

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОКАЗАТЕЛИТЕ ЗА КАЧЕСТВО НА
ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ НА SMART LED ОСВЕТИТЕЛИ**

Пламен Цанков, Милко Йовчев, Теодор Тодоров
Технически университет – Габрово

**STUDY OF THE ELECTRICAL QUALITY PARAMETERS OF SMART LED
LUMINAIRES**

Plamen Tsankov, Milko Yovchev, Teodor Todorov
Technical University of Gabrovo

Abstract

The paper presents the results of laboratory measurements of electrical quality parameters of smart LED luminaires under different degrees of dimming and color modes of their operation. An analysis and comparison of the obtained results with the current standards requirements have been made.

Keywords: electrical quality parameters, power quality analyser, LED luminaires, harmonic distortion, crest factor.

ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години полупроводниковата технология непрекъснато се развива и разширява своето приложение. Светодиодното (LED) осветление, като част от тази технология, намира все по-широко приложение във вътрешното и външното осветление, измествайки конвенционалните светлинни източници. LED осветителите се отличават с висок и постоянно увеличаващ се светлинен добив, висок индекс на цвето-предаване – $Ra \geq 80$ и сравнително дълъг живот [1]. Допълнителни предимства са възможността за регулиране на светлинния поток и на цветната температура, както и за комбинирано излъчване на двете технологии – „син светодиод + луминофор“ и „RGB“, в общо осветително тяло.

Необходимите параметри, обезпечавщи нормалните режими на работа на светодиодните източници, се осигуряват чрез електронните преобразуватели (драйвери), вградени в LED осветителните тела [2,3]. Използването на драйвери без специални филтри в тях е причина за генериране на висши хармоници на тока, които е необхо-

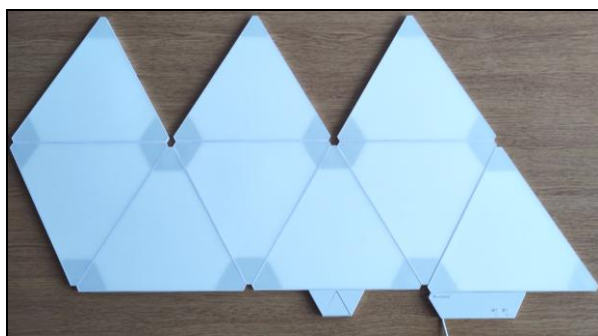
димо да бъдат съобразени с граничните стойности за генерирани от устройства за осветление, съгласно БДС EN 61000-3-2 [4].

В доклада се извършва изследване на показателите за качество на електрическата енергия на интелигентни (Smart) LED осветители с регулиране на светлинния поток и възпроизвеждане на различни цветови режими, включени към регулируем захранващ източник, осигуряващ номиналните параметри на осветителите.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Външният вид на изследваните LED осветители, на които се регулира светлинния поток и цветовете режими, е показан на фиг. 1. В табл. 1 са представени основните им технически характеристики – диапазон на захранващото напрежение U , максимална активна мощност P , светлинен поток Φ и корелирана цветна температура T_c при технологията „син светодиод + луминофор“ с излъчване на бяла (W) светлина, както и с цветни режими на светодиодите от технологията червен (R), зелен (G) и син (B) LED [5]. От изследваните LED освети-

тели, двете технологии са комбинирани в общо тяло за осветители №1÷4 и 8, LED осветители с номера 6 и 7 са с технологията RGB, а LED осветител №5 – с технологията „син светодиод + луминофор“.



LED №8

Фиг. 1. Външен вид на изследваните LED осветители

Табл. 1. Технически характеристики на изследваните LED осветители

LED	U, V	P, W	Φ, lm	T _c , K
№1	220÷240	6	470	RGB+3000
№2	220÷240	6	470	RGB+4000
№3	220÷240	6	470	RGB+6400
№4	170÷265	18	1350	RGB+2700÷6500
№5	220÷240	12	1055	2700
№6	230	-	-	RGB
№7	110÷220	18	-	RGB
№8	110÷240	-	-	RGB+2700÷6500

При изследване на параметрите за качество на електрическата енергия, LED осветителите се захранват със стабилизирани синусоидални променливо-токови източници на напрежение, модел Pure Sine Wave AC Power Source - LSP-500VAR, показан на фиг. 2.



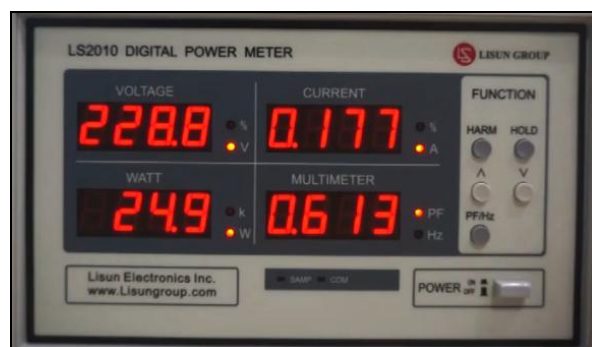
Фиг. 2. Стабилизирани синусоидални променливо-токови източници на напрежение LSP-500VAR

Стабилизираният синусоидален променливо-токов източник на напрежение осигурява общо хармонично изкривяване по напрежение $THD_U \leq 0.6\%$, което удовлетворява изискванията за захранващо синусоидално напрежение с $THD_U < 1\%$ при измерване на хармоничните съставлящи на тока на осветители, съгласно [4,6]. Техническите характеристики, като напрежение U , честота f , максимален работен ток I , активна мощност P и фактора на мощността K_p на променливо-токовия регулатор LSP-500VAR, са представени в табл. 2 [7,8].

Табл. 2. Технически характеристики на променливо-токов регулатор LSP-500VAR

U, V	f, Hz	I, A	P, W	K _p
0÷300	40÷70	5	600	0÷1

Показателите за качество на електрическата енергия при регулиране на светлинния поток и настройка на различни цветни режими на LED осветителите се извършва с електроенергиен анализатор LS2010, лицевият панел на който е показан на фиг. 3.



Фиг. 3. Електроенергиен анализатор LS2010

Общото хармонично изкривяване по ток, измервано с електроенергийния анализатор LS2010, се изчислява съгласно израза:

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{50} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2}, \quad (1)$$

където I_1 е ефективната стойност на основната съставляща на тока, I_h е ефективната стойност на сумата от хармоничните съставлящи на тока с порядък от $h(2)$ до $h(50)$. От израз (1) се вижда, че анализаторът удовлетворява изискването на стандарта за отчитане на хармоничните съставлящи минимум до 40-ти порядък [4,6].

Коефициентът на амплитудата на тока k_{Icf} се изчислява от анализатора посредством израза:

$$k_{Icf} = \frac{I_p}{I_{rms}}, \quad (2)$$

където I_p е амплитудната (пикова) стойност на електрическия ток [9].

С помощта на електроенергийния анализатор LS2010 и специализирания софтуерен продукт LS2010 Digital Power Meter се извършва измерване на ефективната стойност на напрежението и тока I_{rms} , амплитудната стойност на тока I_p , коефициента на

амплитудата на тока k_{Icf} , активната мощност P , фактора на мощността K_p (капацитивен “C” и индуктивен “L” характер), общото хармонично изкривяване на напрежението THD_U и тока THD_I и отделни хармонични съставлящи на тока I_h , представени като процент от основния хармоник, за изследваните LED осветители.

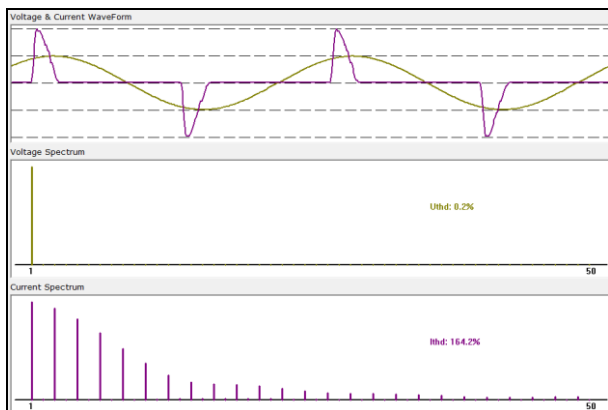
Измерванията се извършват при различните нива на регулиране на светлинния поток Φ и различни цветни режими с горепосаните две технологии – с бяла (W) светлина при различна цветна температура, и цветовете RGB – табл. 3.

Табл. 3. Резултати от измервания на електрически параметри на LED осветители с регулиране на светлинния поток и цветните режими

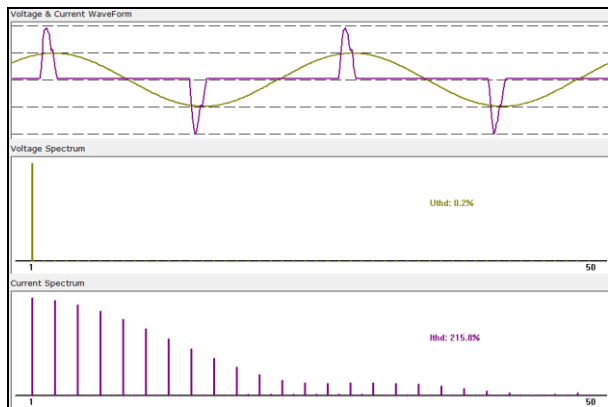
LED осветител	Режим при бяла светлина (W) и RGB	Φ , %	I_{rms} , [A]	I_p , A	I_{cf} , -	P, [W]	K_p -	THD _I , %	Хармонични съставлящи на тока и максимално допустима стойност, %					
									I_{h3}	I_{h5}	I_{h7}	I_{h9}	I_{h11}	I_{h13}
									30.PF	10	7	5	3	3
№1	W-3000K	100	0.050	0.183	3.63	5.88	0.506 _C	164.0	94.1	83.1	68.7	52.8	37.6	25.6
		50	0.022	0.099	4.44	2.15	0.417 _C	215.8	97.6	93.1	86.5	78.3	68.8	58.7
	R, B, G	100	0.018	0.084	4.74	1.61	0.395 _C	229.4	97.9	94.4	88.6	82.3	74.0	65.9
		60	0.011	0.059	5.37	0.89	0.355 _C	257.7	97.3	95.6	89.8	89.8	82.0	78.2
№2	W-4000K	100	0.050	0.184	3.37	5.87	0.507 _C	163.8	93.4	82.9	68.5	52.2	37.3	25.1
		50	0.023	0.099	4.32	2.21	0.416 _C	215.7	98.7	95.9	86.2	79.9	68.4	57.8
	R, B, G	100	0.017	0.082	4.73	1.59	0.391 _C	229.3	97.9	93.8	88.7	82.5	73.8	64.5
		60	0.011	0.059	5.37	0.89	0.356 _C	257.8	97.4	95.7	89.6	89.4	82.3	78.3
№3	W-6400K	100	0.050	0.186	3.70	5.87	0.508 _C	163.1	92.7	82.1	68.4	52.2	37.3	24.9
		50	0.023	0.099	4.32	2.20	0.415 _C	215.6	98.6	95.8	86.0	79.8	68.7	58.0
	R, B, G	100	0.018	0.084	4.74	1.60	0.396 _C	229.1	97.6	94.1	88.3	82.1	73.9	64.1
		60	0.012	0.063	5.31	0.91	0.357 _C	257.1	97.2	95.2	89.6	89.3	82.7	78.5
№4	W-2700K	100	0.109	0.364	3.51	14.80	0.560 _C	134.2	85.2	70.2	52.2	35.2	25.3	21.4
		50	0.063	0.223	3.52	8.2	0.530 _C	145.3	84.1	73.9	59.5	47.9	32.8	21.1
	W-4000K	100	0.109	0.364	3.51	14.50	0.560 _C	134.2	85.2	70.2	52.2	35.2	25.3	21.4
		50	0.063	0.223	3.52	8.3	0.530 _C	144.9	83.8	73.5	58.9	47.4	32.1	21.2
	W-6500K	100	0.110	0.364	3.51	14.51	0.561 _C	134.5	84.4	71.5	54.6	34.7	24.1	21.9
		50	0.063	0.221	3.52	8.3	0.530 _C	144.9	83.8	73.5	59.0	47.6	32.3	20.9
R, G, B	100	0.023	0.018	3.79	3.1	0.450 _C	145.1	60.1	60.4	58.1	53.4	46.6	40.4	
№5	W-2700K	100	0.066	0.137	2.10	12.34	0.818 _L	56.1	50.7	16.5	8.8	12.2	8.0	<u>3.0</u>
		50	0.038	0.059	1.52	4.17	0.985 _L	11.2	<u>8.2</u>	<u>6.5</u>	<u>2.7</u>	<u>1.1</u>	<u>0.1</u>	<u>0.7</u>
№6	RGB=W	100	0.033	0.168	5.08	3.31	0.454 _C	188.9	89.8	82.5	74.9	63.6	52.0	40.6
№7	R+B	100	0.061	0.283	4.64	6.06	0.452 _C	190.4	95.4	87.2	75.5	62.4	49.1	37.3
	R+G	100	0.063	0.285	4.52	6.31	0.454 _C	189.0	95.4	86.9	75.4	62.2	48.8	36.9
	B+G	100	0.066	0.295	4.47	6.78	0.467 _C	179.9	94.8	85.2	72.2	57.7	43.7	32.5
№8	W-4000K	50	0.152	0.754	4.96	13.32	0.381 _C	232.1	98.4	94.2	88.9	83.1	74.2	64.8
	“BG flag”	100	0.190	0.906	4.76	17.2	0.392 _C	227.8	97.1	93.8	88.1	82.7	73.3	62.2

Измерванията се извършват при общо хармонично изкривяване по напрежение $THD_U \leq 0.3\%$, осигурено от регулатора LSP-500VAR [7]. Резултатите от измерванията са представени в табл. 3, в която са показани първите шест нечетни хармонични съставлящи на тока.

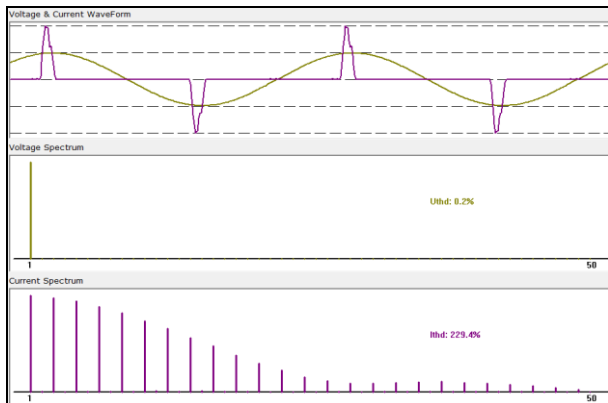
На фиг. 4÷9 са показани графични резултати от резултантната форма на напрежението и тока, както и хармоничния спектър на напрежението и тока за част от изследваните LED осветители.



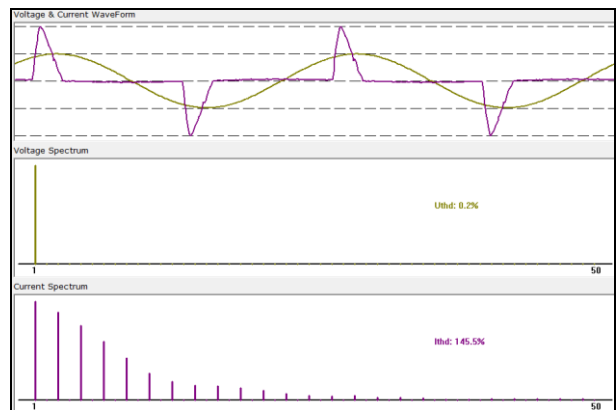
Фиг. 4. LED №1 - 6W, бяла светлина-3000K, $\Phi=100\%$



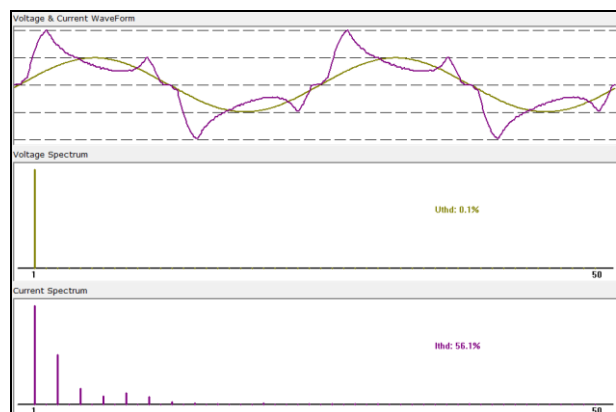
Фиг. 5. LED №1 - 6W, бяла светлина-3000K, $\Phi=50\%$



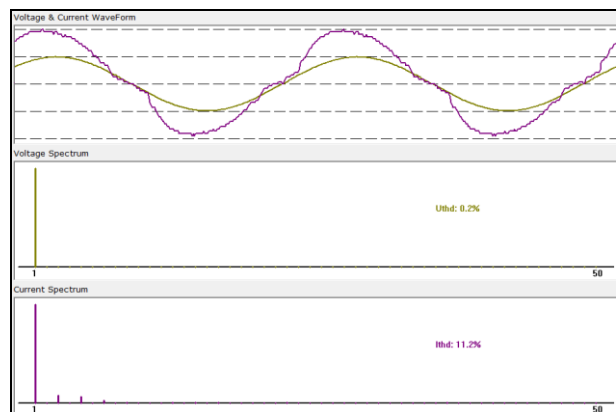
Фиг. 6. LED №1 - 6W, режим RGB, $\Phi=100\%$



Фиг. 7. LED №4 - 18W, бяла светлина-6500K, $\Phi=100\%$



Фиг. 8. LED №5 - 12W, бяла светлина-2700K, $\Phi=100\%$



Фиг. 9. LED №5 - 12W, бяла светлина-2700K, $\Phi=50\%$

АНАЛИЗ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От измерените показатели за качество на електрическата енергия на изследваните LED осветители при регулиране на светлинния поток и създаване на различни цветни режими, се установява следното:

- стойностите на хармоничните съставлящи на тока значително надвишават максимално допустимите, посочени в стандарта, с изключение на подчертаните стойности за

LED осветител №5 при 50% намален светлинен поток (табл. 3);

- при намаляване на светлинния поток от 100% на 50% на LED осветители №1÷4 с капацитивен фактор на мощността, общото хармонично изкривяване по ток THD_I и коефициентът на амплитудата на тока k_{Icf} се увеличават, а K_p намалява (табл. 3, фиг. 4÷5);

- регулирането на цветната температура на LED осветител №5 при $\Phi = \text{const}$ не променя показателите за качество на електрическата енергия, докато с превключването от технологията „син светодиод + луминофор“ към RGB (LED осветители №1÷4), мощността намалява, но THD_I и k_{Icf} се увеличават.

Получените резултати от извършените измервания на показателите за качество на електрическата енергия на изследваните LED осветители доказват необходимостта от по-строго контролиране на електромагнитната съвместимост на Smart LED осветителите по отношение на нивата на висшите хармонични на тока и могат да послужат за усъвършенстване на електротехническата част на LED драйверите им за намаляването им до допустимите граници от стандарта.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the European Regional Development Fund within the OP “Science and Education for Smart Growth 2014 – 2020”, Project CoC “Smart Mechatronic, Eco- And

Energy Saving Systems And Technologies“, № BG05M2OP001-1.002-0023.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Handjieva-Florian, B., K. Velinov. Peculiarities at Color Measurement of LED Light Sources. VII Balkan conference on lighting “Balkan Light 2018”, Sofia, 2018, pp. 38-39. ISBN 978-954-353-347-3.
- [2] R. Istaliyanov, C. Voyvodov. Study of Harmonics in Lightemitting Diodes. XV National Conference with International Participation BulLight 2014, Sozopol, 10-13 June 2014, pp.96-99. ISSN 1314-0787.
- [3] Petrov, O., P. Petrova. Higher Harmonics Generated by LED Retrofit Lamps, Depending on the Used Driver. VII Balkan Light Conference, Balkan Light 2018, Varna, 2018, pp. 148-153. ISSN 2603-414X.
- [4] BDS EN IEC 61000-3-2:2019 – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).
- [5] Aleksandrov, N. Fundamental Colors Theory. Sofia, East-West, 2012, pp. 93-98. ISBN 978-954-619-152-110-4.
- [6] Tsankov, P. Electric Power Distribution. Gabrovo, “Vasil Aprilov”, 2014, pp. 166. ISBN 978-954-683-514-7.
- [7] LS2010 – Digital Power Meter, User Guide.
- [8] Ibrishimov, H. Guide for Laboratory Exercises on Electronic Devices in the Power Industry. Gabrovo, “Vasil Aprilov”, 2020, pp. 55-56. ISBN 978-954-683-624-3.
- [9] Electrical Installations Handbook – Part 1: Electrical Devices, ABB, 2007, pp. 222.