

# LED AYDINLATMA UYGULAMALARI İÇİN YÜKSEK BAŞARIMLI LED SÜRÜCÜ DEVRELERİNİN AYRINTILI ANALİZİ

Aykut Kızılcı  
[akizici@gucelsan.com](mailto:akizici@gucelsan.com)

Eyyup Demirkutlu  
[edemirkutlu@gucelsan.com](mailto:edemirkutlu@gucelsan.com)

*GÜÇELSAN Elektronik Elektronik Ltd. Şti.  
Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü  
TEKMER T-1 Binası No: B-8 Beytepe/Ankara*

**Özet -** Bu bildiri, öncelikle LED aydınlatma uygulamalarında kullanılan LED sürücü devrelerin kaliteli, yüksek başarımı ve uzun ömürlü olabilmesi için uyması gereken uluslararası standartlar ayrıntılı bir şekilde incelenecektir. Standartlardaki önemli hususlar örneklerle açıklanacaktır. Ek olarak bu standartlara uyumlu hale gelinmesi için tasarımda ne tür dengeler kurulması gerektiği paylaşılacaktır. Devre içinde kullanılan devre elemanlarının güvenlik ile verimlilik arasındaki dengeyi nasıl kurması gerektiği örneklendirilecektir. Kullanımı giderek yaygınlaşan yüksek başarımı LED sürücü devreleri örnek bir tasarımla değerlendirilecek ve geleneksel LED sürücü devrelerine olan üstünlükleri giriş akımı, verim, maliyet, boyut ve kullanım ömrü bakımından karşılaştırmalı olarak verilecektir. Son olarak önerilen LED sürücünün geliştirilmesinde izlenebilecek yollar sunulacaktır.

**Anahtar sözcükler-** AC/DC çevirici, LED sürücü, güç faktörü, harmonik, verimlilik, kullanım ömrü, THD, elektromanyetik uyumluluk.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde verimli aydınlatma çözümü olarak ilk sırada LED (light emitting diode) aydınlatma bulunmaktadır ve LED aydınlatma kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Uzun kullanım ömrü, üretiminde zehirli/zararlı elementler içermemesi (özellikle civa) ve yüksek ışık verimliliği LED'lerin bilinen özelliklerinden biridir [1]. LED üreticileri her geçen gün teknolojilerini geliştirmekte ve daha verimli LED'ler ortaya çıkarmaktadırlar [2]. İlerleyen teknolojiyle birlikte LED'lerin daha verimli olacağı, bu sayede soğutması daha kolay ve kullanım ömrü daha uzun aydınlatma sistemlerinin ortaya çıkacağı öngörülmektedir. LED aydınlatma uygulamasının bütün olarak verimli olabilmesi için LED'in yanı sıra LED sürücüsünün de verimli ve standartlara uygun olarak yüksek kalitede olması gerekmektedir.

Bu bildiri, LED aydınlatma uygulamalarında kullanılan LED sürücülerin yüksek kalitede olması için uyması gereken standartlar analiz edilecektir. Bu standartlara uygun modern LED sürücü hakkında

bilgiler verilecektir. Tasarlanan yüksek başarımı LED sürücüsü için elde edilen deney sonuçları verilecek ve klasik LED sürücüsüne olan üstünlükleri ayrıntılı olarak sunulacaktır.

## 2. LED SÜRÜCÜLER İÇİN STANDARTLARA UYUMLULUK

Aydınlatma pazarında güvenilirlik ve kalite için LED sürücü tasarımında, üretiminde ve kullanımında uyulması gereken uluslararası standartlar bulunmaktadır. Avrupa pazarında LED sürücülerin iki adet yönergeye dahil olarak uyumlu olması gerekir: düşük gerilim yönergesi (LVD) ve elektromanyetik uyumluluk yönergesi (EMC). Bu yönergelerde LED sürücülerin uyması gereken bazı standartlar bulunmaktadır [3].

Düşük gerilim yönergesi incelendiğinde LED sürücülerin dahil olması gereken asgari standartlar IEC/EN 61347-2-13 ve IEC/EN 62384 olarak görülmektedir. Bu standartlar hem cihazın emniyet hem de başarımlarını kapsamaktadır. IEC/EN-61347'de canlı uçlar arasında (giriş faz –nötr arası) gerilim  $250V_{RMS}$ 'den fazla  $500V_{RMS}$ 'den az ise sızıntı (creepage) ve açıklık (clearance) mesafeleri temel yalıtım için en az 3mm, güçlendirilmiş yalıtım için en az 6mm olma koşulu belirtilmiştir [4]. Yaygın olarak LED sürücü topolojilerinde galvanik izolasyonu sağlamak için genelde yüksek frekans trafoları kullanılır. Yine aynı standartta belirtildiği gibi giriş çıkış izolasyonunu sağlayan bu trafoların  $220V_{AC}$  girişli bir sistem için  $4 \times 220 + 2750 = 3630V_{RMS}$  (güçlendirilmiş yalıtım kategorisinde) gerilime 1 dakika boyunca dayanması gerekmektedir. Trafo üretici firmaları bu duruma uygunluğunu veri sayfalarında belirtirler [5]. Ancak bu tür trafolarla sızıntı ve açıklık mesafelerini korumak için çeşitli yalıtım teypleri kullanılır. Bu teypler sarımsı tüm bacağa yayılmasını engellediği için kaçak endüktansın arttığı bilinmektedir [6]. Örneğin flyback çeviricide kullanılacak yüksek frekans trafosu ele alındığında yüksek kaçak endüktans çevirici içindeki yarı iletken anahtarı kesim noktasında zorladığı için daha yüksek gerilime dayanıklı anahtar kullanılması gerekebilir. Bir diğer husus da kaçak endüktans üzerindeki enerji standart güç çevirici topolojilerinde genelde bir direnç üzerinde harcanır. Kaçak endüktans arttıkça içinde

depoladığı enerji artar ve bu yüzden de direnç üzerinde ısı olarak atılması gereken güç artar. Bu durum da verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. Düşük güçlü LED sürücü sistemlerinde bu kayıp ciddi verimlilik farklarına neden olur. Dolayısıyla güvenlik faktörleri ve verimlilik arasında uygulamaya bağlı olarak bir tasarım dengesi kurulması gerekebilir.

LED sürücülerin başarımları da belirli standartlara uymalıdır. IEC-62384 standartına göre uygulanan testlerden birisi anormal koşullar altında LED sürücünün sorunsuz çalışmasıdır [7]. LED sürücü 1 saat boyunca yüksüz çalıştırılır, sonra çıkışa LED yükü bağlanır ve normal çalışma beklenir. Yine benzer bir şekilde sürücü 1 saat boyunca çıkışı kısa devre bırakılır, sonra kısa devre ortadan kaldırılır ve normal çalışma beklenir. Cihaz nominal giriş geriliminde 30 saniyede bir açılıp kapatılır. Bu döngü yüksüz iken 200 defa ve tam yükte 800 defa tekrarlanır. Bu testten sonra LED sürücünün en az 15 dakika düzgün çalışması beklenir. LED sürücünün açık yük, kısa devre yük ve termal şoklarla birlikte sürekli açılıp kapanmaya karşı dayanıklı olması standartta uyumluluk için LED sürücüdendir beklenmektedir. Daha kaliteli LED sürücüler için ileride bu ve buna benzer standartların ek özelliklerle birlikte sürücülere daha zorlu testleri zorunlu kılacağı öngörülmektedir.

EMC yönergesinde ise LED sürücüler için üç ana standart mevcuttur. Bunlardan ilki sürücünün girişten çektiği akımın harmonik içeriğiyle ilgilidir [8]. Şebekeden beslenecek LED aydınlatma ürünleri için güç faktörü (power factor,  $\cos\phi$ ) ve akım THD belirli sınırlar içinde bulunmalıdır. Örneğin 10W giriş güçlü bir LED sürücü için üçüncü harmonik limiti 34mA, beşinci harmonik için 19mA olarak standarttaki tablolar yardımıyla hesaplanabilir. 25W üstü aydınlatma ürünlerinde ise harmonik içerik daha farklıdır. Göze batan kriter giriş akımı üçüncü harmonik üst seviyesinin temel frekanstaki akım değerine göre yüzde 30 x güç faktörünün altında kalması beklenmektedir. Standart diyot doğrultuculu klasik LED sürücü güç çeviricilerinde güç faktörü 0,6-0,8 seviyelerinde olduğu için üçüncü harmonik değeri üst limiti örneğin  $30 \times 0,6 = \%18$ 'dir. Klasik güç çeviricilerinde kullanılan pasif güç faktörü düzeltici çözümleri güç faktörünü arttırarak bu değeri daha da yukarılara çekmeye olanak tanırsa da, daha büyük devre elemanları kullanılmasına neden olabilirler. Bu kapsamda aktif güç faktörü düzenleyici devreler çözüm olmaktadır.

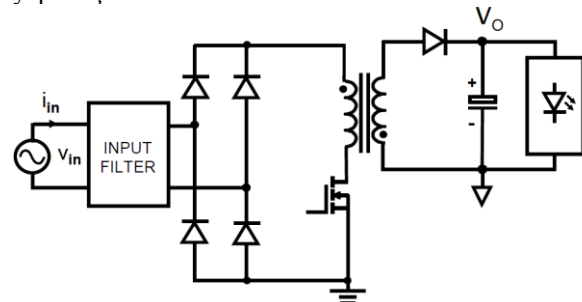
LED sürücülerin elektromanyetik uyumluluğu çerçevesinde iletim/radiatif yoluyla yayılımı az ve dışarıdan gelen güçlü darbelere karşı dayantısı yüksek olmalıdır[9, 10]. Bu testlerin içeriği incelendiğinde giriş filtresinin iyi tasarlanması ve sistemin bağımsızlığının yüksek olması gerekir. Bu noktada yine bir tasarım dengesi sağlanması gerekebilir. Örneğin

elektromanyetik yayılımı azaltma amaçlı konulan yüksek kalite katsayısı olan bir filtre güç faktörünü bozabilir, veya düşük frekanslarda sönümlemesi iyi ayarlanmamışsa rezonansa girmesi sonucu devrede kararsız yapıya neden olabilir. Ek olarak rezonanstaki kötü sönümlemeden ötürü kazancın yüksek olması sonucu rezonans frekansında girişten gelebilecek herhangi bir dalgalanma sistemde bozulmalara ve LED sürücünün kalıcı olarak hasar görmesine neden olabilir.

Unutulmamalıdır ki LED aydınlatma çok hızla gelişen ve yeni sayılabilecek bir sektördür. Bu nedenle ilgili standartlar sürekli güncellenmekte ve/veya yeni standartlar üretilmektedir. Kaliteli ve güvenilir ürünler tasarlamak için bu standartların sürekli takip edilmesi gerekmektedir.

### 3. STANDARTLARA UYUMLU LED SÜRÜCÜ TASARIMI

Şekil 1'de modern bir LED sürücü görülmektedir [11]. Giriş katında giriş filtresi bulunur. Bu filtrenin iki amacı vardır. Birincisi anahtarlama nedeniyle oluşan gürültüyü girişe yansıtılmak, ikincisi de girişten gelebilecek ve devreyi etkileyebilecek etkenlere karşı sürücüyü korumaktır. Burada kullanılacak filtrenin önemi devre için ilk aşamada önemsenmese de elektromanyetik uyumlulukla ilgili en büyük problemler ve cihazın ömrüyle ilgili sorunlar genelde bu kısımdan çıkmaktadır. Örneğin bir yıldırım düşmesi sonucu giriş filtresi bu dalgalanmayı iyi süzemez ise devre bozulabilir ve beklenenden önce bozulma LED sürücünün -ve üreticinin- güvenilirliğini kaybetmesine neden olabilmektedir. İkinci bölümde belirtilen standartlar bu tür problemlerin önüne geçmek için hazırlanmıştır ve bu standartlara uyumlu ürünler rakiplerine göre bir adım öne çıkmaktadır. Tasarlanan LED sürücü bu kıstaslara uygun yapılmıştır.



Şekil 1. Standart LED Sürücü[11].

Şekil 1 incelendiğinde bunun aslında standart flyback çevirici olduğu görülebilir. Klasik DC/DC flyback çeviriciden tek farkı giriş katından sonra köprü diyot vasıtasıyla tam doğrultulmuş sinüs PFC (power factor correction) bloğunu beslemekte ve yüksek gerilim dayantılı büyük kondansatörün olmamasıdır. Aktif PFC, modern LED sürücülerde 25W üstü giriş güçlerinde IEC-61000-3-2 standartına uyumlu hale

gelmek için sıklıkla kullanılmaktadır. 25W altı giriş güçlerinde ise ciddi bir sınırlama olmadığı için LED sürücülerde yüksek maliyet ve karmaşık tasarımdan ötürü pek tercih edilmemektedir. Ancak bu tür sistemlerde genelde LED sürücüler paralel olarak kullanılmaktadır. Birkaç adet paralel 25W giriş gücünden düşük LED sürücü toplamda 25W'ı geçebilir. Sistem bazında düşünüldüğünde (örneğin bir otel aydınlatma sistemi) ilgili standartlardan geçilememesi durumu kabul edilmeyebilir. Ayrıca aktif PFC AC/DC çeviricinin girişte yüksek voltaj (genelde 400V) dayantılı elektrolitik kondansatör bulundurmaması LED sürücünün güvenilirliğini büyük ölçüde artırabilir. Örneğin girişten gelen yüksek voltaj bu kondansatörü bozabilir. Diğer husus da LED sürücülerdeki en kısa ömürlü devre elemanı olarak bilinen elektrolitik kondansatörün kullanılmaması sonucu artan kullanım ömrüdür [12]. Belirtilen bu iki husustan ötürü düşük giriş güçlerinde de aktif PFC kullanılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Sürücüde aktif PFC kullanılmıştır.

Şekil 1'de önerilen devrenin en büyük dezavantajı çıkış akımındaki dalgacıklardır. Anahtarlama frekansından ötürü oluşan dalgacıklar çıkış kondansatörü ile süzülür. Ancak düşük frekandaki (örneğin 50Hz AC girişte 100Hz' de oluşan dalgacıklar) çıkış akımında görülmektedir. Bu durum LED aydınlatma sisteminin ömrünü azaltmaktadır. Bunun nedenlerinden biri çıkışta kullanılan elektrolitik kondansatörlerin dalgacık akımına orantılı olarak iç sıcaklıkları artmakta ve kullanım ömürleri azalmaktadır [13]. Diğer bir neden ise LED'lere uygulanan akımın tepe değeri LED'in maksimum akım dayantısına yaklaştığında tipik bir yarı iletken olan LED'ler ısınmakta ve ömürleri azalmaktadır. Sonuç olarak uzun kullanım ömrü için LED çıkış akımı dalgacık değerinin azaltılması gerekmektedir. Ancak bu değeri küçültmek için çıkış kondansatörleri büyütüldüğünde boyut ve maliyet arttığından tüm kıstaslar doğrultusunda tasarım dengesi sağlanmalıdır.

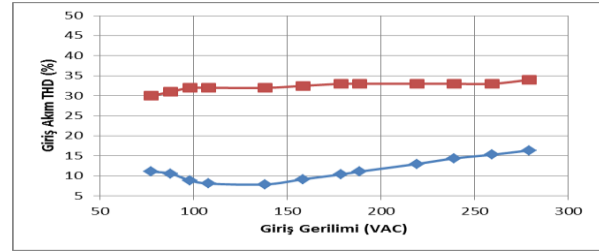
#### 4. YÜKSEK BAŞARIMLI LED SÜRÜCÜNÜN DENEY SONUÇLARI

Üçüncü bölümde detayları verilen örnek tasarımın test sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Örnek tasarımın girişi ve çıkış özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Üçüncü bölümde de vurgulandığı gibi önümüzdeki bir kaç yıl içinde 25W altı LED sürücülerde de giriş akım THD'si büyük önem kazanacak ve bu konuda sınırlamaların getirileceği düşünülmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında 10W giriş gücüne sahip bir LED sürücü tasarlanmıştır.

Tablo 1. Önerilen sürücünün giriş ve çıkış özellikleri

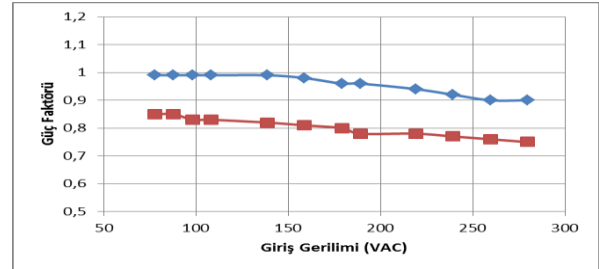
GİRİŞ	Gerilim aralığı	85 ~ 280 V <sub>RMS</sub>
	Frekans aralığı	47 ~ 63 Hz
ÇIKIŞ	Çıkış gerilimi	13 V <sub>DC</sub>
	Çıkış akımı	650 mA
	Çıkış akım regülasyonu	% 5

Geleneksel LED sürücü devreleri, girişlerinde sadece diyotlu doğrultucu ve büyük kondansatörler içermesinden dolayı girişten çektikleri akımın şekli ideal sinüs şeklinden oldukça uzaktır. Geleneksel LED sürücülerde, giriş akımı yüksek genlikli harmonik bileşenleri içermesinden dolayı toplam harmonik bozulma değerinin (THD) yüksek olması kaçınılmazdır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan modern LED sürücü ise içinde barındırdığı aktif PFC yapısıyla giriş akımı üzerindeki harmonik bileşenler bastırılarak harmonik bozulma değerini oldukça aşağılara indirmektedir. Geleneksel ve modern LED sürücüler için değişen giriş gerilimine göre giriş akım THD değerleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



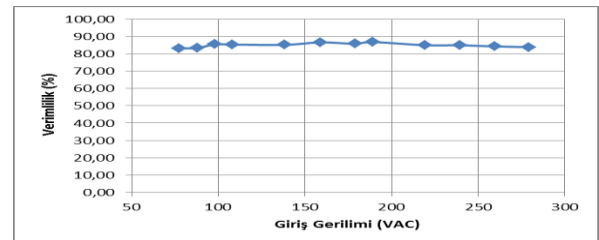
Şekil 2. Giriş gerilimine göre giriş akım THD; modern LED sürücü (mavi), geleneksel LED sürücü (kırmızı).

Giriş akımı ile gerilimi arasındaki faz kayması en aza indirgenerek reaktif güç tüketiminin önüne geçilebilmektedir. Geleneksel pasif PFC'li LED sürücü devresi için elde edilen güç faktörü 0,8 seviyelerindeyken uygun şekilde seçilen parametrelerle modern LED sürücülerde bu değer 0,9'dan daha yüksekte seyretmektedir. Güç faktörünün karşılaştırmalı eğrileri Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Giriş gerilimine göre güç faktörü; modern LED sürücü (mavi), geleneksel LED sürücü (kırmızı).

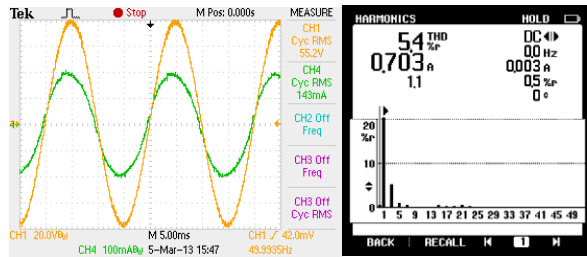
LED sürücü devresine eklenen aktif PFC'nin verimin düşmesine neden olacağı düşünülebilir, ancak giriş akımından elenen harmonikler ve yükseltilecek güç faktörü sayesinde LED sürücünün verimi doğal olarak yükselmektedir. Giriş gerilimine göre elde edilen verim eğrisi Şekil 4'te verilmiştir.



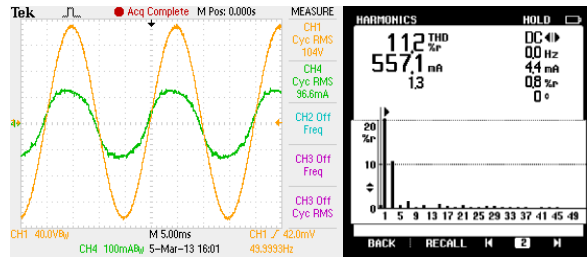
Şekil 4. Tam yükte giriş gerilimine göre verimlilik.

Geleneksel LED sürücü devrelerinde boyutun küçültülmesinin önündeki engellerden birisi diyotlu doğrultucu sonrasında kullanılan büyük boyutlu kondansatördür. Aktif PFC'nin kullanılmasıyla bu kondansatörün ve dolayısıyla toplam boyutun yeterince küçültülmesi mümkün olmuştur.

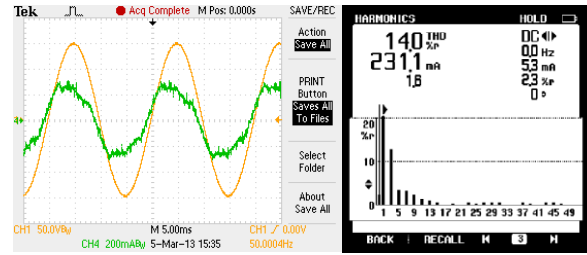
Şekil 5'te 60V<sub>RMS</sub> giriş geriliminde gerilim ve akım dalga şekilleri (solda) ve akım THD ölçüm sonuçları görülebilir (sağda). Harmonik analiz ölçümlerinde akım probuna 5 tur giriş kablosu sarılmış olduğundan ölçüm değerleri gerçek değerlerin 5'te biridir. Benzer durumda 110V<sub>RMS</sub> giriş gerilimindeki giriş akım özellikleri Şekil 6'da ve 220V<sub>RMS</sub> giriş gerilimindeki sonuçlar ise şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Giriş gerilimi (turuncu), giriş akımı(yeşil) dalga şekilleri(solda) ve giriş akım THD sonuçları



Şekil 6. Giriş gerilimi (turuncu), giriş akımı(yeşil) dalga şekilleri(solda) ve giriş akım THD sonuçları



Şekil 7. Giriş gerilimi (turuncu), giriş akımı(yeşil) dalga şekilleri(solda) ve giriş akım THD sonuçları

## 5. SONUÇ

İleride aydınlatma sektörünün en büyük öncüsü olacağı düşünülen LED aydınlatma sistemlerinde sistemin kalitesi, verimliliği, uzun kullanım ömrünü sağlamak için LED sürücünün de dikkatli tasarlanması gerekmektedir. Daha kaliteli LED sürücüler üretilmesi için uluslararası standartlar incelenmiş ve önemli noktaları belirtilmiştir. Bunlardan LED başarımını etkileyen güç faktörü ve giriş akım THD değerleri standartlara uyumlu LED sürücü tasarlanmış ve deney sonuçları paylaşılmıştır. Ayrıca sunulan aktif PFC'li

LED sürücü klasik örneklerine nazaran daha verimlidir ve düşük güçlerde olsa bile %83 üstü verimliliğe ulaşılmıştır. İleri çalışmalarda bu sürücünün verimliliğini arttırmak ve giriş özelliklerini geliştirmek hedef alınmaktadır. Örneğin 60V<sub>RMS</sub> gibi düşük giriş geriliminde alınan çok düşük akım THD ve yüksek güç faktörünün tüm giriş geriliminde sağlanması incelenecektir. Giriş katında kullanılan filtrenin güç faktörünü hafif bozduğu görülmüş ve EMI/EMC testleriyle paralel olarak tasarımı geliştirilecektir. Unutulmamalıdır ki LED aydınlatma sisteminin uzun ömründeki en önemli kıstas LED'e nazaran daha düşük kullanım ömürlü olan LED sürücüdür. Bu kapsamda daha kaliteli ve güvenilir sürücüler dünya genelinde sürekli geliştirilmektedir.

## REFERANSLAR

- [1] D. A. Steigerwald *et al.*, "Illumination with solid state lighting technology," *IEEE J. Sel. Topics Quant. Electron.*, vol. 8, pp. 310–320, 2002.
- [2] Cree Inc., "Cree 231 Lumen Per Watt Shatters LED Efficacy Records", 2011 <http://www.cree.com/news-and-events/cree-news/press-releases/2011/may/110509-231-lumen-per-watt>
- [3] CELMA organisation, "Joint CELMA / ELCGuide on LED related standards", 3rd Edition, 2011.
- [4] Lamp controlgear - Part 2-13: Particular requirements for dc or ac supplied electronic controlgear for LED modules, International Standart IEC 61347-2-13, 2006.
- [5] Würth Elektronik, 760871113 *datasheet*, <http://katalog.wonline.de/pbs/datasheet/760871113.pdf>
- [6] International Rectifier, "Flyback Transformer Design for the IRIS40xx Series", AN-1024a, <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1024.pdf>
- [7] DC or AC supplied electronic control gear for LED modules - Performance requirements, International Standart IEC 62384, 2006.
- [8] Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), International Standard IEC 61000-3-2, 2001.
- [9] Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment, International Standart EN 55015, 2006.
- [10] Equipment for general lighting purposes –EMC immunity requirements, International standart IEC 61547, 2009.
- [11] Y. Hu, L. Huber, and M. M. Jovanovi'c, "Single-stage flyback power factor-correction front-end for HB LED application," in *Proc. IEEE Ind. Appl. Soc. (IAS) Paper #1* in Session LEDs and Drivers, 2009, pp. 1–8.
- [12] Electrolytic Capacitors Application Guide, Evox Rifa, 2001. [http://materias.fi.uba.ar/6648/archivos/RIFA\\_electrolytic\\_appguide.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6648/archivos/RIFA_electrolytic_appguide.pdf)
- [13] A. Lahyani, P. Venet, G. Grellet and P.-J. Viverge, "Failure prediction of electrolytic capacitors during operation of a switchmode power supply", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 13, pp.1199 1998