

Dahili PFC'li Geri Dönüslü Tipi Güç LED Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Design and Realization of Flyback Power LED Driver with Internal PFC

Yusuf GÜRBÜZ¹, Ramazan AKKAYA²

¹Gümüşhane MYO Mekatronik Programı
Gümüşhane Üniversitesi
ygurbuz@gumushane.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Selçuk Üniversitesi
akkaya@selcuk.edu.tr

Özet

Günümüzde güç LED'leri, geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre uzun ömür, dayanıklılık ve yüksek verimleri nedeni ile aydınlatma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Güç LED'leri yüksek değerlerde akım çektiklerinden, özel sürücü devrelerine ihtiyaç duyarlar. Bu özel sürücü devreleri, girişlerinde şebekeden harmonikli akımlar çeken ve güç faktörünü düşüren AC-DC dönüştürücülere sahiptir. Bu dönüştürücüler yerine aktif Güç Faktörü Düzeltmeli (PFC)'li AC-DC dönüştürücüler kullanılarak şebekenin güç faktörü 1'e yaklaştırılır ve şebekeden harmonik içeriği azaltılmış sinüs'e yakın akımlar çekilerek güç kalitesi düzeltilebilir. Bu çalışmada, giriş güç faktörünü düzeltlen ve şebekeden çekilen akımların harmonik içeriğini azaltarak güç LED'lerini süren dahili PFC'li geri dönüşlü (flyback) tipi bir devre tasarlanmış ve pratik olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda güç faktörü 0.97 ve Toplam Harmonik Bozulma (THD) %10.4 olarak bulunmuştur. Gerçekleştirilen sürücü EN 61000-3-2 C sınıfı harmonik standardını karşılamaktadır. Devre PSpice ortamında simüle edilmiş, simülasyon ve deneysel sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Abstract

Nowadays power LEDs are commonly used in lighting sector because of their advantages like durability, long life time and high efficiency comparing to traditional light sources. Since power LEDs draw high current, they need special driver circuits. These special driver circuits have AC-DC converters which decrease the power factor and draw currents with harmonics from AC mains. These problems can be eliminated by using AC-DC converter which includes active PFC and thus, power LED driver circuit draws a current which has nearly pure sinusoidal waveform from AC mains and power factor is improved. In this study, internal PFC containing circuit have been designed and realized which decreases the harmonic containing and drives the power LEDs by correcting the power factor. As a result of the experimental studies, the power factor 0.97 and THD 10.4% was found to be. Realized driver meets the EN 61000-3-2 class C standard. The circuit is simulated with PSpice and it has been seen that simulation and experimental results were in agreement.

1. Giriş

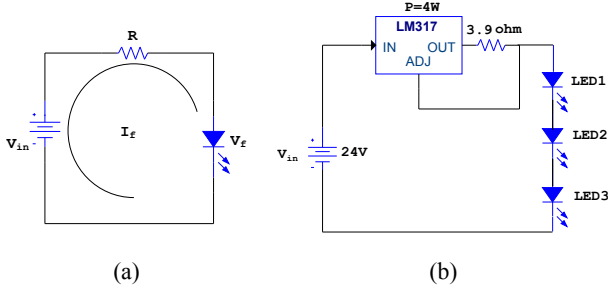
Aydınlatmada kullanılan enerjinin payı toplam enerji kullanımına göre azımsanmayacak kadar büyüktür. Dünya genelinde, aydınlatmada kullanılan enerjinin toplam elektrik enerjisine oranı %18 olarak verilmektedir [1]. Tüketime artması ve elektrik enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle diğer enerji sistemlerinde olduğu gibi aydınlatma sistemlerindeki verim de gittikçe önem kazanmaktadır [2]. Aydınlatma sistemlerinin yüksek enerji kullanımlarından doğan maliyetlerini düşürmek için alternatif aydınlatma sistemleri üzerinde çalışılmaya başlanmış ve klasik aydınlatma sistemlerine göre düşük enerji tüketimi, uzun ömür, sağlamlık, küçük boyut, yoğun ışık yayma, karartma yapılabilme, dayanıklılık ve güvenilirlik gibi avantajlara sahip olan güç LED armatürler artan bir şekilde kullanılmaktadır [3][4].

Güç LED'leri yüksek değerlerde akım çektiklerinden, özel sürücü devrelerine ihtiyaç duyarlar. Bu özel sürücü devreleri, girişlerinde şebekeden harmonikli akımlar çeken ve güç faktörünü düşüren AC-DC dönüştürücülere sahiptir. Bu dönüştürücüler yerine aktif Güç Faktörü Düzeltmeli (PFC)'li AC-DC dönüştürücüler kullanılarak şebekenin güç faktörü 1'e yaklaştırılır ve şebekeden harmonik içeriği azaltılmış sinüs'e yakın akımlar çekilerek güç kalitesi düzeltilebilir. Avrupa da, şebekeye bağlanan her hangi bir cihaz, kanunen EN 61000-3-2 standardında verilen giriş hat akımı harmonik sınır değerlerini sağlamak zorundadır. Bu standarda göre giriş akım harmoniklerinin sınırlanması yeterli olduğundan birim güç faktörünün sağlanması gerekli değildir. Bununla birlikte, standarttaki birçok değişiklikler ile standardı anlamak, standarda uygun PFC tekniklerini değerlendirmek ve toplam maliyet ile performansı optimize etmek önemlidir [5]. Bu çalışmada, iki kademeli PFC'li güç LED sürücülerine göre daha az eleman sayısına sahip tek kademede güç faktörünü düzeltlen ve şebekeden çekilen akımın harmonik içeriğini azaltan ve EN 61000-3-2 C harmonik standardını karşılayan geri dönüşlü tipi bir güç LED sürücü tasarlanarak simüle edilecek ve pratik olarak gerçekleştirilecektir.

2. Güç LED Sürücüler

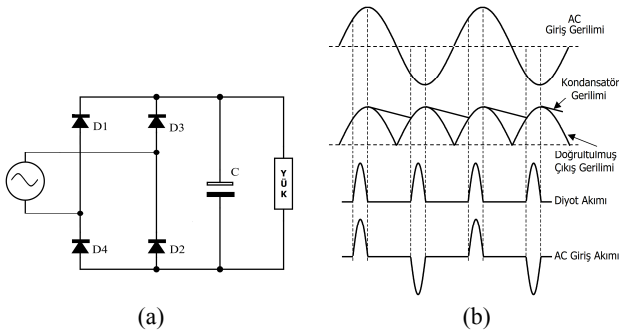
Güç LED'lerinin çekeceği akıma göre sabit akım sağlayan güç LED sürücüsü ile beslenmesi gerekmektedir. Akım sınırlaması olmadığında, güç LED'leri yapıları sebebi ile fazla akım çekecekler ve ısınacaklardır. Bu da güç LED'lerini avantajlı kılan kullanım ömürlerinin azalmasına neden olacaktır. Özellikle tasarruf amacıyla kullanılan sıcak ve soğuk beyaz Güç LED'li aydınlatmalarda sürücünün verimi çok önemlidir. Güç LED'leri kullanılarak yapılmak istenen tasarruf, verimsiz ve kalitesiz bir güç LED sürücüsü ile sağlanamaz. Bu amaçla güç LED'leri için çok sayıda sürüme devreleri ve yöntemleri geliştirmiştir [6][7][8].

Devre şeması Şekil 1.a'da verilen dirençli LED sürücü daha çok küçük güçlü LED'lerinin sürülmesinde kullanılmaktadır. Basit ve ucuz bir yöntemdir, fakat güç kayıpları fazladır ve akım sabit değildir ayrıca LED'in parlaklığı değişkendir. Devre şeması Şekil 1.b'de verilen gerilim regülatörlü lineer sürücü, dirençli sürücüye göre daha güvenli akım sınırlaması yapabilir. Bu yöntem ile 3 adet 1W'lık güç LED'i kolayca sürülebilmektedir. Lineer kontrol yöntemi ile güç LED'inin sürülmesinde gerilim regülatörünün aşırı ısınması bu devrenin dezavantajıdır. Ayrıca regülatördeki güç kaybından dolayı verimi düşüktür.

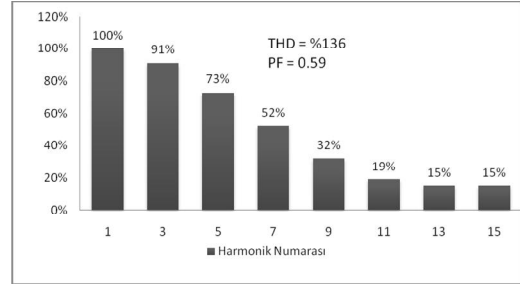


Şekil 1: a) Dirençli ve b) lineer LED sürücü

Güç LED'lerini sürmek için kullanılan özel sürücü devreler, Şekil 2'de görüldüğü gibi girişlerinde şebekeden harmonikli akımlar çeken ve güç faktörünü düşüren AC-DC dönüştürücüye sahiptir. Şekil 3'de ise bu dönüştürücülere ait harmonik spektrumu verilmiştir [9][10][11].



Şekil 2: Tek fazlı AC-DC dönüştürücünün a) devre şeması b) dalga şekilleri



Şekil 3: Tek fazlı AC-DC dönüştürücünün tipik harmonik spektrumu

Anahtarlama kontrol yöntemleri ile gerçekleştirilen ve yüksek frekansta çalışan aktif PFC'li AC-DC dönüştürücüler kullanılarak şebekenin güç faktörü 1'e yaklaştırılır ve şebekeden harmonik içeriği azaltılmış sinüs'e yakın akımlar çekilerek EN 61000-3-2 C standardı sağlanabilir. Bu amaçla aşağıda bazıları verilen temel anahtarlama güç LED sürme devreleri kullanılır [12].

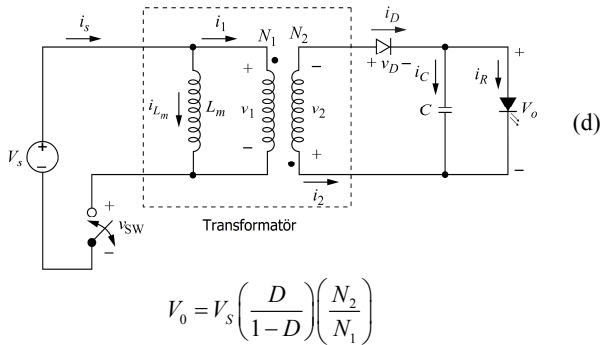
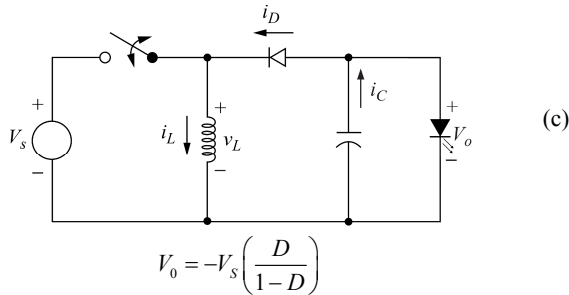
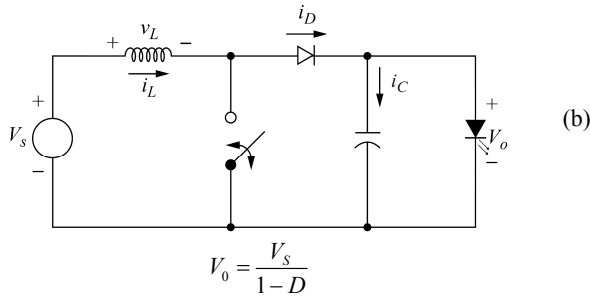
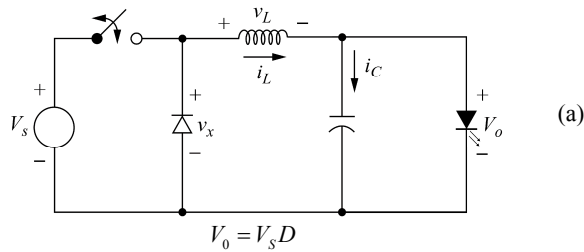
Buck dönüştürücü güç LED sürücü: En yaygın olarak kullanılan anahtarlama dönüştürücü Buck tipidir. DC giriş gerilimini daha düşük seviyede aynı polaritede bir gerilime dönüştürür. Devre yapısı basit ve tasarımı kolaydır. Şekil 4.a'da buck dönüştürücü prensip bağlantı şeması verilmiştir.

Boost dönüştürücü güç LED sürücü: Boost dönüştürücü DC giriş gerilimini, aynı polaritede daha yüksek bir DC çıkış gerilimine çevirir. Şekil 4.b'de boost dönüştürücünün prensip bağlantı şeması verilmiştir. PFC uygulamalarında en çok kullanılan dönüştürücüdür.

Buck-Boost dönüştürücü güç LED sürücü: Buck-Boost veya inverting (tersleyici) dönüştürücü, DC giriş gerilimini işleyerek DC çıkış gerilimi üretir. Bu gerilim girişe göre ters polaritededir. Negatif çıkış gerilimi, girişe göre daha yüksek ya da daha düşük genlikte olabilir. Şekil 4.c'de buck-boost dönüştürücü prensip bağlantı şeması verilmiştir.

Geri dönüşlü güç LED sürücü: Geri dönüşlü bir dönüştürücü giriş ve çıkışı arasında izolasyon sağlayan bir DC-DC dönüştürücüdür. Şekil 4.d'de geri dönüşlü dönüştürücü prensip şeması verilmiştir. PFC'li izoleli güç LED sürücü uygulamalarında yaygın şekilde kullanılır. Geri dönüşlü dönüştürücünün çalışma prensibi buck-boost dönüştürücüye benzer. Anahtar iletimdeyken L_m bobininde depolanan enerji anahtar kesime girdiğinde yüke aktarılır. Anahtar kesimdeyken akım, L_m bobininde aniden değişemez dolayısıyla iletim yolu ideal transformatörün primer sargılarına doğru olmalıdır.

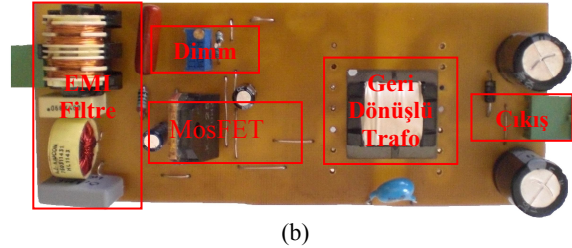
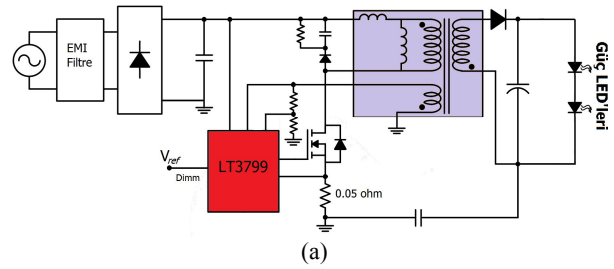
Her bir devre için çıkış gerilimi ifadesi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Güç LED'lerini sürmek için kullanılan çeşitli temel anahtarlamalı dönüştürücüler

3. Geri Dönüslü Dönüştürücü ile Güç LED Sürücünün Gerçekleştirilmesi

Bu çalışmada devre şeması Şekil 5.a'da ve üstten görünümü Şekil 5.b'de verilen geri dönüşlü tipi dahili PFC'li güç LED sürme devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Güç LED sürücü, LT3799 ile kontrol edilmektedir. LT3799 tümleşik devresi, LED'leri sürmek için özel olarak tasarlanmış güç faktörü düzeltme özelliğine sahip MOSFET sürücü içeren izoleli geri dönüşlü dönüştürücüleri kontrol etmek amacı ile kullanılan bir tümleşik devredir [13].



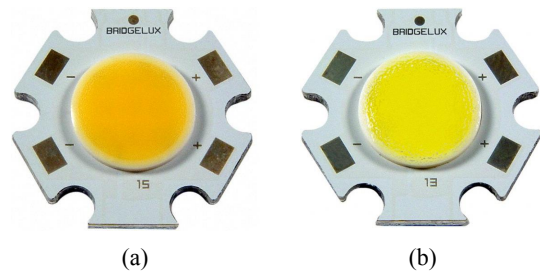
Şekil 5: Dahili PFC’li güç LED sürücü a) devre şeması
b) üstten görünümü

Devre, yüksek frekansta anahtarlандığından meydana gelen Elektro Manyetik Girişimleri (EMI) bastırmak için giriş bir EMI filtresi eklenmiştir. Köprü diyot vasıtasıyla AC şebeke gerilimi DC'ye dönüştürülmüş ve LT3799 tümleşik devresiyle kontrol edilen geri dönüşlü tipi güç dönüştürücü ile giriş güç faktörü düzeltilerek çıkışta sabit akım ile güç LED'leri sürülmüştür. Gerçekleştirilen devrenin tasarım parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Tasarım parametreleri

Parametre İsmi	Sembolü	Değeri	Birimi
Giriş gerilimi	V_{ac}	220	V
Giriş frekansı	f_{line}	50	Hz
Çıkış gerilimi	V_{out}	19.8	V
Çıkış akımı	I_{out}	1000	mA
Çıkış gücü	P_{out}	20-25	W
Anahtarlama frekansı	f_{SW}	300-25	kHz
Güç faktörü	PF	0.97	-

Devrede yük olarak Şekil 6'da gösterilen Bridgelux firmasına ait BXRA-W0401 model sıcak beyaz ve BXRA-C0402 model soğuk beyaz iki adet seri bağlı güç LED'i sürülmüştür. Çizelge 2'de bu güç LED'lerine ait parametreler verilmiştir [14].



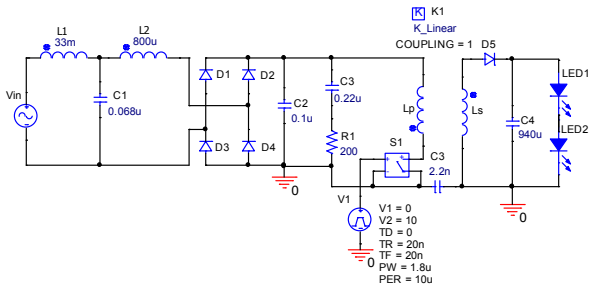
Şekil 6: Güç LED'leri a) sıcak beyaz b) soğuk beyaz

Çizelge 2: Devrede kullanılan güç LED parametreleri

Model	BXRA-W0401	BXRA-C0402
Renk	Sıcak beyaz	Soğuk beyaz
Renk Sıcaklığı	3000K	5600K
$I_{LED} = 700mA$	$V_f = 9.6V$	$V_f = 9.8V$
	$\Phi_v = 440lm$	$\Phi_v = 620lm$
$I_{LED} = 1000mA$	$V_f = 10.1V$	$V_f = 10.5V$
	$\Phi_v = 560lm$	$\Phi_v = 800lm$

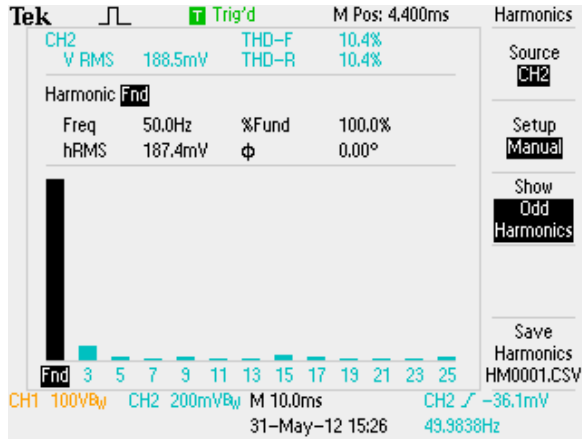
3.1. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar

Gerçekleştirilen devre PSpice ortamında modellenmiş ve tasarım parametrelerine göre simüle edilmiştir. Devrenin PSpice ortamında oluşturulan simülasyon modeli Şekil 7'de görülmektedir [15].

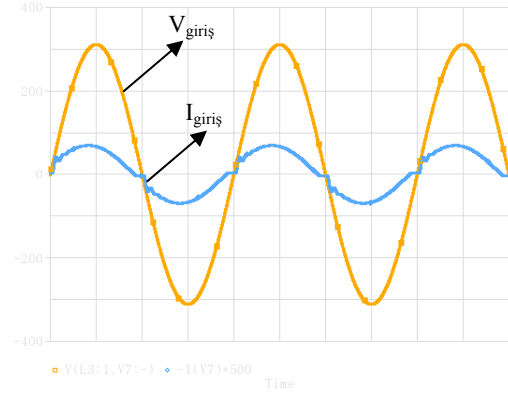


Şekil 7: Gerçekleştirilen güç LED sürücü devresinin PSpice modeli

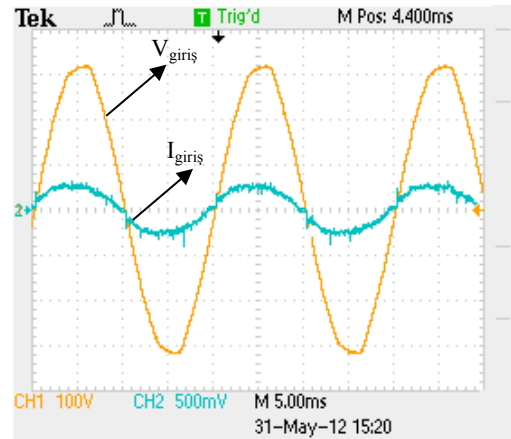
Şekil 8'de güç LED sürme devresinin giriş akımının harmonik spektrumu verilmiştir. Şekil 9.a'da aynı devre için giriş gerilimi ve giriş akımına ait simülasyon ve Şekil 8.b'de deneysel sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 8: Devreye ait harmonik spektrumu



(a)

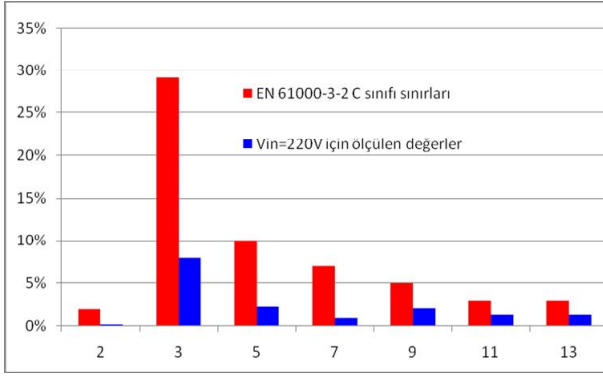


(b)

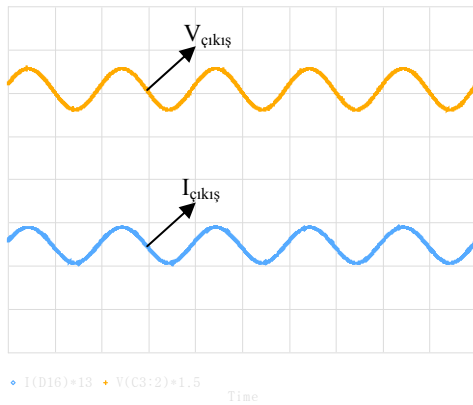
Şekil 9: Devreye ait a) simülasyon ve b) deneysel giriş akım ve geriliminin değişimi (100V/div 500mA/div)

Şekil 8'de görüldüğü gibi Toplam Harmonik Bozulma (THD) %10.4 civarındadır ve akım harmonik spektrumunda 3. harmonik diğer harmoniklere göre daha etkindir. Bu da giriş akımının dalga şeklini Şekil 8'den de görüldüğü gibi çok az da olsa bozmaktadır. Aynı şekilde giriş akımı, giriş gerilimini izlemektedir ve çok az bir faz farkı ile güç faktörünün düzeltildiği, deneysel ve simülasyon sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Giriş faz açısı -13.32 derecedir ve devrenin güç faktörü yaklaşık 0.97 civarındadır.

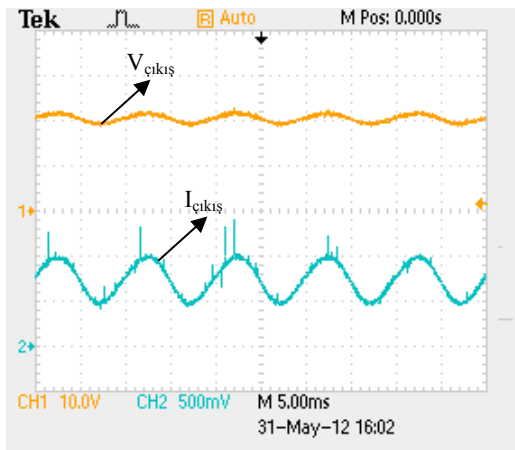
Gerçekleştirilen devre ile 220V AC giriş için tek kademede güç faktörünü düzeltilmiş ve şebekeden çekilen akımın harmonik içeriği Şekil 10'da görüldüğü gibi EN 61000-3-2 C harmonik standardına göre önemli oranda azaltılmış ve 20W'lık güç LED'leri sabit akım ile sürülmüştür.



Şekil 10: Ölçülen giriş harmoniklerinin EN 61000-3-2 C harmonik standardı ile karşılaştırılması



(a)



(b)

Şekil 11: Devrenin a) simülasyon ve b) deneysel çıkış akım ve geriliminin değişimi (10V/div, 500mA/div)

Şekil 11.a'da devrenin çıkış gerilimi ve çıkış akımına ait simülasyon ve Şekil 11.b'de deneysel sonuçları verilmiştir. Değişimde görüldüğü gibi çıkış gerilimi ve çıkış akımı ortalama bir değer etrafında küçük bir dalgalanmaya sahiptir. Güç LED'lerinin beslenmesi için gerekli olan sabit akım sağlanmıştır

4. Sonuçlar

Gerçekleştirilen dahili PFC'li güç LED sürme devresi 25W'a kadar güç LED'lerini sürülebilmektedir. Deneysel çalışmalar düşük güç (20W'lık çıkış gücü) için gerçekleştirilmiştir. Tek bir devre ile güç faktörü düzeltilerek güç LED'lerinin sürülebilmesi, küçük boyutlu ve düşük maliyetli olmasından dolayı bu sürücü düşük güçlü uygulamalar için oldukça avantajlıdır. Gerçekleştirilen devrenin THD'si %10.4 ve güç faktörü 0.97 olarak bulunmuştur. PFC'siz yapıya göre güç faktörü oldukça iyileştirilmiş ve harmonik içeriği önemli ölçüde azaltılmış olup çekilen akımın değişimi sinüsoidaldır ve EN 61000-3-2 C harmonik standardını karşılamaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] EİE, "Aydınlatmada ve Ev Aletlerinde Yapılan Enerji Tasarrufu", *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü* http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu/konut_ulas/en_tasarruf_bina_ay.html, 2012.
- [2] Yılmaz, H., ve Hava, A. M., "G-LED Uygulamaları İçin Güç Katsayısı Düzelticili Tek Katlı AC-DC Dönüştürücülerin İncelemesi", *EVK 2011, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 144-148, 2011.
- [3] Basu, S., Bollen, M.H.J. and Undeland, M.T., "PFC Strategies In Light of EN 61000-3-2", *Published in EPE PEMC 2004 Conference*, Riga, Latvia, 2004.
- [4] Yurtseven, M. B. ve Onaygil, S., "Kati Hal Aydınlatma ve LED Standartlarındaki Gelişmeler", *VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, Kasım 2011.
- [5] EPSMA, "Harmonic Current Emissions Guidelines to the Standard EN 61000-3-2", *European Power Supply Manufacturers Association*, www.epsma.org, 5-7, 2010.
- [6] Winder S., "Power Supplies for LED Driving", *Elsevier Inc., U.S.A.*, 2009.
- [7] Erol, Y., "Power LED Sürücü", *Bilim ve Teknik Ekim 2008 Kendimiz yapalım*, 104-105, 2008.
- [8] Tutak A., "LED Technologies In Energy Efficient Applications", *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 2009.
- [9] Sebastián J., "Advanced Techniques in Power Factor Correction (PFC)", *Grupo de Electrónica Industrial Universidad de Oviedo*, Spain, 2003
- [10] De La Ree, "Experiment Power Factor Correction" *Power Lab*, Virginiatech, 4-6, 2010.
- [11] Yu L. and Yang J., "The Topologies of White LED Lamps Power Drivers", *3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, 2009.
- [12] Hart D. W., "Power Electronics", *Pearson Education, Inc.*, 2010.
- [13] Linear, "Offline Isolated Flyback LED Controller with Active PFC", *Linear Technology Corporation*, www.linear.com, 2011.
- [14] Bridgelux, "Bridgelux ES Array Series Product Data Sheet", www.bridgelux.com, 2010.
- [15] Gürbüz, Y., "Güç Faktörü Düzeltmeli Güç LED Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi", *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2012.