

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НЯКОИ ПАРАМЕТРИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ ОТ ДИМИРУЕМИ СВЕТОДИОДНИ ЛАМПИ

Цвятко Колев Върбов, Красимир Маринов Иванов

Технически университет - Габрово

INVESTIGATION OF SOME PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY FROM DIMMABLE LED BULBS

Tsvyatko Kolev Varbov, Krasimir Marinov Ivanov

Technical University of Gabrovo

Abstract

The paper inhere describes a study of various types of dimmable LED bulbs which are attached to the power boards of the electrical power supplying system. In that relation, the relevant parameters of electromagnetic compatibility are presented. Graphically there have been presented the current curves in the phase and their harmonic composition. The performed measurements' results show that electrical lighting loads change the harmonic composition of the current curve, which results in increased power and energy losses.

Keywords: Electromagnetic compatibility, Harmonics current, dimmable LED bulb.

ВЪВЕДЕНИЕ

Осветлението представлява около 15% от търсенето на електроенергия в световен мащаб. През последните години светът преживя нова революция в осветителната технология с появата на LED лампи, които се основават на използването на светодиоди (LED). Светодиодните лампи (LED лампи) станали доминиращи на пазара поради техните характеристики, като: енергийна ефективност, екологосъобразност, димируемост (промяна на яркостта на светлината) и възможност за промяна на спектър (избор на цветна температура) [1, 2].

Димируемите лампи позволяват да се увеличи допълнително енергийната ефективност и да се подобри осветеността на работното място. Промяна на спектъра на светлината позволява по-добър визуален комфорт, като промяна на обстановката от творческа до подходяща за отдих. Проблем при димируемото осветление е, че допълнително се увеличава състава на хармоничните в тока.

Генерирането на допълнителни хармонични съставки, предизвиква допълнителни загуби в захранващата мрежа и други негативни явления [3, 4, 5]. Това би могло да доведе и до влошаване на параметрите на качеството на електрическата енергия и електромагнитната съвместимост, подавана към потребителите и до проблеми при експлоатацията им. Най-често се забелязва: прегряване и дефектиране на нулевия проводник на кабелни електропроводи ниско напрежение; допълнителни загуби в силови трансформатори и кондензатори на инсталации за компенсиране на реактивната мощност; ускорено стареене на изолацията на кабели и други.

Принципът на работа на светодиодни лампи е свързан с преобразуване на променливото напрежение на захранващата мрежа в постоянно с желана стойност за светодиодите на лампата. За намаляване на генерирането на хармонични към захранващата мрежа се поставя допълнително и електромагнитен филтър (ЕМИ филтър).

При димируемите светодиодни лампи има и допълнително регулиране на тока през светодиодите.

В Европа основният нормативен документ, регламентиращ граничните стойности за излъчвания на хармонични съставлящи на тока (входен ток на устройства/съоръжения до и включително 16 А за фаза) е EN 61000-3-2:2014 (IEC 61000-3-2:2014) [6].

Целта на работата е да се изследват хармоничните „замърсявания“ в електрическите уредби, предизвиквани от използването на димируеми светодиодни лампи и светодиодни лампи с промяна на спектър в бита и индустрията.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Съгласно стандарта БДС EN 61000-3-2:2014 техническите средства за експлоатация се разделят на 4 класа: клас А; клас В; клас С; клас D.

Граничните норми (стойности) за излъчваните хармонични съставлящи на тока, които могат да бъдат създадени от устройствата клас С са разделени за устройства с мощност до 25 W и над 25 W.

За устройства с активна мощност по-голяма от 25 W, граничните норми за излъчваните хармонични съставлящи на тока са показани в таблица 1.

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

- стойностите на хармоничните съставлящи на тока на 1 W не трябва да превишават нормите показани в таблица 2.

- стойността на трети хармоник изразен в проценти не трябва да превишава 86% от стойността на основния хармоник, а стойността на пети хармоник изразен в проценти не трябва да превишава 61% от стойността на основния хармоник. Също така, формата на сигнала на входния ток трябва да бъде такава, че да достигне ниво на тока от 5% преди или на 60°, да има пикова стойност преди или на 65° и да не пада под нивото на тока от 5% преди 90° спрямо преминаването през нулата на основното захранващо напрежение.

Таблица 1

Номер на хармоник	Максимално допустими стойности на хармоничните съставлящи на тока в % от основната хармонична
2	2
3	30*λ
5	10
7	7
9	5
11 ≤ n ≤ 39 (само нечетни)	3
λ- фактор на мощност	

Таблица 2

Номер на хармоник	Максимално допустими стойности на хармоничните съставлящи на тока за ват mA/W
3	3,4
5	1,9
7	1,0
9	0,5
11	0,35
13 ≤ n ≤ 39 (само нечетни)	3,85/n

Стандартът IEC 61000-3-4 определя граничните стойности за хармонични съставлящи на тока в нисковолтови електроразпределителни системи за оборудване с номинален ток, по-голям от 16А на фаза [7]. Общите коефициенти на нелинейните (хармоничните) изкривявания THD се изчисляват по формулите:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 \dots + I_n^2}}{I_1} 100, \% \quad (1)$$

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots + U_n^2}}{U_1} 100, \% \quad (2)$$

където I_1 , I_n са съответно ефективната стойност на първия хармоник на тока и на хармоника с $n \geq 2$; U_1 , U_n – съответно ефективната стойност на първия хармоник на напрежението и на хармоника с $n \geq 2$.

Параметрите на хармонични съставлящи на тока, съгласно IEC 61000-3-4, спрямо изследвания обект са дадени в Таблица 3.

В IEC 61000-3-4 са въведени и следните дефиниции:

- Точка на обикновено свързване (PCC): точка в обществената мрежа, която е най-

близо до съответния потребител и до която други потребители са или могат да бъдат свързани.

• Частично измерено хармонично изкривяване (PWHД):

$$PWHД = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2} \quad (3)$$

Таблица 3

Хармоничен номер n	Допустима хармонична съставляваща на тока* In/I1, %	Хармоничен номер n	Допустима хармонична съставляваща на тока In/I1, %
3	21,6	21	≤ 0,9
5	10,7	23	0,9
7	7,2	25	0,8
9	3,8	27	≤ 0,6
11	3,1	29	0,7
13	2	31	0,7
15	0,7	≥ 33	≤ 0,6
17	1,2		
19	1,1		

* I1 - ток на основната хармонична; In - ток на n-я хармоник

Таблица 4

Процедури на свързване съгласно 61000-3-4 Стойности на емисиите ток при Етап 2 за еднофазно, междуфазно и небалансирано трифазно оборудване								
Minimal Rscе	Допустими тотални хармонични изкривявания на тока %		Допустима хармонична съставляваща на тока за отделните хармонични In/I1 %					
	THD	PWHD	I3	I5	I7	I9	I11	I13
66	25	25	23	11	8	6	5	4
120	29	29	25	12	10	7	6	5
175	33	33	29	14	11	8	7	6
250	39	39	34	18	12	10	8	7
350	46	46	40	24	15	12	9	8
450	51	51	40	30	20	14	12	10
600	57	57	40	30	20	14	12	10

Забележка 1 – Сравнителната стойност на четните хармонични функции не трябва да надвишават 16/n%
Забележка 2 – Линейна интерполация между последователни Rscе стойности е допустима
Забележка 3 – В случай на небалансирано трифазно оборудване тези стойности са приложими за всяка фаза
* I1 = номинален основен ток; In = хармоничен токов компонент

За да се анализират характеристиките на LED лампи с функция за димиране, бяха тествани лампи с различни мощности от различни производители. Всички тествани лампи са проектирани да работят при напрежение 220-240 V.

При провеждане на изследването на хармонични „замърсявания“ в електрическите

уредби, предизвиквани от използването на димируеми светодиодни лампи, са използвани лампи на водещи фирми на българския пазар. Изследвани са лампи с различна цветна температура и с различна мощност. Умишлено имената на фирмите не се споменават.

За да се изследват лампите за наличие на хармонични в тока е използвана опитната постановка показана на фиг.1. Опитната постановка се състои от мрежов анализатор за качество на захранването HT GSC53N, измервателни клещи, осцилоскоп Hantek DSO5102P, сонда за отчитане на осветеност, тествани LED лампи и персонален компютър за анализ на данните. Лампите се изследват при различна степен на димиране. Лампите, които позволяват и промяна на спектъра са изследвани допълнително при различен спектър. Допълнително е изследвано и наличието на пулсации в светлинния поток.

Наличието на пулсации в светлинния поток се показва с коефициент на пулсации.

Коефициентът на пулсации на светлинния поток се изчисляват съгласно израза (4).

$$k_{\text{пулсации}} = \frac{\max - \min}{\max + \min} \quad (4)$$

където коефициентът на пулсации е съотношението на разликата и сумата от максималните и минималните стойности на светлинния поток.



Фиг. 1. Опитна постановка

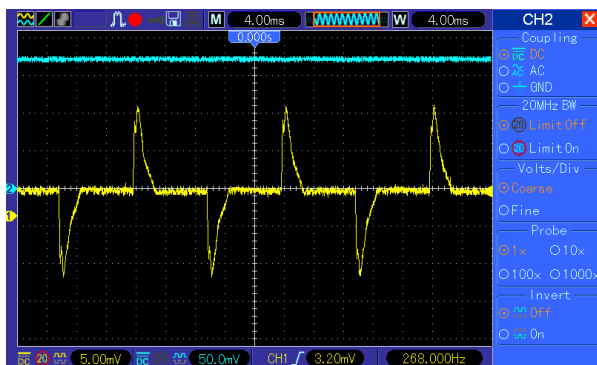
Мрежовият анализатор HT GSC53N дава възможност да се измерват всички електрически величини, касаещи качеството на

електрическата енергия в захранващата мрежа. Всеки светлинен източник е изследван самостоятелно.

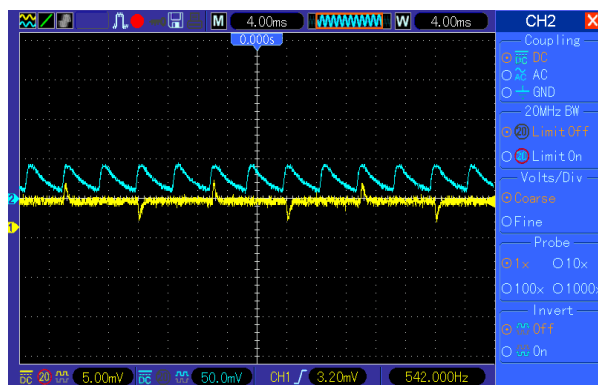
В таблица 5 са показани данни от изследване на димируема LED лампа с дистанционно управление и промяна на цветовете.

Таблица 5

Изследване на димируема LED лампа 9W					
Данни за лампа	Бяла светлина		Червена светлина		
	макс. ст-ст	мин. ст-ст	макс. ст-ст	макс. ст-ст	
Напрежение, V	238	238	238	238	
Ток, mA	58	5,3	13,3	5,22	
Мощност, W	8,6	0,55	1,6	0,53	
cosφ	0,62	0,43	0,5	0,44	
THDI, %	100	100	100	100	
Ток, mA № на хармоник	1	40,2	2,7	7,5	2,6
	3	32,6	2,6	6,9	2,5
	5	20,9	2,2	5,5	2,1
	7	11,8	1,8	4,1	1,7
	9	7,1	1,4	2,9	1,4
	11	5,3	1,1	2	1
	13	3,6		1,3	
Ток, % № на хармоник	1	100	100	100	100
	3	81,3	96,2	91,7	96
	5	52,2	80	73,5	80
	7	29,6	65,8	55,5	65
	9	17,7	51,2	39,3	54
	11	13,2	41,2	26,5	40,2
	13	9		17,5	



Фиг. 2 Времедиаграма наблюдавана при работата на светодиодна лампа от таблица 5 при максимална яркост



Фиг. 3 Времедиаграма наблюдавана при работата на светодиодна лампа от таблица 5 при минимална яркост

На фигура 2 се вижда че, лампата от таблица 5 при максимална яркост няма пулсации в светлинния поток, докато при минимална яркост на фигура 3 се появяват пулсации с коефициент на пулсации 75%. При работа в червен, зелен и син цвят независимо от яркостта пулсациите са 16%.

Таблица 6

Изследване на димируем LED плафон 72W			
Данни за лампа	Бяла светлина - максимална	Бяла светлина - минимална	
Напрежение, V	238	238	
Ток, mA	256	17,5	
Мощност, W	36	2,34	
cosφ	0,6	0,56	
THDI, %	100	100	
Ток, mA № на хармоник	1	158,7	10,4
	3	140,8	7,6
	5	105	6,5
	7	72,1	5,6
	9	47,2	4,6
	11	29,3	3,8
	13	20,6	2,8
	15	18,4	2,2
	17	10,8	1,6
	19	7,6	1,5
	21		1,1
Ток, % № на хармоник	1	100	100
	3	88,6	73
	5	66	63,4
	7	44,8	54
	9	29,9	44,4
	11	18,5	36,5
	13	13	26,6
	15	11,6	21,3
	17	6,8	15,7
	19	4,8	15
	21		11,1

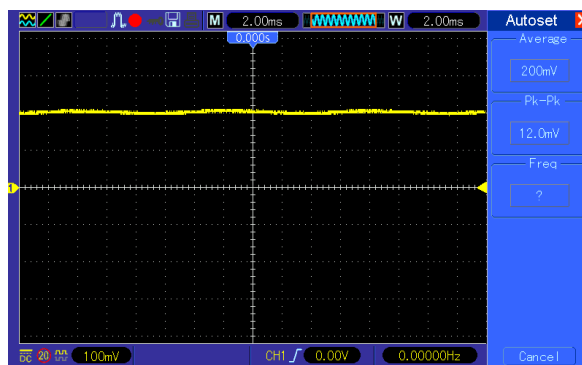
В таблица 6 са показани данни от изследване на димируем LED плафон с дистанционно управление и промяна на цветната температура. Не бяха отчетени пулсации в светлинния поток независимо от спектъра и яркостта.

В таблица 7 са показани резултати при управление на димируема лампа с управление в ключа. Направени са изследвания на две LED лампи на различни производители.

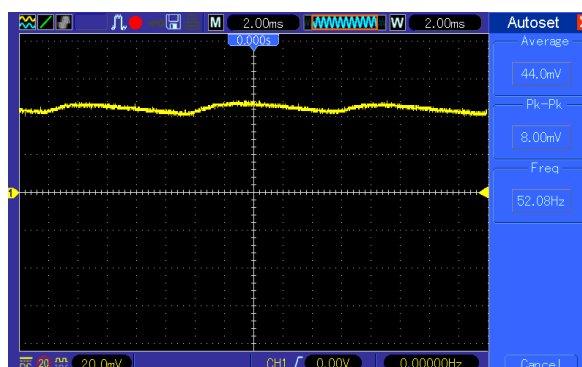
На фигура 4 и фигура 5 са показани времедиаграми на пулсациите получени в светлинния поток при управление в ключа на димируема LED лампа 12W(таблица 7). Пулсациите в светлинния поток на димируемата LED лампа при максимална яркост са 3% и при минимална яркост са 9%.

Таблица 7

Изследване на димируеми LED лампи с управление в ключа					
Данни за лампа	LED лампа 12W		LED лампа 10W		
	макс. ст-ст	мин. ст-ст	макс. ст-ст	мин. ст-ст	
Напрежение, V	242	238	238	142	
Ток, mA	57,6	17,5	47,4	23,7	
Мощност, W	10,9	2,34	10,8	3,5	
cosφ	0,79	0,56	0,96	0,61	
THDI, %	33,1	100	12,5	47	
Ток, mA № на хармоник	1	54,7	16,7	46,8	21,3
	3	16,5	12	3,8	9,6
	5	4,7	9,9	4,2	2,7
	7	4	7,4	1,4	1,1
	9	2,1	5,4	-	-
	11	2	3,4	-	-
	13	1,7	2,7	-	-
	15	-	1,7	-	-
Ток, % № на хармоник	1	100	100	100	100
	3	30,3	71,8	8,2	45
	5	8,7	59,1	9	12,4
	7	7,4	43,9	3	5,3
	9	3,9	32,4	-	-
	11	3,6	20,6	-	-
	13	3,1	16,2	46,8	21,3
	15	-	10,2	3,8	9,6

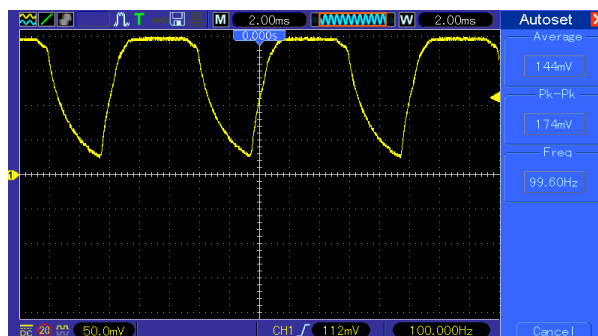


Фиг. 4 Времедиаграма при работата на светодиодна лампа 12W от таблица 7 при максимална яркост



Фиг. 5 Времедиаграма при работата на светодиодна лампа 12W от таблица 7 при минимална яркост

На фигура 6 е показана времедиаграма на пулсациите получени в светлинния поток при управление в ключа на димируемата LED лампа 10W (таблица 7). Пулсациите в светлинния поток на димируемата LED лампа при максимална яркост са 60%.



Фиг. 6 Времедиаграма при работата на светодиодна лампа 10W от таблица 7 при максимална яркост

Таблица 8

Данни за лампа	диминуема LED лампа 12W		диминуема LED лампа 6,5W		
	светлина		светлина		
Данни за лампа	макс. ст-ст	мин. ст-ст	макс. ст-ст	мин. ст-ст	
Напрежение, V	247	247	247	247	
Ток, mA	70,8	30,0	40,7	21,2	
Мощност, W	11,9	0,4	6	0,2	
cosφ	0,69	0,05	0,68	0,04	
THDI, %	19,6	55,2	23,1	38,7	
Ток, mA № на хармоник	1	69,2	26,3	40,7	21,2
	2	3,3	3	3,4	2,9
	3	9,3	6,5	3,7	2,9
	4	2,7	2,3	2,9	2,3
	5	7	9,1	4	5
	6	1,9	1,7	2,1	1,8
	7	4,7	4	3,2	-
	8	1,4	1,3	1,5	1,3
	9	2,7	5	3,7	3,2
	10	-	-	-	-
	11	-	3,4	1,9	1,1
	12	-	-	-	-
	13	-	2,2	-	1
	14	-	-	-	-
	15	-	2	1,1	1,4
Ток, % № на хармоник	1	100	100	100	100
	2	4,8	11,5	8,5	13,7
	3	13,6	24,7	9,1	13,7
	4	4	8,9	7,2	11,1
	5	2,8	34,4	9,9	23,8
	6	6,8	6,5	5,2	8,5
	7	2	15,2	9,0	-
	8	4	4,9	3,8	6,5
	9		19,2	9	15,1
	10			-	-
	11		13	4,6	5,4
	12			-	-
	13		8,6	-	5
	14			-	-
	15		7,8	2,8	6

В таблица 8 са показани резултати при управление на диминуеми лампи с триак и дистанционно управление. Пулсациите в светлинния поток на диминуема LED лампа 12W при максимална яркост са 14% и 26% при минимална яркост.

При LED лампи свързани към управление с триак и управление в ключа, пулсациите в светлинния поток и стойностите на хармоничните съставлящи на тока зависят основно от използваната LED лампа.

От направените изследвания беше установено, че при LED лампи с минимални пулсациите в светлинния поток има увеличаване стойности на хармоничните съставлящи

на тока и обратно, при минимални стойности на хармоничните съставлящи на тока има увеличаване на пулсациите в светлинния поток. При намаляване на яркостта на лампите чрез диминане, пулсациите в светлинния поток нарастват.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведено изследване на диминуеми светодиодни лампи и светодиодни лампи с възможност за промяна на спектър могат да се направят следните изводи:

1. Има високи стойности на хармоничните съставлящи на тока при светодиодни лампи, които нямат пулсациите в светлинния поток;

2. Намаляването на пулсациите в светлинния поток при светодиодни лампи е свързано с повишаване на хармоничното замърсяване на електрическата мрежа;

Поради малките мощности при светодиодни лампи спрямо останалите консуматори на мрежата не се наблюдава повишаване на коефициента на нелинейни изкривявания на напрежението.

Високо съдържание на хармоничните съставлящи на тока и наличието на пулсациите в светлинния поток не е показано от производителя.

Повишените нива на хармоничните съставлящи на тока в нулевия проводник водят до високи стойности на тока през нулевия проводник и повишено нагряване и загуби. Тези резултати показват, че практиката на избор на по-малки сечения за нулевите проводници и шини при захранване на промишлени осветители със светодиодни лампи е неподходяща.

REFERENCE

- [1] Istalianov R., V Voivodov, Research of harmonic in LED lighting. Bulgarian XV National Conference Lighting BulLight 2014, Bulgaria, Sozopol.
- [2] Jettanassen, C., Pothisarn, C., Analytical Study of Harmonics Issued from LED Lamp Driver, International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS), Vol II, Hong Kong, March 12 – 14, (2014).
- [3] Uddin, S., Shareef, H., Mohamed, A., Hannan, M. A., An analysis of harmonics from LED lamps, Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic

- Compatibility, 21-24 May, (2012).
- [4] Harmonics from Compact Fluorescent Lamps. IEEE Transactions on industry applications, vol. 29, № 3, May/June 1993.
- [5] Petrov P. K., Ts. Varbov, Experimental determination of the pulsation coefficient of the flow, Safety and Occupational Medicine Nr5/2007 ISSN 1311-2740.
- [6] EN 61000-3-2:2014 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).
- [7] Tsanev Ts., Sv. Tsvetkova, Power Quality, Sofia, 2011, Publishing House „Avangard Prima” Publishing House ISBN 978-954-323.
- [8] Varbov Ts., Kr. Marinov, Research of harmonic in CFL bulbs and LED bulbs, International Scientific Conference, 17-18 November 2017, Gabrovo.