

FRI-10.326-1-EEEE-01

ENERGY CHARACTERISTICS OF ENERGY-SAVING LIGHT SOURCES USED IN RESIDENTIAL BUILDINGS¹

Assist. Prof. Georgi Dimitrov

Department of Electric supply and electric equipment of transport,

Todor Kableshkov University of transport, Sofia, Bulgaria

Tel.: +359 2 9709374

E-mail: dimitrov_gd@mail.bg

***Abstract:** The paper presents the results of research on the energy characteristics of energy saving light sources - Compact Fluorescent Lamps (CFL) and LED lamps with a power up to 25 W, which are widely used in residential buildings. The investigated light sources are selected according to two basic criteria - offering in shopping centers and shops (incl. Internet Shops) and unit price. The purpose of the research is to determine the actual energy parameters (active power, reactive power and power factor) lamps primarily intended for residential premises. Measurements are performed in laboratory conditions using a high-precision network analyzer. Special attention is paid to the quality of the electrical consumption of the tested lamps and, in particular, to the harmonics of the currents, which are compared to their limit values, specified in the standard for electromagnetic compatibility (EMC) BDS EN 61000-3-2: 2006. The results of the study are presented in tabular and graphical form. Based on the obtained results, relevant conclusions are drawn.*

***Keywords:** Energy efficiency, Energy-saving light sources, Energy characteristics.*

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните пет години са проведени редица изследвания свързани с енергоспестяващите светлинни източници. Повечето от тях са насочени към светодиодните технологии и по-конкретно изследвания върху светлинния добив на светодиодите, както и външните електронни баласта (драйверите) за тяхното захранване. Настоящото изследване има за цел да се установят реалните енергийни характеристики (активна мощност, реактивна мощност и фактор на мощността) на ненасочени енергоспестяващи светлинни източници – компактни луминисцентни лампи (CFL) и светодиодни (LED) лампи с вградени електронни баласта и мощност до 25 W, които намират широко приложение в жилищните сгради.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Анализ на проблема

Към електрическата мрежа, захранваща жилищните сгради, има присъединени потребители консумиращи индуктивна и капацитивна реактивна мощност, които се компенсират взаимно. Например двигателите с директно управление използвани при хладилници, асансьори, прахосмукачки, помпи, луминисцентни лампи с електромагнитни баласта и др. под. са типични активно-индуктивни товари, докато потребители с електронни (импулсни) захранвания (персонални компютри, телевизори, аудио системи, и др.) са активно-капацитивни. Следва да се отбележи обаче, че посочените типични активно-индуктивни товари в настоящият момент намират все по-малко приложение в бита.

Компактните луминесцентни лампи (CFL) и светодиодните (LED) ретрофит лампи с вградени електронни баласта оказват неблагоприятно влияние върху разпределителната електрическа мрежа ниско напрежение, към която са присъединени. Това се характеризира с техния нисък фактор на мощност (PF), с ясно изразен капацитивен характер, което наред с останалите потребители с импулсни захранвания води до количествено измерима допълнителна енергия, необходима за захранването им.

¹ Докладът е представен на сесия на секция „Електротехника, електроника и автоматика“ на 27 октомври 2017 г. с оригинално заглавие на български език: ЕНЕРГИЙНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕНЕРГОСПЕСТЯВАЩИ СВЕТЛИННИ ИЗТОЧНИЦИ ИЗПОЛЗВАНИ В ЖИЛИЩНИ СГРАДИ

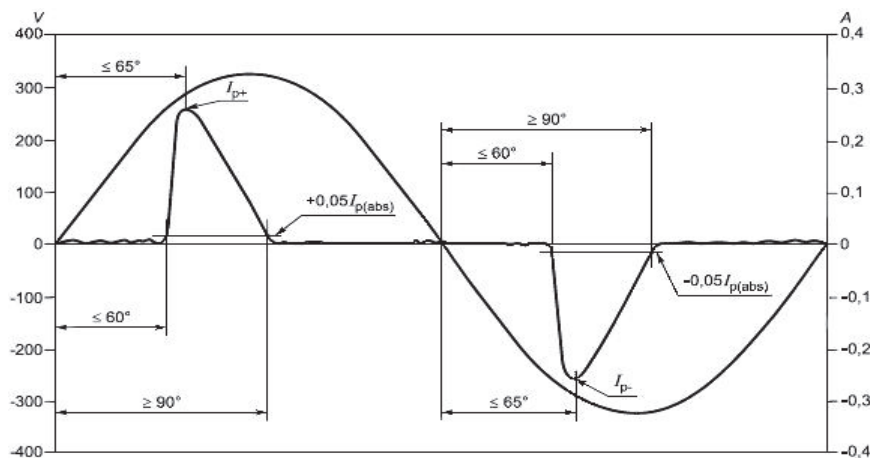
Проблемите с масовото използване на енергоспестяващи лампи с вградени баласты са разглеждани и на ниво Европейска комисия. Съгласно литературния източник (European Commission, 2009), след приемането на Директива 2005/32/ЕО на Европейския парламент и Регламент (ЕО) № 244/2009 на Европейската комисия за прилагането ѝ, са извършени проучвания с използване на компютърни модели. Резултатите от моделирането са определили количествено допълнителната мощност, необходима при използване на CFL и LED ретрофит лампи, която е от порядъка на 5% спрямо реалната работна активна мощност, при условие – отсъствие на индуктивни товари в мрежата. Наред с това след 2012 г. се съобщава и за увеличени хармонични смущения в мрежите ниско напрежение, следствие забраната за използване на конвенционалните лампи с нажежаема спирава (GLS) в жилищните имоти. Последното изисква въвеждане на регулации по отношение минималния фактор на мощността λ на енергоспестяващи лампи с вградени баласты.

Изчисляването на фактора на мощност λ при еднофазно присъединени потребители се извършва с използване на формулата:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int u(t) \cdot i(t) \cdot dt}{U_{eff} \cdot I_{eff}} = \frac{P}{U_1 \cdot I_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_U\%}{100}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I\%}{100}\right)^2}} \quad (1)$$

където: P и S са съответно активната и пълната (привидната) мощност; U_1 и I_1 – ефективни стойности на хармоничните съставлящи с основна честота (50 Hz) на фазното напрежение и фазния ток; $THD_U\%$ и $THD_I\%$ - общо относително съдържание на висши хармоници в напрежението и тока.

Съгласно стандарта за електромагнитна съвместимост БДС EN 61000-3-2:2006² (BDS EN 61000-3-2:2006, 2011) при светлинните източници с вградени баласты и мощност до 25 W се допуска съдържанието на висши хармоници във входния ток да достига следните стойности: за трети хармоник – $\leq 86\%$ от относителната стойност на тока с основна честота (50 Hz) приет за 100%; за пети хармоник – $\leq 61\%$; за висшите хармоници след пети не са посочени конкретни ограничения. Освен това, формата на кривата на входния ток (Фиг. 1) трябва да бъде такава, при която токът достига 5% от пиковата си стойност преди фазов ъгъл равен на 60° , достига пикова стойност преди фазов ъгъл 65° и не спада под 5% преди фазов ъгъл 90° (за 0° е приета стойността на фазовия ъгъл съответстващ на преминаване на напрежението с основна честота през нулата).



Източник: IEC 61000-3-2:2005+A1:2008+A2:2009

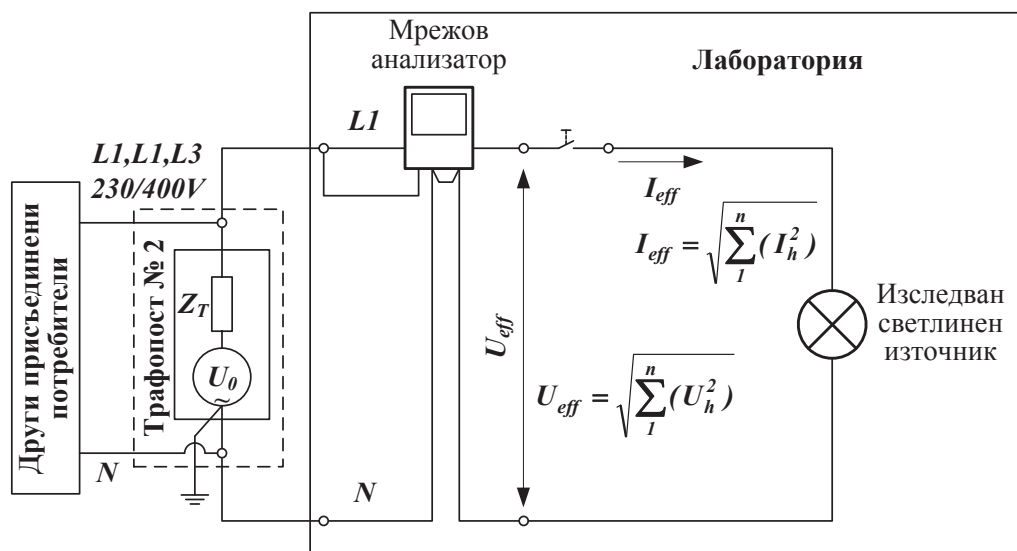
Фиг. 1. Илюстрация на нормираните характеристики на относителните фазови ъгли и формата на кривата на тока при светлинни източници с мощности до 25 W.

² Изследването е проведено преди влизане в сила от 12.07.2017 г. на новата редакция на част 3-2 на стандарта за електромагнитна съвместимост БДС EN 61000-3-2:2014

Провеждане на измерванията

Измерванията са проведени в лаборатория на катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта” към ВТУ „Тодор Каблешков”. Електрозахранването на лабораторията е независимо от вътрешната инсталация на сградата, в която тя е разположена, като се осъществява с отделен кабел ниско напрежение (230/400 V) от трансформаторен пост № 2 на територията на висшето училище.

Използваната схема за измерване на енергийните параметри на изследваните светлинни източници (Фиг. 2), в това число и на хармоничните съставлящи на тока, както и условията за провеждане на измерванията са в съответствие с предписанията на стандарта (BDS EN 61000-3-2:2006, 2011).



Фиг. 2. Схема за измерване на енергийните параметри на светлинните източници.

U_0 – напрежение на празен ход на захранващия източник (трансформатора); Z_T – импеданс на захранващия източник; U_h и I_h – хармонични съставлящи на напрежението и тока; U_{eff} – ефективна стойност на напрежението; I_{eff} – ефективна стойност на тока.

Измерванията на енергийните характеристики на енергоспестяващите светлинни източници са направени с мрежови анализатор модел ElNet LT, фабр. № 20890597 с класове на точност на измерванията 0,1% за напрежението и тока и 0,2% за мощностите.

Кривите на напрежението и тока са заснети с четириканален цифров осцилоскоп модел RIGOL DS1074B, като за заснемане на тока е използвана токова сонда модел RIGOL RP1001C.

Поддържаната по време на измерванията температура в лабораторията е $24,6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ K}$, която съответства на предписаните в стандарта граници $20 \div 27 \text{ }^\circ\text{C}$ с изменение $\leq \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Преди началото на измерванията е направена проверка за съответствие на захранващото напрежение с нормите предписани в стандарта (BDS EN 61000-3-2:2006, 2011). Измерените колебания на напрежението за продължителен период от време (30 мин.) са в границите от 228,0 V до 230,5 V, които са по-малки от $\pm 2\%$ при $U_n=230 \text{ V}$, изисквани от стандарта (BDS EN 61000-3-2:2006, 2011). Съдържанието на висши хармоници в захранващото напрежение е показано в таблица 1.

Таблица 1. Средни стойности на висшите хармоници в захранващото напрежение

	Нечетни хармоници				Четни хармоници					
	U_3	U_5	U_7	U_9	U_2	U_4	U_6	U_8	U_{10}	
Измерена	0,41	1,17	0,89	0,1	0,19	0,14	0,9	0,08	0,07	$\leq 0,1$
Нормирана	$\leq 0,9$	$\leq 0,4$	$\leq 0,3$	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$					$\leq 0,1$
Съответствие	Да	Не	Не	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

Установените несъответствия в относителното съдържание на пети U_5 и седми U_7 хармоник в захранващото напрежение спрямо нормираните им стойности (Табл. 1) се дължат на множество присъединени производствени потребители към трафопост № 2, използващи относително мощни трифазни технологични машини, с входни и/или междинни силови захранващи преобразуватели, които емитират в мрежата основно 5^{-ти} и 7^{-ми} хармоник на тока и могат да предизвикат изкривявания в кривата на захранващото напрежение.

Всички включени в изследването лампи са произведени в периода 2015-2017 г. Съгласно Директива 2010/30/ЕС, допълнена през 2012 г. от Делегиран Регламент (ЕС) № 874/2012 на Европейската комисия се въвеждат изисквания за енергийно етикетиране и предоставяне на допълнителна продуктова информация за електрическите лампи. Изследваните LED лампи са с енергиен клас (EEL) A+, а компактните луминисцентни лампи (CFL) – с енергиен клас А. Посочената от производителите допълнителна информация върху опаковките на изследваните лампи е показана в Таблица 2.

Таблица 2. Данни посочени от производителя върху опаковките на изследваните лампи*

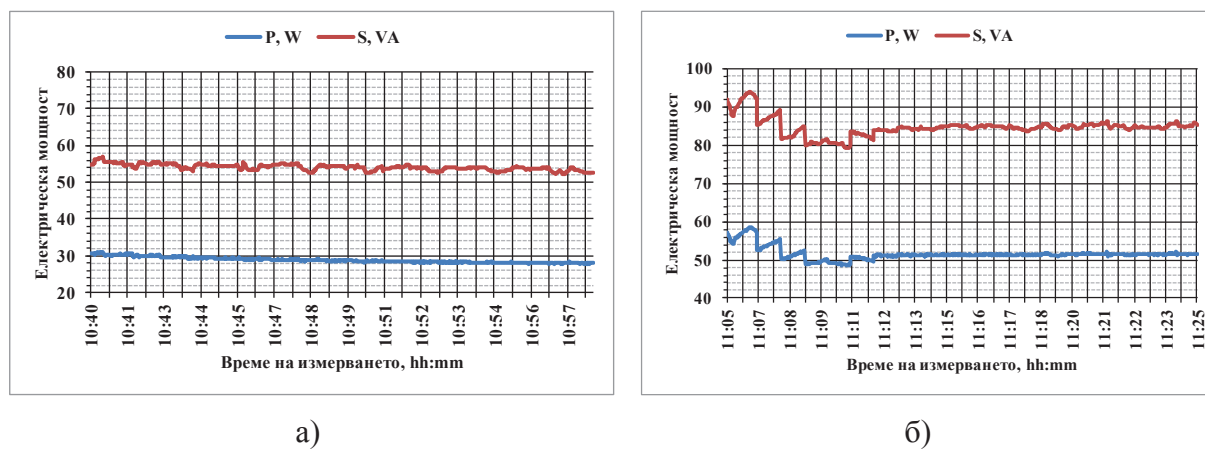
Фирма произв.	Модел	Тип	Напрежение	Ток	Мощност	Св. поток	Цвят	CRI	Цикли	Живот
	-	-	V	mA	W	lm	K	-	On/Off	h
Lightex	170AL00122	LED	AC 175-240	85	10	806	3000	>85	15000	25000
Osram	Classic A 60	LED	AC 220-240	75	9,5	806	6500	>80	100000	15000
Philips	Economy**	CFL	AC 230-240	80	11	600	2700	-	-	6000
Philips	-	LED	AC 220-240	95	10,5	1055	3000	>80	50000	15000
Realux	RE2UM-27-15	CFL	AC 230	60	15	760	2700	>80	15000	12000
Realux	RLB-27-7WW	LED	AC 220-240	60	7	560	3000	>80	30000	50000
Ultralux	MESM32027	CFL	AC 220-240	-	20	1230	2700	>80	25000	12000
Ultralux	LBB102742	LED	AC 220-240	-	10	950	4200	>80	30000	50000
Vivalux	LGL 10W WW	LED	AC 230	-	10	806	3000	>80	12500	25000
V-TAC	VT-1864	LED	AC 220-240	-	12	1055	4500	>80	>15000	20000

* Всички изследвани лампи са произведени в Китай (P.R.C.).

** Електрическата лампа е произведена през 2009 г. преди приемане на Директива 2010/30/ЕС.

Резултати от изследването

Експерименталното изследване на основните енергийни характеристики на изследваните светлинни източници е проведено след достигане на установен режим на работа (около 10÷15 мин. след включването им, Фиг. 3). Резултатите са показани в таблица 3.



Фиг. 3. Диаграми на активната $P(t)$ и привидната $S(t)$ мощности на трилампов осветител със светодиодни лампи Ultralux 10 W (а) и компактни луминисцентни лампи Ultralux 20 W (б).

Резултатите от изследването на хармоничните съставлящи на тока са показани в таблица 4, като за две от изследваните лампи хармоничният им спектър е илюстриран и графично на фиг. 4.

Таблица 3. Средни стойности на енергийните характеристики на изследваните лампи

Фирма произв.	Модел	Тип	U_{eff}	I_{eff}	P	Q	S	PF	THD_U	THD_I
			V	mA	W	VAr	VA	-	%	%
Lightex	170AL00122	LED	229,0	69,85	9,39	-12,95	15,99	0,587 cap	1,48	126,73
Osram	Classic A 60	LED	229,1	68,35	9,04	-12,79	15,66	0,577 cap	1,53	126,53
Philips	Economy	CFL	229,4	76,90	10,77	-13,97	17,64	0,610 cap	1,59	110,71
Philips	-	LED	230,0	82,21	10,99	-15,38	18,90	0,581 cap	1,69	125,52
Realux	RE2UM-27-15	CFL	229,0	87,51	11,59	-16,35	20,04	0,578 cap	1,65	113,89
Realux	RLB-27-7WW	LED	230,2	47,14	5,50	-9,35	10,85	0,507 cap	1,43	137,44
Ultralux	MESM32027	CFL	229,1	123,41	17,13	-22,49	28,2	0,606 cap	1,50	116,59
Ultralux	LBB102742	LED	230,0	77,65	9,40	-15,18	17,86	0,527 cap	1,56	143,59
Vivalux	LGL 10W WW	LED	228,3	69,59	9,71	-12,57	15,89	0,611 cap	1,46	120,58
След 17' следствие загряване			228,4	60,82	8,45	-11,03	13,89	0,608 cap	1,46	122,74
V-TAC	VT-1864	LED	230,4	77,44	10,37	-14,51	17,84	0,582 cap	1,68	126,49

Таблица 4. Средни стойности на висшите хармоници на тока при измерванията

Фирма произв.	Модел	Тип	I_1	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	I_{15}
			%	%. (I_1 %)	%. (I_1 %)	%. (I_1 %)	%. (I_1 %)	%. (I_1 %)	%. (I_1 %)	%. (I_1 %)
Lightex	170AL00122	LED	100	81,26	55,61	37,13	34,71	34,50	29,04	22,02
Osram	Classic A 60	LED	100	75,85	49,38	41,83	40,84	32,68	24,21	20,65
Philips	Economy	CFL	100	72,88	43,88	37,58	36,10	26,09	18,89	16,16
Philips	-	LED	100	78,44	51,80	39,58	39,72	35,51	27,38	22,20
Realux	RE2UM-27-15	CFL	100	72,17	45,53	37,14	37,76	30,94	22,27	17,87
Realux	RLB-27-7WW	LED	100	76,26	54,11	35,93	33,19	35,39	34,07	30,05
Ultralux	MESM32027	CFL	100	74,81	46,66	38,69	37,76	29,04	20,51	17,25
Ultralux	LBB102742	LED	100	82,18	57,66	38,66	35,33	36,92	33,85	28,32
Vivalux	LGL 10W WW	LED	100	81,99	56,50	34,43	27,49	28,08	24,76	18,64
V-TAC	VT-1864	LED	100	80,96	55,08	36,97	34,42	33,73	27,92	21,52



а)



б)

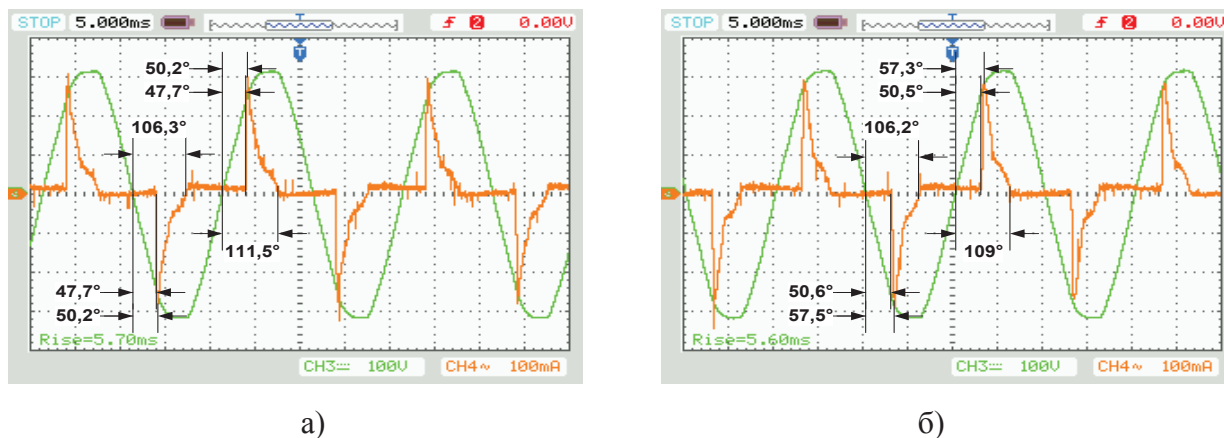
Фиг. 4. Диаграми на относителното съдържание на хармоници в тока на компактна луминисцентна лампа Philips 11 W (а) и светодиодна лампа Philips 10,5 W (б).

Анализ на получените резултати

Средната работна мощност P в установен режим при изследваните лампи е по-ниска от посочената върху етикета им (изключение прави само LED лампата на Philips), като при различните производители тези отклонения са от 4-5% до 15-20%. Светлинно-енергийната ефективност на лампите съответства на етикираната, съгласно Делегиран Регламент (ЕС)

№ 874/2012 на Европейската комисия, като по отношение на пълната мощност S , спрямо конвенционална лампа с нажежаема спирала с фактор на мощността $0,99-1$, ефективността им е около 65% за компактните луминисцентни лампи и около 75% за LED лампите.

Относителното съдържание на 3^{-ти} и 5^{-ти} хармоник в тока и формата на кривите на входния ток на изследваните лампи съответстват на нормите посочени в стандарта (BDS EN 61000-3-2:2006, 2011), като факторът на мощност на CFL е $\lambda = 0,58 \div 0,61$, а този на LED лампите е по-нисък – $\lambda = 0,52 \div 0,58$. На фиг. 5 са показани осцилограми на напрежението и тока с посочени фазовите ъгли за две от изследваните лампи, произведени от Philips, като при останалите лампи кривите им на тока са сродни.



Фиг. 5. Осцилограми на напрежението и тока на компактна луминисцентна лампа Philips 11 W (а) и светодиодна лампа Philips 10,5 W (б).

ИЗВОДИ

Масовото използване в жилищните сгради на потребители с електронни (импулсни) захранващи преобразуватели води до влошаване режимите на работа на разпределителните мрежи ниско напрежение, като ги натоварва с допълнителна реактивна мощност. Нарастващото съдържание на висши хармоници в тока и значителната несиметрия във фазните токове, предизвиква допълнителни загуби на мощност, както и претоварване по ток на нулевите проводници, достигащи понякога до 1,3-1,5 пъти от фазните им стойности.

Едно от възможните решения е използването на пасивни (за 3^{-ти}, 5^{-ти} и 7^{-ми} хармоник) или активни компенсатори на реактивна мощност, както се препоръчва в литературния източник (European Power Supply Manufacturers Association – EPSMA, 2010).

REFERENCES

BDS EN 61000-3-2:2006 (2011). *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*. Bulgarian Institute for Standardization. Withdrawn on 2017-07-12. (Заглавие на български: БДС EN 61000-3-2:2006, 2011. *Електромагнитна съвместимост (EMC). Част 3-2: Гранични стойности. Гранични стойности за излъчвания на хармонични съставлящи на тока (входен ток на устройства/съоръжения ≤ 16 A за фаза) (IEC 61000-3-2:2005)*). Български институт за стандартизация. Отменен на 12.07.2017).

European Commission (2009). MEMO/09/368. FAQ: phasing out conventional incandescent bulbs. *Press Release Database*. 1 September 2009, Brussels, p. 28.
URL: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-09-368_en.htm (Accessed on 20.07.2017).

European Power Supply Manufacturers Association – EPSMA (2010). *Harmonic Current Emissions: Guidelines to the standard EN 61000-3-2*. Revision Date: 2010-04-06. EPSMA Wellingborough, Northants, UK.

URL: http://www.emcfastpass.com/wp-content/uploads/2017/04/Applicability_flow_chart.pdf (Accessed on 20.07.2017)