

FRI-10.326-1-EEEE-05

## STUDY ON THE HIGHER HARMONICS IN COMMERCIAL FACILITIES<sup>4</sup>

**Assos. Prof. Lyudmil D. Mihaylov, PhD**

Department of Electrical Power and Electrical Equipment,  
Ruse university "Angel Kanchev".

Tel.: 0882 212 418

E-mail: lmihaylov@uni-ruse.bg

**Mag. eng. Tsvetan Tr. Naumov**

PhD student at the Department of Electrical Power and Electrical Equipment,  
Ruse university "Angel Kanchev".

Tel.: 0887 792 395

E-mail: cvetan.naumov@cez.bg

**Abstract:** As a result of the conducted studied over the higher harmonics in a commercial facility (**M**) and commercial facility (**J**) the average values of phase voltages have been estimated ( $U_{L1}$  - average,  $U_{L1\ min}$ ,  $U_{L1\ max}$ ). The total harmonic stress distortion coefficients for the three phases are less than 5% and satisfy the requirements of BDS EN 50160: 2010. The mutual coefficients of the harmonics current distortion in maximum values reaches up to 26,4 % for facility (**M**) and up to 31,1 % for facility (**J**) and are less than the critical 50 % of BDS EN 50160:2010. The change of current in the neutral conductor is: for facility (**M**) - 52 A max; facility (**L**) - 70 A max. The change of the total harmonic distortion coefficient in the neutral conductor THD I L4 is: for facility (**M**) - 123.7% on average, 2545% max; facility (**L**) -173.92% average, 2550% max. The average values are above the critical 50% of BDS EN 50160:2010, respectively, in facility (**M**) - 2.5 units and for facility (**L**) - 3.5 units. Definitely the current and harmonics in the neutral conductor are extremely high. Quick measures are needed to neutralize them.

**Keywords:** electric grids, higher harmonics, monitoring

### ВЪВЕДЕНИЕ

Стандартите (БДС EN 50160, 2010) изискват системна проверка и контрол за изменението на напреженията, тока, респективно качеството на електрическата енергия (БДС EN 61000, 2017). Приоритет в изследванията следва да имат обектите, чиито товари са потенциални генератори на висши хармоници. Такива са, както се вижда от резултатите на проведените изследвания (Petrov, O., Petrova, P., & Ruseva, V., 2016; Tzvetkova, Sv., Georgieva, A., Petrova, V., & Petleshkov, An., 2016) са изградените търговски комплекси с денонощно осветление и обекти, наситени с компютърна техника и осветление (Ivanov, Kr., Velev, G., & Naumov, Ts., 2015).

Целта на даденото изследване е да се установят нивата на висшите хармоници в характерни търговски комплекси. Изследвани са два търговски комплекса - (**M**) и (**J**). Захранването на обектите се осъществява чрез трафопостове, в които са монтирани трансформатори 20/0,4 kV с мощност  $P=630\text{kVA}$ ,  $u_k=6\%$ ,  $P_{\text{пх}}=1,44\text{ kW}$ ,  $P_{\text{кс}}=8,5\text{ kW}$ .

Изследването е проведено с апаратура за измерване показателите за качеството на електрическата енергия **MEG38/с**. Мониторът Pq Meg 38/С измерва четири напрежения и четири тока на текущи стойности при LV, MV, HV функция на измерена електрическа мощност. В записващата функция PQ мониторът MEq38/С обработва всички измерени стойности, оценява мощности, енергии и хармоници. Съгласно стандарта (БДС EN 50160, 2010) и методите на (БДС EN 61000, 2017) са анализирани всички параметри за качеството на напрежението на входове  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$ . Точността на измерването на напрежението е: 0,1% от данните  $\pm 0,1\%$   $U_{\text{ном}}$ . при 0,8  $U_{\text{ном}}$ . до 1,2  $U_{\text{ном}}$ . 0,2% от данните  $\pm 0,2\%$   $U_{\text{ном}}$  извън 0,8

<sup>4</sup> Докладът е представен на сесия на секция „Електротехника, електроника и автоматика на 26 октомври 2018 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВИСШИТЕ ХАРМОНИЦИ В ТЪРГОВСКИТЕ ОБЕКТИ

Уном до 1,2 Уном. Резолюция: по-добра от 0,1% Уном. Топлинен коефициент: по-добър от 0,1% Уном/10°C. Точността за измерването на тока е: 0,2% от данните и 0,2% Iном. при 0,1 Iном до 1,2 Iном. 0,5% от данните при 1,2 Iном до 2 Iном. за измерване на тока, в т.ч. и на неутралния проводник. Закрепващите трансформатори са с номинални токове от 1А и 5А. Закрепващи трансформатори МТ0,5/38 осигуряват точност на измерване от 0,5%, поради това те могат да се използват за измервания на проводници НН. Тороидните сензори са с висока точност дори при малките токове и се нуждаят от измерване на веригите, когато се инсталира или се демонтира. Те също са модифициран на два вида. Тороидите TORv/38 са с номинални токове 10А и 50А и са подходящи за измерване на ниско честотна мрежа и TORm/38 с номинални токове 1А и 5А.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

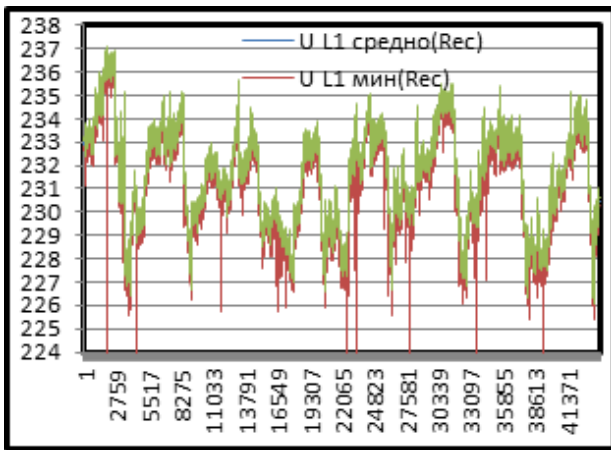
Изследването обхваща седем дневен период и включва работните и почивни дни през седмицата. Резултатите са обработени и представени в три групи – за фазовите напрежения, фазовите токове и неутралния проводник, съответно за обект (М) и обект (Л).

**Показатели за напрежението.** В обобщен вид данните от изследването на напреженията за обект Метро (М) и обект Лидъл (Л) са представени в Таблица 1. Нивата за вариране на средните (U L1 средно) и минималните (U L1 мин) стойности на напреженията във фаза L1 са представени за обект (М) на Фиг.1, а за обект (Л) на Фиг.3. Напрежението на основния хармоник U L1 1. х. е със средна стойност 231,45÷231,98 V за трите фази в обект (М) и 238,95÷240,35 V в обект (Л). Общите коефициенти на хармоничните изкривявания за трите фази (THD U L1, THD U L2, THD U L3) са представени в Таблица 1, а в графичен вид са дадени - за фаза L1 (М) на Фиг.2 и фаза L1 (Л) на Фиг.4

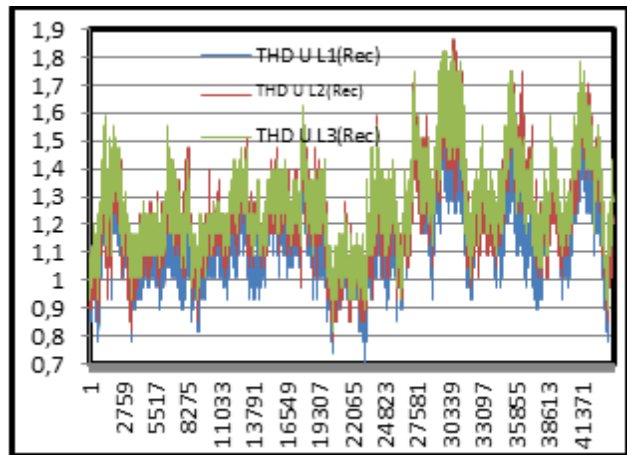
Таблица 1. Показатели за напрежението на обект (М) и обект (Л)

обект	U L1 средно		U L1 мин		U L1 макс		THD U L1		U L1 1. х.	
	средно	мин	средно	мин	средно	макс	средно	макс	средно	мин
(М)	231,46	226,32	231,24	226	231,64	237,5	1,149	1,71	231,45	226
(Л)	238,97	234,2	238,8	229	239,12	246	1,59	2,18	238,95	234,2
	U L2 средно		U L2 мин		U L2 макс		THD U L2		U L2 1. х.	
(М)	231,87	226,2	231,63	206	232,06	238,2	1,234	1,84	231,86	226,3
(Л)	240	235,7	239,9	232,8	240,2	247	1,67	2,27	240,02	232,8
	U L3 средно		U L3 мин		U L3 макс		THD U L3		U L3 1. х.	
(М)	231,99	226,2	231,76	205	232,17	236,8	1,27	1,83	231,98	226,2
(Л)	240,37	235,8	240,18	232,6	240,5	247,5	1,67	2,3	240,35	235,9

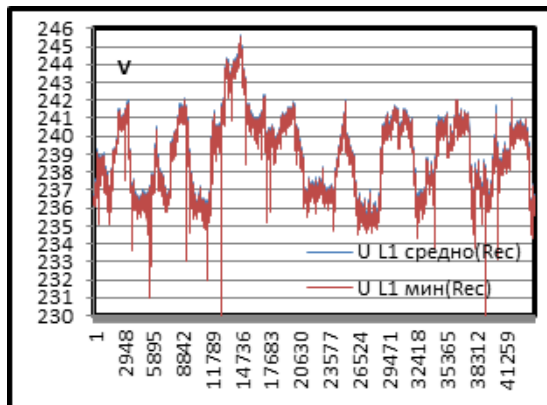
**Показатели за тока.** В обобщен вид данните от изследването на тока за обект (М) и обект (Л) са представени в Таблица 2. Нивата на вариране на средните (I L1 средно) и минималните (I L1 мин) стойности на тока във фаза L1 са представени за обект (М) на Фиг.5, а за обект (Л) на Фиг.7. Токът на основния хармоник I L1 1. х. е със средна стойност 159,77÷169,43 А за трите фази в обект (М) и 238,95÷240,35 А в обект (Л). Общите коефициенти на хармоничните изкривявания на тока за трите фази (THD I L1, THD I L2, THD I L3) са представени в Таблица 2, а в графичен вид за фаза L1 – обект (М) на Фиг.6 и фаза L1 - обект(Л) на Фиг.8.



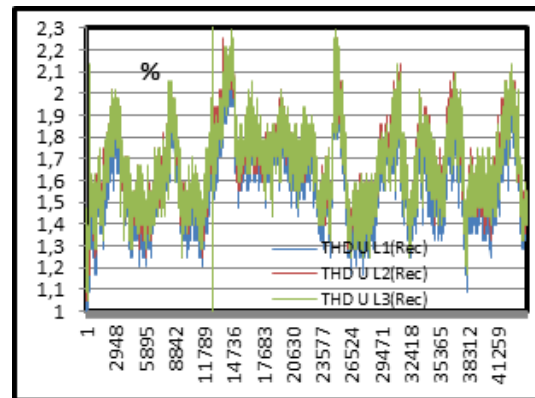
Фиг.1. Изменение на напреженията  $U_{L1}$  средно и  $U_{L1}$  мин в обект (М)



Фиг.2. Изменение на общия коефициент на хармонични изкривявания на напреженията в трите фази ( $THD_{U L1}$ ,  $THD_{U L2}$ ,  $THD_{U L3}$ ) на обект (М)



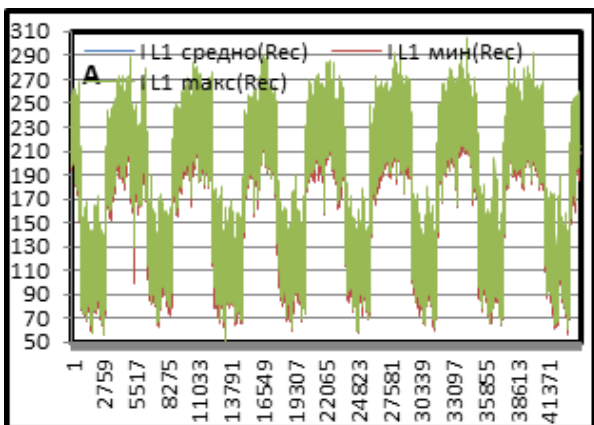
Фиг.3. Изменение на напреженията  $U_{L1}$  средно и  $U_{L1}$  мин на обект (Л)



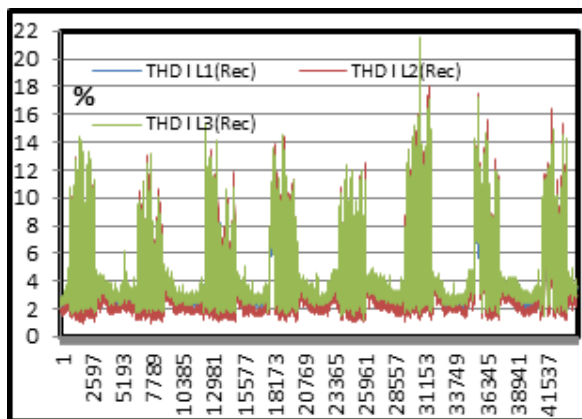
Фиг.4. Изменение на общия коефициент на хармонични изкривявания на напрежението в трите фази ( $THD_{U L1}$ ,  $THD_{U L2}$ ,  $THD_{U L3}$ ) на обект (Л)

Таблица 2. Показатели за тока на обект (М) и обект (Л)

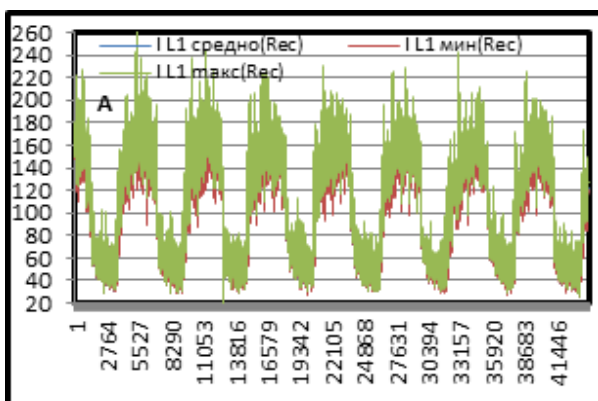
	I L1 средно		I L1 мин		I L1 макс		THD I L1		I L1 1. х.	
обект	средно	мин	средно	мин	средно	макс	средно	макс	средно	мин
(М)	169,59	52,1	165,45	52,6	175,9	398,5	4,04	15,7	169,43	47,9
(Л)	105,5	26	101,4	26	110P4	263	9,13	26,4	105,15	27,1
	I L2 средно		I L2 мин		I L2 макс		THD I L2		UIL2 1. х.	
(М)	167,8	50,2	163,61	49,8	174,27	286	3,91	22,1	167,64	49,5
(Л)	97,06	20	93,34	19,5	101,4	248	10,56	31,1	96,64	20
	I L3 средно		I L3 мин		I L3 макс		THD I L3		I L3 1. х.	
(М)	159,95	47,6	155,5	47,3	166,74	281	4,34	22,4	159,77	43,6
(Л)	92,8	21	88,84	20	97,4	239	9,6	25,3	92,4	20



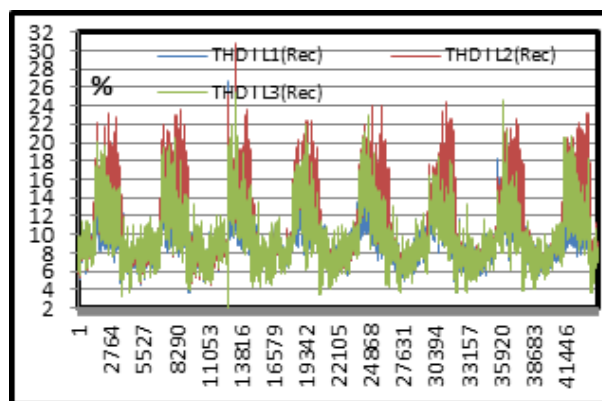
Фиг.5. Изменение на тока  $I_{L1}$  средно,  $I_{L1}$  мин и  $I_{L1}$  макс - обект (М)



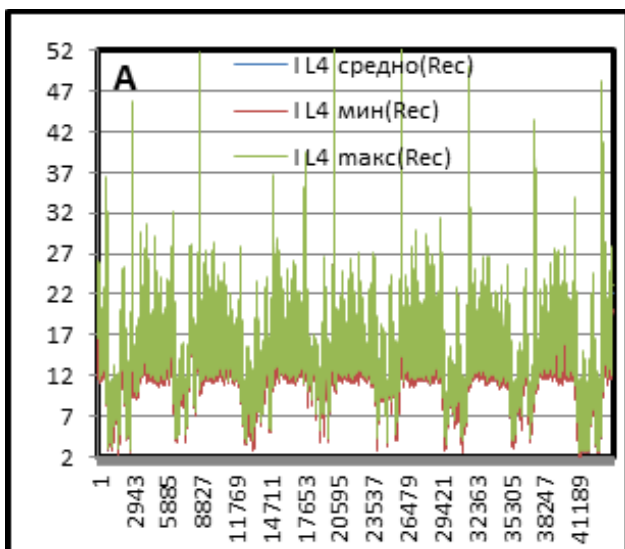
Фиг.6. Изменение на общия коефициент на хармонични изкривявания на тока в трите фази ( $THD_{L1}$ ,  $THD_{L2}$ ,  $THD_{L3}$ ) - обект (М)



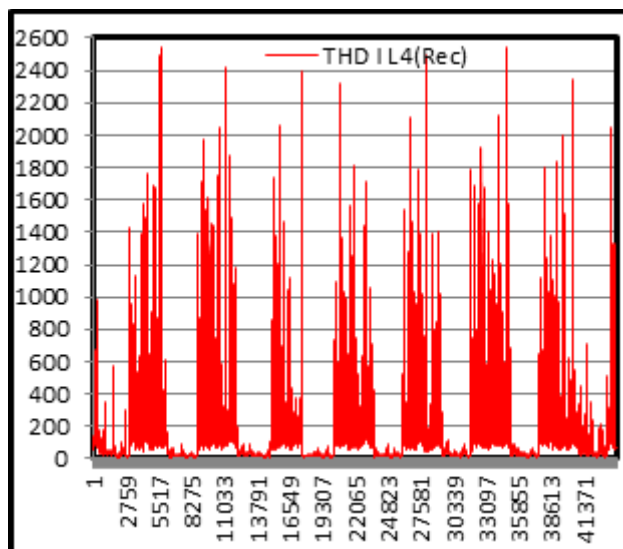
Фиг.7. Изменение на тока  $I_{L1}$  средно,  $I_{L1}$  мин и  $I_{L1}$  макс - обект (Л)



Фиг.8. Изменение на общия коефициент на хармонични изкривявания на тока в трите фази ( $THD_{L1}$ ,  $THD_{L2}$ ,  $THD_{L3}$ ) - обект (Л)



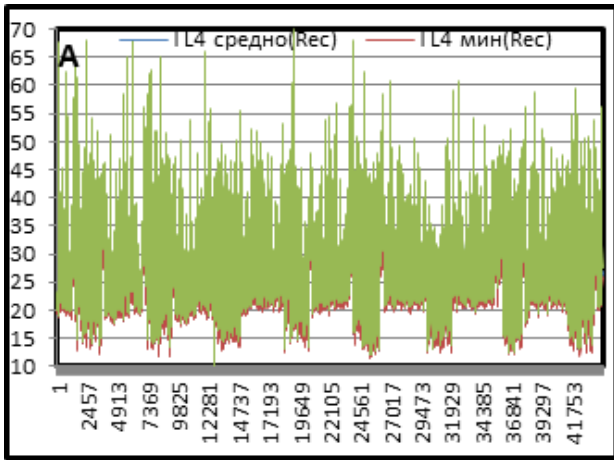
Фиг.9. Изменение на тока  $I_{L4}$  средно,  $I_{L4}$  мин и  $I_{L4}$  макс в неутралния проводник - обект (М)



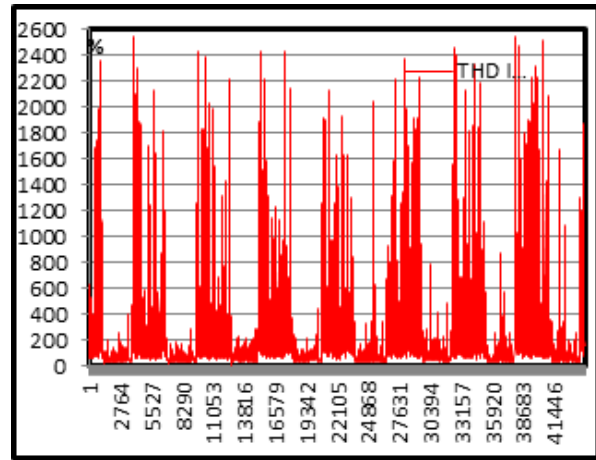
Фиг. 10. Изменение на общия коефициент на хармонични изкривявания в неутралния проводник  $THD_{L4}$  - обект (М)

**Показатели за тока в неутралния проводник.** Изменението на тока  $I_{L4}$  средно,  $I_{L4}$  мин и  $I_{L4}$  макс в неутралния проводник за обект (М) е представено на Фиг.9, а за обект (Л) на Фиг.11. Изменението на общия коефициент на хармонични изкривявания в неутралния проводник  $THD_{L4}$  за обект (М) е представено на Фиг.10, а за обект (Л) на Фиг.12. Данните са обобщени и

представени в Таблица 3. В двата обекта процесите имат сходен характер. Токът в рамките на всяко денонощие варира между 1,5 и 52 А за обект (М) и между 2 и 70 А за обект (Л). Много динамични са нивата на вариране на коефициента  $THD IL4$  - от 7 до 2550 %, като нивото през нощните часове рязко спада.



Фиг.11. Изменение на тока  $IL4$  средно,  $IL4$  мин и  $IL4$  макс в неутралния проводник - обект (Л)



Фиг.12. Изменение на общия коефициент на хармонични изкривявания в неутралния проводник  $THD IL4$  в обект (Л)

Таблица 3. Сравнителни показатели за тока в неутралния проводник на обект (М) и обект (Л)

Показател	IL 4, А			THD IL4, %		
	Средно	мин	макс	Средно	мин	макс
Обект (М)	13,7	1,5	52	123,7	7	2545
Обект (Л)	26,25	2	70	173,92	25	2550

## ИЗВОДИ

Резултатите от проведеното изследване на показателите за качество на електрическата енергия в двата търговски обекта - обект (М) и обект (Л) показват, че:

1. Установените средни стойности на фазовите напрежения ( $U_{L1}$  средно,  $U_{L1}$  мин,  $U_{L1}$  макс) за двата обекта са в границите на отклонение  $\pm 5\%$ . Екстремалните стойности на фазовите напрежения {обект (М) -  $U_{L1}$  (226 V мин; 237,5 V макс),  $U_{L2}$  (206 V мин; 238,2 V макс),  $U_{L3}$  (226,2 V мин; 236,8 V макс); обект (Л) -  $U_{L1}$  (234,2 V мин; 246 V макс),  $U_{L2}$  (235,8 V мин; 247 V макс),  $U_{L3}$  (235,8 V мин; 247,5 V макс)} с незначително отклонение на максималните стойности за фазите на обект (Л) са в рамките на нормата. Общите коефициенти на хармоничните изкривявания на напрежението за трите фази {обект (М) -  $THD_{UL1}$  (1,149 % средно; 1,71 % макс),  $THD_{UL2}$  (1,234 % средно; 1,84 % макс),  $THD_{UL3}$  (1,27 % средно; 1,83 % макс); обект (Л) -  $THD_{UL1}$  (1,149 % средно; 1,71 % макс),  $THD_{UL2}$  (1,67 % средно; 2,27 % макс),  $THD_{UL3}$  (1,67 % средно; 2,3 % макс)} са по-малки от 5 % и удовлетворяват изискванията на стандарта (БДС EN 50160, 2010);

2. Установените стойности на тока във фазите (обект (М) -  $IL1$  (мин 52,1 А ÷ макс 398,5 А),  $IL2$  (мин 50,2 А ÷ макс 286 А),  $IL3$  (мин 47,6 А ÷ макс 281 А); обект (Л) -  $IL1$  (мин 26 А ÷ макс 263 А),  $IL2$  (мин 20 А ÷ макс 248 А),  $IL3$  (мин 21 А ÷ макс 239 А) денонощно се променят в интервал до 7, 65 единици за обект (М) и до 12,4 единици за обект (Л). Общите коефициенти на хармоничните изкривявания по ток за трите фази са: {обект (М) -  $THD_{IL1}$  (4,04 % средно; 15,7 % макс),  $THD_{IL2}$  (3,91 % средно; 22,1 % макс),  $THD_{IL3}$  (4,31 % средно; 22,4 % макс); обект (Л) -  $THD_{IL1}$  (9,13 % средно; 26,4 % макс),  $THD_{IL2}$  (10,56 % средно; 31,1 % макс),  $THD_{IL3}$  (9,6 % средно; 25,3 % макс)}. Средните стойности за обект (М) и обект (Л) са под 10% (изключение  $THD_{IL2}$   $THD_{IL2}$  (10,56 % средно = 10,56 % за обект (Л)). Максималните стойности достигат до 26,4 % за обект (М) и до 31,1 % за обект (Л) и са по-малки от критичните 50 % (БДС EN 61000, 2014). Като цяло замърсяванията по ток за двата обекта са поносими и на този етап не са наложителни мерки за погасяването им.

3. Изменението на тока в неутралния проводник е: за обект обект (М) - 1,5 А мин, 13,7 А средно, 52 А макс; обект (Л) – 2 А мин, 26,25 А средно, 70 А макс. Интервалът на вариране на тока в обект (М) е 34,67 единици и за обект (Л) – 35 единици. Колебанията в рамките на денонощието са много високи. Изменение на общия коефициент на хармонични изкривявания в неутралния проводник  $THD_{IL4}$  е: за обект (М) - 7 % мин, 123,7 % средно, 2545 % макс; обект (Л) – 25 % мин, 173,92 % средно, 2550 % макс. Интервалът на вариране на коефициента в обект (М) е 363,6 единици и за обект (Л) – 102 единици. Колебанията в рамките на денонощието са изключително високи. Средните стойности надвишават критичните (БДС EN 61000, 2014) 50 %, съответно в обект (М) – 2,5 единици и за обект (Л) – 3,5 единици. Определено токът и хармониците в неутралния проводник са изключително високи. Необходими са срочни мерки за тяхното неутрализиране.

## REFERENCES

Ivanov, Kr., Velev, G., & Naumov, Ts. (2015). Power quality and energy efficiency in low voltage electrical power system of the technical university of Gabrovo. *Annals of the Constantin Brankusi University of Targu Jiu, Engineering Series*, №4.

Petrov, O., Petrova, P., & Ruseva, V. (2016). Izsledvane na harmonichnite zamarsyavaniya v elektricheskite mrezhi za osvetlenie, prichineni ot savremenni svetodiadni iztochnitsi, SCIENCE & TECHNOLOGIES, 2016, broy VI, str. 1-5 (**Оригинално заглавие:** Петров О., П. Петрова, Русева В. Изследване на хармоничните замърсявания в електрическите мрежи за осветление, причинени от съвременни светодиодни източници, SCIENCE & TECHNOLOGIES, брой VI, стр. 1-5).

Tsvetkova, S., Georgieva, A., Petrova, V., & Petleshkov A. (2016). Kachestvo na elektricheskata energiya v elektrosnabditelna sistema, zhranvashta hipermarket. *Energien forum Varna* (**Оригинално заглавие:** Цветкова, С., Георгиева, А., Петрова, В., & Петлешков А. (2016). Качество на електрическата енергия в електроснабдителна система, захранваща хипермаркет. Енергиен форум Варна).

БДС EN 50160. (2010) Karakteristiki na naprezhenieto na elektricheskata energiya dostavyana ot obshtestvenite razpredelitelni elektricheski sistemi (**Заглавие на български:** „Характеристики на напрежението на електрическата енергия доставяна от обществените разпределителни електрически системи“).

БДС EN 61000. (2014) Elektromagnitna savmestimost (EMS). Chast 3-2: Granichni stoynosti. Granichni stoynosti za izlachvaniya na harmonichni sastavyashti na toka (vhoden tok na ustroystva/saorazheniya  $\leq 16$  А за фаза). (**Заглавие на български:** Електромагнитна съвместимост (ЕМС). Част 3-2: Гранични стойности. Гранични стойности за излъчвания на хармонични съставящи на тока (входен ток на устройства/съоръжения  $\leq 16$  А за фаза) (IEC 61000-3-2:2014)).

БДС EN 61000. (2017). Elektromagnitna savmestimost (EMS). Chast 4-30: Metodi za izpitvane i izmervane. Metodi za upravlyavane kachestvoto na elektricheskata energiya (**Заглавие на български:** Електромагнитна съвместимост (ЕМС). Част 4-30: Методи за изпитване и измерване. Методи за управляване качеството на електрическата енергия).