

Maksimum Aydınlatma Verimliliğine Sahip Buck Tipi Güç LED Sürücü Devre Tasarımı

Optimization of Illumination Yields of Buck-Based Power LED Driver Circuit Design

İpek İnal¹, Ömer Faruk Farsakoğlu²

¹⁻²Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Doğan Güreş Blv. No:134, Kilis, Türkiye
ipekinal@kilis.edu.tr, ffarsakoglu@kilis.edu.tr

Özet

Güç LED aydınlatma teknolojisi oldukça hızlı gelişmeye devam etmektedir. Bu teknoloji aydınlatma avantajlarından dolayı önümüzdeki on yılda günümüzde kullanılan aydınlatma elemanlarının yerini tamamen alacaktır. Bu çalışmada akım sınırlamalı sürücü devre tasarımları incelenmiştir. Tasarımı yapılan sürücü devrelerde LED adeti bakımından buck-based, boost-based, buck-boost-based tiplerinden buck-based tipi tercih edilmiştir. Buck-based sürücü devre tasarımında LED'ler öncelikle değeri belirlenen direnç ile sürülmüştür. İkinci aşamada LED'leri sürmek için doğrusal regülâtörlü sürücü devre tasarımı yapılmıştır. Son aşamada ise anahtarlamalı sürücü devre tasarımı yapılmıştır. Çıkış aydınlatma verimini maksimum yapacak sürücü devre eleman değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, farklı sürücü devre tasarımları ve verim karşılaştırmaları yapılmıştır. Maksimum verimlilikte power LED sürücü devre tasarımı 10^{-4} verim hassasiyeti ile gerçekleştirilmiştir.

Abstract

Luminous power LED technology has been improving quite fast. This technology will replace completely lighting components that are used currently in the next decade due to its lighting advantages. In this study, current limiting driver circuit design was examined. The buck-based type LED driver was preferred considering the number of power LED units among the driver types; buck-based, boost-based, and buck-boost-based. In the phase of designing at first step, the buck-based circuit, power LEDs were driven with determined resistor value. In the second step, the driver circuit design with linear regulator was made to drive power LEDs. In the last step the driver circuit with switching regulator was designed. Driver circuit component parameters were calculated to optimization of circuit output illumination yields. As a result, at maximum output illumination efficiency, the power LED driver circuit design was achieved with the precision yield of 10^{-4} .

1. Giriş

Bugüne kadar daha çok sinyal gönderici veya çeşitli cihazlarda renkli durum göstergesi olarak kullanılan düşük güçlü LED'ler, ışık güçlerinin artırılması ve beyaz renkli yüksek güçlü üretimleri sayesinde günümüzde kullanılan akkor, flüoresan ve halojen lambaların yerini almaya başlamıştır. Güçlü LED'ler akkor ve halojen ampullere nazaran ortalama %55 daha etkindirler ve ömürleri uygun çalışma koşullarında 50.000-100.000 saate kadar ulaşabilmektedir. Birçok kullanım avantajına rağmen LEDlerin bir sorunu vardır; sürücü devre uygun tasarlanmadığında ışığın spektrumunda kaymalar, gücünde düşmeler ve ömründe azalmalar meydana gelir. Bu çalışmada, LEDlerin sürekli aynı renkte ve sabit güçte ışık vermesini sağlayacak şekilde uygun akımla sürülen, maksimum çıkış aydınlatma verimi olan sürücü devre tasarımı yapılmıştır [1].

2. LED Sürücü Devreleri

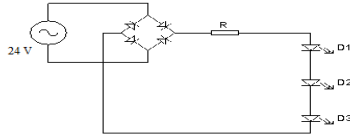
LEDlerin sürülmesi akım sınırlamalı ve gerilim sınırlamalı olarak yapılabilmektedir. LEDleri sürerken akım sınırlaması yapılması LED yapısı bakımından daha uygundur sebebi ise istenilen sayıda LEDin, sürücü tasarımını değiştirmeye gerek kalmadan sürülebilmesidir. LED sürücüler doğrusal regülatörlü ve anahtarlamalı regülatörlü olarak ikiye ayrılır. Bunlar da kullanım amacına göre buck, boost, buck-boost tipleri olarak ayrılmıştır. Buck tipi sürücü devreler çıkış geriliminin giriş geriliminden düşük olduğu uygulamalarda kullanılır, verim değeri yüksektir. Boost tipi sürücü devreleri ise çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olan uygulamalarda tercih edilir. Buck-boost tipi sürücü devreler ise çıkış voltajının giriş voltajından büyük veya küçük olabileceği uygulamalarda kullanılır, verim değeri düşüktür [2].

3. Sürücü Devre Tasarımları

3.1 Akım Sınırlayıcı Dirençli Sürücü Devre Tasarımı

Bu çalışmada sadece direnç kullanılarak akım sınırlamalı LED sürücü devre tasarımı yapılmıştır. Bu sürücü devrede akım sınırlamak için LEDlere seri bir direnç bağlanmıştır. Öncelikle LED doyma akımı tespit edilmiştir. Bunun için LED'e 50

mA'den 350mA'e kadar akımlar uygulanmış ve uygulamada kullandığımız LED için en uygun maksimum aydınlanma 320mA ile sürdürüldüğünde elde edilmiştir [2,3].



Şekil 1: Sınırlamalı dirençli sürücü devre tasarımı.

320 mA akımla sürdürmüş dirençli sürücü devre çıkış verimi hesabı;

$I_o = 0.32$ A, V_f = LED üzerindeki çıkış voltajı, V_p = Giriş Voltajı,

$$P_{\text{çıkış}} = I_o \times V_f \quad (1.1)$$

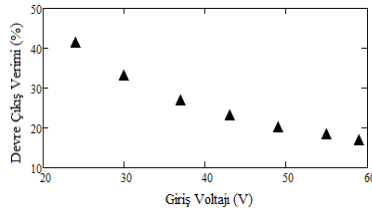
$$R = (V_p - V_f) / I_o \quad (1.2)$$

$$P_R = I_o \times V_R \quad (1.3)$$

$$P_{\text{toplam}} = P_{\text{çıkış}} + P_R \quad (1.4)$$

$$\text{Devre verimi} = P_{\text{çıkış}} / P_{\text{toplam}} \quad (1.5)$$

Devre sürme akımını 320mA'de sınırlayacak şekilde; devre girişine 24V verildiğinde seri bağlanması gereken direnç değeri 44Ω, devre verim değeri ise %41.51; 30V'ta seri direnç değeri 63Ω verim değeri %34.34; 40V'ta direnç değeri 156Ω devre verim değeri ise % 16.80 olarak elde edilmiştir.



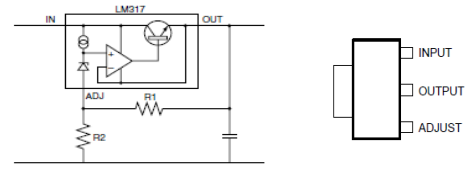
Şekil 2: Devre giriş voltajı devre çıkış verimi grafiği.

Görüldüğü üzere giriş voltaj değerleri arttıkça verim değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sebebi ise direnç üzerinde harcanan gücün artmasıdır. Sürücü devrede direnç üzerindeki enerji ısı olarak dışarıya verildiği için devrede fazla ısınma problemi olmuştur. Isınmaya bağlı olarak devre akımının da değiştiği görülmüştür. Bu da LED yapısı bakımından ve devre verimi açısından sakıncalı bir durumdur. Dirençle yapılan sürücü devrenin en iyi avantajı ucuz olması en büyük dezavantajı ise düşük verimli olması ve sıcaklık artışının yüksek olmasıdır.

3.2 Doğrusal Regülatör Kullanılarak Yapılan Sürücü Devre Tasarımı

Bu aşamada doğrusal regülatörlü bir sürücü devre tasarımı yapılmıştır. Devre girişine 220 volt verilmiş, daha sonra doğrultulan gerilim doğrusal regülatör üzerine aktarılmıştır. Bu tasarlanan devrede 3 adet LED seri bir şekilde bağlanmıştır.

Sürücü devre tasarımında LM317 konvertörü kullanılmıştır. Konvertörün çalışma prensibi output noktası ile adjust arasında bulunan R_1 direncinin üzerinde 1.25 V oluşmasını sağlamaktır [2-4].



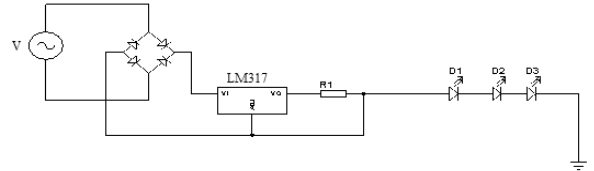
Şekil 3: LM317 konvertör.

$$V_{\text{çıkış}} = 1.25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (3.1)$$

$$I_{\text{limit}} = \frac{1.2}{R_1} \quad (3.2)$$

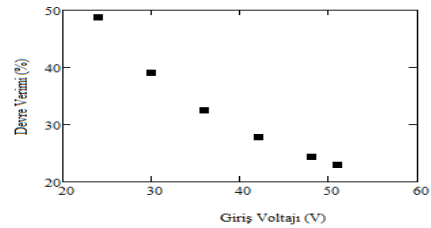
$$P_{\text{çıkış}} = U_{\text{çıkış}} \times I_{\text{limit}} \quad (3.3)$$

$$\text{Devre verimi} = \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{toplam}}} \quad (3.4)$$



Şekil 4: Doğrusal regülatörlü sürücü devre tasarımı.

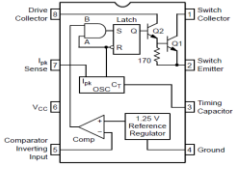
Bu şekilde tasarlanan LED sürücü devrede giriş voltajı 24V verilmiş akım 320 mA de sınırlandırılmıştır. Çıkış güçleri devre kayıpları hesaplanmış devre veriminin %48.75 olduğu görülmüştür. Daha sonra 24V'tan başlayarak voltaj arttırımı yapılmıştır. 30V'ta yine akım 320mA olacak şekilde devre veriminin %39.00, giriş voltajı 40V'a çıkarıldığında verim değerinin %29.25 olduğu hesaplanmıştır. Girişe 50V verildiğinde ise verimin %23.40 olduğu görülmüştür. Devrede giriş gerilimi arttırıldıkça verim değeri düşmüş ve çok fazla ısınma olduğu görülmüştür. Devre verimi istenilen değerlerde olmadığı için tasarımı uygun bulunmamıştır.



Şekil 5: Devre giriş voltajı devre çıkış verimi grafiği.

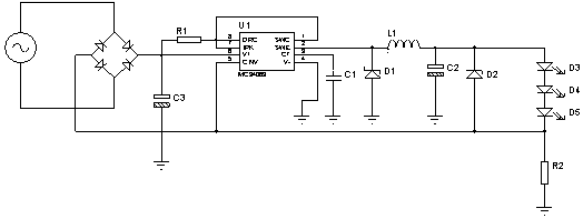
3.3 Anahtarlamalı Regülatörlü Sürücü Devre Tasarımı

Bu çalışmada anahtarlamalı bir sürücü devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Anahtarlamalı sürücü devre tasarımında MC34063 regülatörü kullanımı (regülatör verimi %96) uygun bulunmuştur.



Şekil 6: MC34063 anahtarlamalı konvertör [5].

3 adet seri bağlı LED sürme devresi yapılacağı için düşürücü olan step-down devresi çalışma için uygundur. Burada dikkat edilmesi gereken çıkış aydınlanma verimini maksimum yapabilmek için devre eleman değerlerinin hesaplanmasıdır. Eleman değerleri regülatör datasheetinden ve LED yapısı bakımından elde edilen veriler doğrultusunda hesaplanmıştır [5].



Şekil 7. Anahtarlamalı regülatörlü sürücü devre tasarımı.

Devre Güç Kayıpları;

Anahtarlama iletim kayıpları;

$$P_{S,C} = I_L \times V_{SAT} \times \text{Duty cycle} \quad (3.5)$$

Direnç üzerinde harcanan güç;

$$P_R = (I_{Lort} \times \frac{t_{on}}{t_{off}})^2 \times R_{sc} \times 0,001 \quad (3.6)$$

Diyot üzerinde harcanan güç;

$$P_D = (V_F \times I_{çıkış}) \times (1 - \text{duty cycle}) \quad (3.7)$$

(duty cycle 84%)

Bobin üzerinde harcanan güç;

$$P_L = (I_{çıkış})^2 \times R_L \quad (3.8)$$

Statik güç kayıpları;

$$P_S = 0,003 \times V_{giris} \quad (3.9)$$

Güç anahtarlama kayıpları;

$$P_{S,P} = V_{in} \times I_{Lort} \times (\frac{1}{f}) \quad (3.10)$$

Bakır kayıpları;

$$P_C = 0,10 \text{ W (datasheetten alınmıştır.)} \quad (3.11)$$

Çıkış Gücü;

$$P_ç = V_{çıkış} \times I_{çıkış} \quad (3.12)$$

Toplam Güç;

$$P_T = P_G + P_ç + P_K \quad (3.13)$$

Doyma Voltajı (datasheetten alınmıştır.).

$$V_{sat} = 0,1 \text{ V} \quad (3.14)$$

Devre girişine 24 volt verildi, anahtarlama frekans değeri 20 kHz'den başlanarak 100 kHz'e kadar artırımları yapıldı. Bu frekans değerleri 20 kHz, 25 kHz, 30 kHz, ... , 100 kHz şeklinde alındı. Frekans değeri değişimlerine bağlı olarak C_t , t_{on}/t_{off} , t_{on} , I_{pk} , R_{sc} , L , t_{off} , $t_{on}+t_{off}$ değerleri hesaplandı. Devre verimini hesaplamak için bu frekans değerlerindeki devre kayıpları hesaplandı.

Çizelge 1: Artan frekans değişimine göre devre değerleri

V_{giris} V	f kHz	C_t pF	t_{on}/t_{off} μs	t_{on} μs	I_{pk} A	R_{sc} m Ω	L μH	t_{off} μs	$t_{on}+t_{off}$ μs
24	20	1057	1.12	26.42	0.48	625	907	23.59	50.00
24	25	845	1.12	21.13	0.48	625	725	18.87	40.00
24	30	704	1.12	17.61	0.48	625	604	15.72	33.33
24	35	604	1.12	15.09	0.48	625	518	13.48	28.57
24	40	528	1.12	13.21	0.48	625	453	11.79	25.00
24	45	470	1.12	11.74	0.48	625	403	10.48	22.22
24	50	423	1.12	10.56	0.48	625	363	9.43	19.99
24	55	384	1.12	9.61	0.48	625	330	8.57	18.18
24	60	352	1.12	8.81	0.48	625	302	7.86	16.67
24	65	325	1.12	8.13	0.48	625	279	7.26	15.39
24	70	302	1.12	7.55	0.48	625	259	6.74	14.29
24	75	282	1.12	7.04	0.48	625	242	6.29	13.33
24	80	264	1.12	6.60	0.48	625	227	5.90	12.50
24	85	249	1.12	6.22	0.48	625	213	5.55	11.76
24	90	235	1.12	5.87	0.48	625	201	5.24	11.11
24	95	222	1.12	5.56	0.48	625	191	4.97	10.53
24	100	211	1.12	5.28	0.48	625	181	4.72	10.00

Çizelge 2: Artan frekanslardaki devre kayıp güç değerleri.

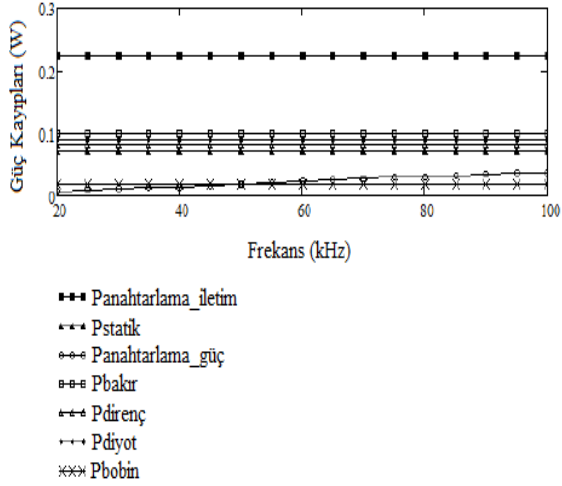
V _{giriş}	I _{LED}	f	V _{çıkış}	Devre Üzerinde Harcanan Güçler							Devre Verimi
				P _{S,C}	P _R	P _D	P _L	P _S	P _{S,P}	P _C	
V	mA	kHz	V	W	W	W	W	W	W	W	%
24	320	20	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.008	0.1	86.33
24	320	25	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.010	0.1	86.29
24	320	30	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.012	0.1	86.25
24	320	35	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.013	0.1	86.21
24	320	40	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.015	0.1	86.18
24	320	45	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.017	0.1	86.14
24	320	50	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.019	0.1	86.10
24	320	55	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.021	0.1	86.06
24	320	60	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.023	0.1	86.03
24	320	65	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.025	0.1	85.98
24	320	70	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.027	0.1	85.95
24	320	75	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.029	0.1	85.91
24	320	80	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.031	0.1	85.87
24	320	85	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.033	0.1	85.83
24	320	90	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.035	0.1	85.79
24	320	95	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.036	0.1	85.76
24	320	100	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.038	0.1	85.72

Çizelge 3: 20 kHz frekansta artan giriş voltajlarında devre değerleri

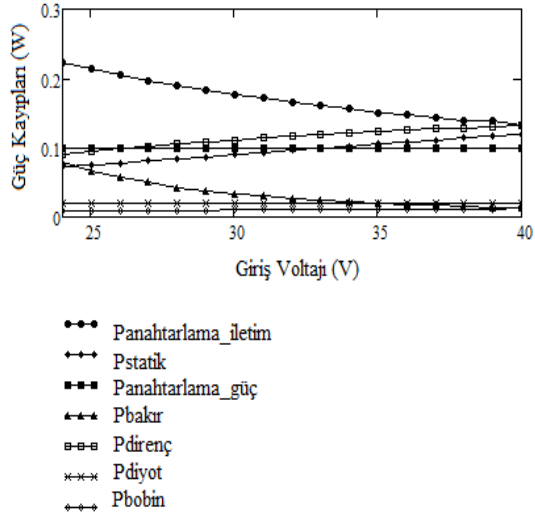
V _{giris}	f	C _t	t _{on} /t _{off}	t _{on}	I _{pk}	R _{sc}	L	t _{off}	t _{on} +t _{off}
V	kHz	pF	µs	µs	A	mΩ	µH	µs	µs
24	20	1057	1.12	26.4	0.48	625	907	23.58	50.00
25	20	1013	1.03	25.3	0.48	625	948	24.67	50.00
26	20	973	0.95	24.3	0.48	625	987	25.67	50.00
27	20	936	0.88	23.4	0.48	625	1022	26.60	50.00
28	20	902	0.82	22.5	0.48	625	1055	27.46	50.00
29	20	870	0.77	21.7	0.48	625	1086	28.26	50.00
30	20	840	0.72	21.0	0.48	625	1114	29.00	50.00
31	20	812	0.68	20.3	0.48	625	1141	29.69	50.00
32	20	786	0.65	19.7	0.48	625	1166	30.34	50.00
33	20	762	0.62	19.1	0.48	625	1189	30.95	50.00
34	20	739	0.59	18.5	0.48	625	1211	31.52	50.00
35	20	718	0.56	17.9	0.48	625	1232	32.06	50.00
36	20	697	0.54	17.4	0.48	625	1251	32.57	50.00
37	20	678	0.51	17.0	0.48	625	1270	33.05	50.00
38	20	660	0.49	16.5	0.48	625	1287	33.50	50.00
39	20	643	0.47	16.1	0.48	625	1304	33.94	50.00
40	20	626	0.46	15.7	0.48	625	1320	34.34	50.00

Çizelge 4: 20 kHz frekansta artan giriş voltajlarında devre güç kayıpları

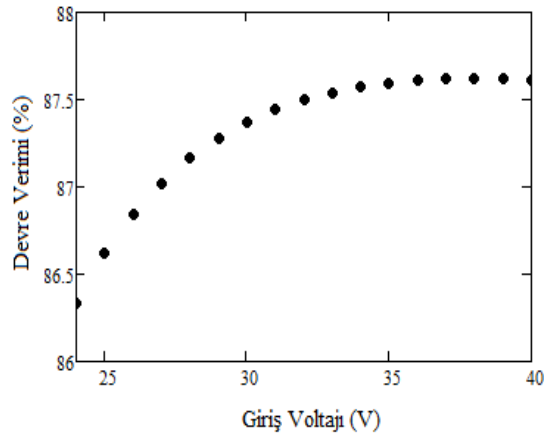
V _{giriş}	I _{LED}	f	V _{çıkış}	Devre Üzerinde Harcanan Güçler							Devre Verimi
				P _{S,C}	P _R	P _D	P _L	P _S	P _{S,P}	P _C	
V	mA	kHz	V	W	W	W	W	W	W	W	%
24	320	20	11.7	0.223	0.080	0.091	0.019	0.072	0.008	0.1	86.33
25	320	20	11.7	0.214	0.067	0.095	0.019	0.075	0.008	0.1	86.62
26	320	20	11.7	0.205	0.057	0.099	0.019	0.078	0.008	0.1	86.84
27	320	20	11.7	0.197	0.050	0.102	0.019	0.081	0.009	0.1	87.02
28	320	20	11.7	0.190	0.043	0.105	0.019	0.084	0.009	0.1	87.17
29	320	20	11.7	0.183	0.038	0.108	0.019	0.087	0.009	0.1	87.28
30	320	20	11.7	0.177	0.034	0.111	0.019	0.090	0.010	0.1	87.37
31	320	20	11.7	0.171	0.030	0.114	0.019	0.093	0.010	0.1	87.44
32	320	20	11.7	0.166	0.027	0.117	0.019	0.096	0.010	0.1	87.50
33	320	20	11.7	0.161	0.024	0.119	0.019	0.099	0.011	0.1	87.54
34	320	20	11.7	0.156	0.022	0.121	0.019	0.102	0.011	0.1	87.57
35	320	20	11.7	0.151	0.020	0.123	0.019	0.105	0.011	0.1	87.59
36	320	20	11.7	0.147	0.018	0.125	0.019	0.108	0.012	0.1	87.61
37	320	20	11.7	0.143	0.017	0.127	0.019	0.111	0.012	0.1	87.62
38	320	20	11.7	0.139	0.016	0.129	0.019	0.114	0.012	0.1	87.62
39	320	20	11.7	0.139	0.014	0.130	0.019	0.117	0.012	0.1	87.62
40	320	20	11.7	0.132	0.013	0.132	0.019	0.120	0.013	0.1	87.61



Şekil 8: Artan frekans değerlerindeki devre kayıpları grafiği.



Şekil 9: Artan giriş voltajlarındaki devre kayıpları grafiği.



Şekil 10: Giriş voltajı devre toplam çıkış verimi değişimi grafiği.

3. SONUÇLAR

Yapılan sürücü devrelerde maksimum aydınlanma verimliliği değeri anahtarlamalı devrede elde edilmiştir. Frekans değeri değişimleri sonucunda yapılan devre hesaplamalarında maksimum verim değerinin 20 kHz anahtarlama frekansında olduğu tespit edilmiştir. Devre girişine uygulanan artan gerilim değerlerine göre maksimum aydınlanma değeri %87.62 olarak 320mA akım sınırlamalı devrede, 37V giriş voltajında elde edilmiştir. Devreye 37V'tan fazla giriş voltajları uygulandığında verim değerinin azalmaya başladığı, devrede ısınma problemleri olduğu görülmüştür. Tasarım için uygun bulunan, verim değeri piyasadaki sürücü devrelerden yüksek olan bu sürücü devre elemanlarının muadilleri piyasadan tedarik edilmiş, devre laboratuvar ortamında yapılmıştır. Aydınlanma verimliliğinin yüksek olması, yüksek oranda enerji tasarrufu sağlaması, devre elemanlarının piyasadan tedarik edilmesinin mümkün olması, maliyetinin düşük olması ve sürdürülebilir bir devre olması bakımından istenilen değerleri karşılayan power LED sürücü devre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Ek A



Şekil 11. Tasarımı yapılan maksimum aydınlatma verimliliğine sahip sürücü devre elemanları.



Şekil 12. Tasarımı yapılan sürücü devre test ölçümleri.

4. Kaynaklar

- [1] Hansen, M., "LED lighting: more energy efficient than CFL", *Energy-efficient lighting lifecycle*, Cree Inc., USA, 2009.
- [2] Winder, S., *Power Supplies for LED Driving*, Elsevier Science, Boston, MA, USA, 2008..
- [3] Curtis, K., "Buck Configuration High-Power LED Driver", *Microchip Technology Inc.*, USA, 2003.
- [4] Musayev, E., "Investigation of Homogeneity of the LED Light, Illumination", *Journal of Machine and Control Systems*, No. 118, 190-195, 2004.
- [5] MC34063A, MC33063A, NCV33063A 1.5A, Step-Up/Down/Inverting Switching Regulators. ON Semiconductor: Catalogue data. 2004.
- [6] Musayev, E. "LED Işığının Homojenliğinin Araştırılması" *Elektrik, Aydınlatma, Elektronik, Otomasyon, Enerji, Makine, Kontrol Sistemleri Dergisi*, Sayı: 118, s.190-195.2004.