

СРАВНЕНИЕ НА НЯКОИ ПАРАМЕТРИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ НА ДИМЕРИ

Цвятко Колев Върбов, Красимир Маринов Иванов
Технически университет - Габрово

COMPARISON OF SOME PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF DIMERS

Tsyatko Kolev Varbov, Krasimir Marinov Ivanov
Technical University of Gabrovo

Abstract

The paper inhere describes a study of leading-edge dimmers and trailing -edge dimmers 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 dimming setting of electrical lighting loads change the harmonic composition of the current curve, which results in increased power and energy losses.

Keywords: Electromagnetic compatibility, Harmonics current, leading-edge dimmers, trailing -edge dimmers.

ВЪВЕДЕНИЕ

Светодиодните лампи (LED лампи) станаха доминиращи на пазара поради техните характеристики, като: енергийна ефективност, екологосъобразност, димируемост (регулиране на яркостта на светлината) и възможност за промяна на спектър (избор на цветна температура) [1, 2].

Регулирането на яркостта на светлината позволява да се увеличи допълнително енергийната ефективност и да се подобри осветеността на работното място. Поради тази причина димируемостта на осветление става все по-разпространено в ежедневието.

Димерите са устройства, свързани към осветително тяло и се използват за намаляване на яркостта на светлината излъчвана от лампите. Най-често това се постига чрез пропускане само на част от полупериода на синусоидата (фазово управление). Проблем при димируемостта на осветление е, че допълнително се увеличава състава на хармонични в тока и се влошава факторът на мощност ($\cos\phi$).

Генерирането на допълнителни хармонични съставки и влошаването на фактора на мощност, предизвиква допълнителни загуби в захранващата мрежа и други негативни явления [3, 4, 5].

В Европа основният нормативен документ, регламентиращ граничните стойности за излъчвания на хармонични съставлящи на тока на осветителни устройства (входен ток на устройства/съоръжения до и включително 16 А за фаза) е EN 61000-3-2:2014. В европейските стандарти за електромагнитна съвместимост (ЕМС) и наличие на хармоници са посочени изисквания само за осветление без регулиране [6].

Целта на работата е да се изследва факторът на мощност при използване на димируемо осветление.

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.

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

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 (PWHd):

$$PWHd = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2} \quad (1)$$

Таблица 3

Хармоничен номер n	Допустима хармонична съставляща на тока* In/I1, %	Хармоничен номер n	Допустима хармонична съставляща 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 Rscce	Допустими тотални хармонични изкривявания на тока %		Допустима хармонична съставляща на тока за отделните хармонични In/I1 %					
			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 Rscce 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

В Делегиран регламент (ЕС) 2019/2015 на комисията са въведени и следните дефиниции [9]:

„фликер“ означава възприемането на визуална неустойчивост, причинена от светлинен стимул, чиято яркост или спектрално

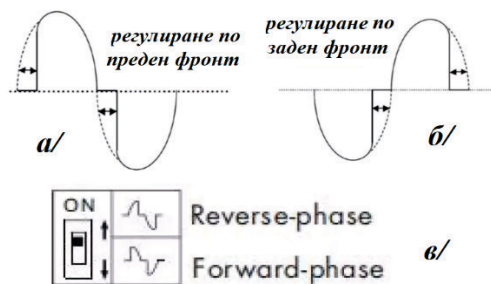
разпределение се колебаят във времето, от неподвижен наблюдател в статична среда. Колебанията може да са периодични и неперидични и може да са причинени от самия светлинен източник, от източника на захранването или от други фактори на въздействие.

„фактор на мощността ($\cos \phi$)“ означава косинусът на фазовия ъгъл ϕ между основната хармонична съставка на мрежовото напрежение и основната хармонична съставка на тока в мрежата. Използва се за светлинни източници, захранвани от мрежата, работещи със светодиоди или с органични светодиоди като технология за осветление.

Факторът на мощността се измерва при максимална мощност според базовите контролни настройки, когато е приложимо, като всички части за регулиране на осветлението са в режим на управление, а връзката с несвързаните с осветлението части е прекъсната, изключени са или са настроени на минимална консумация на енергия в съответствие с инструкциите на производителя [9].

Регулирането по време на преден фронт на полупериода на синусоидата се нарича Leading-Edge Dimming (също Triac dimmer или Forward phase dimmers) фиг. 1а. Регулирането по време на заден фронт на полупериода на синусоидата се нарича Trailing-Edge Dimming (също Transistor dimmer или Reverse phase dimmers) фиг. 1б. Съществуват димери, осигуряващи и двете възможности (Leading&Trailing-Edge Dimming) фиг. 1в.

LED лампите имат вграден драйвер за преобразуване на променливо в постоянно напрежение и поддържане на постоянен ток към светодиода. За да може LED лампата или осветителното LED тяло да работи с димер с управление по фаза, трябва електрониката на драйвера да бъде адаптирана за съвместна работа. На пазара се предлагат LED лампи или осветителни LED тела на които е отбелязано, че са предвидени за работа с димери (dimnable lamp).



Фиг. 1. Фазово димиране

За да се анализират характеристиките на димируемо осветление, бяха тествани различни димери при използване на лампи с функция за димиране. Всички тествани димери са проектирани да работят при напрежение 220-240 V.

При провеждане на изследването за хармонични „замърсявания“ и влошаване на фактор на мощност в електрическите уредби, предизвиквани от използването на димируемо осветление, са използвани димери и лампи на водещи фирми на българския пазар. Умишлено имената на фирмите не се споменават.

Изследванията на димерите са реализирани с три лампи. Първата е халогенна лампа. Втората е димируема LED лампа с големи пулсации в светлинния поток и слабо наличие на хармонични в тока. Третата е димируема LED лампа с много малки пулсации в светлинния поток и чувствително наличие на хармонични в тока.



Фиг. 2. Опитна постановка

За да се изследва димируемо осветление е използвана опитната постановка показана на фиг. 2. Димируемостта се изследва при различна степен на димиране. Всеки димер е изследван самостоятелно.

В таблици 5 и 6 са показани част от резултатите при тези изследвания.

Таблица 5

Димер с управление в ключа					
Данни за лампа	LED лампа 12W		LED лампа 10W		светлина
	светлина		светлина		
	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

И в таблица 5 и в таблица 6 се наблюдава нарастване на амплитудата на хармоничните при минимална стойност на яркост спрямо максимална стойност.

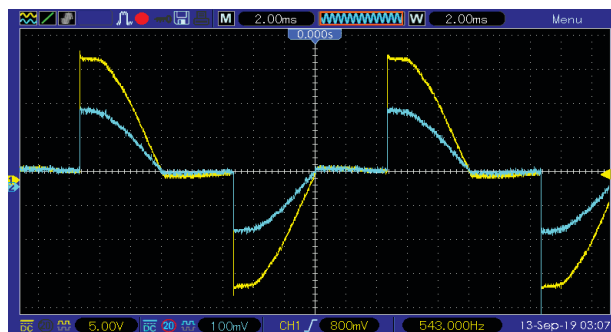
В таблици 5 и 6 се вижда и влошаване на факторът на мощност при регулиране на яркостта на светлината. При минимални стойности на яркост, факторът на мощност има много по-ниска стойност спрямо максимална стойност.

Таблица 6

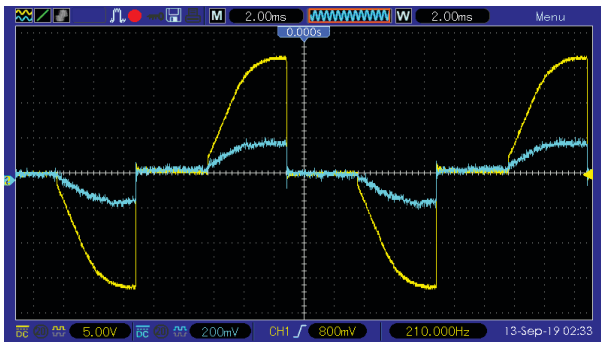
Димер с дистанционно управление					
Данни за лампа	димлируема LED лампа 12W		димлируема LED лампа 6,5W		светлина
	светлина		светлина		
Данни за лампа	макс. ст-ст	мин. ст-ст	макс. ст-ст	мин. ст-ст	ст-ст
Напрежение, V	247	247	247	247	
Ток, mA	70,8	30,0	40,7	21,2	
Мощност, W	11,9	0,4	6	0,2	
cosφ	0,69	0,05	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

На фиг. 3 са показани времодиаграми на напрежението и тока подавани от димер към халогенна лампа. Регулирането е по време на преден фронт на полупериода на синусоидата при фаза 90° . Между тока и напрежението след димера няма дефазирание, но има дефазирание между тока и напрежението на захранващата мрежа, което е показано на фиг. 5.

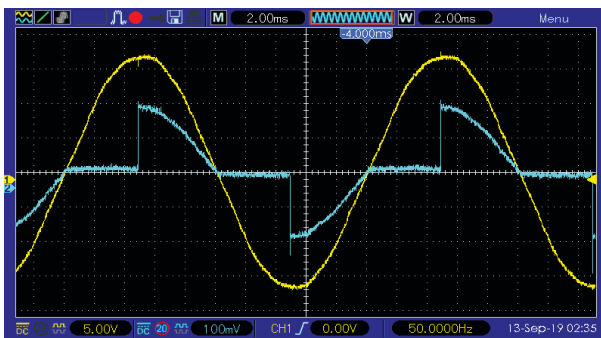


Фиг. 3. Времодиаграми на напрежението и тока подавани от димер към халогенна лампа при регулиране по време на преден фронт

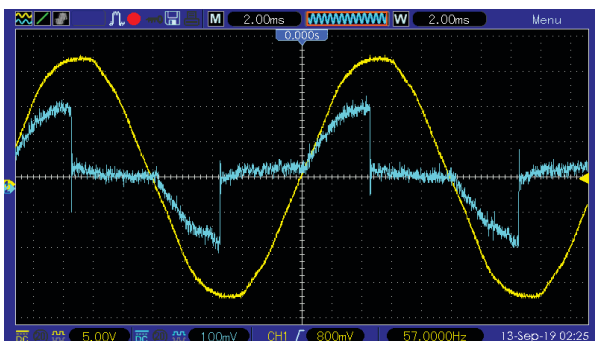


Фиг. 4. Времедиаграми на напрежението и тока подавани от димер към халогенна лампа при регулиране по време на заден фронт

На фиг. 4 са показани времедиаграми на напрежението и тока подавани от димер към халогенна лампа. Регулирането е по време на заден фронт на полупериода на синусоидата при фаза 90° . Между тока и напрежението след димера няма дефазирание, но има дефазирание между тока и напрежението на захранващата мрежа, което е показано на фиг. 6.



Фиг. 5. Времедиаграми на напрежението на захранващата мрежа и тока подаван от димер към халогенна лампа при регулиране по време на преден фронт

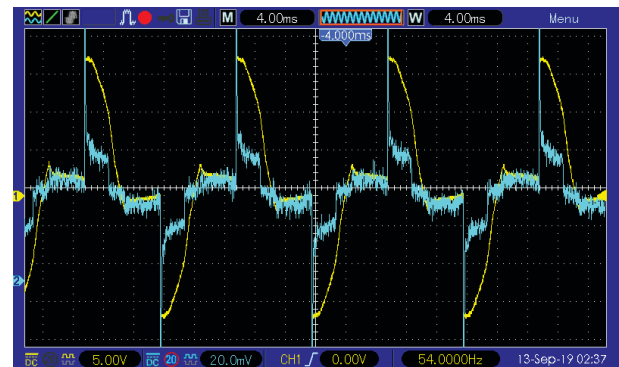


Фиг. 6. Времедиаграми на напрежението на захранващата мрежа и тока подаван от димер към халогенна лампа при регулиране по време на заден фронт

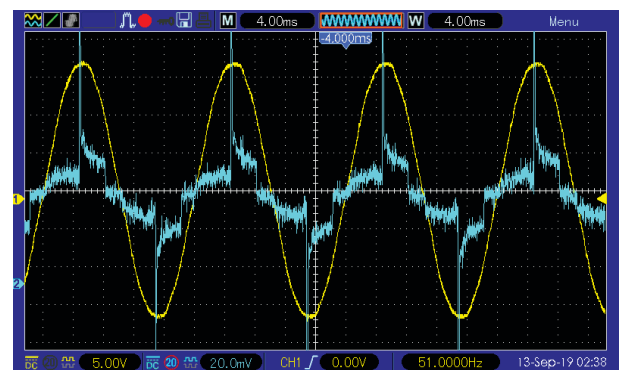
От времедиаграмите на фиг. 5 и фиг. 6 се вижда, че освен дефазирането между тока и напрежението на захранващата мрежа има и промяна на характера на товара. От индуктивен характер (тока изостава от напрежението) фиг. 5 на capacitивен характер (тока изпреварва напрежението) фиг. 6.

На фиг. 7 са показани времедиаграми на напрежението и тока подавани от димер към LED лампа. Регулирането на фиг. 7 е по време на преден фронт на полупериода на синусоидата при фаза 90° .

На фиг.8 са показани времедиаграми на напрежението на захранващата мрежа и тока подавани от димер към LED лампа. Регулирането на фиг.8 е по време на преден фронт на полупериода на синусоидата при фаза 90° . На фиг.7 и фиг.8 се наблюдава импулс в момента на отпушване на триака.



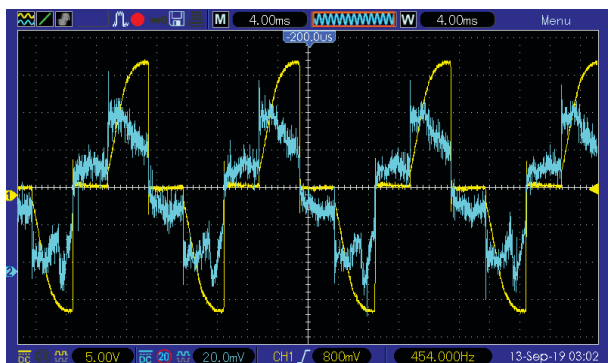
Фиг. 7. Времедиаграми на напрежението и тока подавани от димер към LED лампа при регулиране по време на преден фронт



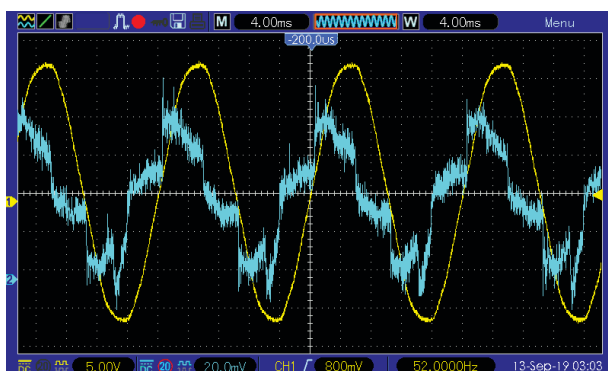
Фиг. 8. Времедиаграми на напрежението на захранващата мрежа и тока подаван от димер към LED лампа при регулиране по време на преден фронт

На фиг. 9 са показани времедиаграми на напрежението и тока подавани от димер към LED лампа. Регулирането на фиг. 9 е по време на заден фронт на полупериода на синусоидата при фаза 90° .

На фиг. 10 са показани времедиаграми на напрежението на захранващата мрежа и тока подавани от димер към LED лампа. Регулирането на фиг. 10 е по време на заден фронт на полупериода на синусоидата при фаза 90° .



Фиг. 9. Времедиаграми на напрежението и тока подавани от димер към LED лампа при регулиране по време на заден фронт



Фиг. 10. Времедиаграми на напрежението на захранващата мрежа и тока подаван от димер към LED лампа при регулиране по време на заден фронт

Таблица 7

Регулиране по преден фронт				
Димер ключ триак				
Халогенна лампа 42W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	1	0,79	0,31
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	1	0,98	0,88
	Светлинен поток, %	100	50	0
LED лампа а 1	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min 110°
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,99	0,89	0,72
	$U_{\text{мрежа}}$			

	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	0,99	0,95	0,86
	Светлинен поток, %	100	60	трептене
LED лампа 2 6,5W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,87	0,76	0,20
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	0,86	0,85	0,80
	Светлинен поток, %	100	84	14

В таблица 7 са показани резултати от измерванията с димер с регулиране по време на преден фронт на полупериода на синусоидата. Димерът е димер ключ триак с възможност за регулиране и изключване на захранващото напрежение. Измерванията са реализирани с трите описани лампи. Показани са резултати за cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$, cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$ и светлинен поток, %. Резултатите от измерванията са при начално положение на регулатора (max светлина), положение на регулатора на фаза 90° спрямо напрежението на захранващата мрежа и при минимално положение на регулатора (min светлина).

В таблица 8 са показани резултати от измервания с димер с регулиране по време на заден фронт на полупериода на синусоидата. Димерът се управлява с дистанционно управление. Измерванията са реализирани с трите описани лампи. Показани са резултати за cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$, cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$ и светлинен поток, %. Резултатите от измерванията са при начално положение на регулатора (max светлина), положение на регулатора на фаза 90° спрямо напрежението на захранващата мрежа и при минимално положение на регулатора (min светлина).

Таблица 8

Регулиране по заден фронт				
Димер с дистанционно управление				
Халогенна лампа 42W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,98	0,71	0,28
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	0,99	0,96	0,99
	Светлинен поток, %	100	50	0
LED лампа 1 10W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,9	0,62	0,13
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	0,92	0,87	0,63
	$U_{\text{димер}}$			

	Светлинен поток, %	Фликер 100	Фликер 68	0
LED лампа 2 6,5W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,71	0,48	0,08
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	0,74	0,80	0,67
	Светлинен поток, %	100	85	0

В таблица 9 са показани резултати от измерванията с димер с регулиране по време на заден фронт на полупериода на синусоидата. Димерът е димер ключ с възможност за регулиране и изключване на захранващото напрежение. Измерванията са реализирани с трите описани лампи.

Таблица 9

Регулиране по заден фронт				
Димер ключ				
Халогенна лампа 42W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,97	0,82	0,23
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	1	0,98	0,88
	Светлинен поток, %	100	50	0
LED лампа 1 10W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,97	0,74	0,47
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	0,99	0,98	0,8
	Светлинен поток, %	Фликер 100	Фликер 58	0
LED лампа 2 6,5W	фаза на $U_{\text{димер}}$	max	90°	min
	cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$	0,86	0,61	0,23
	cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$	0,87	0,86	0,88
	Светлинен поток, %	100	85	15

В таблица 9 са показани резултатите за cosφ спрямо $U_{\text{мрежа}}$, cosφ спрямо $U_{\text{димер}}$ и светлинен поток, %. Резултатите от измерванията са при начално положение на регулатора (max светлина), положение на регулатора на фаза 90° спрямо напрежението на захранващата мрежа и при минимално положение на регулатора (min светлина).

И при двата изследвани начина на регулиране на осветлението чрез димер (по преден и заден фронт) при халогенна лампа има плавно регулиране до минимум. Докато при електрозахранване на халогенна лампа без димиране няма хармонични в тока, то при димиране се появяват хармонични в

тока. Регулирането на осветлението е свързано с влошаване на фактор на мощността. Регулирането на осветлението се реализира чрез регулиране на светлинния интензитет.

При регулирането на осветлението при димируема LED лампа с големи пулсации в светлинния поток регулирането е възможно до минимум. При ниски нива на светлинния поток се появяват трептения и прекъсвания. При регулиране има влошаване на фактор на мощността и нарастване на нивата на хармоничните. Регулирането на осветлението се реализира чрез промяна на широчината на импулсите през които лампата свети (ШИМ).

И при двата изследвани начина на регулиране на осветлението чрез димер (по преден и заден фронт) при димируема LED лампа с много малки пулсации в светлинния поток има плавно регулиране до минимум. При димиране нараства нивото на хармоничните в тока. Регулирането на осветлението се реализира чрез регулиране на светлинния интензитет.

При двата изследвани начина на регулиране на осветлението чрез димер освен дефазирание имаме и промяна на характера на товара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведено изследване на димери при димируеми лампи могат да се направят следните изводи:

1. Намалването на светлинния поток при димиране на халогенни лампи и светодиодни лампи е свързано с повишаване на хармоничното замърсяване на електрическата мрежа;

2. Намалването на светлинния поток при димиране на халогенни лампи и светодиодни лампи е свързано с понижаване на фактора на мощността;

3. При димери с регулиране по време на преден фронт на полупериода на синусоидата, вследствие на дефазиранието между тока и напрежението, веригата има индуктивен характер;

4. При димери с регулиране по време на заден фронт на полупериода на синусоидата, вследствие на дефазиранието между тока и напрежението, веригата има капацитивен характер;

Високото съдържание на хармоничните съставлящи на тока и влошаването на фактора на мощност при димиране не е показано от производителя.

REFERENCE

- [1] Istalianov R., V Voivodov, Research of harmonic in LED lighting. Bulgarian XV National Conference Lighting BulLight 2014, Bulgaria, Sozopol.
- [2] Jettanasen, 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.
- [9] Commission delegated regulation (EU) 2019/2015 of 11 March 2019 supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of light sources and repealing Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012