

КАЧЕСТВО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА СИСТЕМА, ЗАХРАНВАЩА ОБОСОБЕНИ КОНСУМАТОРИ

Анна Георгиева, Светлана Цветкова

Резюме: В доклада са представени резултати от направено измерване и анализ на показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителна система, захранваща обособени консуматори в предприятие за оптични кабели. Целта на проведеното изследване е оценка на показателите и на правилното разпределение на товарите по фази.

Ключови думи: електроснабдителна система, качество на електрическата енергия, захранващо напрежение, хармоници.

QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY IN AN ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM, SUPPLING SEPARATE CONSUMERS

Anna Georgieva, Svetlana Tzvetkova

Abstract: The report presents the results of measurements and analysis of the quality indexes of electrical energy in an electrical supply system, supplying separate consumers in a fiber optic production plant. The aim of the research is to evaluate the indexes and the correct distribution of the loads by phases.

Keywords: electrical supply system, power quality, supply voltage, harmonics.

1. Въведение

Електрическата енергия, която се доставя до крайните потребители е необходимо да бъде с определено качество, за да осигури добра работа и удължен живот както на захранващите проводници и кабели, така и на оборудването. Качеството на електрическата енергия се характеризира с непрекъснатост на захранването, постоянна честота, постоянна големина и синусоидална форма на захранващото напрежение. В действителност тези параметри не могат да бъдат строго постоянни, защото им влияят редица системни и случайни фактори и варират около определени стойности.

Всеки консуматор на електрическа енергия е предназначен да работи при номинални или близки до тях параметри на електрическата енергия (напрежение, честота и др.), поради което за неговата нормална работа трябва да бъде осигурена качествена електрическа енергия [1].

Отклонението на напрежението оказва върху консуматорите и елементите на електроснабдителната система следните отрицателни въздействия: увеличава

продължителността на технологичния процес; намалява производителността и увеличава себестойността на продукцията; разстройва технологичния процес и увеличава разхода на суровини и брака в продукцията; съкращава живота на изолацията, консуматорите и елементите на електроснабдителната система.

Несиметричните режими на напрежението и тока в електроснабдителните системи са кратковременни и продължителни. Кратковременната несиметрия възниква при несиметрични къси съединения. Причините за възникване на продължителната несиметрия са: несиметричен режим на напрежението на захранващия източник; непълнофазни режими на електрическата мрежа, предизвикани от изключване на линии и/или трансформатори по фази; неравномерно разпределение на товарите.

През последните години, нивата на хармониците се покачват много бързо в електрическите захранващи системи поради широкото разпространение на уреди с нелинейни характеристики, които генерират висши хармоници, IT оборудване, приемници на TV сигнали и др.

В доклада са представени резултати от направено измерване и анализ на показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителна система, захранваща обособени консуматори в производствено предприятие за оптични кабели. Целта на проведеното изследване е оценка на показателите и на правилното разпределение на товарите по фази.

2. Определяне на показателите за качество на електрическата енергия

Измерването е проведено на извод ниско напрежение в електромерно табло, захранващо част от етаж на предприятие за производство на оптични кабели. Захранването се осъществява на ниско напрежение 0,4/0,23 kV с кабели и за осигуряване на непрекъснато електроснабдяване се използва дизел агрегат. От таблото се захранват електрически машини, електрически пещи за изпичане лепилото на кабелите, компютърни системи и луминесцентно осветление. Таблото е разделено на две секции. Инсталираната мощност на първа секция „Дизел генератор“ е 91,4 kW с работен ток 131,9 A. На втора секция „Работна“ инсталираната мощност е 12,7 kW с работен ток 18,3 A.

Измерването е проведено с преносим анализатор на качеството на електрическата енергия съгласно БДС EN 50160 [2], който позволява откриване и проследяване на потенциални дефекти и повреди в мрежата. Измервателният уред отговаря на IEC 61000-4-30 [3]. Приборът дава възможност за запис на: фазни и линейни напрежения, токове, мощност (активна, реактивна и пълна), честота на захранващото напрежение, отклонение на напрежението, хармонични съставки на напрежението и тока, общо хармонично изкривяване на напрежението и тока, несиметрия на напрежението и тока, бързи изменения на напрежението, фликер, пропадания и прекъсвания на напрежението.

Включването на измервателният уред е трифазно, директно към захранващото напрежение. За оценка на измерването се вземат под внимание пределните стойности на показателите за качество на електрическата енергия съгласно [1, 2, 4].

Периодът на измерване е една седмица от 15.05 до 22.05.2018 г., с период на осредняване от 10 минути. За всеки период от 10 минути се определят минималната, средната и максималната стойност на изследваните величини. За даденият период са събрани 1008 броя данни за всеки от показателите, разпределени съответно 287 броя през нощта от 23 до 6 часа и 721 броя по време на работния ден от 6 до 23 часа. Данните от измерванията са обработени със специализиран софтуер.

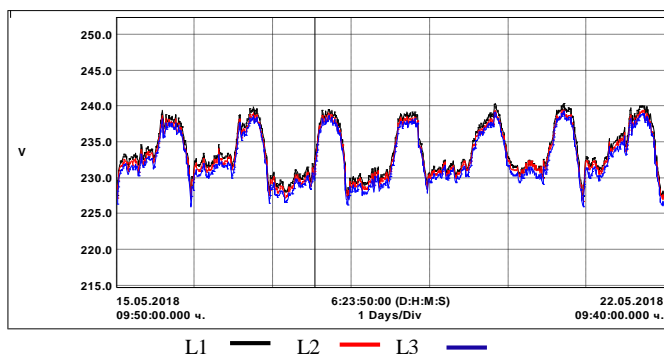
2.1. Честота

Честотата на захранващото напрежение за периода на измерване е почти постоянна, като нейната средна стойност е 50 Hz. Максималната стойност на честотата е 50,05 Hz, а минималната е 49,94 Hz. Максималното отклонение на честотата е -0,06 Hz (-0,12%). Следователно в 100% от измерванията, измерените стойности на честотата на захранващото напрежение отговарят на нормата от $50\text{Hz} \pm 1\%$ (49,5 Hz до 50,5 Hz) за период от една седмица, дадена в [1, 2, 4].

2.2. Напрежение

За номинално напрежение, служещо за опорно се използва напрежение 230 V и 400 V. Съгласно БДС EN 50160 при нормални условия на работа, 95% от средните ефективни стойности на захранващото напрежение за 10 минути трябва да бъдат в обхвата на $\pm 10\% U_N$ за всеки период от една седмица, т.е. в диапазона от 207 до 253 V и от 360 до 440 V.

Изменението на фазните напрежения е показано на фиг. 1. В Таблица 1 са дадени минималната, средната и максималната стойност. Максималното отклонение на фазните напрежения е: 4,52% за L1, 4,13% за L2 и 4,04% за L3.



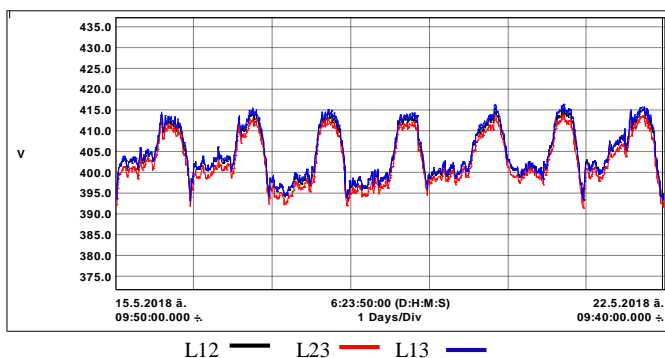
Фиг. 1. Изменение на фазните напрежения

Таблица 1

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
Фазно напрежение, V	L1	227,3	233,9	240,4
	L2	226,7	233,3	239,5
	L3	226,0	232,7	239,3

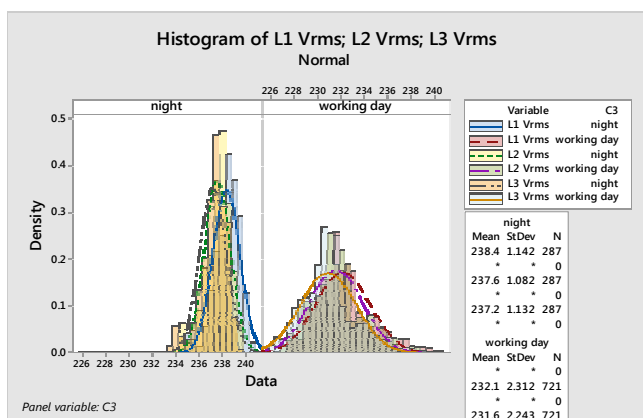
На фиг. 2 е показано изменението на линейните напрежения, а в Таблица 2 са дадени минималната, средната и максималната им стойности. Максималното отклонение на линейните напрежения е съответно: 3,88% за L12, 3,50% за L23 и 4,10% за L13.

На фиг. 3 са показани хистограмите на трите фазни напрежения. Вижда се, че както през нощта (неработно време), така и през деня (работно време) и трите напрежения имат нормално разпределение. Математическото очакване на фазните напрежения през нощта е 238,4V за L1, 237,6V за L2 и 237,2V за L3 и през деня е 232,1V за L1, 231,6V за L2 и 230,9V за L3.

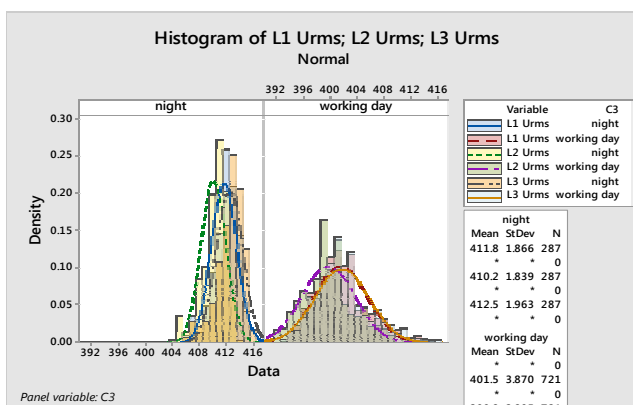


Фиг. 2. Изменение на линейните напрежения

На фиг. 4 са показани хистограмите на линейните напрежения. И трите линейни напрежения имат нормално разпределение. Математическото очакване на линейните напрежения през нощта е 411,8V за L12, 410,2V за L23 и 412,5V за L13 и през деня е 401,5V за L12, 399,8V за L23 и 401,7V за L13.



Фиг. 3. Хистограми на фазните напрежения



Фиг. 4. Хистограми на линейните напрежения

И на фазните и на линейните напрежения, през нощта хистограмите са изместени надясно и са с по-малко средноквадратично отклонение, т.е. с по-малко разсейване. През деня (в работно време) разсейването е по-голямо, но хистограмите са по-добре разпределени и центрирани около средната стойност.

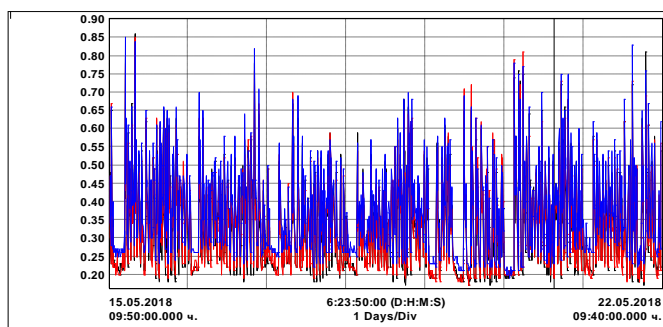
Краткотрайни спадания и пренапрежения на захранващото напрежение не се наблюдават.

2.3. Фликер

Бързите изменения на напрежението се оценяват по стойността на фликера и неговата строгост за дълъг интервал от време. В Таблица 3 са дадени минималната, средната и максималната стойност на фликера за трите фази, а на фиг. 5 е показано неговото изменение за периода на измерване.

Съгласно БДС EN 50160 при нормални условия на работа бързите изменения на напрежението трябва да са не по-големи от $5\%U_N$ или изменения до $10\%U_N$ с малка продължителност могат да настъпват няколко пъти на ден при някои условия. Фликерът трябва да е по-малък от 1 за 95% от период от

една седмица [1, 2, 4]. В случая, 100% от измерените стойности на фликера са под допустимата стойност от 1.



L1 — L2 — L3 —

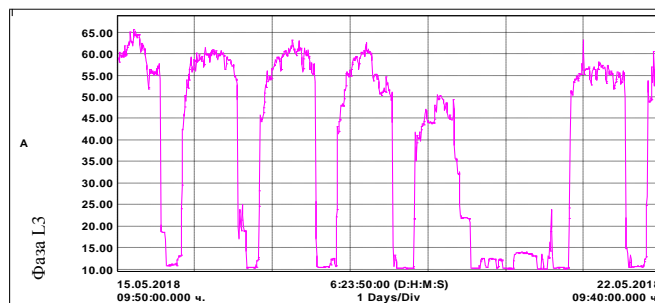
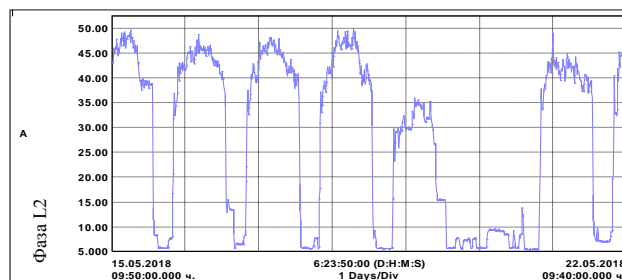
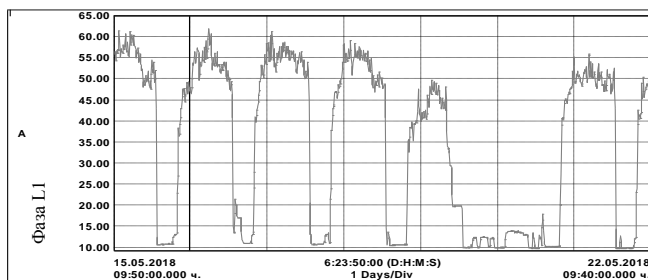
Фиг. 5. Фликер

Таблица 3

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
Фликер	L1	0,17	0,33	0,86
	L2	0,17	0,33	0,85
	L3	0,19	0,37	0,85

2.4. Токове

На фиг. 6 е показано изменението на тока в трите фази и часовете на работа на обекта.



Фиг. 6. Изменение на фазните токове

В Таблица 4 са дадени минималната, максималната и средната стойност на токовете за периода на измерване. Максималното натоварване на фаза L1 е 61,9А, фаза L2 е 65,6А, а на фаза L3 е 50,0А.

Вижда се, че натоварването в трите фази е различно. Най-натоварена е втора фаза с измерена максимална стойност на тока от 65,6А. Токът на първа фаза е с 5,64% по-малък от тока на втора фаза. Токът на трета фаза е с 23,8% по-малък от тока на втора фаза. Разликата в стойностите на токовете е значителна, като

Таблица 4

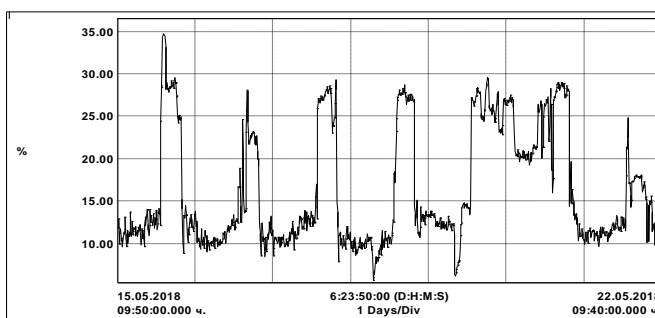
Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
Ток, А	L1	9,70	34,84	61,9
	L2	10,10	37,81	65,6
	L3	5,40	27,61	50,0

причина за това може да бъде разпределението на монофазните товари между фазите. Минималните стойности на тока са измерени през нощта, когато натоварването е по-малко, както и в неделя когато няма производство.

2.5. Несиметрия на напрежението и тока

Максималната измерена стойност на несиметрията на напрежението е 0,50%. Според БДС EN 50160 несиметрията трябва да бъде в граници от 0 до 2% за 95% от период от една седмица. Следователно 100% от измерените стойности на несиметрията на напрежението са под допустимата граница от 2%.

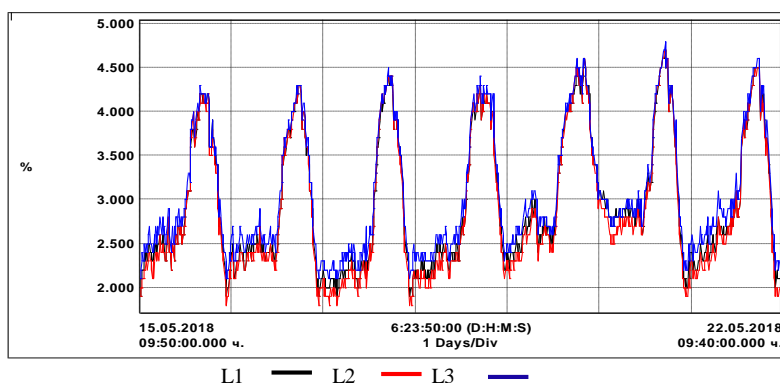
На фиг. 7 е показана несиметрията на тока. В по-голямата част от времето несиметрията на тока е в границите от 5,7 до 15%. В отделни моменти през работния ден са регистрирани много високи стойности, но с неголяма продължителност. През нощта несиметрията на тока е силно увеличена и голяма част от стойностите са над 20%, като в определени случаи надхвърлят 30%. Забелязва се, че несиметрията се повишава през времето, когато фирмата не работи.



Фиг. 7. Несиметрия на тока

2.6. Хармоници на напрежението и тока

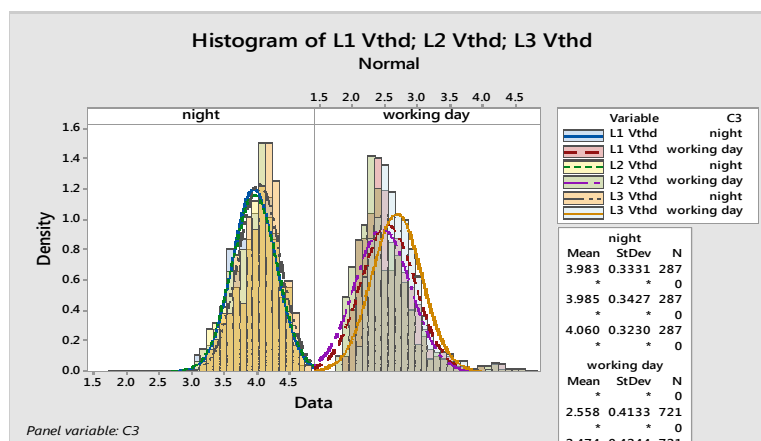
На фиг. 8 е показано общото хармонично изкривяване на фазните напрежения. Измерените максимални стойности са съответно 4,7% за фаза L1, 4,8% за фаза L2 и 4,7% за фаза L3. Следователно в 100% от случаите големината на общото хармонично изкривяване на захранващото напрежение не превишава допустимата норма от 8% за мрежи ниско напрежение, дадена в БДС EN 50160 [1, 2, 4].



Фиг. 8. Общо хармонично изкривяване на фазните напрежения

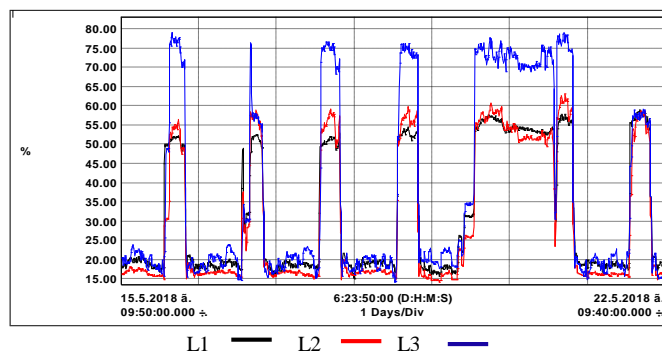
На фиг. 9 са дадени хистограмите на общото хармонично изкривяване на фазните напрежения, съответно през деня (работно време) и през нощта (неработно време). И в трите фази се наблюдава увеличение на стойностите на общото хармонично изкривяване на напрежението през нощта. Математическото очакване на общото хармонично изкривяване на фазните

напрежения през нощта е 3,983% за L1, 3,985% за L2 и 4,060% за L3 и през деня е 2,558% за L1, 2,474% за L2 и 2,697% за L3. През нощта хистограмите са изместени на дясно, т.е стойностите на хармониците на напрежението са по високи, от тези през деня, чиято хистограма съответно е изместена наляво. Средноквадратичното отклонение е малко и за всички фази измерванията са с малко разсейване.



Фиг. 9. Хистограми на общото хармонично изкривяване на фазните напрежения

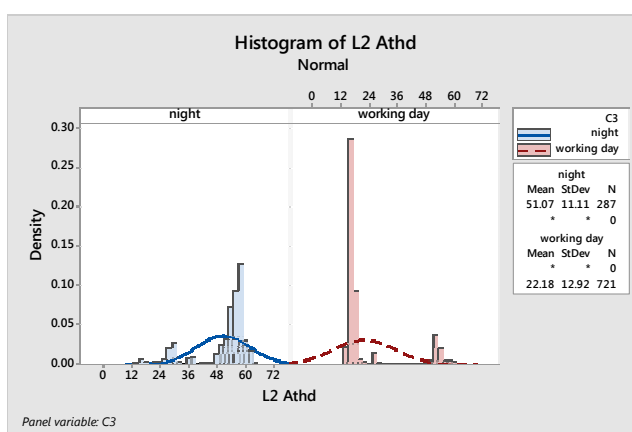
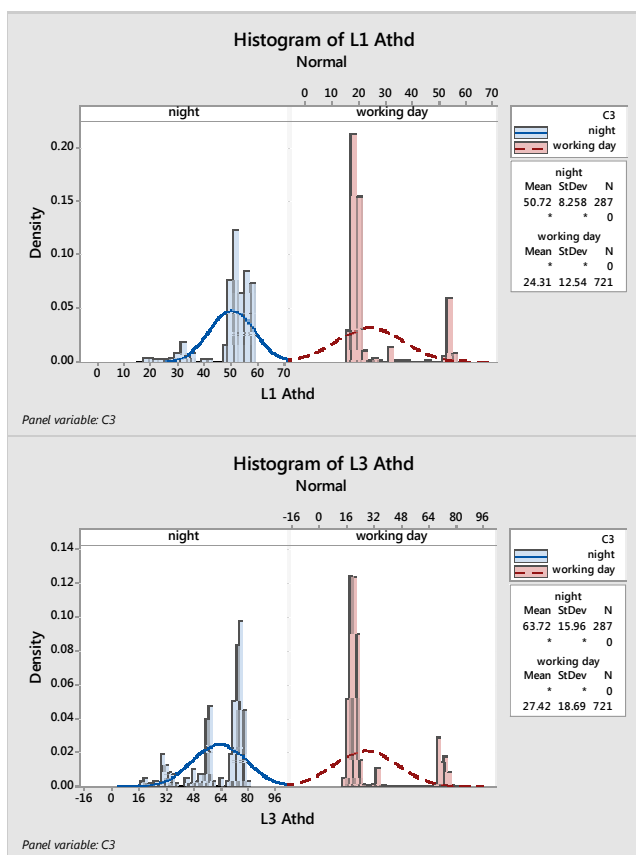
На фиг. 10 е показано общото хармонично изкривяване на фазните токове. Максималните измерени стойности са съответно 58,9% за L1, 63,3% за L2 и 79,2% за L3. В повече от 5% за период от една седмица, измерените стойности на общото хармонично изкривяване на тока са по-високи от допустимата стойност от 25%, дадена в БДС IEC 61000-3-4 [5] за мрежи ниско напрежение.



Фиг. 10. Общо хармонично изкривяване на фазните токове

На фиг. 11 са дадени хистограмите на общото хармонично изкривяване на фазните токове, съответно за работно време и през нощта. И в трите фази се наблюдава увеличение на хармониците нощем и през почивните дни. Хистограмите не са с нормално разпределение – изолирани хистограми, които говорят вероятно за краткотрайни включвания на уреди денем, създаващи хармоници.

В Таблица 5 са дадени максималните измерени стойности на хармониците на напрежението и нормите им [1, 2, 4]. Наблюдават се нечетни хармоници от 3 до 25 хармоник. Най-голямо е съдържанието на 5 и 7 хармоник, с максимална измерена стойност съответно 4,8% и 1,2%. Всички измерени стойности на хармониците на напрежението са много по-ниски от допустимите норми. Четни хармоници на напрежението не се наблюдават.



Фиг. 11. Хистограми на общото хармонично изкривяване на фазните токове

В Таблица 6 и Таблица 7 са дадени максималните измерени стойности на хармониците на тока и нормите им [5]. Наблюдават се всички нечетни хармоници до 25 хармоник, като всички те са много по-високи от допустимите стойности. Наблюдават се четни хармоници на тока, като само 8 и 14 хармоник са над допустимата норма.

Таблица 5

	Номер на хармоника											
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Максимална стойност, %	0,6	4,8	1,2	0,2	0,5	0,6	0,2	0,8	0,5	0,1	0,7	0,6
Норма по БДС EN 50160, %	5,0	6,0	5,0	1,5	3,5	3,0	0,3	2,0	1,5	0,2	1,5	1,5

Таблица 6

	Номер на хармоника											
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Максимална стойност, %	29,0	48,8	44,7	15,8	29,2	30,9	5,6	23,1	20,5	3,7	11,4	9,5
Норма по БДС ИЕС 61000-3-4, %	21,6	20,7	7,2	3,8	3,1	2,0	0,7	1,2	1,1	0,6	0,9	0,8

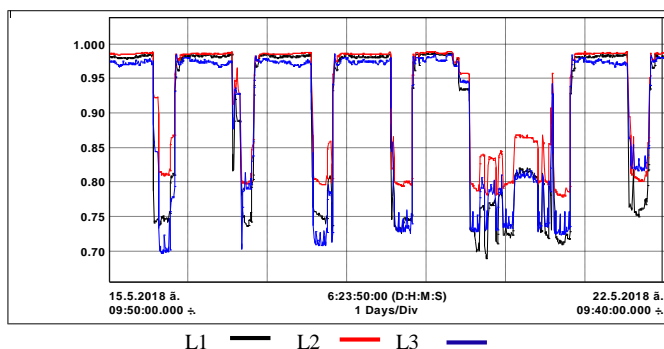
Таблица 7

	Номер на хармоника											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Максимална стойност, %	2,6	1,4	1,1	1,1	1,0	0,7	0,7	0,5	0,4	0,2	0,5	0,3
Норма по БДС ИЕС 61000-3-4, %	4,0	2,0	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

2.7. Фактор на мощността, активна, реактивна и пълна мощност

На фиг. 12 са дадени измерените стойности на фактора на мощността на отделните фази, а в Таблица 8 минималната, максималната и средната стойност. Вижда се, че при увеличение на хармониците на тока, фактора на мощността намалява и съответно реактивната съставляваща на тока се увеличава. Средната стойност на фактора на мощността е между 0,90 и 0,93.

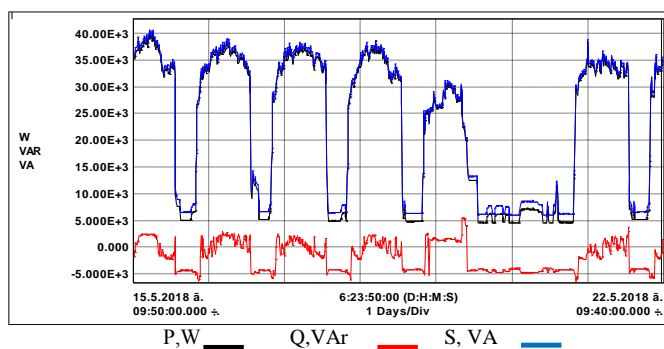
На фиг. 13 са дадени сумарните активна, реактивна и пълна мощности.



Фиг. 12. Фактор на мощността

Таблица 8

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
Фактор на мощността	L1	0,690	0,899	0,988
	L2	0,779	0,926	0,989
	L3	0,697	0,900	0,986



Фиг. 13. Активна, реактивна и пълна мощност

Таблица 9

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
P, kW	L1	1,65	7,45	14,18
	L2	1,89	8,50	15,03
	L3	0,95	6,12	11,23
	Sum	4,55	22,4	39,93
Q, kVAr	L1	-2,76	-1,91	1,93
	L2	-2,56	-0,46	2,57
	L3	-1,64	0,70	2,76
	Sum	-6,27	-1,66	5,61
S, kVA	L1	2,26	8,12	14,38
	L2	2,35	8,78	15,24
	L3	1,31	6,39	11,53
	Sum	5,98	23,29	40,73

В Таблица 9 са дадени максималните стойности на активната, реактивната и пълна мощност за периода на измерване.

Забелязва се връщането на реактивна мощност по време на почивките на компанията, което води до допълнителни загуби, „прекомпенсиране“ и заплащане на допълнителна енергия, но тъй като стойностите им са малки, биха могли да се пренебрегнат.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените измервания и анализ, може да се каже, че качеството на електрическата енергия е добро. Извън нормите са общото хармонично изкривяване на тока и несиметрията на тока през нощта. Увеличението на хармониците през нощта се дължи на работещото луминесцентното осветление. Наличието на хармоници на тока води до преждевременното стареене на изолацията на тоководещите части и от там до съкращаване на експлоатационния срок на съоръженията.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цанев Ц., С. Цветкова, *Качество на електрическата енергия*, Авангард Прима, София, 2011.
- [2] BDS EN 50160:2011 „*Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks*”.
- [3] BDS IEC 61000-4-30:2015 „*Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods*”.
- [4] ДКЕВР, „*Показатели за качество на електроснабдяване*”, 2010.
- [5] BDS IEC 61000-3-4:1998 „*Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A*”.

Автор: Светлана Цветкова, доц., д-р, маг. инж., катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Електротехнически факултет, *e-mail:* stzvet@tu-sofia.bg; Анна Георгиева, маг. инж., докторант, ТУ-София, катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, Електротехнически факултет, *e-mail:* georgieva.a@gmail.com.

Постъпила на 11.09.2018 г.

Рецензент: доц. д-р Николай Матанов