

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ЗАХРАНВАЩИТЕ УСТРОЙСТВА НА СВЕТИДИОДНИ ОСВЕТИТЕЛИ ПО ТОПОЛОГИЧНИ ОСОБЕНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛНИ ВЪЗМОЖНОСТИ

Цветомир Димитров

ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години все по-голямо приложение намират светодиодните осветители, поради редица техни предимства – добри характеристики за постигане на нормена осветеност, относително добра цена, добро качество и дълъг експлоатационен срок. Захранващите им устройства (драйвери), използват електронни, нелинейни елементи за управление и преобразуване на променливото напрежение в постоянно, което е свързано с генериране на висши хармоници, водещи до увеличаване на загубите на електрическата енергия, повишени загуби на напрежение и др. нежелателни ефекти в разпределителните мрежи ниско напрежение (НН), което от своя страна води до повишаване разходите за заплащане на консумираната електрическа енергия.

Измервания проведени в редица реализирани обекти, показват наличие на значителни нива на висши хармоници на тока и напрежението. Европейският стандарт свързан с електромагнитната съвместимост (ЕМС), разглеждащ и регламентиращ граничните стойности за излъчванията на хармонични съставлящи на тока е БДС EN 61000-3-2:2006. Стандартът гарантира, че нивата на смущаващи въздействия от хармониците няма да превишават нивата на ЕМС, при спазване на тези гранични стойности. Ето защо, е необходимо по-добро изследване на хармоничните изкривявания при използването на LED източници.

Стандарт БДС EN 61000-3-2:2006 разделя техническите средства в четири класа:

- Клас А – симетрични, трифазни, технически средства; битови, технически средства; електрически, непреносими инструменти; устройства за регулиране на силата на светлината на нажежаеми лампи; аудио устройства и т.н.

- Клас В – непрофесионални, преносими, електрически инструменти и оборудване (съоръжения за електроудъгово заваряване).
- Клас С – устройства/съоръжения за осветление.
- Клас D – прибори с мощност по-малка от 600W (персонални компютри и монитори на персонални компютри и телевизионни приемници).
- Допустимите гранични стойности за излъчване хармонични съставлящи на тока, създавани от устройствата клас С са разделени за устройства с активна мощност до и над 25W.

За устройства с активна мощност над 25W, граничните норми за излъчваните хармонични съставлящи на тока са:

Таблица. 1

Номер на хармоник	Максимално допустими стойности на хармоничните съставлящи на тока от основния хармоник, в %
2	2
3	$30 \cdot \lambda$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (само за нечетни хармоници)	3
λ - фактор на мощността	

За устройства с активна мощност по-малка от 25W, граничните норми за излъчваните хармонични съставлящи на тока трябва да съответстват на едно от следните изисквания:

- стойността на трети хармоник в проценти. Не трябва да превишава 86% от стойността на основния хармоник, а стойността на пети хармоник в проценти, не трябва да превишава 61% от стойността на основния хармоник.
- стойностите на хармоничните съставлящи на тока на 1W, не трябва да превишават допустимите норми.

Таблица. 2

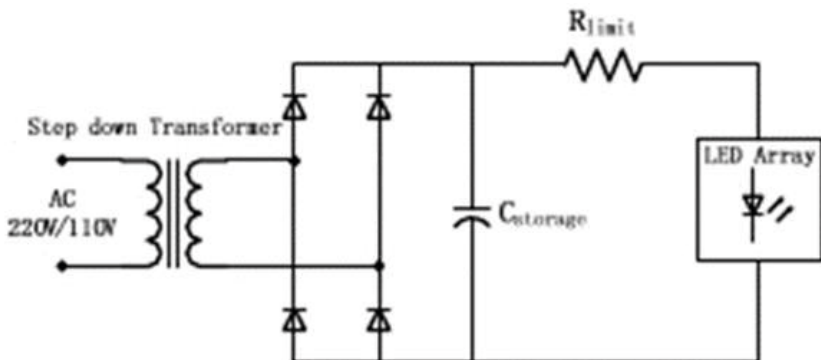
Номер на хармоник	Максимално допустима стойност на хармонична съставляща на тока за 1W
	mA/W
2	2
3	$30 \cdot \lambda$
5	10
7	7
9	5
11 ≤ n ≤ 39 (само за нечетни хармоници)	3

ИЗЛОЖЕНИЕ

Захранващите устройства (драйвери) за LED осветителите се делят на два основни типа: пасивни и активни.

Пасивните драйвери се състоят от пасивни компоненти (резистори, кондензатори и магнитни компоненти) и диоди, работещи на мрежова или двойно по-висока от мрежовата честота. Те са по-надеждни, защото пасивните компоненти са по-малко чувствителни към смущения от активните и имат по-дълъг живот. Този тип драйвери се делят на три основни типа: тип I (P1), тип II (P2), тип III (P3).

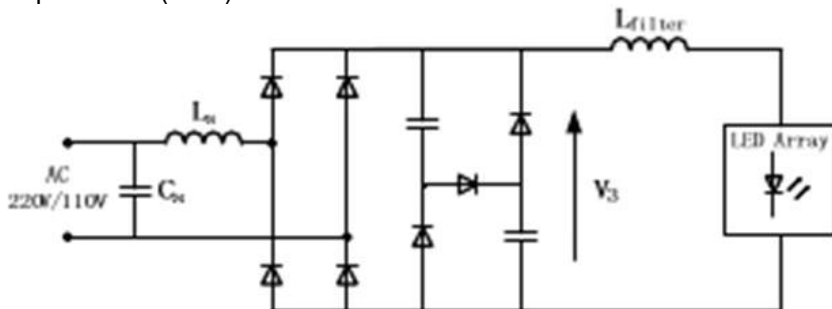
Драйверите тип P1 (фиг.1), използват понижаващ трансформатор работещ на мрежова честота, токоизправител с филтриращ кондензатор и токоограничаващ резистор R_{limit} , за преобразуване на променливото напрежение в източник на постоянен ток. За ограничаване на постоянния ток от кондензатора към светодиода, е необходим ограничаващ резистор R_{limit} с голяма стойност, въвеждащ значителна загуба на мощност.



Фиг.1 Пасивен тип P1 LED драйвер

Поради това този тип драйвери имат ниска ефективност и поради липса на обратна връзка, консумираният ток има високо хармонично съдържание. При такава схема фактора на мощността е много нисък и неудовлетворява ограничението от клас D.

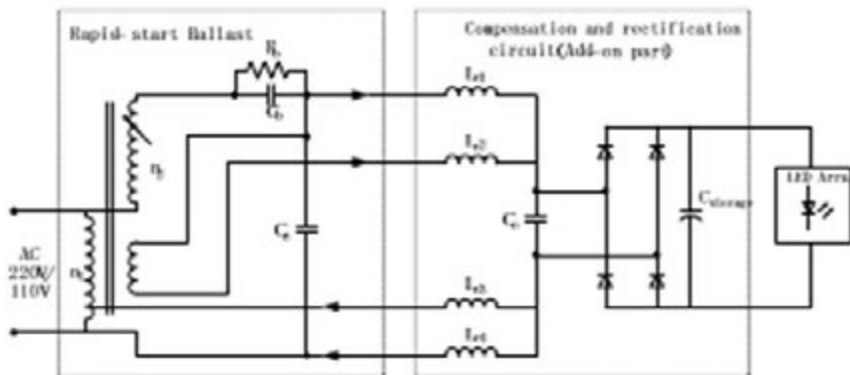
Драйверите тип P2 (фиг.2), използват за ограничаване на изходния ток към LED, бобина или кондензатор, не внасящи допълнителни загуби (в идеалния случай). Използването на токоограничаваща бобина с голяма стойност, осигурява плавен входен ток, елиминира използването на електролитни кондензатори в драйвера, с което се постига добро ниво на общо хармонично изкривяване (THD).



Фиг.2 Пасивен тип P2 LED драйвер

P2 драйверите са по-високо ефективни и по този показател са сравними с импулсните драйвери. При този тип с поставянето на един входен кондензатор се постига отлично коригиране на фактора на мощността. Дросела на изхода служи за стабилизиране на изходния ток, за да се избегне трептенето на светодиода (фликер ефект).

Драйверите тип P3 (фиг.3) съдържат баласт за бързо стартиране и верига за компенсация и коригиране фактора на мощността. Чрез модула за бързо стартиране на лампата се реализира входен ток без наличие на хармонични изкривявания. С което се постига и висок фактор на мощността. Наличието на каскадна структура предполага по-ниска ефективност в сравнение с P2 драйверите.



Фиг.3 Пасивен тип P3 LED драйвер

Сравнение между трите вида пасивни LED драйвери, по мощност, ефективност и общо хармонично изкривяване показва, че P2 драйверите постигат най-висока ефективност сред пасивните драйвери и същевременно отговарят на ограниченията за ниски нива на THD на входния ток. Въпреки, че този тип драйвери са обемисти, те намират приложение за екстериорни приложения, поради високата им устойчивост срещу пренапрежения спрямо импулсните LED драйвери, където необходимостта от стабилност и надеждност са от първостепенно значение. Въпреки това, тъй като в пасивните LED драйвери няма регулиране на изходния ток, те са по податливи на колебания в захранването [1].

В [2] се разглеждат четири различни вида пасивни LED драйвери тип P2. Общото хармонично изкривяване THDI е между 2.2% и 7.5%, а фактора на мощността между 0.644 и 0.707, което отговаря на IEC61000-3-2 клас C, за устройства с активна мощност по-малка от 25W. В [3] се разглеждат четири различни вида 50W, пасивни LED драйвери тип P2. Хармоничните съставлящи на тока са: $ki3$ между 2.63% и 12.74%, $ki5$ между 2.16% и 3.95%, $ki7$ между

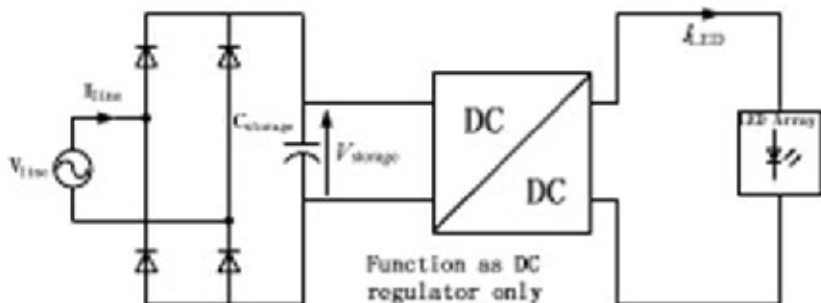
1.85% и 2.69%, и k_{i9} между 0.84% и 1.26%, което отговаря на IEC61000-3-2 клас C, за устройства с активна мощност по-голяма от 25W.

В [4] се разглежда LED осветител, 20W с пасивен драйвер тип P3. Общото хармонично изкривяване е: THDU = 4.75%, а THDI=13.1%. Хармоничните съставлящи на тока са: k_{i3} = 12.5% и k_{i5} = 3%, което отговаря на IEC61000-3-2 клас C, за устройства с активна мощност по-малка от 25W.

При импулсните LED драйвери, се осъществява активна корекция на фактора на мощността и токова защита на товара. Според схемите им, могат да бъдат класифицирани на: едностъпални (S1), двустъпални (S2) и тристъпални (S3).

Импулсните драйвери тип S1 съдържат само едно стъпало, което изпълнява едновременно две функции (коригиране на фактора на мощността и регулиране на изходния ток). Поради това е трудно да се осигури добра ефективност, добър фактор на мощността и постоянен ток на изхода на драйвера едновременно. Драйверите тип S1 се делят на два основни вида: тип A и тип B. Ползват класически топологии, като: buck, boost, buck-boost, SEPIC, flyback, half-bridge, push-pull, quasi-active PFC и valley-fill. S1B се предпочитат пред S1A драйверите в приложения с ниска мощност, защото при тях се постига по-добър фактор на мощността.

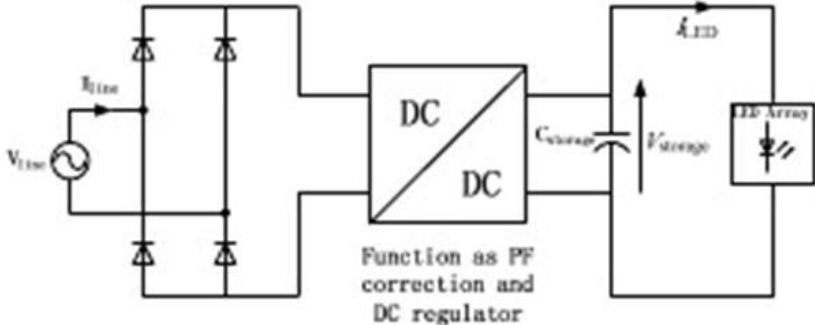
При S1A драйверите (фиг.4), акумулацията кондензатор се поставя на нискочестотната страна на DC/DC преобразувателя. Това води до поява на пулсации на входния ток (I_{line}), което е сред основните им недостатъци и е необходимо да се използват нискочестотни филтри за намаляване на тези пулсации.



Фиг.4 Активен тип S1A LED драйвер

Иходния ток на драйверите може да съдържа малки кратковременни пулсации, докато нискочестотния акумулиращ кондензатор тушира пулсациите в захранването.

При S1B драйверите (фиг.5) акумулиращия кондензатор се поставя на високочестотната страна, след DC/DC преобразувателя и служи, както за корекция на фактора на мощността, така и за регулиране на изходния ток.



Фиг.5 Активен тип S1B LED драйвер

По този начин, се намаляват пулсациите във входния им ток, в сравнение с тези на S1A драйвери. Въпреки това, при S1B драйверите, ефективността не е висока, поради това, че DC/DC преобразувателя трябва да изпълнява две функции едновременно.

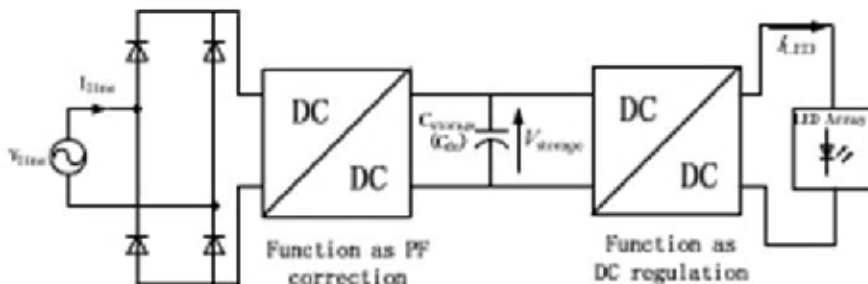
В [5] се разглежда 100W, импулсен LED драйвер тип S1A. Общото хармонично изкривяване THDU = 11,9%, а THDI = 9,3%, Хармоничните съставлящи на тока са: $k_{i2} = 0,6\%$, $k_{i3} = 8,3\%$, $k_{i5} = 2,4\%$, $k_{i7} = 1,5\%$ и $k_{i9} = 0,6\%$, фактора на мощността е 0,995 и коефициента на ефективност 81,4%, което отговаря на IEC61000–3-2 клас C, за устройства с активна мощност по - голяма от 25W.

Изследвания на импулсни LED драйвери тип S1B, с мощности между 30W и 144W [6÷11] показват, че общото хармонично изкривяване THDI варира в границите между 8% и 20,4%. Хармоничните съставлящи на тока са: k_{i2} между 0,1% и 10%, k_{i3} между 3% и 20%, k_{i5} между 1% и 6%, k_{i7} между 2% и 6% и k_{i9} между 0,5% и 3%, фактора на мощността е $> 0,91$ и коефициента на ефективност $> 89\%$, което отговаря на IEC61000–3-2 клас C, за устройства с активна мощност по - голяма от 25W.

В [12] се разглежда 12W, импулсен LED драйвер тип S1B. Общото хармонично изкривяване THDI = 14,9%. Хармоничните съставлящи на тока са: $k_{i3} = 2,5\%$ и $k_{i5} = 2,5\%$, фактора на

мощността е 0,972 и коефициента на ефективност 87,5%, което отговаря на IEC61000–3-2 клас C, за устройства с активна мощност по - малка от 25W.

При импулсните драйвери тип S2, регулирането на фактора на мощността и DC/DC регулатора са независими. Те предлагат отлична синусоидална форма на входния ток, висока ефективност, дълъг живот и висока надеждност. S2 драйверите са предпочитани в средни и високи енергийни приложения, където производителността и надеждността, са с приоритет спрямо цената и размери. S2 драйверите се разделят на два вида, тип A и тип B. S2 драйверите ползват класички топологии, като buck, boost, buck – boost, SEPIC, flyback, LLC resonant, any PFC и asymmetrical HB.

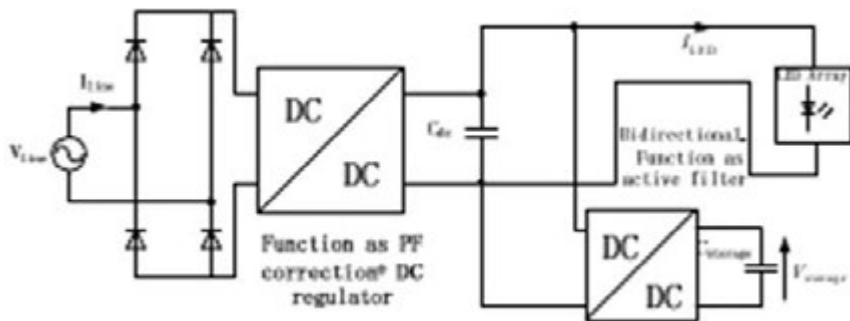


Фиг.6 Активен тип S2A LED драйвер

При S2A драйверите (фиг.6), двете стъпала са последователно свързани и представляват DC/DC конвертори, като първия служи за коригиране на фактора на мощността, а втория като регулатор.

S2A boost топологиите се използват най-вече на първо стъпало за постигане на отлична форма на вълната на входния ток и постигане на висок PF и ниско хармонично съдържание. Те дават по-добра ефективност при високи нива на мощност в сравнение с другите топологии.

При S2B драйверите (фиг.7), DC/DC преобразувателя на първо стъпало, извършва едновременно коригиране на фактора на мощността и DC/DC регулиране.



Фиг.7 Активен тип S2B LED драйвер

DC/DC преобразувателя на второто стъпало е свързан паралелно на светодиода и служи като активен филтър, което компенсира моментната разлика между входната и изходната мощности.

По този начин мощността на LED ще бъде сравнително постоянна и ще съдържа малко или почти никакви нискочестотни пулсации, като по този начин се преодолява проблема с трептението на светлината. Поради това S2B драйверите постигат по-висока ефективност и по-малки пулсации на изходния ток от S2A драйверите.

Сравнение на някои от най-често срещаните видове S2 драйвери, показва, че S2B драйверите постигат най-ниска стойност на F/W. Някои S2A драйвери, също постигат подобни ниски стойности на F/W, но за сметка на изходния ток към светодиода, който съдържа голяма втора хармонична и води до трептене на излъчваната светлина от LED.[1]

В [13,15] се разглежда 100W, импулсен LED драйвер тип S2A. Общото хармонично THDI=2.1%. Хармоничните съставлящи на тока са: $k_{i3}=9.4\%$, $k_{i5}=4.2\%$, $k_{i7}=1\%$ и $k_{i9}=0.9\%$, фактора на мощността е 0.97 и коефициента на ефективност 91.2%, което отговаря на IEC61000-3-2 клас C, за устройства с активна мощност по-голяма от 25W.

Тристъпалните драйвери (S3) са насочени към мулти-стринговите LED приложения. Първите им две стъпала са съставени на база на S2 драйверите, а третото представлява „postregulator”, чрез който се осигурява димиращата функция на драйвера. S3 драйверите ползват класически топологии, като BJT transistor, MOSFET, buck и buck-boost.

В [14] се разглежда 50W, импулсен LED драйвер тип S3. Общото хармонично THDI=21.1%. Хармоничните съставлящи на

тока са: $k_{i3}=12\%$, $k_{i5}=5\%$, $k_{i7}=1\%$ и $k_{i9}=1\%$, фактора на мощността е 0.97 и коефициента на ефективност 93%, което отговаря на IEC61000-3-2 клас C, за устройства с активна мощност по-голяма от 25W.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведено е проучване на съществуващите нормативни актове касаещи електромагнитната съвместимост на LED осветителите.

2. Осъществена и представена е класификация на видовете драйвери (пасивни "P" и импулсни "S"), както и техните подкласификации, съответно във видове P1, P2, P3 и S1,S2,S3 според тяхната топологична конфигурация.

3. С оглед на направеното проучване за отделните типове драйвери са разгледани хармоничните им съставлящи, фактора им на мощност и тяхната ефективност. От сравнението на трите типа пасивни LED драйвери става ясно, че измежду всички пасивни видове, тип P2 драйверите постигат най-висока ефективност и в същото време изпълняват изискванията за ниски нива на THD на входния ток. Въпреки че изпълняват този критерий, пасивните LED драйвери нямат възможност за регулиране на изходния ток, което неминуемо от своя страна води до предпоставка за колебания в захранването. От друга страна при импулсните LED драйвери, се осъществява активна корекция на фактора на мощността и токова защита на товара. В хода на сравнението между видовете импулсни LED драйвери стана ясно, че при тип S2 драйверите, регулирането на фактора на мощността и DC / DC регулатора са независими. Те предлагат отлична синусоидална форма на входния ток, висока ефективност, дълъг живот и висока надеждност. S2 драйверите са предпочитани в средни и високи енергийни приложения, където производителността и надеждността, са с приоритет спрямо цената и размера.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Sinan Li, Siew - Chong Tan, S.Y.R. Hui, C. K. Tse, A Review and Classification of LED Ballasts, The 5th IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2013), Denver, CO., 15-19 September 2013. In Conference Proceedings, 2013, p. 3102 – 3109.
- [2]. R. Gunabalan, Overview of Passive Light Emitting Diode Driver Circuits for Street Lighting, Bulletin of Electrical Engineering and Informatics ISSN: 2302-9285 Vol. 5, No. 3, September 2016, pp. 307~314, DOI: 10.11591/eei.v5i3.631.

- [3]. W. Chen, S.N. Li, S.Y.R. Hui, A Comparative Study on the Circuit Topologies for Offline Passive Light - Emitting Diode (LED) Drivers with Long Lifetime & High Efficiency, October 2010, DOI: 10.1109/ECCE.2010.5617934, Source: IEEE Xplore.
- [4]. Byunghun Lee, Hyunjae Kim and Chuntaek Rim, Passive LED driver compatible with rapid-start ballast, IEEE Trans. on Power Electronics, vol.26, No12, december 2011.
- [5]. Wang Yijie, Wang Wei, Xu Dianguoa, Single - stage LED Driver for The Street Lighting System, (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 88 NR 1b/2012.
- [6]. Yuequan Hu, Laszlo Huber and Milan M. Jovanović, Universal - Input Single - Stage PFC Flyback with Variable Boost Inductance for High - Brightness LED Applications, 978-1-4244-4783-1/10 ©2010 IEEE.
- [7]. Chun - An Cheng, Chien - Hsuan Chang, Tsung - Yuan Chung and Fu - Li Yang, Design and Implementation of a Single - Stage Driver for Supplying an LED Street - Lighting Module With Power Factor Corrections, IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 30, No. 2, february, 2015.
- [8]. Yuequan Hu, Laszlo Huber, and Milan M. Jovanović, Single - Stage Flyback Power - Factor - Correction Front - End for HB LED Application, 978-1-4244-3476-3/09 ©2009 IEEE
- [9]. Yuequan Hu, Laszlo Huber, and Milan M. Jovanović, Single - Stage Flyback LED Driver Meets Class C Limits on Harmonic Currents, Exclusive Technology Feature 2011 How2Power
- [10]. P. S. Almeida, H. A. C. Braga, M. A. Dalla Costa, J. M. Alonso, Off - line Soft - Switched LED Driver based on an Integrated Bridgeless Boost - Asymmetrical Half - Bridge Converter, DOI 10.1109/TIA.2014.2332066, IEEE Trans. on Industry Applications
- [11]. Yue Guo, Albert T L Lee, Li Sinan, Siew - Chong Tan, Single - Stage AC - DC Single - Inductor Multiple - Output LED Drivers, IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 31, No. 8, august 2016.
- [12]. Diego G. Lamar, Marcos Fernandez, Manuel Arias, Marta M. Hernando and Javier Sebastian, Tapped - Inductor Buck HB - LED AC - DC Driver Operating in Boundary Conduction Mode for Replacing Incandescent Bulb Lamps, IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 27, No. 10, october 2012
- [13]. G. G. Pereira, M. F. de Melo, M. A. Dalla Costa, J. M. Alonso, High-Power-Factor LED Driver based on Input Current Shaper using a Flyback Converter, DOI: 10.1109/IAS.2015.7356859, October 2015.
- [14]. Hongbo Ma, Jih - Sheng Lai, Quanyuan Feng, Wensong Yu, Cong Zheng and Zheng Zhao, A Novel Valley - Fill SEPIC - derived Power

Supply Without Electrolytic Capacitors for LED Lighting Application,
IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 27, No. 6, June 2012.

[15]. Samet Isak, Iliyan Iliev, Hristian Panchev, Research of LED dimming sources and lighting systems, 17-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA) – 1-4 July 2021, Sofia, 978-1-6654-3582-6/21

АВТОР:

Цветомир Димитров Димитров, Докторант, Технически университет - Варна, tvetomirdimitrovdimitrov@gmail.com