

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕТО В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНАТА СИСТЕМА НА ПРОМИШЛЕН ОБЕКТ

Милен Дуганов

*Технически университет-Варна, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане”
докторант
email: m.duganov@tu-varna.bg*

RESEARCH AND ANALYSIS OF ELECTRICITY CONSUMPTION IN THE ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM OF AN INDUSTRIAL FACILITY

Milen Duganov

*Technical University of Varna, “Department of Electric Power Supply and Equipment” PhD
Student
email: m.duganov@tu-varna.bg*

Abstract

The article presents an analysis of electricity consumption modes in a public service building. The relevance of the task of maintaining load stability is constantly increasing, as processes become more and more complex. The critical load parameters are the most important factor that defines the limit of static stability of the load and establishes the range of normal operating conditions. The essential role is to present the definitions and understandings for assessing the quality of electricity consumption. The main task of the study is to check the indicators of the quality of electricity for end users at low voltage ($U = 400V$) in the power supply system of public buildings. The object of the study is the internal power supply system of the campus of the Technical University - Varna, Bulgaria. The results of the research can be used in the analysis of other similar public buildings.

Keywords: power consumption modes, the quality indicators of electrical energy, power factor, power quality, harmonic distortion.

ВЪВЕДЕНИЕ

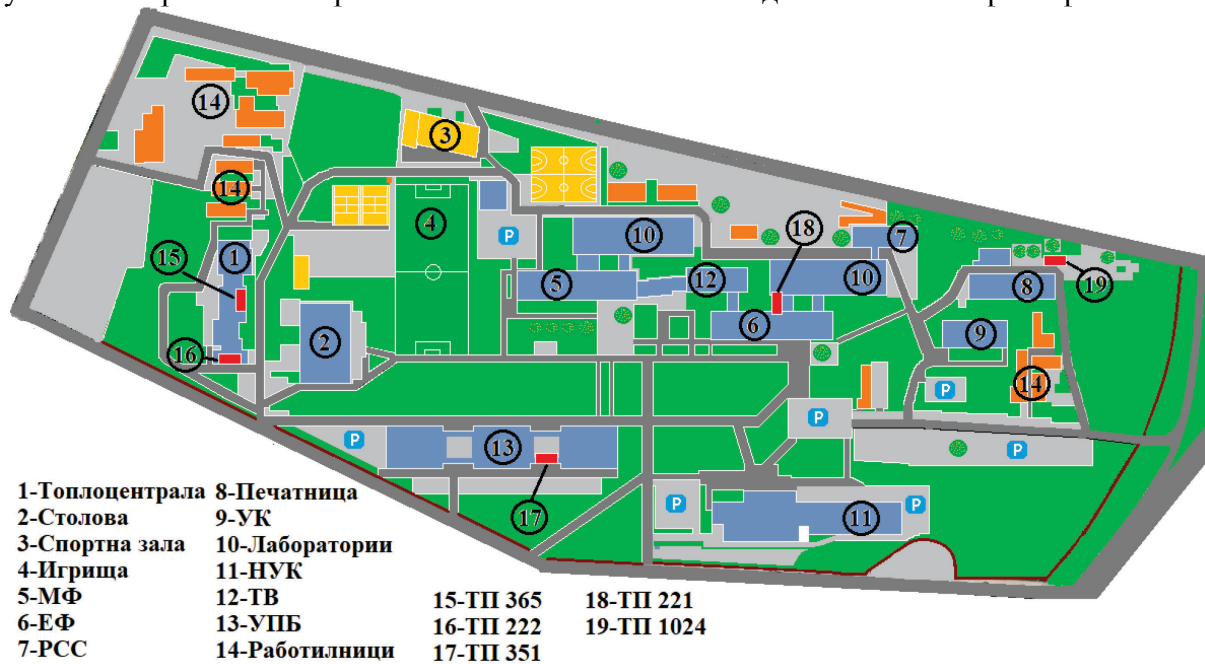
В последните години чувствително нарасна броят и мощността на електрическите потребители, влошаващи показателите за качеството на електрическата енергия, същевременно нарастват и изискванията към тях. Един от основните показатели за оценка електроснабдяването, е качеството на доставяната електрическата енергия. Негативно влияние върху работата на всички електрически маши-

ни, съкращавайки техния експлоатационен живот, оказват несинусоидалните ток и напрежение. Тези режими водят до необратими химични промени в изолацията на кабелите, влошавайки работата на устройствата за автоматизация, електрически устройства и др. Хармоничния състав на напрежението и/или тока имат изключително негативен ефект върху работата на системите за компенсиране на реактивната мощност,

базиран на кондензаторни батерии (КВ) По-високите нива на хармоници в кривата на напрежението водят до съкращаване на експлоатационния живот на кабелите, и до увеличаване на повредите в кабелните мрежи. [1], [2], [3]. Освен това оказват вредно въздействие, причинявайки увеличаване на съдържанието на висши хармоници в токовете на земно съединение, намалявайки ефективната работа на дъгогасителните устройства. Повишава се опасността от поява на условия за развитие на резонансни явление,

водещи до намаляване на живота на електрически съоръжения, елементи на компенсаторни системи и/или тяхната неизправност. Несинусоидалната форма на кривата на напрежението оказва голямо влияние върху работата на апаратите за измерване на активна и реактивна енергия, водейки до появата на грешки в измерването. Тези негативни въздействия поставят въпроси по отношение анализа и контрола на качествените показатели на електрическата енергия.

Изследването на електропотреблението



Фиг. 1. План на Технически университет – Варна

и режимите на работа в електроснабдителните системи както заедно, така и поотделно, имат съществено теоретично и практическо приложение [4], [5].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Предмет на изследването е вътрешната електрозахранваща система на Технически университет – Варна. На фиг. 1. е показано разположението на сградите и на трафопостовите (ТП) на територията на университета. Захранването с електрическа енергия (ЕЕ) се осъществява от страна СрН 10kV на ПС „Изток“, чрез трансформаторна подстанция ТП408, посредством кабел АСБ 3 (1x120) с дължи-

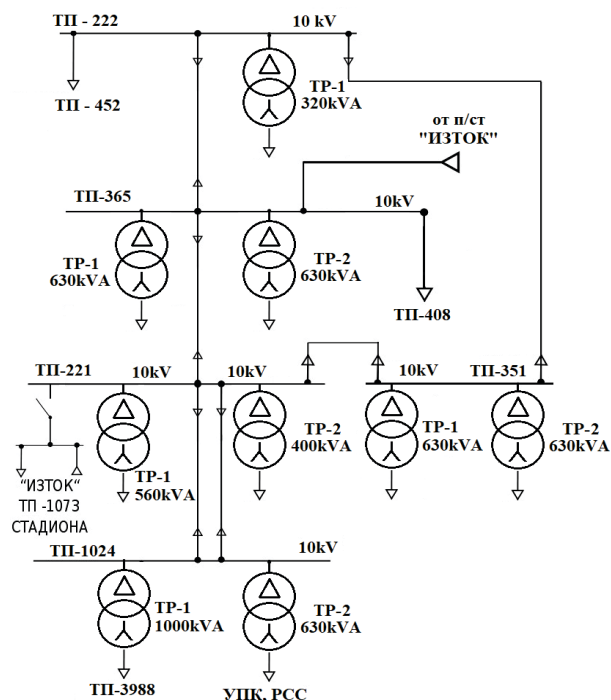
на $L=500m$, свързан към шините на ТП365. Електроснабдителната система (ЕСС) е изградена пръстеновидно с пет ТП, показани на фиг. 2, а захранващият контур за подстанцията „Изток“ се затваря чрез свързване на ТП221 с ТП1073. По този начин се изпълнява резервирането на всеки ТП. Осъществено е и двойно свързване между ТП221 и ТП1024.

Обект на настоящото изследване са две от трансформаторните подстанции, чрез които се осъществява основното електрозахранване на сградите в кампуса - ТП365 и ТП1024.

ТП365 е разположен в западната част на ТУ-Варна, изграден е в сградата на

“Топлоцентралата”. Където са монтирани два силови трансформатора (СТ). Основни консуматори са топлоцентралата, столова (кухня майка), спортна зала, работилници (строителна борса), и др.

ТП1024 е разположен в северо-източната част на университета, оборудван е с два СТ. Основни консуматори са печатница, УК, университетски работилници и помещения с наематели.



Фиг. 2. Еднолинейна схема на ЕСС

В таблици 1. и 2. са посочени характеристиките на изследваните трансформаторни подстанции.

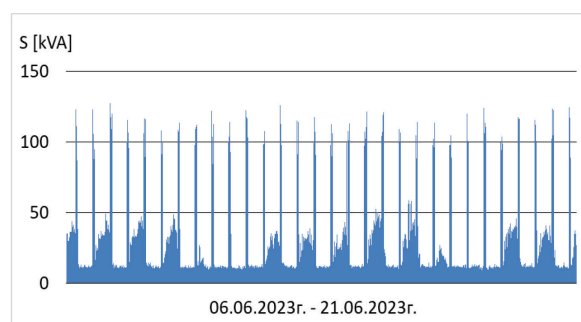
ТП-365	
Тип СТ	TM1, TM2 TM630
Номинална мощност	630kVA
Номинално работно напрежение СрН	20 / 10kV
Номинално работно напрежение НН	0,4kV
Загуби на празен ход	1440W
Загуби на късо съединение	8100W
Напрежение на късо съединение	6%

Таблица. 1. Паспортни данни на СТ, за ТП365

ТП-1024	
Тип СТ	TM1 TM1000
Номинална мощност	1000kVA
Номинално работно напрежение СрН	20 / 10kV
Номинално работно напрежение НН	0,4kV
Загуби на празен ход	2100 W
Загуби на късо съединение	11600 W
Напрежение на късо съединение	6%
Тип СТ	TM2 TM630
Номинална мощност	630kVA
Номинално работно напрежение СрН	20 / 10kV
Номинално работно напрежение НН	0,4kV
Загуби на празен ход	1440W
Загуби на късо съединение	8100W
Напрежение на късо съединение	6%

Таблица. 2. Паспортни данни на СТ за ТП1024

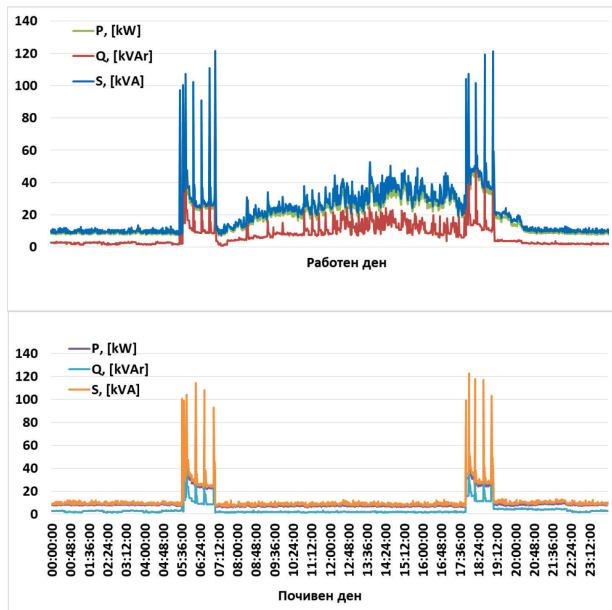
Измерванията в ТП са направени на страна ниско напрежение, с помощта на анализатор за качество на електроенергията клас S, Metrel MI 2885 Master Q4. Измерванията за всяка подстанция бяха извършени за период от две седмици с честота на вземане на проби от 1 минута. Динамиката на изменението на пълната мощност за 14 дневен период е показана на фиг. 3.



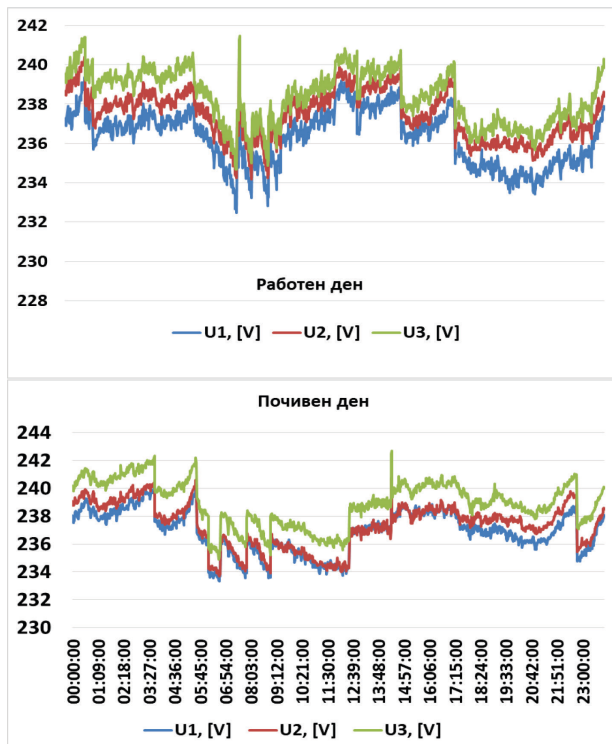
Фиг. 3. Изменение на пълната мощност S, [kVA], за 14 дневен период

Резултатът показва, че процесът е повторим. Това означава, че може да се направи надеждно изследване, като се анализират само два типични 24-часови дни, работен и почивен ден.

А. Експериментални резултати за под-станция ТП365



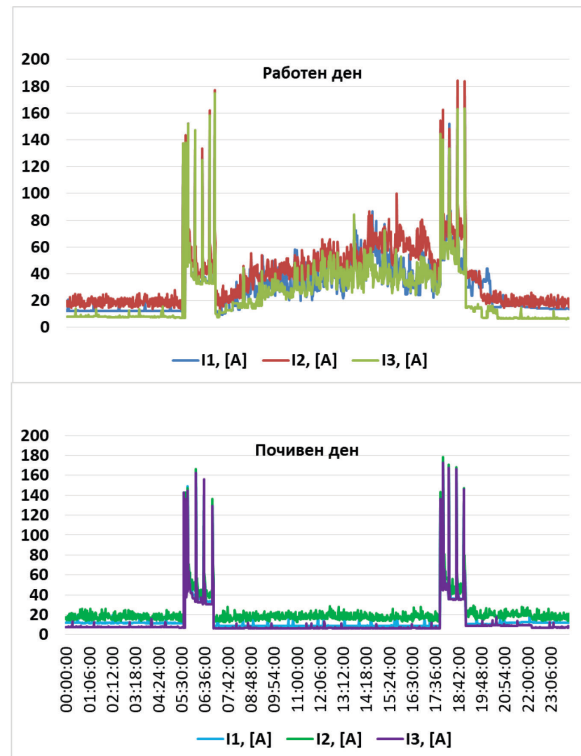
Фиг. 4. Изменение на пълната мощност S , [kVA], реактивната Q , [kVAr] и активната P , [kW] за 24-часов период



Фиг. 5. Изменение на напрежението U_1, U_2 и U_3 , [V], за 24-часов период

Резултатите на изменение на мощността фиг. 4 показват, че освен оперативните включвания на котелните инсталации, натоварващи до 1/6 от работните

режими на СТ, друг съществен товар не се включва. Разликата в консумацията на електрическа енергия между работен и почивен ден е много малка.



Фиг. 6. Изменение на тока I_1, I_2 и I_3 [A], за 24-часов период

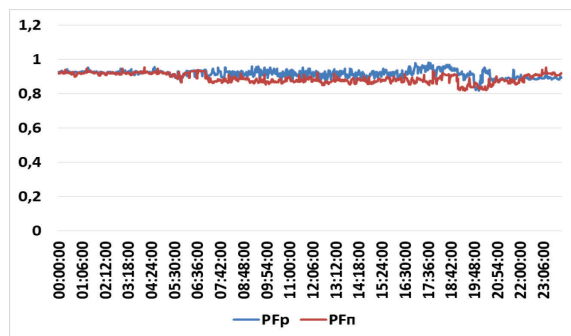
Средния коефициент на натоварване β за работен и неработен ден определен от:

$$\beta = \frac{S}{S_N} \quad (1)$$

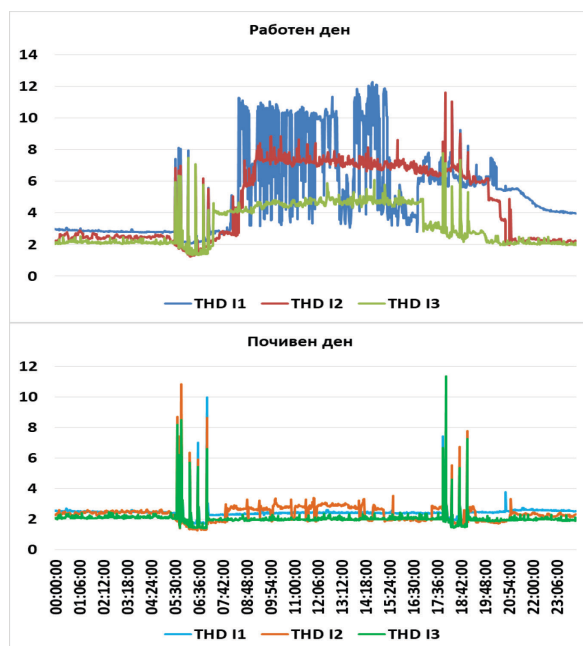
където: S , [kVA] – действителната (измерена) пълна мощност; S_N , [kVA] – номиналната мощност на СТ, $\epsilon_{\beta P} = 0,03$ и $\epsilon_{\beta Q} = 0,019$. Това допринася отклонението на напрежението показано на фиг.5 да е в рамките на +/-10% и да отговаря на допустимия диапазон съгласно стандарт EN50160. Динамиката на изменението на напрежението са външни фактори и не е свързано с изменението на товара във вътрешната електрозахранваща система. Динамиката на промяната на тока показана на фиг.6 следва формата на графиката на мощността и това се очаква, тъй като промяната на тока е пропорционална към

общата промяна на мощността, отколкото към промяната на напрежението[6].

Ниските стойности на коефициента на натоварване - β се отразяват благополучно единствено на факторът на мощността - PF, чиито стойности не се изменят с голяма динамика. Като изменението на PF е показано на фиг. 7 и за двата дни (работен и почивен) е в диапазона от 0,82 до 1 за целия период. На фиг.8 представя резултати за токовото хармонично замърсяване в мрежата на трансформаторна подстанция ТП365 в абсолютни единици. Достигат максимални стойности THDI= 15% през работен ден и до THDI=7% през почивен ден.

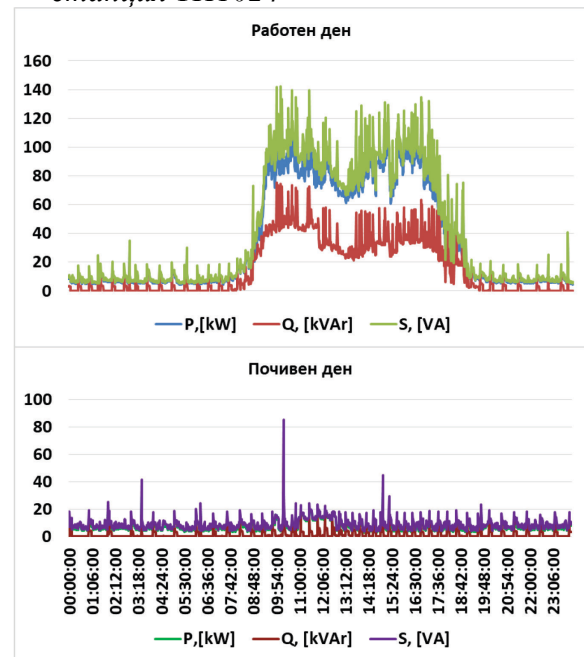


Фиг. 7. Изменение на факторът на мощност PF, за 24-часов период, за работен и почивен ден



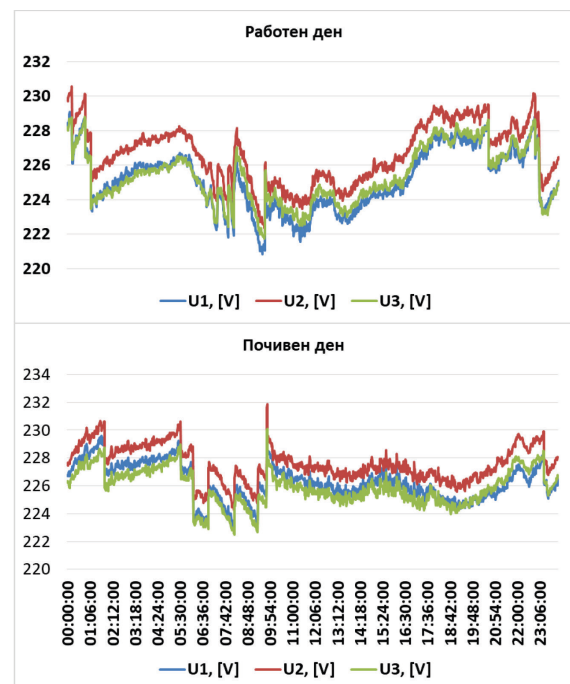
Фиг. 8. Изменение на хармоничния състав на тока $THDI_1, THDI_2$ и $THDI_3$ [A], за 24-часов период

Б. Експериментални резултати за подстанция ТП1024



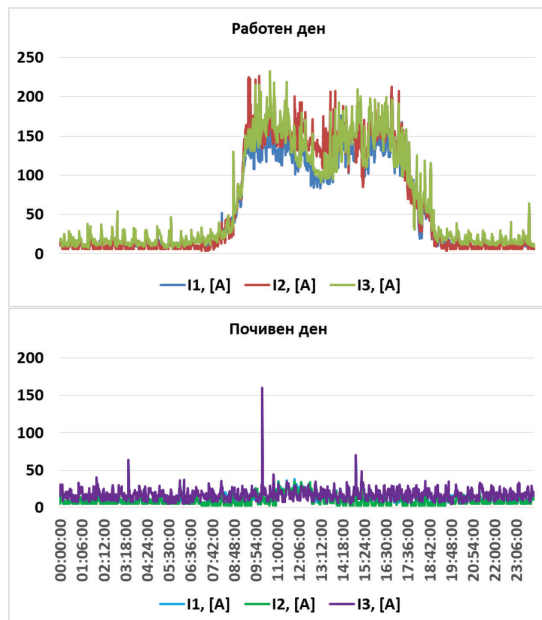
Фиг. 9. Изменение на пълната мощност S , [kVA], реактивната Q , [kVAr] и активната P , [kW] за 24-часов период

Изследван е трансформатор ТМ1000, анализът на резултатите от изследването показва очакваната динамика за периода, характеризиращ се с голяма разлика в ПОГ-

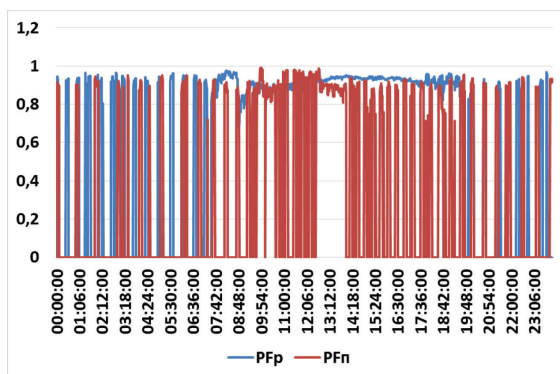


Фиг. 10. Изменение на напрежението U_1, U_2 и U_3 , [V], за 24-часов период

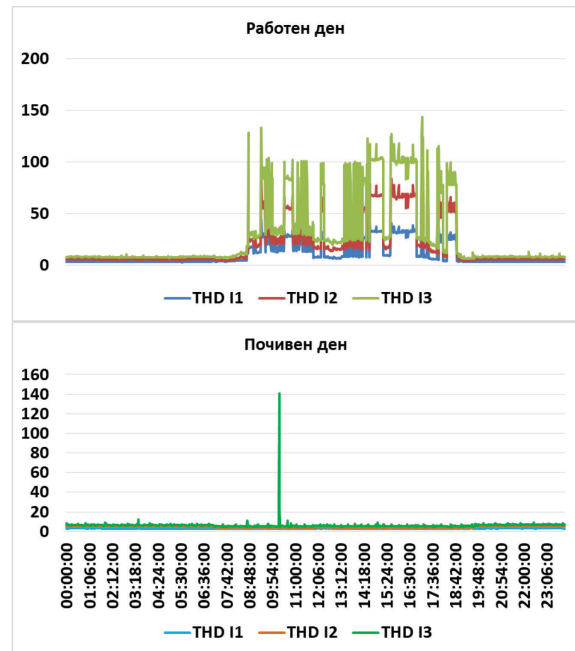
реблението на електроенергия между дена и нощта, показан на фиг. 9 и също толкова голяма в работния и почивния ден. Получените резултати за консумацията на енергия показват нисък максимален товар, около 14-15%. Фигури 10, 11 и 12 показват промяната на захранващите напрежения, токовете на натоварване и фактора на мощността. Най-голямата промяна във фактора на мощността се наблюдава в почивните дни от 22:00 до 5:00 часа. Отклонението на напрежението е в рамките на +/- 10% и отговаря на допустимия диапазон съгласно стандарт EN50160. Динамиката на изменението на токовете напълно съвпада с тази на изменението на мощността.



Фиг. 11. Изменение на тока I_1, I_2 и I_3 [A], за 24-часов период



Фиг. 12. Изменение на факторът на мощност PF, за 24-часов период, за работен и почивен ден



Фиг. 13. Хармоничен състав $THDI_1, THDI_2$ и $THDI_3$ [A], за 24-часов период

На фиг. 13 са представени резултати за хармонично замърсяване в мрежата на трансформаторна подстанция ТП1024. Токовете хармоници достигат максимални стойности за работен ден, съответно $THDI_1=42\%$ и $THDI_2=10\%$ през почивен ден. Пиковите в трите тока, показани на фиг. 11, се дължат на работата на лабораторията по заваряване, работилниците и фирмите ползвачи помещенията, свързани към този трафопост.

Ниските нива на натоварване и на двете изследвани ТП и конкретно на СТ е недопустимо. Може да доведе до промяна на напрежението на клемите; повишаване на риска от прегряване, водещо до повишаване на вътрешната консумация на активна мощност, респективно повишаване загубите на мощност. Ненатоварен СТ увеличава своето вътрешно съпротивление, което е причина за поява пад на напрежение на клемите, а от там и върху ефективността му. В допълнение, липсата на товар може да доведе до повишени токове на празен ход, което може да причини пренапрежение и повреда на намотките.

Техническите решения за подобряване показателите за качеството на електрическата енергия (ПКЕЕ) са известни.

В кон-кретната ЕСС, трябва първо да се подменят трансформаторите с по-маломощни и едва след това да се приложат средства за подобряването на ПККЕ. С оглед товарите графици прилагането на пасивни филтри за компенсиране на реактивни товари и филтриране на висшите хармоници няма да бъде ефективно. Най-подходящото е решението с използването на паралелни активни филтри.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеното изследване показва възможност за оценка на качеството на електрическата енергия и режимите на потребление на енергия в системите за захранване на обществени сгради. Резултатите показват нуждата за подобряване точността на описанието на процесите в условията на несиметрия и несинусоидалност. В резултат на изследването са получени количествени оценки за динамиката на промените в неактивната мощност и хармоничния състав на токовете и напреженията за типичен обект -

електроснабдителни системи на обществени сгради. Предложено е конкретно техническо решение за подобряване качеството на електрическата енергия – използването на паралелни активни филтри.

REFERENCE

- [1] R. Dugan and M. McGranaghan, Power system quality. McGraw Hill, NY, USA, 2004.
- [2] F. De La Rosa, Harmonics and power systems, CRC Press, NY, USA, 2006.
- [3] E. Fuchs and M. Masoum, Power quality in power systems and electrical machines. Burlington: Elsevier, 2008.
- [4] B. Singh, A. Chandra and K. Al-Haddad, Power quality problems and mitigation techniques, John Wiley and Sons Ltd, WS, UK, 2015.
- [5] S. Mikkili and A. Panda, Power quality issues. Current harmonics, CRC Press, NY, USA, 2016.
- [6] EN 50160:2022, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks.