

## ВЛИЯНИЕ НА ПРОМИШЛЕНИ ОСВЕТИТЕЛИ ВЪРХУ ПАРАМЕТРИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ

Цвятко Колев Върбов<sup>1</sup>, Красимир Маринов Иванов<sup>1</sup>, Панайот Янков Иванов<sup>1</sup>  
Михай Кручеру<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Технически университет – Габрово, България

<sup>2</sup>Университет „Константин Бранкуши” – Търгу-Жиу, Румъния

## INFLUENCE OF INDUSTRIAL LUMINARIES ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY PARAMETERS

Tsvyatko Kolev Varbov<sup>1</sup>, Krasimir Marinov Ivanov<sup>1</sup>, Панайот Янков Иванов<sup>1</sup>  
Mihai Crucheru<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technical University of Gabrovo, Bulgaria

<sup>2</sup>University 'Constantin Brâncuși' of Târgu-Jiu, Romania

### Abstract

The paper inhere describes a study of various types of industrial luminaries 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 the neutral conductors and their harmonic composition. The performed measurements' results show that electrical lighting loads in the industrial companies change the harmonic composition of the current curve, which results in increased power and energy losses..

**Keywords:** EMC, harmonics current, LED bulb, МНВ.

### ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години все по-голямо приложение намират енергоспестяващите компактни луминесцентни лампи (КЛЛ) и светодиодните лампи (LED). Захранващите им устройства генерират хармонични съставлящи на тока [1, 2]. Използването на тези устройства обикновено води до генериране на хармонични съставки, които се връщат обратно в захранващата мрежа и предизвиква допълнителни загуби и други негативни явления [3, 4, 5]. Това би могло да доведе и до влошаване качеството на електрическата енергия, подавана към потребителите и до проблеми при експлоатацията им. Най-често се забелязва: прегряване и унищожаване на нулеви работни проводници на кабелни линии; допълнителни загуби в силови трансформатори и кондензатори на инсталации за компенсиране на реактивната мощност; ускорено стареене на изола-

цията на кабели.

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 за осветление, предизвиквани от използването на различни осветителни тела в индустрията.

Изследвани са параметрите на промишлени осветители от различен характер, присъединени към захранващите табла на електрическите уредби. Представени са съотнормимите параметри на електромагнитна съвместимост. Дадени са снетите криви на изменение на фазовите токове и токовете в неутралния проводник, а също така и техният хармоничен състав.

## 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

Към клас А се причисляват симетрични трифазни технически средства, битови технически средства, електрически непреносими инструменти, аудио оборудване и др.

Към клас В са включени преносимите електрически инструменти и оборудване, неотнасящо се към професионалното и електродъгово заваряване.

Към клас С са включени осветителни прибори (осветители).

Към клас D са прибори с мощност, по-малка от 600 W (персонални компютри, монитори, телевизори и др.)

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 повече от 25 W, граничните норми за излъчваните хармонични съставлящи на тока са показани в Таблица 1.

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	

За газоразрядни лампи се прилагат ограниченията за клас D.

Граници на хармонични съгласно IEC 61000-3-2 Клас D (Проектно/номинално състояние на натоварване) са показани в Таблица 2.

Таблица 2

Хармоничен ред	75 W < P < 600 W	P > 600 W
n	mA/W	A
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,22
13	0,296	0,21
15 ≤ n ≤ 391	3,85/n	2,25/n

Не се прилагат ограничения за оборудване под 75 W входна мощност.

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 16A 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.

Таблица 3

Хармоничен номер n	Допустима хармонична съставляща на тока* $I_n/I_1, \%$	Хармоничен номер n	Допустима хармонична съставляща на тока $I_n/I_1, \%$
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		

\*  $I_1$  - ток на основната хармонична;  $I_n$  - ток на n-и хармоник

В IEC 61000-3-4 са въведени 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):

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

- Мощност на късо съединение (S<sub>sc</sub>): изчислена спрямо номиналното напрежение на системата U<sub>nom</sub> и импеданса Z при късо съединение:

$$S_{sc} = \frac{U_{nom}^2}{Z} \quad (4)$$

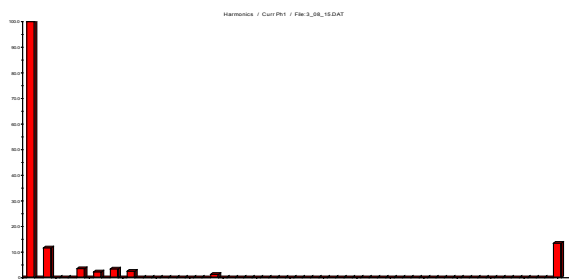
Таблица 4

Процедури на свързване съгласно 61000-3-4								
Стойности на емисиите ток при Етап 2 за еднофазно, междуфазно и небалансирано трифазно оборудване								
Minimal R <sub>sce</sub>	Допустими тотални хармонични изкривявания на тока %	Допустима хармонична съставлява на тока за отделните хармонични I <sub>n</sub> /I <sub>1</sub> %						
		THD	PWHД	I3	I5	I7	I9	I11
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

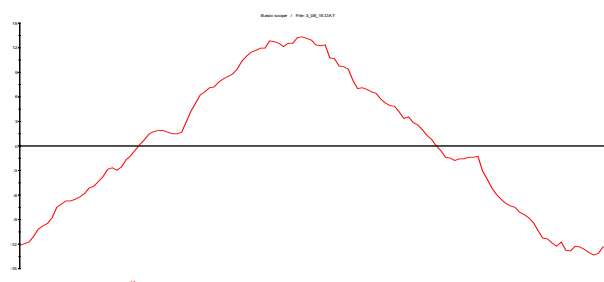
Забележка 1 – Сравнителната стойност на четните хармонични функции не трябва да надвишават 16/n%  
 Забележка 2 – Линейна интерполация между последователни R<sub>sce</sub> стойности е допустима  
 Забележка 3 – В случай на небалансирано трифазно оборудване тези стойности са приложими за всяка фаза  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

За измерванията на електротехническите величини е използван мрежов анализатор HT Italia GSC53N. Меренето е извършено на страна 400 V на изходните шини на захранващите табла, присъединени към трансформатор с мощност 1600 kVA. В първия случай осветителните тела са LED плюс метал-халогенни лампи с мощност 100 W осветители и са равномерно разпределени към трите фази. Към разпределителните шини на трансформатора има присъединени филтри. Измерени бяха трите фазови тока и токът през нулевия проводник. Кое-

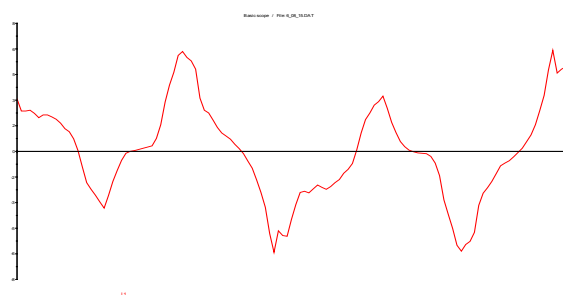
фициентът на хармонично изкривяване по ток е THD(I)=13.47 при включени филтри. На фиг.1 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %. Основната хармонична е обозначена като 100%, останалите хармонични са изчислени в относителни единици спрямо нея. В този случай има преобладаване на 5 и 7 хармонична на тока. Графиките на останалите фазови токове са аналогични. На фиг.2 е представено изменението на фазовия ток в момента на снемане на резултатите. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициент на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. Филтрите са добре настроени. На фиг.3 е представен токът в нулевия проводник.



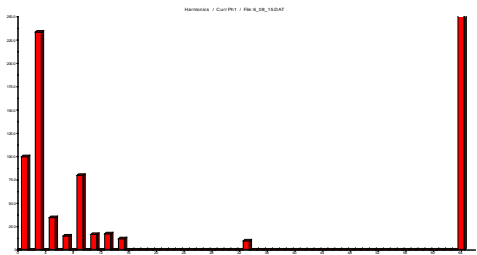
Фиг. 1. Амплитудно честотна характеристика на фазовия ток



Фиг. 2. Времедиаграма на фазовия ток



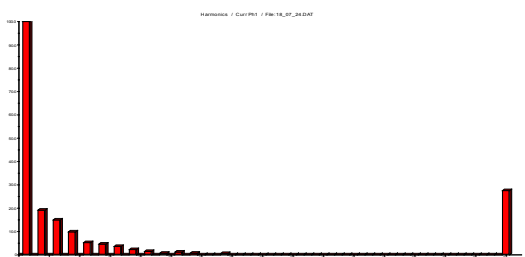
Фиг. 3. Времедиаграма на тока през нулевия проводник



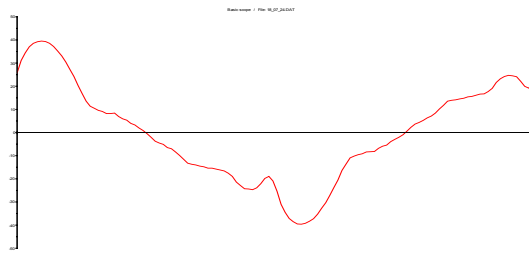
**Фиг. 4.** Графика на хармоничните съставлящи на тока през нулевия проводник

Стойността на тока през нулевия проводник е в равна на 2.95 А. Изменението на хармоничните съставлящи на тока през нулевия проводник е представено на фиг. 4. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е  $THD(I)=252.01$ . Токът на трета и деветата хармонична се сумират и се увеличават, като тази на третата хармонична надвишава значително тази на основната. Това води до повишени загуби в неутралния проводник и трансформатора.

Меренето във втория случай е извършено на страна 400 V на изходните шини на захранващото табло, присъединено към същия трансформатор с мощност 1600 kVA, захранващ промишлени осветителни тела с LED лампи. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е  $THD(I)=27.53$ . На фиг.5 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %. Подходът на построяване на графиката е аналогичен и на фиг. 1. Графиките на останалите фазови токове са аналогични. И в този случай има преобладаване на 5 и 7 хармонична на тока. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициент на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. Филтрите са включени и настроени подобаващо и коефициентът на хармонично изкривяване по ток намалява. На фиг. 6 е представено изменението на фазовия ток в момента на снемане на резултатите.

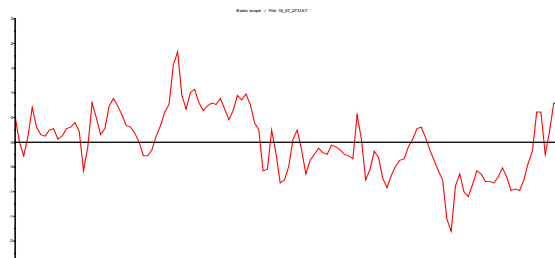


**Фиг. 5.** Графика на хармоничните съставлящи на тока през фазовия проводник

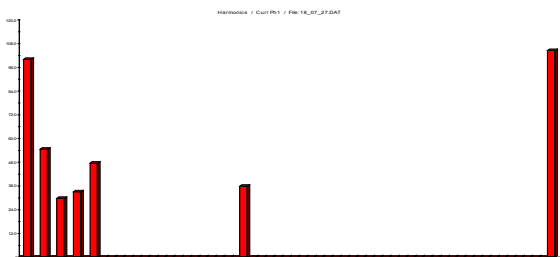


**Фиг. 6.** Времедиаграма на фазния ток

На фиг. 7 е представено изменението на тока в нулевия проводник. Стойността на тока през нулевия проводник е в равна на 0,51 А. Изменението на хармоничните съставлящи на тока през нулевия проводник е представено на фиг. 8. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е  $THD(I)=104.48$ . Токовете на трета, деветата и двадесет и седмата хармонични се сумират и се увеличават, но не надвишават тази на основната. И тук може да се каже, че повишаването на коефициента на хармонично изкривяване по ток в неутралния проводник може да увеличи загубите.



**Фиг. 7.** Времедиаграма на тока през нулевия проводник

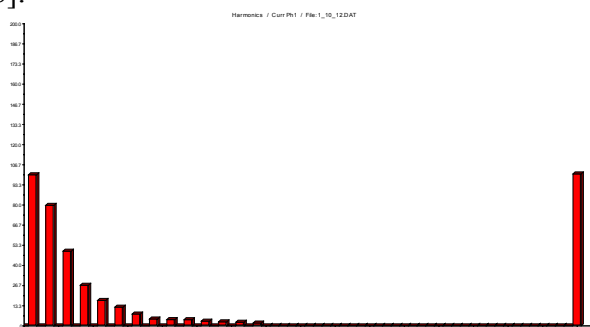


**Фиг. 8.** Графика на хармоничните съставлящи на тока през нулевия проводник

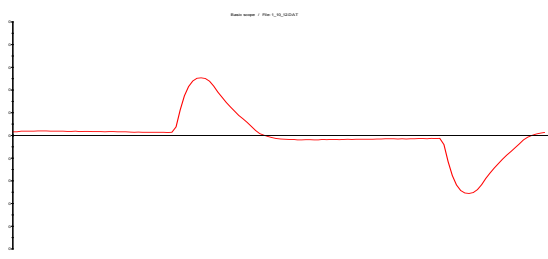
Допълнителните загуби от хармоничните съставлящи в всеки от фазовите и неутралния проводници могат да се определят съгласно формулата:

$$\Delta P_{\text{Л}} = 1,41r_{\text{Л}} \sum_{n=2}^{40} \sqrt{n} I_n^2 \quad (5)$$

Аналогични са и резултатите при изследване на светодиодни лампи в лабораторни условия. Използвани са еднакви светодиодни лампи свързани в звезда, които имат голямо съдържание на хармонични на тока [8].



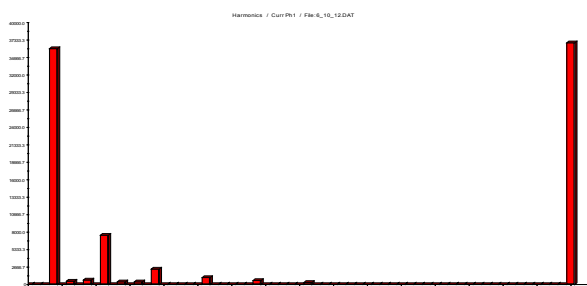
Фиг. 9. Амплитудно честотна характеристика на фазовия ток



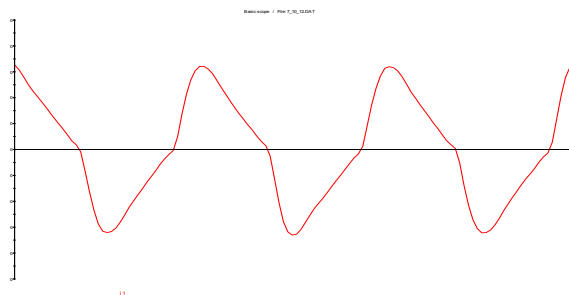
Фиг. 10. Времедиаграма на фазовия ток

Графиката на фиг.9 показва наличието на хармоничните съставлящи на тока през фазовия проводник. Има съществено наличие на нечетни хармонични от 3 до 15. Получените резултати са показани и в Таблица 5.

Наличието на хармонични съставлящи на тока през нулевия проводник е показано на фиг.11. Токът на трета, деветата и петнадесетата хармонична се сумират и се увеличават, като тази на третата хармонична надвишава значително стойността на първата хармонична и на ефективната стойност на фазовия ток [8].



Фиг. 11. Амплитудно честотна характеристика на тока през нулевия проводник.



Фиг. 12. Времедиаграма на тока през нулевия проводник

Конкретно в Таблица 5 ефективната стойност на фазовия ток е обозначена като 100%, хармоничните на фазния ток и тока през нулевия проводник са изчислени в относителни единици спрямо ефективната стойност на о фазовия ток.

Таблица 5

Данни за лампа		фаза1	фаза2	фаза3	нулев проводник
Напрежение, V		237,0	237,9	237,1	
Мощност, W		29	31	29,4	
TDNU, %		1,4	1,4	1,4	
cos φ		0,67	0,67	0,66	
TDNI, %		99,9	98,6	99,8	
Ток, mA	ефективна стойност	95,2	94,8	94,6	162,9
ефективна стойност и № на хармоник	1	67,3	67,1	66,7	-
	3	53,2	53,1	53,1	159,4
	5	33,2	33,5	33,1	-
	7	17,8	17,8	18,0	-
	9	11,3	11,3	11,1	32,7
	11	8,2	8,6	7,9	-
	13	4,7	5,8	5,7	-
	15	2,3	3,0	3,0	8,3
%	ефективна стойност	100	100	100	171,8
ефективна стойност и № на хармоник	1	70,7	70,8	70,5	-
	3	55,9	56,0	56,1	168,1
	5	34,9	35,3	35,0	-
	7	18,7	18,8	19,0	-
	9	11,9	11,9	11,7	34,5
	11	8,6	9,1	8,4	-
	13	4,9	6,1	6,0	-
	15	2,4	3,2	3,2	8,8

От Таблица 5 се вижда, че токът през нулевия проводник превишава със 171.8% тока през фазовия проводник при тези светодиодни лампи. Определяща е третата хармонична, която превишава със 168.1% тока през фазовия проводник.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведено изследване на хармоничните замърсявания по ток в електрическите уредби, причинени от промишлени осветители със светодиодни и метал-халогенни лампи, може да се направят

следните изводи:

Поради малките мощности при светодиодни лампи спрямо останалите консуматори на мрежата за изследвания случай не се наблюдава повишаване на коефициента на нелинейни изкривявания на напрежение.

Високо съдържание на хармонични в нулевия проводник може да доведе до допълнителни загуби в тези проводници и в захранващите трансформатори. Тези резултати показват, че практиката на избор на по-малки сечения за нулевите проводници и шини е неуспешна, понеже повишените нива на хармонични водят до повишено нагряване и загуби.

## REFERENCE

- [1] Istalianov R., V Voivodov, Research of harmonic in LED lighting. Bulgarian XV National Conference Lighting BullLight 2014, Bulgaria, Sozopol.
- [2] Jettanasen, C., Pothisarn, C., *Analytical Stud 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  $\leq 16$  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.