

ЕНЕРГИЙНИ ЕФЕКТИ ПРИ ЗАХРАНВАНЕ НА ОСВЕТИТЕЛИ СЪС СВЕТОДИОДНИ ЛАМПИ И МОДУЛИ ПРЕЗ ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ДРОСЕЛИ ЗА ЛУМИНИСЦЕНТНИ ЛАМПИ

Георги Димитров
dimitrov_gd@mail.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, 1574 София, ул. „Гео Милев” 158
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** Светодиодно осветление; Компенсиране на реактивната мощност чрез електромагнитни дросели; Енергийни ефекти.*

***Резюме:** Бързото развитие на светодиодните /LED/ технологии създаде предпоставки за широкото им използване при изграждане на нови и реконструкция на съществуващи вътрешни и външни осветителни уредби. Захранването и управлението на светодиодите от променливотокова мрежа става с използване на специализирани входни импулсни преобразуватели, които често консумират електрически ток с високо съдържание на висши хармоници и работят с нисък фактор на мощност.*

В доклада са представени резултати от проведено изследване върху възможностите за използване на стандартни електромагнитни дросели за тръбни луминисцентни лампи като компенсиращи реактивната мощност устройства. В експериментите са включени основни конструкции осветители с тръбни LED лампи, използвани при реконструкция на вътрешното осветление в обществени сгради, учебни заведения, метростанции, железопътни гари и др. Специално внимание е отделено на влиянието на електромагнитните баласты върху основни качествени показатели на електропотребление и по-конкретно на хармоничните съставлящи на тока и общия фактор на мощността. Изследвано и влиянието на допълнително свързаните индуктивности върху генерирането на повишено напрежение, подавано към захранващите преобразуватели за LED, следствие наличието на кондензатори във входната им верига и възникване на електрически резонанс.

Получените резултати от изследването са представени в табличен и графичен вид. Направен е анализ на постигнатите ефекти и са формулирани съответни изводи и препоръки.

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години в България протича кампания по изпълнение на мерки за повишаване енергийната ефективност на държавни, обществени, учебни и др. под-сгради, финансирани от националния бюджет, бюджетите на местната власт или тези на отделните министерства. Тези мерки, включват и подмяна на осветителните уредби с традиционни светлинни източници със светодиодни /LED/ такива. Изпълнението на тези проекти става чрез възлагане на обществени поръчки, съгласно условията в които, основен критерий за избор на изпълнител е цената. Последното води до използване

предимно на ретрофит¹ технология при модернизацията на осветлението в тези сгради и влагане в осветителните уредби на осветително оборудване с относително ниска цена и фактор на мощността $\lambda < 0,6$.

В доклада са представени резултати от проведено изследване върху възможностите за използване на стандартни електромагнитни дросели /ЕМ/ за тръбни луминисцентни лампи като компенсирани реактивната мощност устройства при LED осветители работещи с нисък фактор на мощността. В експериментите са включени някои основни конструкции осветители с тръбни LED лампи тип Т8, използвани най-често при реконструкция на вътрешното осветление в обществени сгради, учебни заведения, метростанции, железопътни гари и др. Основната цел на изследването е чрез лабораторни измервания да се установят реалните енергийни характеристики при най-често срещаните конструкции осветители с ретрофит LED лампи или LED платки, без и със свързани ЕМ дросели.

АНАЛИЗ НА ПРОБЛЕМА

Масовото използване след 2012 г. на компактни луминисцентни лампи и LED светлинни източници предизвика увеличение на хармоничните смущения в мрежите ниско напрежение, следствие захранването им през импулсни преобразуватели.

В общия случай захранващите АС/DC преобразуватели (драйверите) за LED лампи и осветители работят при високи честоти като емитират в захранващата мрежа висши хармоници на тока. В стандарта за електромагнитна съвместимост БДС EN 61000-3-2:2014 [1] лампите и осветителното оборудване се отнасят към технически средства от клас С. За тях са дефинирани гранични стойности на хармоничните съставлящи на тока, които според единичната им мощност са посочени в таблица 1.

Таблица 1

Гранични стойности на хармоничните съставлящи на тока за лампи и осветители

Пореден номер на хармоника n	Максимално допустима стойност на хармонична съставляща във входния ток за лампи и осветители	
	с мощност > 25 W - в % от тока за основната честота, %	с мощност ≤ 25 W - за 1 ват мощност, mA/W
2	2	-
3	30λ*	3,4
5	10	1,9
7	7	1,0
9	5	0,5
11	3	0,35
13 ≤ n ≤ 39 (само за нечетни хармоници)	3	3,85/n

* λ е фактора на мощност на лампата или осветителя.

Съгласно стандарта за електромагнитна съвместимост БДС EN 61000-3-2:2014 [1] за LED лампи и осветители с мощност ≤ 25 W, изискващи пусково-регулираща апаратура (вградени или външни драйвери), се допуска съдържанието на трети хармоник да бъде ≤ 86% от относителната стойност на тока с основна честота (50 Hz) приет за 100%, а това на пети хармоник – ≤ 61% (за висшите хармоници след пети не са посочени конкретни ограничения).

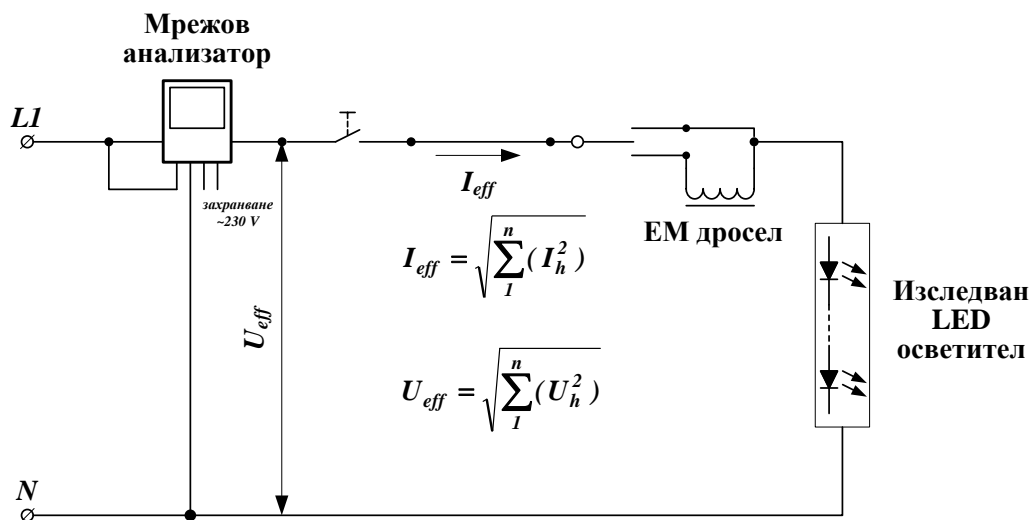
Стандартът [1] дефинира и гранична форма на кривата на входния ток по отношение фазовите ъгли на характерни моментни стойности на тока, спрямо нулевото начало на напрежението, която има ясно изразен импулсен характер.

¹ Ретрофит – запазване формата и размерите на лампите и осветителите

За намаляване на високочестотните смущения, на входа на захранващите преобразуватели за LED се инсталира филтър, който често при ретрофит лампите е изпълнен само чрез паралелно свързан кондензатор. Чрез измервания с лабораторен R-L-C метър е установено, че при различни LED лампите и външни драйвери с мощност 10÷40 W, този филтров капацитет C_f варира в границите 100÷400 nF.

РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Измерванията на енергийните характеристики са проведени в лаборатория към ВТУ „Годор Каблешков” с използването на мрежови анализатор модел ElNet LT, фабр. № 20890597 с клас на точност на измерванията 0,2. Използваната схема за измерване на енергийните параметри на изследваните светлинни източници, в това число и на хармоничните съставлящи на тока е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема за измерване на енергийните параметри на светлинните източници U_h и I_h – хармонични съставлящи на напрежението и тока; U_{eff} – ефективна стойност на напрежението; I_{eff} – ефективна стойност на тока

Таблица 2

Технически параметри от производителя на изследваните осветители със светодиодни лампи

Фирма произв.	Конструкция на осветителя и единична мощност на лампите	Напрежение	Мощност	Св. поток	Цвят
		V	W	lm	К
Амара	Осветител с 2 LED лампи T8-1200 mm, 32,5 W, насочена $\angle 120^\circ$, с външен драйвер	AC 100-264	65	5900	4000
V-TAC	Осветител с 4 LED лампи T8-600 mm, 10 W, ненасочена $\angle 160^\circ$, с вграден драйвер	AC 220-240	40	3200	6400
LimaLED	Осветител с 2 LED лампи T8-1200 mm, 18 W, ненасочена $\angle 270^\circ$, с вграден драйвер	AC 220	36	2880	4500

Опитно измерените стойности на филтровите капацитети C_f са следните:

- LED лампа „Амара” 32,5 W с драйвер Mean Well APC 35-700 – $C_f = 400$ nF;
- LED лампа V-TAC 10 W с вграден драйвер – $C_f = 100$ nF;
- LED лампа LimaLED 18 W с вграден драйвер – няма филтров кондензатор.

Експерименталното изследване на основните енергийни характеристики на осветителите с LED лампи е проведено с всеки от образците за период от време 20÷25 минути след включването им, с цел достигане на установен режим на работа.

Предвид конструкцията и мощностите на включените в изследването LED лампи, са използвани стандартни електромагнитни /EM/ дросели за луминисцентни лампи /ЛЛ/ с мощност 36 W. Индуктивността на тези дросели е в границите $L = 0,900 \div 1,000$ H. Резултатите от изследването са показани съответно в таблици 3 и 4.

Таблица 3

Енергийни характеристики на изследваните осветители със светодиодни лампи при захранване директно от мрежата

Фирма произв.	Конструкция	Драйвери	U_{eff}	I_{eff}	P	Q	S	PF	THD ₁
			V	A	W	VA _r	VA	-	%
Амара	LED лампи 2x32,5 W	външни	232,2	0,517	75,64	-93,05	119,93	0,630cap	113,10
V-TAC	LED лампи 4x10 W	вградени	227,5	0,328	40,98	-62,29	74,56	0,550cap	118,78
LimaLED	LED лампи 2x18 W	вградени	229,7	0,270	35,56	-50,70	61,93	0,574cap	126,51

Таблица 4

Енергийни характеристики на изследваните осветители със светодиодни лампи при захранване през електромагнитни дросели

Фирма произв.	Конструкция	Драйвери	U_{eff}	I_{eff}	P	Q	S	PF	THD ₁
			V	A	W	VA _r	VA	-	%
Амара	LED лампи 2x32,5 W	външни	228,0	0,361	77,22	28,25	82,23	0,939ind	33,35
V-TAC	LED лампи 4x10 W	вградени	227,5	0,201	43,01	15,51	45,72	0,941ind	31,36
LimaLED	LED лампи 2x18 W	вградени	231,2	0,197	36,75	26,97	45,58	0,806ind	46,93

Резултатите от изследването на хармоничните съставлящи на тока, без и със свързан в захранващата верига електромагнитен дросел, са показани в таблици 5 и 6. На фиг. 4 са илюстрирани графично хармоничните спектри изследваните лампи.

Таблица 5

Стойности на висшите хармоници на тока при изследваните осветители със светодиодни лампи, захранвани директно от мрежата

Фирма произв.	Конструкция	Драйвери	I_1	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	I_{15}	I_{17}	I_{19}
			%	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1
Амара	LED лампи 2x32,5 W	външни	100	83,71	61,36	37,77	15,24	4,93	9,22	9,16	5,23	2,38
V-TAC	LED лампи 4x10 W	вградени	100	74,91	50,87	39,44	38,65	33,15	23,70	18,91	16,27	11,97
LimaLED	LED лампи 2x18 W	вградени	100	77,58	51,73	42,32	41,33	34,35	25,87	21,66	17,78	13,47

Таблица 6

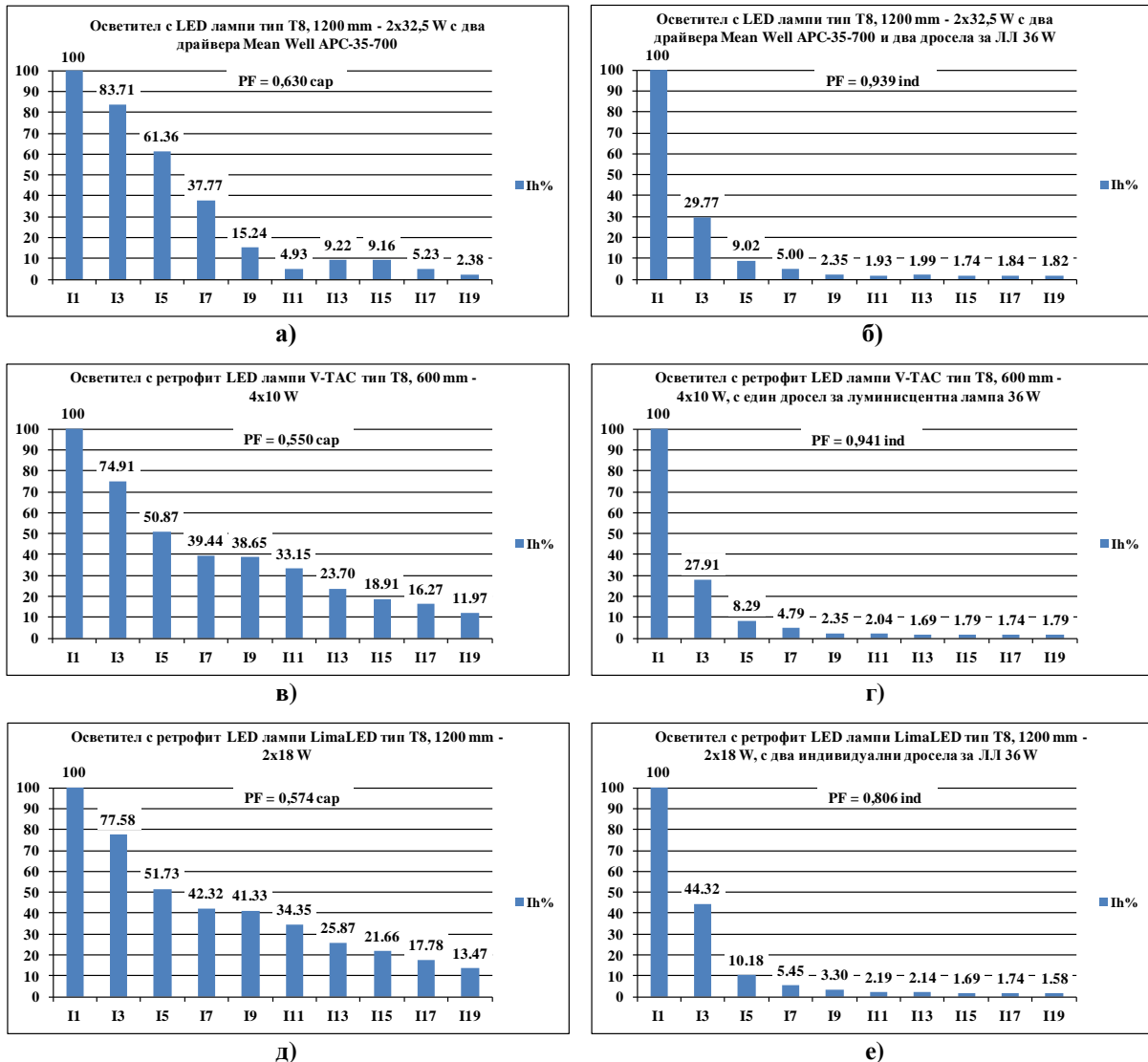
Стойности на висшите хармоници на тока при изследваните осветители със светодиодни лампи, захранвани през електромагнитни дросели

Фирма произв.	Конструкция	Драйвери	I_1	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	I_{15}	I_{17}	I_{19}
			%	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1	% I_1
Амара	LED лампи 2x32,5 W	външни	100	29,77	9,02	5,00	2,35	1,93	1,99	1,74	1,84	1,82
V-TAC	LED лампи 4x10 W	вградени	100	27,91	8,29	4,79	2,35	2,04	1,69	1,79	1,74	1,79
LimaLED	LED лампи 2x18 W	вградени	100	44,32	10,18	5,45	3,30	2,19	2,14	1,69	1,74	1,58

Изследвано е и влиянието на формирания L-C контур в променливотоковата входна верига на драйверите върху напрежението на входните им клеми. Резултатите при напрежение на мрежата 230 V са следните:

- LED лампа „Амара” с външен драйвер – $U_{вх. драйвер} = 244$ V;
- LED лампа V-TAC с вграден драйвер – $U_{вх. лампа} = 258$ V;
- LED лампа LimaLED – $U_{вх. лампа} = 217$ V (няма филтров кондензатор).

Подаваното по-високо напрежение към драйверите не надхвърля границата от +10% съгласно БДС EN 50160:2010 и не оказва влияние върху нормалната им работа.



Фиг. 2. Диаграми на относителното съдържание на хармоници в тока на изследваните осветители с LED лампи

- а) и б) Осветител с LED лампи T8-1200 mm 2x32,5 W, без и със свързани електромагнитни дросели;
- в) и г) Осветител с LED лампи T8-600 mm 4x10 W, без и със свързан електромагнитен дросел;
- д) и е) Осветител с LED лампи T8-1200 mm 2x18 W, без и със свързани електромагнитни дросели

Класът на енергийна ефективност **EEC** на лампите се определя въз основа на техния индекс за енергийна ефективност **EEI** както следва [2]:

- Клас А+ - за ненасочени лампи $0,11 \geq EEI \geq 0,17$, а за насочени лампи $0,13 \geq EEI \geq 0,18$;
- Клас А - за ненасочени лампи $0,17 \geq EEI \geq 0,24$, а за насочени лампи $0,18 \geq EEI \geq 0,40$.

Индексът на енергийна ефективност **EEI** се изчислява по формула (1), като получените стойности се закръгляват до втория знак след десетичната запетая:

$$(1) EEI = \frac{P_{cor}}{P_{ref}}$$

където:

P_{cor} е обявената (измерената) мощност P_{rated} за модели с интегрирана или външна ПРА, но като част от комплекта на лампата или осветителя, а когато ПРА не е част от комплекта на лампата или осветителя, обявената мощност P_{rated} , се коригира с коефициент $P_{cor} = 1,1 * P_{rated}$, W;

P_{ref} – референтна (изчислителна) мощност определена на база полезния светлинен поток на лампата или осветителя Φ_{use} , W.

Обявената мощност на лампите P_{rated} се измерва при номиналното им входно напрежение U_r , посочено от производителя, или когато е посочено в граници – при номиналното напрежение на мрежата ниско напрежение $U_r = 230$ V.

Референтната мощност P_{ref} е изчислителната мощност, получена от полезния светлинен поток на лампата Φ_{use} , която според неговата стойност се определя по формули (2) или (3) [2]:

$$(2) P_{ref} = 0,88\sqrt{\Phi_{use}} + 0,049\Phi_{use} \text{ – при } \Phi_{use} < 1300 \text{ lm};$$

$$(3) P_{ref} = 0,07341\Phi_{use} \text{ – при } \Phi_{use} \geq 1300 \text{ lm}.$$

Резултатите от изследването на класа на енергийна ефективност са показани в таблица 8.

Таблица 8

Фирма произв.	Ъгъл на излъчване на св. поток	Измерени и изчислени без ЕМ дросел						Измерени и изчислени с ЕМ дросел					
		U_r V	P_{cor} W	Φ_{use} lm	P_{ref} W	EEI -	EES -	U_r V	P_{cor} W	Φ_{use} lm	P_{ref} W	EEI -	EES -
Амара	Насочена $\angle 120^\circ$	AC 230	37,65	2950	201,9	0,174	A ⁺	AC 230	38,70	2950	201,9	0,179	A ⁺
V-TAC	Ненасочена $\angle 160^\circ$	AC 230	10,25	804	64,35	0,159	A ⁺	AC 230	10,77	804	64,35	0,167	A ⁺
LimaLED	Ненасочена $\angle 270^\circ$	AC 230	17,80	1445	106,0	0,168	A ⁺	AC 230	18,37	1445	106,0	0,173	A

От резултатите в таблица 8 се вижда, че допълнителните загуби на мощност в дроселите се движат в границите 2÷5%. При LED лампи, чийто клас на енергийна ефективност е на горната граница за клас A⁺ е възможно той да премине към клас A.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ ОТ ПРОВЕДЕНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Въз основа на получените резултати от изследването, могат да се направят следните по-основни изводи:

- При LED лампи и осветители с общ филтров капацитет $C_f \approx 400 \text{ nF}$, чрез свързване на един ЕМ дросел 36 W, факторът на мощност се подобрява значително – от $\lambda \approx 0,60 \text{cap}$ на $\lambda \approx 0,94 \text{ind}$. Съдържанието на хармоници на тока силно намалява и те съответстват на изискванията на стандарта за електромагнитна съвместимост [1].

- Влиянието на ЕМ дросели 36 W при ретрофит LED лампи без входен филтров капацитет се свежда до намаляване на относителното съдържание на хармоници на тока след 5^{-ти} включително и коригиране на фактора на мощност от ~0,6 капацитивен към ~0,8 индуктивен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представените в настоящата разработка резултати показват, че използването на стандартни електромагнитни дросели за луминисцентни лампи с мощност 36 W

значително подобряват хармоничния спектър и фактора на мощност при изследваните конструкции осветители с LED лампи. Предлаганото техническо решение с използване на един ЕМ дросел 36 W е приложимо при осветители с тръбни ретрофит LED лампи тип T8 или LED платки с обща мощност 35÷40 W и сумарен входен филтров капацитет $C_f \approx 400 \text{ nF}$. При LED лампите без входен филтров капацитет оптимални резултати се получават при свързване на един ЕМ дросел 36 W към лампи с обща мощност 18÷20 W.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] БДС EN 61000-3-2:2014, Електромагнитна съвместимост (ЕМС). Част 3-2: Гранични стойности. Гранични стойности за излъчвания на хармонични съставлящи на тока (входен ток на устройства/съоръжения $\leq 16 \text{ A}$ за фаза) (IEC 61000-3-2:2014). Български институт за стандартизация, 2015 г. (Действащ от 19.09.2014 г.).

[2] Европейска комисия, Делегиран регламент (ЕС) № 874/2012 на Комисията от 12 юли 2012 година за допълване на Директива 2010/30/ЕС на Европейския парламент и на Съвета по отношение на енергийното етикетиране на електрически лампи и осветители (Приложения VI и VII), Официален вестник на Европейския съюз, Раздел II - Незаконодателни актове, L258/18-19, 26.09.2012 г.

ENERGY EFFECTS IN POWERING OF LUMINAIRES WITH LED LAMPS AND MODULES ACROSS ELECTROMAGNETIC BALASTS FOR FLUORESCENT LAMPS

Georgi Dimitrov
dimitrov_gd@mail.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str,
BULGARIA*

***Key words:** LED Lighting; Compensation of reactive power with electromagnetic ballasts; Energy effects.*

***Abstract:** The rapid development of LED technologies has created preconditions for their widespread use in the construction of new and the reconstruction of existing indoor and outdoor lighting systems. The power supply and control of LEDs from AC networks is made using specialized input impulse converters, which often consume electric current with a total harmonic distortion /THD/ over 100% and operate with low power factor /PF/.*

The report presented results of a research on the possibilities for using standard electromagnetic ballasts for tubular fluorescent lamps as reactive power compensation devices. The experiments include the main lighting fixtures with tubular LED lamps used in the reconstruction of indoor lighting in public buildings, schools, metro stations, railway stations and others.

Special attention is paid to the influence of electromagnetic ballasts on basic quality indicators of electricity consumption and in particular on the harmonics contents in the current and total power factor. Object of the research is also the influence of the connected inductances on the generation of increased voltage, supplied to the power converters for LED, due to the presence of capacitors in their input circuit and the occurrence of electrical resonance. The results of the study are presented in tabular and graphical form. An analysis of the effects achieved has been made and relevant conclusions and recommendations have been formulated.