

АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ, СЪДЪРЖАЩИ КЛЛ + ЕПРА, ОТНОСНО ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ

Симона Филипова-Петракиева, Галя Георгиева-Таскова, Николай Матанов
petrakievas-te@tu-sofia.bg, gvgt@tu-sofia.bg, nsm@tu-sofia.bg

*Технически университет – София,
Факултет „Автоматика“, Електротехнически факултет
Бул. „Климент Охридски“ № 8, бл. 12, 1797, София,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: РЛ + ПРА, КЛЛ, електромагнитен дросел, ЕПРА, ЕМС

Резюме: Наличието на елементи с нелинейна ВАХ в електрическа верига (съдържаща разрядни лампи + пуско-регулираща апаратура) е предпоставка за поява на хармоници в нея. Включването на електронна пускорегулираща апаратура ограничава пусковия ток през лампата при нейното запалване и разгаряне, но в същото време води до генериране на висши хармоници към хранящата мрежа. В настоящата статия са изследвани различни модели компактни луминесцентни лампи (работещи с електронна пускорегулираща апаратура) относно електромагнитна съвместимост, отчитайки общоприетите стандарти за големината на ефективните стойности (респ. амплитудите) на хармониците спрямо тези на съответния основен хармоник при честота 50 Hz. Изследвано е изменението на хранящото напрежение и на общия ток в анализирания електрическа верига във времевата и в честотната област съответно за компактни луминесцентни лампи с мощност 7, 8, 9, 15 и 20 W, както и една безелектродна лампа с мощност 23 W.

1. Въведение

При съвместна работата на различни електрически и електронните устройства в една обща система възникват два типа проблеми. Първо – доколко едно устройство може да работи под “влияние” на останалите и второ – дали то пречи на тяхната работа. Наличието на компоненти с нелинейна ВАХ в системата е предпоставка за поява на хармоници в нея.

Включването на електронна пуско-регулираща апаратура (ЕПРА) ограничава пусковия ток през разрядните лампи при тяхното запалване и разгаряне; осигурява устойчив работен режим; намалява пулсациите на светлинния поток; осигурява предварително зададен коефициент на мощност $\cos \varphi$, но успоредно с това се генерират висши хармоници във веригата. За да се ограничи тяхното влияние се спазват някои правила при опроводяване на ЕПРА [1,2]. По този начин осветителите не могат да генерират „опасни“ електромагнитни смущения, които да се връщат отново в мрежата.

При изследване на ЕМС на компактни луминесцентни лампи (КЛЛ) с ЕПРА са въведени стандарти относно големината на ефективните стойности на хармониците

спрямо тези на основния хармоник при честота 50 Hz. Количествено качеството на работа на устройствата, генериращи ВЧ смущения, се оценява чрез два показателя:

- коефициент на хармонични изкривявания (Total Harmonic Distortion = THD):

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{\infty} X_{(k)}^2}{X_{(1)}^2}} \approx \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n X_{(k)}^2}{X_{(1)}^2}};$$

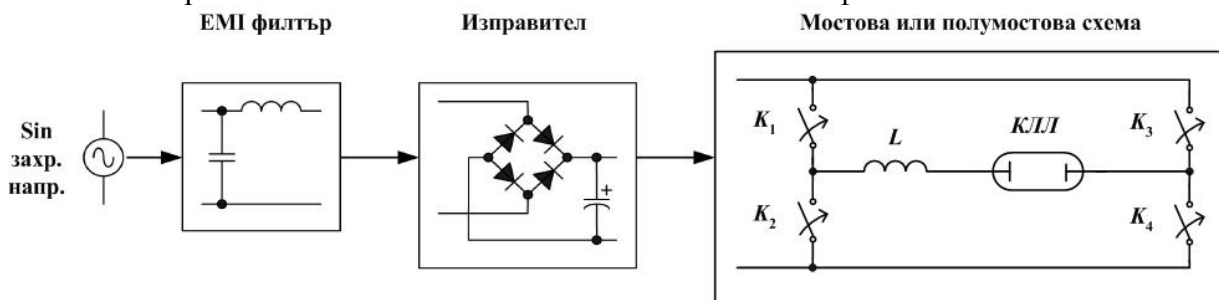
- коефициенти на хармониците:

$$K_{X_{r(k)}} = \frac{X_{(k)}}{X_{(1)}} \cdot 100, \% .$$

Настоящата статия е структурирана както следва. В параграф 2 е дефиниран проблема, свързан с изследване на появата на хармоници вследствие на съвместната работа на системата ЕПРА + КЛЛ. В параграф 3 са представени резултатите от изследванията относно ЕМС на КЛЛ с мощност 30 W. В параграф 4 са изследвани различни модели КЛЛ с вградено ЕПРА. Анализирана е електрическа верига при изменение на входното напрежение и на общия ток в нея във времевата и в честотната област. На базата на получените резултати всяка от анализираните лампи отговаря на стандартните изисквания за ЕМС на устройствата. В заключение са посочени обобщителни бележки относно задоволяване на стандартните изисквания за ЕМС от изследваните КЛЛ.

2. Дефиниране на проблема

Електрическата схема за изследване на появата на хармоници вследствие на съвместната работа на системата ЕПРА + КЛЛ е показана на фиг. 1а.



Фиг.1.а. Схема на свързване на ЕПРА + КЛЛ към мрежата

Същността на принципа на действие се състои в следното. Непосредствено след източника на синусоидално мрежово напрежение се поставя, т. нар. електромагнитен филтър, който филтрира захранващото напрежение до основен хармоник и то е с почти идеална синусоидална форма. След филтъра се поставя двуполупериоден изправител на напрежение, който превръща синусоидата на захранващото напрежение само в положителни полувълни. Наличието на електролитен кондензатор с много голям капацитет на изхода на изправителя служи за изглаждане на напрежението, което се подава на мостова или полумостова схема. Изследваната КЛЛ се включва в едното рамо на моста, като последователно на нея се свързва намотка с малка индуктивност L с цел ограничаване на тока през лампата. Целта на включване на мостова или полумостова схема в електрическата верига е преобразуване на честотата на входното синусоидално напрежение от 50 Hz до по-висока честота в диапазона $[30, 50] kHz$, чиято стойност зависи от системата ЕПРА + КЛЛ.

Забележка: Всички по-горе описани компоненти на електрическата верига са включени в ЕПРА, което от своя страна е вградено в съответната КЛЛ.

При съвместната работа на ЕПРА + КЛЛ се генерират висши хармоници на тока, които „се връщат“ в захранващата мрежа. Възникват само нечетни хармоници и влиянието на хармоници с номер по-голям или равен на 11 е незначително.

Допустимите отклонения на коефициентите на хармоници (в %) за ЕПРА и за комплекта ЕПРА + ЛЛ, дефинирани от нормативните документи на световната електротехническа комисия *IEC*, са посочени съответно в таблица 1.1 [4], като ограничението за коефициента на хармонични изкривявания е $THD \leq 1.44$.

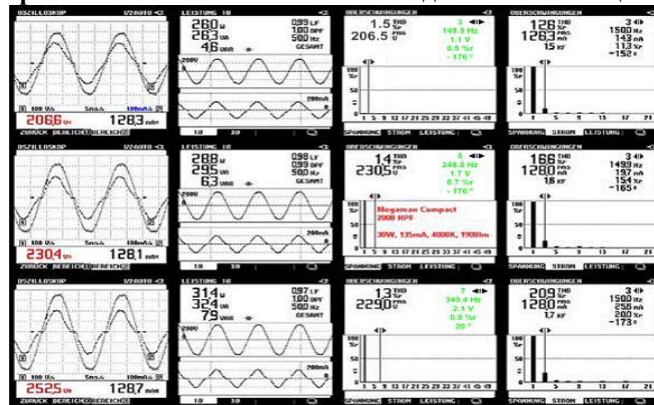
Таблица 1.1. ЕПРА + ЛЛ
(модели HF-P 136, HF-P 258 и BHF 258 на Philips за ЛЛ тип PL*E/C)

THD	ЕПРА + ЛЛ (<i>Philips</i>)/			
	HF-P 136	HF-P 258	BHF 258	PL*E/C
	1.01246	1.002671	1.0313	1.7387

3. Изследвания на КЛЛ с мощност 30 W относно EMC

Резултатите от изследванията относно EMC на КЛЛ с мощност 30 W [5] са много интересни и едновременно с това пораждаат някои подозрения у специалистите по хармоници. Експерименталните изследвания са във времевата и в честотната област. Снетите графики на изменение на захранващото напрежение и на общия ток във веригата са поместени в таблица 1.2.

Таблица 1.2. Времени и честотен анализ на 3 модела КЛЛ с мощност 30 W

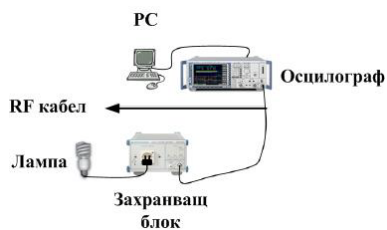


От тях се вижда, че формата на напрежението върху изследваните КЛЛ е почти идеална синусоида – коефициентите на хармонични изкривявания THD са съответно 1.3, 1.4 и 1.5, т.е. е близки до 1.44. Във всеки от случаите освен основния хармоник най-силно влияние указват съответно 3-ти, 5-ти и 7-ми хармоник, с коефициенти на съответния хармоник 0.5, 0.7 и 0.9.

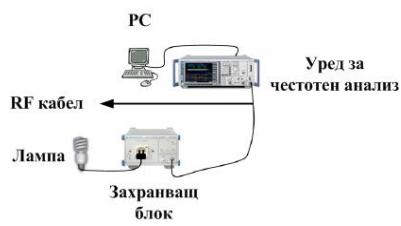
Формата на токовете през анализираниите КЛЛ са леко „изкривени“ спрямо синусоидалната, вследствие на нелинейния характер на ВАХ на лампите. Това се потвърждава и от честотния анализ, според който съответните коефициенти на хармонични изкривявания THD са съответно 12.6, 16.6 и 20.9. Във всеки от случаите освен основния хармоник най-силно влияние указва само 3-ти хармоник, със съответните коефициенти 11.3, 15.4 и 20.

4. Изследвания на КЛЛ с различни мощности свързани с EMC

Изследвани са различни модели КЛЛ с вградено ЕПРА. Снети са експериментално графиките на изменение на входното напрежение в анализирания електрическа верига и на общия ток в нея във времевата и в честотната област съответно чрез цифров осцилограф (фиг. 2.а) и чрез уред за анализ на високочестотни сигнали (фиг. 2.б).



Фиг. 2.а. Опитна постановка за времеви анализ



Фиг. 2.б. Опитна постановка за честотен анализ

4.1. Времеви анализ на КЛЛ и безелектродна лампа

Таблица 1.3. Времеви анализ на КЛЛ и безелектродна лампа

Лампа Производител	$u_N(t)$	$i_N(t)$
КЛЛ 7 W General electric		
КЛЛ 8 W General electric		
КЛЛ 9 W General electric		
КЛЛ 15 W Китайски про- изводител		
КЛЛ 20 W Китайски про- изводител		
Безелектродна лампа 23 W Китайски про- изводител		

Резултатите от времеви анализ на изследваните лампи са поместени в таблица 1.3, като в таблица 1.3.а са показани съответните коефициенти на амплитудата и на

формата по отношение на изследвания ток $i_N(t)$, който е със силно изразен несинусоидален характер. Тези коефициенти не са посочени по отношение на входното напрежение, поради факта, че то е с „почти идеална“ синусоидална форма и $\kappa_A \approx \sqrt{2} = 1.41$ и $\kappa_f \approx 1.11$ (вж. съответните графики за $u_N(t)$ в таблица 1.3).

Таблица 1.3.а Времени анализ на КЛЛ и безелектродна лампа

Лампа Производител	Коефициент на амплитудата $\kappa_A = \frac{i_m}{I}, -$	Коефициент на формата $\kappa_f = \frac{I}{I_{cp}}, -$
КЛЛ 7 W, General electric	3,8579	7,3025
КЛЛ 8 W, General electric	4,7416	4,8382
КЛЛ 9 W, General electric	4,3499	4,4501
КЛЛ 15 W, Китай	4,1386	3,8696
КЛЛ 20 W, Китай	3,7426	5,0074
Безелектродна лампа 23 W, Китай	5,6186	2,9755

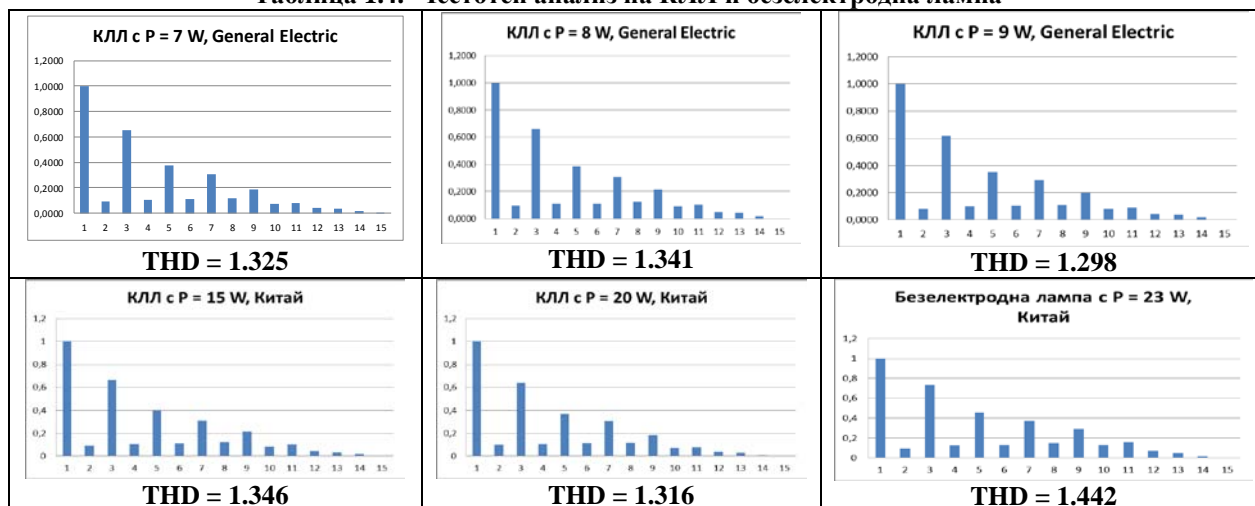
Резултатите от проведените експерименти (вж. таблица 1.3) показват, че входното напрежение е с “почти” синусоидална форма (Наблюдава се доминиране на първи хармоник.), поради което не е необходимо да се извършва хармоничен анализ за него.

Общият ток във веригата е с несинусоидална форма (вж. графиките от таблица 1.3). Съответстващите му коефициенти на амплитудата и на формата са в интервалите $3.7416 \leq \kappa_A \leq 5.6186$ (за идеална синусоида $\kappa_A = \sqrt{2} \approx 1.41$) и $2.9755 \leq \kappa_f \leq 7.3025$ (за идеална синусоида $\kappa_f \approx 1.11$), което налага необходимостта от извършване на честотен анализ на този ток.

4.2. Честотен анализ на КЛЛ и безелектродна лампа

Резултатите от съответния честотен анализ на изследваните лампи са поместени в таблица 1.4.

Таблица 1.4. Честотен анализ на КЛЛ и безелектродна лампа



Резултатите от анализа показват (вж. таблица 1.4), че се наблюдава наличие на висши хармоници в спектъра на общия ток във веригата, съдържаща изследваните лампи. Най-значимо влияние оказват хармониците с нечетен номер, като е достатъчно да се разглеждат (със задоволителна точност - $K_{I_r(k)} < 0.6 \%$) само тези с пореден номер по-малък или равен на 15. За всяка изследвана КЛЛ е получен коефициент на хармонични изкривявания $1.298 \leq THD \leq 1.346$, който “слабо” превишава резултатите за $1.00267 \leq THD \leq 1.0313$ от таблица 1.1, но отговаря на дефинираните стандарти за ЕМС

$THD \leq 1.44$. Единствено в случая на изследване на безелектродна лампа $THD = 1.442$, което превишава стандарта за $THD \leq 1.44$ с 0.2 %.

5. Заключение

Представените в статията изследвания на изменението на захранващото напрежение и на общия ток в анализираната електрическа верига във времевата и в честотната област съответно за КЛЛ с мощности 7, 8, 9, 15 и 20 W на различни производители (General Electric и китайски производители), както и една безелектродна лампа с мощност 23 W на китайски производител). Получените резултати показват, че всяка от анализирани лампи отговаря на стандартните изисквания за ЕМС на устройствата и следователно тези лампи не генерират „опасни“ ВЧ смущения към мрежата.

Резултатите от експерименталните изследвания в настоящата работа са сравнени със съществуващи в литературата [5] изследвания на КЛЛ с мощност 30 W, които също отговарят на стандартните изисквания за ЕМС на устройствата и следователно не генерират „опасни“ ВЧ смущения към мрежата.

От всичко изследвано до този момент, относно стандартните изисквания за ЕМС на устройствата не означава, че във веригата не се генерират паразитни смущения в диапазона на радио честотите (които не могат да се отчетат с обикновен честотен анализатор, а изискват по-специално оборудване). Причина за тяхната поява може да бъде ВЧ електронна схема (разположена непосредствено след захранването) за корекция на коефициента на мощност $\cos \varphi$ в електрическата верига, което не е обект на настоящите изследвания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 6100-3-2 Electromagnetic compatibility, Part 3: Limits, Section 2: Limits for harmonics current emissions.
- [2] БДС EN 61547 Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements.
- [3] Иванов З. А., Пускорегулиращи апарати за разрядни лампи, ТУ - София, 2003. ISBN: 954-998-347.
- [4] www.philips.com, www.osram.com, www.gelighting.com/eu
- [5] <http://leonardo-energy.ru/>

ELECTRO-MAGNETIC COMPATIBILITY ANALYSIS OF ELECTRICAL CIRCUITS INCLUDING COMPACT FLUORESCENT LAMPS + ELECTRONIC BALLASTS

Simona Filipova-Petrakieva, Galia Georgieva-Taskova, Nikolai Matanov
petrakievas-te@tu-sofia.bg, gvgt@tu-sofia.bg, nsm@tu-sofia.bg

Technical University of Sofia, Faculty of Automation, Electrical Faculty
8 Kliment Ohridski, blvd., bl. 12, 1797, Sofia, BULGARIA

Key words: *gas-discharge lamps + ballast, compact fluorescent lamps, electromagnetic ballast, electronic ballast, Electro-Magnetic Compatibility*

Abstract: *Elements with nonlinear Volt-Ampere Characteristics cause arising of the harmonics in the electrical circuit consist of discharge lamps and respective ballasts. Electronic ballasts limit the current through the lamp during its alighting period and at the same time it leads to generating the harmonics to the power supplying network. In the paper are analyzed different models Compact Fluorescent Lamps (with electronic ballast) with respect to the electromagnetic compatibility taking into account the standards defined by International Electromagnetic Compatibility (IEC) for the RMS values of the harmonics compared to corresponding for the main harmonic in frequency 50 Hz. It is analyzed the variation of the supplying voltage and the current through the lamps in time and frequency domains for 7, 8, 9, 15 W compact fluorescent lamps and 20 W, as well as one 23 W without electrodes lamp.*