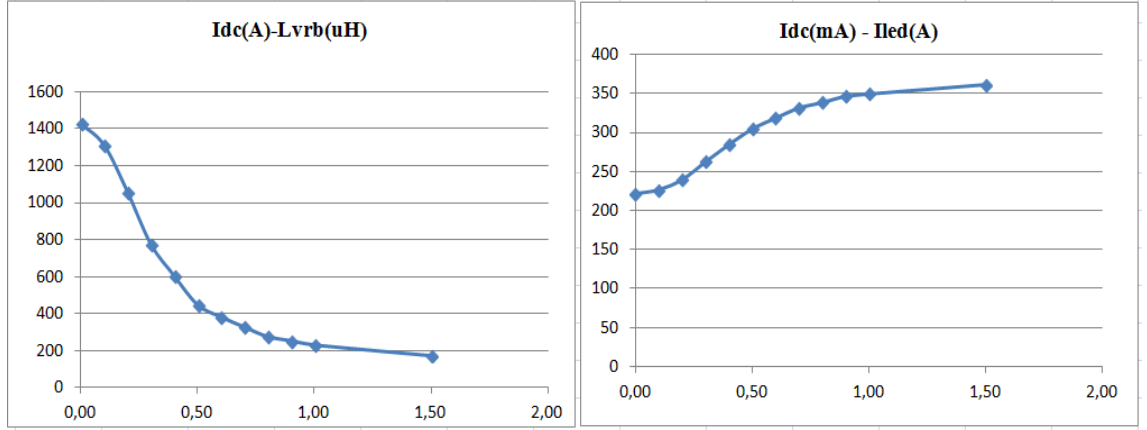
Kullanılan Edixeon - La1 LED'lerden yüksek ışık şiddeti elde edebilmek için uygulanması gereken akımın 350 mA olduğu katalog bilgilerinde yer almaktadır. Buna uygun olarak seçilen devre parametreleri ile sürücü devrenin benzetimi bölüm 3.2'de verildiği gibidir. Şekil 3.14'de de görüldüğü gibi çıkış akımının en yüksek değeri, istenilene uygun olarak 350mA elde edilmiştir. Tasarlanan devrenin deneysel ölçüm sonuçları da teorik ve benzetim sonuçlarını doğrulamaktadır. Benzetim ve deneysel çalışma sonuçları sayısal sonuçları Tablo 4.1.'de olduğu gibidir.

Ölçülen parametre	Benzetim Sonuçları	Deneysel Sonuçlar
Çıkış akımı ortalama değeri, I_{rms}	345 mA	350 mA
Çıkış gerilimi ortalama değeri, V_{rms}	98 V	98.1 V
Çıkış Gücü, P	33.8 W	34.3 W
Anahtarlama Frekansı	22.5 kHz	22.5 kHz

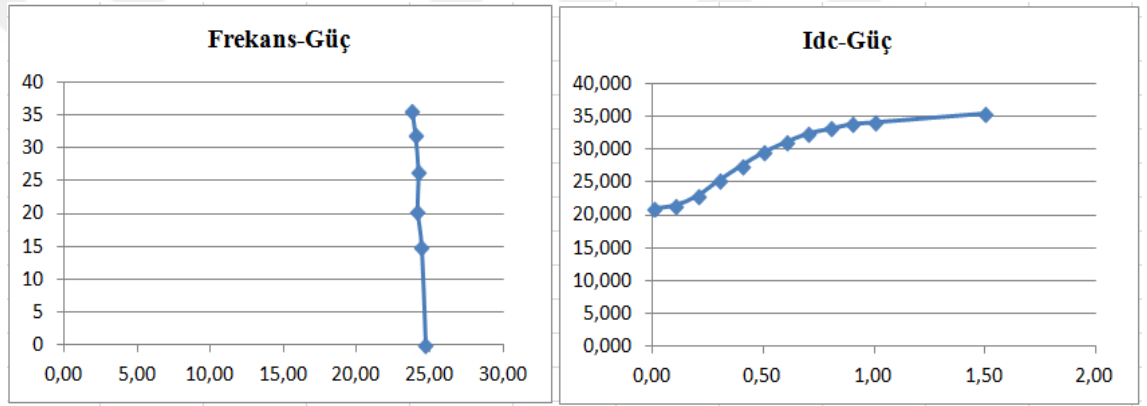
Tablo 4.1. Benzetim ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında, LED'den sabit bir ışık şiddeti elde edebilmek ve LED'e sabit akım uygulayarak daha uzun ömürlü kullanılmasını sağlamak amacıyla DC sürücü tasarlanmıştır. Bu aşamada devre çıkış akımı için herhangi bir geri besleme kontrol devresi tasarlanmamıştır. Bu nedenle devre çıkış akımı tepe değerinde az da olsa değişimler gözlemlenmiştir. Uzun vadede bu değişimlerin LED'e zarar vermesini engellemek için çıkış akımı kontrol devresine ihtiyaç duyulabilir.

Aydınlatmada enerji verimliliği açısından ışığın ihtiyaç olduğu oranda kullanılması önemlidir. Gereksiz enerji tüketimini engellemek ve LED ışık şiddetini ihtiyaca göre ayarlayabilmek için bir kontrol elemanı eklenmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi çıkış gücü ve ışık şiddeti kontrolü manyetik denetimli değişken bobin yardımı ile sağlanmıştır. Çalışmanın bu aşamasında yaklaşık olarak %50 oranında ışık şiddeti kontrolü sağlanmıştır. Manyetik denetimli bobin değerinin uygulanan DC akıma göre değişimi Şekil 3.17, a-)’da, çıkış akımının manyetik denetimli bobine uygulanan, DC akıma bağlı değişimi de Şekil 3.17, b-)’de verilmiştir.



Şekil 3.17. a-) Manyetik denetimli bobin değerinin uygulanan DC akıma göre değişimi. b-) Çıkış akımının manyetik denetimli bobine uygulanan DC akıma göre değişimi.



Şekil 3.18. a-) Sürücü devre çıkış gücünün frekansa anahtarlama frekansına göre değişimi. b-) Sürücü devre çıkış gücünün değişken bobine uygulanan DC akıma göre değişimi.

Tasarlanan LED sürücü devrede çıkış gücü kontrolü anahtarlama frekansını değiştirerek de gerçekleştirilmiştir. Değişken frekanslar çıkışta elde edilen güç değerleri Şekil 3.18,a-)’da olduğu gibidir. Burada anahtarlama frekansındaki çok küçük değişimlerde çıkış gücü oldukça fazla değişmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi yaklaşık 1 kHz’lik frekans değişiminde çıkış gücü sifira yaklaşmıştır, devre çıkış gücü, frekans değişiminde çok hassas olduğundan, gücün bu şekilde ayarlanması oldukça zordur. 3.18,b-)’de de manyetik denetimli bobine uygulanan DC akıma bağlı olarak çıkış gücündeki değişim görülmektedir. Burada çıkış gücündeki değişim çok hassas değildir ve lineer olmaya daha yakın olduğundan çıkış gücünün bu yöntemle kontrolü daha basittir.

5. SONUÇ

LED'den parlak ve kararlı ışık şiddeti elde edilmesini amaçlayan, DC çıkış akımına sahip akım beslemeli, paralel rezonans ve çıkış gücü %50 denetimli yeni bir sürücü devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sunulan sürücü devre, 33 adet 1 W'lık LED'i sürmek üzere 350 mA ortalama çıkış akımı ve 99 Volt çıkış gerilimine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan devrenin benzetim ve deneysel çalışmaları yapılmış, elde edilen sonuçların teorik analiz sonuçlarını doğruladığı gözlemlenmiştir.

Tasarlanan yarım köprü paralel rezonans devrede anahtarlama sinyalleri sürücü entegre ile sağlanmıştır. Paralel rezonans kısmında kullanılan manyetik etkileşimli bobin sayesinde devrenin güç dönüştürücü ve yük kısmı arasında elektriksel izolasyon sağlanmıştır. Rezonans dönüştürücü kullanılarak sıfır gerilim anahtarlama tekniği uygulanmış ve anahtarlama kayıpları önemli ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca ışığın gerektiği kadar kullanılmasını sağlamak amacıyla çıkış gücünün kontrol edilmesi amaçlanmış ve devreye çıkış gücünü kontrol edebilen bir değişken bobin eklenmiştir. Bu yöntem ile devre çıkış akımı belirli bir aralıkta elde edilebilmiş ve LED ışık şiddeti çalışma akımına bağlı olarak değiştirilmiştir. Çıkış gücü kontrol yönteminin kullanımına uygunluğunu test edebilmek için diğer bir çıkış gücü kontrol yöntemi olan anahtarlama frekansının değiştirilmesi de devrede denenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda çıkış gücü değişiminin anahtarlama frekansı değişimine karşı oldukça hassas olduğu ve bu aralıkta ayar yapmanın zor olduğu görülmüştür.

İlerleyen çalışmalarda devrenin amacına tam uygun şekilde çalıştırılabilmesi için çıkış gücü tam ayarlı olacak şekilde çalıştırılması planlanmaktadır. Ayrıca daha sonraki çalışmalarda devrede maliyetini ve boyutunu biraz daha azalmak amacıyla anahtarlama kendinden tetiklemeli olarak yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- ABRAMOVİTZ, A., CHİH-SHENG LİAO., SMEDLEY, K. 2013. State-Plane Analysis Of Regenerative Snubber For Flyback Converters. IEEE Transactions On Power Electronics, Vol: 28, pp. 5323 – 5332.
- BAL G., ÖNCÜ S., BÖREKÇİ S. 2011. Kendinden Tetiklemeli İndüksiyon Isıtıcı Tasarımı Ve Deneysel Uygulaması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, No 4, pp: 771-776.
- BODUR H. 2010. Güç Elektroniği. Ders Kitabı, S. 67-70, Birsen Yayınları, İstanbul.
- BÖREKÇİ, S., ÖNCÜ, S. 2008. Manyetik Denetimli Bobin İle Elektronik Balast Güç Denetimi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, Vol.14, pp.261-265.
- CHAO-LUNG KUO, TSORNG-JUU LIANG, KAI-HUI CHEN, JIANN-FUH CHEN.2010. Design And Implementation Of High Frequency AC-LED Driver With Digital Dimming. Proceedings Of 2010 IEEE International Symposium On Circuits And Systems (ISCAS), pp. 3713 – 3716, Paris.
- CHARLES K., ALEXANDER, MATTHEW N.O., SADIKU. 2009. Fundamentals Of Electric Circuits, McGraw-Hill, pp. 527-537, , New York
- CHEN, W., LI, S.N., HUI, S.Y.R. 2010. A Comparative Study On The Circuit Topologies For Offline Passive Light-Emitting Diode (LED) Drivers With Long Lifetime and High Efficiency. Energy Conversion Congress And Exposition (ECCE), IEEE , pp. 724 – 730, Atlanta, GA.
- ÇALKIN Y. 2011, Aydınlatmanın Tarihi Gelişimi, Bilim ve Teknik Dergisi, S. 526, pp.80-83, Ankara.
- DE FALCO, G., GARGIULO, M., BREGLIO, G., IRACE, A. 2012. Design Of A Parallel Resonant Converter As A Constant Current Source With Microcontroller Based Output Current Regulation Control. IEEE International Symposium On Power Electronics, Electrical Drives, Automation And Motion (SPEEDAM), pp. 632- 635, Sorrento.
- EDIXEON a series datasheet. 2011. www.edison-opto.com.tw, Edison-Opto Corporation, Taiwan.
- FAA-JENG LİN, ROU-YONG DUAN, JYH-CHYANG YU. 1999. An Ultrasonic Motor Drive Using A Current-Source Parallel-Resonant Inverter With Energy Feedback. Power Electronics, Vol: 14 ,pp. 31 – 42.
- HART, D.W. 1997. Introduction To Power Electronics, Prentice-Hall Inc, pp. 415 417, New Jersey.

- HO, Y.K.E. ; LEE, S.T.S. ; CHUNG, H.S.-H. ; HUI, S.Y., 2001, A Comparative Study On Dimming Control Methods For Electronic Ballasts, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16, pp. 828 – 836.
- HSI CHANG, YEN-SHIN L. 2007. Novel AC Driver And Protection Circuits With Dimming Control For Light Emitting Diodes. Industry Applications Conference, 42nd IAS Annual Meeting, Conference Record Of The 2007 IEEE, pp. 696 700, New Orleans.
- HUI, S.Y.R., SI NAN LI., XUE H.T., WU CHEN., NG, W.M. 2010. A Novel Passive Offline LED Driver With Long Lifetime. IEEE Transactions On Power Electronics, Vol.25.
- JINRONG QIAN, LEE, F.C.Y. 1998 A High-Efficiency Single-Stage Single-Switch High Power-Factor AC/DC Converter With Universal Input. IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 13, pp. 699 – 705.
- KAZIMIERCZUK, M. K., CZARKOWSKI, D. 1995. Resonant Power Converters. John Wiley & Sons Inc., Canada.
- LA CHANSRI, P., NOICHAROEN, N. PHETPHOI, K. 2011. A High Power LED Driver With Class D ZVS Series Resonant Converter. IEEE International Conference On Electrical, Control And Computer Engineering (INECCE), pp. 457 – 460, Malaysia
- LAM, J.C.W., JAIN, P.K. 2008. A Modified Valley Fill Electronic Ballast Having A Current Source Resonant Inverter With Improved Line-Current Total Harmonic Distortion (THD), High Power Factor, And Low Lamp Crest Factor. IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 55, pp.1147 – 1159.
- MEDINI G., MICHAEL G., SAM B.Y. 1994. Inductor-Controlled Current-Sourcing Resonant Inverter And Its Application As A High Pressure Discharge Lamp Driver. Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol.1, pp:434 440, Orlando, FL.
- MICHAEL D. 2004. LED-Driver Considerations. Analog Applications Journal, Vol.1, pp.14-17.
- ONAYGİL S., GÜLER, Ö., ERKİN E., GORALI E. 2005 . Ticari Binaların Elektrik Enerjisi Tüketiminde Aydınlatmanın Payı. III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, pp.157-163, Ankara.
- ÖNCÜ S., 2011. Kendinden Tetiklemeli İndüksiyon Isıtıcı İçin Akım Geri Beslemeli Seri Rezonans Eviricili Sürme Devresinin Gerçekleştirilmesi Ve Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 111 S., Ankara.
- PHILIPS Solid-State Lighting Solutions 2010, Led Lighting- Getting It Right Magazine.

- PRESSMAN ABRAHAM I., KEITH B., TAYLOR M. 2009. Switching Power Supply Design Book. McGraw-Hill, pp. 699-745.
- RASHID MUHAMMED H. 2001, Power Electronics Hand Book, pp. 227-235.
- SHAFI, MOHSIN A. MCMAHON, R.A.. 2012. Influence of Voltage and Frequency Dimming on Power Losses in HF Electronic Ballasts for Compact Fluorescent Lamps. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 48, pp. 839 – 845.
- SHRIVASTAVA, A., SINGH, B. 2012. LLC Series Resonant Converter Based LED Lamp Driver With ZVS, Power India Conference, pp. 1-5, India.
- SOARES, G.M., ALMEIDA, P.S., PINTO, D.P., BRAGA, H.A.C. 2012. A Comparative Study Between Two Single-Stage LED Drivers: A Sole Converter Versus An Integrated Topology. 10th IEEE/IAS International Conference On Industry Applications (INDUSCON), pp. 1 – 8, Fortaleza.
- TAM, P.W., LEE, S.T.S., HUI, S.Y.R., CHUNG, H.S.H. 2006. Practical Evaluation of Dimming Control Methods for Electronic Ballasts. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 21, pp: 1769-1775.
- TSE, C.K., CHOW, M.H.L. 1996. Single Stage High Power Factor Converter Using The Sheppard-Taylor Topology. 27th Annual Power Electronics Specialists Conference, PESC '96 Record, Vol.2, pp. 1191 – 1197, Baveno.
- YU-SHENG CHEN, TSONG JUU LIANG, KAI-HUI CHEN, JER-NAN JUANG. 2011. Study And Implementation Of High Frequency Pulse LED Driver With Self Oscillating Circuit, IEEE International Symposium On Circuits And Systems (ISCAS), pp. 498-501, Rio de Janeiro.

ÖZGEÇMİŞ

Nihal ÇETİN ACAR 1987 yılında Denizli’de doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Denizli’de tamamladı. Lisans eğitimine 2005 yılında Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde başladı ve 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılı Haziran ayından bu yana Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Güç elektroniği alanında araştırmalar yapmaktadır.

