

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ, ПАРАМЕТРИ И ХАРАКТЕРНИ ОСОБЕНОСТИ В ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНАТА СИСТЕМА НА Ф. „ЕЛКАБЕЛ“ АД, ГР. БУРГАС

Пройков М. А., Георгиев Г. А., Панчев Х. И., Иванова Г. Х., Гюров В. Н.
m_proykov@abv.bg, vgiurov@yahoo.com, hr_panchev@abv.bg,
ginkahivanova@abv.bg, kvc_electroinvest@yahoo.com

Технически Университет Варна, Варна 9010, ул. "Студентска" № 1
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *електроснабдителни системи, експлоатация, напреженов резонанс*

Резюме: *Електроснабдителната система на обекта се състои от ГПП и 16 цехови П/ст. с инсталирана мощност над 7 MW, като основните потребители са АД с честотно управление, постоянно-токови двигатели, вентилатори, помпи и др. Проведено е изследване чрез обективни измервания върху енергетичните показатели и показателите на качество на електрическата енергия в продължение на две работни седмици при непрекъснат 24 часов режим на работа на фирмата. Резултатите от изследванията показват наличие на известни отклонения на някои показатели от нормативните. Това предоставя възможност за подобряване на експлоатационните режими и повишаване на електроенергийната ефективност на изследвания обект. Установено е претоварване на кондензаторните батерии по ток вследствие настъпването на напреженов резонанс. Определени са резонансните честоти при понижено и нормално натоварване на силови трансформатори (СТ). За предотвратяване на резонансни явления е необходимо да се въведе автоматично управление на мощността на кондензаторните батерии с помощта на регулатор, работещ по критерий „посока и големина на реактивната мощност“. Това създава възможност за увеличаване на броя на стъпките на компенсиращата мощност и осъществяване на по-фино регулиране. Освен това този подход позволява да се настройва времето на регулиране в зависимост от динамиката на товаровия график. Комутационните процеси се облекчават чрез използване на специализирани контактори за капацитивен товар, подтискащи ударните токове, с което съществено се подобрява надеждността на системата.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Фирма „Елкабел“ АД, гр. Бургас е първата българска компания, специализирана в производството на кабели и проводници, която в годините на прехода съхрани своята дейност и предметна насоченост. Дейността на предприятието включва производство и изпитание на силови кабели (силови кабели НН с PVC изолация, силови кабели НН с PE и XLPE изолация, силови кабели с XLPE изолация за въздушно окачване, силови кабели СН, силови кабели ВН, силови кабели не разпространяващи горенето, без

халогенни силови кабели не разпространяващи горенето), слаботокови кабели, обикновени проводници и голи усукани проводници.

Предприятието работи на три смени, като в момента работят цехове: 610, 620, 630, 640, РМЦ, високоволтова изпитвателна лаборатория за изпитване на готовата продукция (местно и външно производство), котелно и администрация. На територията на предприятието е изградена главна разпределителна подстанция (ГПП) 20kV, която се захранва от П/ст „Индустрия“ 110/20kV с две кабелни линии 20kV, съответно въвод „Елпром 1“ (основен) и „Елпром 2“ (резервен) Електроразпределителната мрежа на предприятието е изградена чрез радиално захранвани 16 трафопоста (цехови подстанции): „Котелно“ и администрация (трафа № 9 и 10), „Цех 610 (трафа № 5 и 7), „РМЦ“ и високоволтова изпитвателна лаборатория за изпитване на готовата продукция (кабели местно и външно производство) (трафо № 11), „Цех 630“ (трафа № 12, 13, 14 и 15), „Цех 640“ (трафа № 17, 18, 19, 20 и 21), „Цех 620“ (трафо № 1 и 2). Общата инсталирана трансформаторна мощност възлиза на 13280kVA, от която мощността на работещите трансформатори е 9020 kVA, а на тези студен резерв е 4260kVA.

Основните електрически консуматори са машините за първоначална обработка на първичната суровина и машините за направа на готовата продукция, а именно: изтеглачни / усуквачни машини (за усукване на готовите неизолирани жила); екструдери (за полагане на външната изолация на кабелите); каблиращи машини (за усукване на готовите изолирани жила); екраниращи машини (за полагане на екраниращата оплетка на кабелите); панцери (за полагане на екранираща лента); оловни преси (за полагане на оловна мантия); ССV – японска линия за производство на кабели XLPE изолация.

В ЕСС на фирмата съществува голямо разнообразие от потребители, като голяма част от тях са машини с АД с честотно управление и постоянно-токовите машини захранвани с тиристорно – управляеми изправители. Съществен е дялът и на вентилаторите и помпите. Спомагателните дейности са оборудвани със заваръчни агрегати и металорежещи машини. Инсталираната мощност на потребителите е 7167kW, а едновременната мощност възлиза на 4903kW. Средният cosφ е 0,88, като към уредбите НН в цеховите трафопостове има инсталирани кондензаторни батерии (КБ).

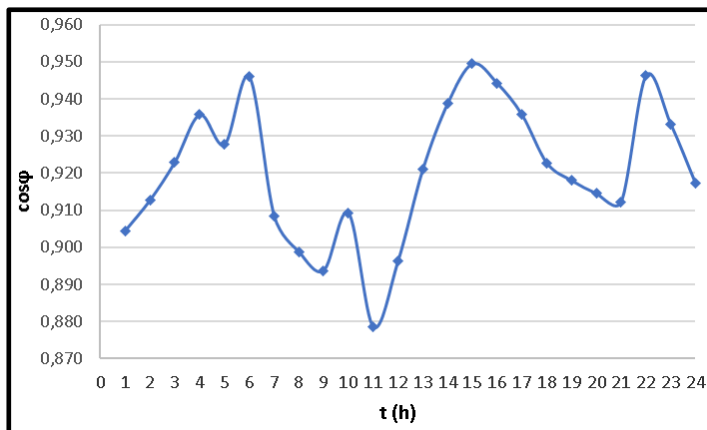
Таблица 1

Енергетични характеристики	Диапазон на изменение
Коефициент на използване на активен товар: $K_i = P_{ср.} / P_n$. P _{ср.} – средногодишен товар; P _n – сумарен номинален товар	0,16 ÷ 0,5
Коефициент на формата на активен товар: $K_f = P_{ср.кв.} / P_{ср.}$; P _{ср.кв.} – средноквадратичен год. товар	1,06 ÷ 1,1
Коефициент на максимума на активен товар: $K_m = P_m / P_{ср.}$. P _m – максимално – продължителен год. товар	1,11 ÷ 1,51
Коефициент на запълване на товаров график: $K_{зг} = 1 / K_m$. P _m – максимално – продължителен год. товар	0,66 ÷ 0,9
Коефициент на натоварване: $K_n = P_{ср.в.} / P_n$. P _{ср.в.} – средно – год. товар за Т на включване	0,11 ÷ 0,51
$\cos\varphi_{ср.г.} = P_{ср.г.} / (\sqrt{P_{ср.г.}^2 + Q_{ср.г.}^2})$ P _{ср.в.} – средно – год. товар за Т на включване	0,838 ÷ 0,94

От енергийния отдел на фирмата са предоставени данни за годишната консумация на активна ел. енергия, която е около 19 млн. kWh и за годишната консумация на реактивна ел. енергия, което е около 9,4 млн. kVarh. Определени са средните стойности за някои енергетични характеристики в годишен разрез, предоставени в табл. 1.

Данните от таблицата показват следното:

- *коэффициентът на формата на товаровия график варира в тесни граници, характерни за предприятия с ритмично производство $K_f = (1,06 \div 1,1)$. По – високите стойности на K_f са свързани с повишаване на дисперсионните съставлящи на активните загуби;*
- *коэффициентът на максимума варира в широки граници. Стойности на K_m около 1,5 (максимално – продължителен товар 1,5 пъти по – голям от средния), регистрира повишени активни загуби от дисперсионна съставляща на мощността;*
- *наличието на компенсация на реактивните товари (КРТ) в ЕСС на фирмата обуславят високи стойности на среднодневния $\cos\varphi_{cp}$. (фиг. 1).*



Фиг.1. Средни стойности на $\cos\varphi$ на шини 20kV на ВП

Той се изменя в широки граници, като стойности от порядъка на 0,84, показват недостатъчна компенсираща мощност в отделни звена на ЕСС или неефективно управление на КБ (използвани за КРТ в предприятието) в отделни звена на ЕСС.

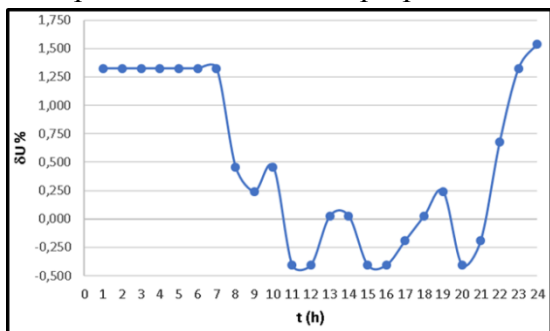
Направени са измервания в продължение на две седмици върху показателите на качество на

ЕЕ (ПКЕЕ), извършени с мрежови анализатор „Hioki 3197“, присъединен към шинната система 20kV в ГРП на предприятието през токови и напреженови измервателни трансформатори. Заснети са хармоничните съставлящи на I и U , THD_I и THD_U , несиметрията на U и I , фактора на мощността, I и U , консумираните активна, реактивна и пълна мощности.

Мрежовият анализатор „Hioki 3197“ е ръчен измервателен уред и служи за наблюдение и записване на аномалии в ел. захранването, което позволява да се изследват причините за възникването им. Приборът е с висок клас на точност ($\pm 3\%$) и може да се използва, както в еднофазни, така и трифазни мрежи. Чрез него може да се измерват и записват: RMS напрежение и ток; честота; активна, реактивна и пълна мощност; фактор на мощността; активна и реактивна енергия; хармоничен анализ до 50-ти хармоник (само измерване); пик на напрежението и тока; коефициентите за пълно хармонично изкривяване THD_U и THD_I (само измерване); коефициентите на хармониците K_{IV} и K_{UV} (само измерване); коефициентите на несиметрия K_{Inec} и K_{Unec} (само измерване). Позволява да се засичат колебания, прекъсване на напрежението и пренапрежения.[5,6]

Отклонението на напрежението δU на шини 20kV, представено като осреднени стойности в денонощен разрез се изменя в диапазона ($-1,273 \div 2,48$)% (фиг. 2). Поделенията на фирмата работят с най – голямо натоварване през деня и вечерта в

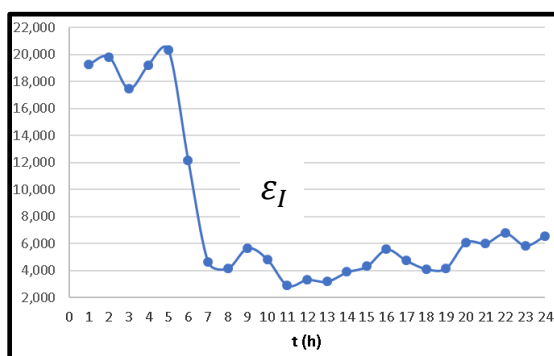
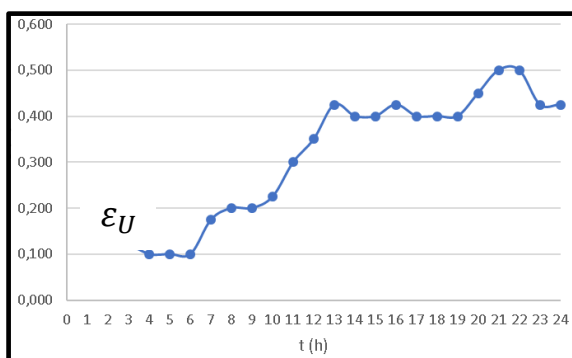
периода (07 ÷ 23) часа, поради което в този часови диапазон се регистрират отрицателни или най – ниски положителни стойности за δU в този период. Тази констатация се потвърждава за около 80% от представителната извадка в обем от 96 измервания в денонощен разрез, за целия период.



Фиг.2. ОН на шини 20kV

По метода на Минеев – Михеев [1,2] са определени коефициентите на несиметрия по ток ϵ_I и напрежение ϵ_U на шини 20kV на възловата подстанция, представени като осреднени стойности за отделни реализации в денонощен разрез (фиг.3). ϵ_U варира в границите (0,1÷0,5)%, а ϵ_I варира в границите (2,572 ÷ 22,408)%.

$$\epsilon_I = I_2/I_1 ; \quad \epsilon_U = U_2/U_1$$



Фиг.3. Коефициенти на несиметрия по напрежение и ток за U=20kV в денонощен разрез

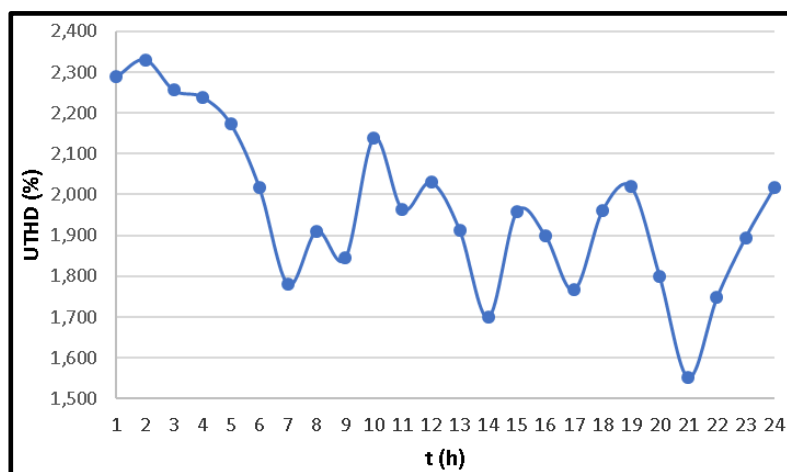
За разглеждания обект, коефициентът на несиметрия по напрежение $\epsilon_U = (0 \div 2)\%$ отговаря на стандарт БДС EN 50160. За коефициента на несиметрия по ток ϵ_I са регистрирани доста по - високи стойности, достигащи до $\epsilon_I = 22,48\%$.

Коефициентите на хармоника по ток K_{Iv} и напрежение K_{Uv} и общото хармонично изкривяване на напрежението THDU и тока THDI, определени за U = 20kV, варират в границите: $K_{Iv} = (0,3 \div 14,8)$ и $K_{Uv} = (0,1 \div 1,5)\%$, THDU = (1,567 ÷ 2,367)%, THDI = (17,2 ÷ 21,2)% (фиг.4). Хармоничния състав на напрежението и тока е показан в табл.2.

Таблица 2

Стойности на коефициентите на хармониците на тока и напрежението											
№ по ред	K_{Iv}	№ по ред	K_{Iv}	№ по ред	K_{Iv}	№ по ред	K_{Uv}	№ по ред	K_{Uv}	№ по ред	K_{Uv}
	%		%		%		%		%		%
1	100	7	11,2	13	1,4	1	100	7	1,5	13	0,1
2	2,7	8	0,3	14	0,3	2	0,2	8	0,1	14	0,1
3	1,6	9	1	15	0,3	3	0,3	9	0,1	15	0
4	1,6	10	0,3	16	0,3	4	0,1	10	0	16	0,1
5	14,8	11	6,7	17	0,3	5	0,7	11	0,1	17	0,1
6	0,7	12	0,2	-	-	6	0,1	12	0,1	-	-

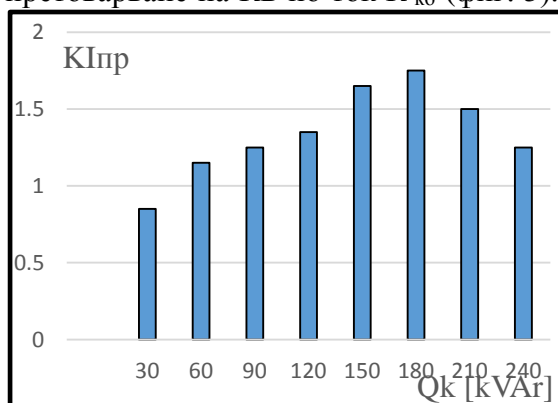
От данните в таблица 2 се вижда че K_{Uv} отговарят на изискванията на стандарта БДС EN 50160, докато по отношение на K_{Iv} в съответствие с IEEE 519, $I_{k5} / I_n = (50 \div 100)\%$, не за всички хармоници се изпълнява условието за максимално допустим коефициент на изкривяване на тока за v -тия хармоник.



Фиг. 4. THDU за изправители и честотни регулатори

от данните в табл. 2 за пети и седми хармоник на тока и напрежението.

Както беше отбелязано по – горе, КРТ се осъществява в ЦП на страна НН от КБ със стъпка 30kVAr. Въпреки възможностите за стъпково включване на КБ и осъществяване на регулиране на Q_k с цел постигане на равномерна стойност на $\cos\phi$ в денонощен разрез, такова регулиране не се извършва поради липса на автоматични устройства за регулиране. Този недостатък обуславя възможност за включване на нерегламентирани стойности за Q_k , вероятност за претоварване на КБ и поява на резонансни явления. В тази връзка е изследвана експлоатацията на ТП6 със СТ $S_n = 1000kVA$ и инсталирана компенсираща мощност $Q_k = 240kVAr$. Установено е претоварване на КБ по ток $K_{кб}^I$ (фиг. 5). Като причина за претоварването е възникване



Фиг. 5. Претов. на КБ вследствие на напр. резонанс

на напреженов резонанс при определено съотношение на капацитивното съпротивление X_C на КБ и индуктивното X_L на СТ. Определени са резонансните честоти за различни ЦП на разглеждания обект, представени в табл. 3. От таблицата се вижда, че вероятността за настъпване на напреженов резонанс е при резонансни честоти в диапазона на $f_p = (248 \div 368)Hz$, т.е. при $v = (5 \div 7)$, като е възможен напреженов резонанс и при четни стойности, $v = 6$.

Таблица 3 Изчислени параметри за резонансни явления в различни ЦП							
Изчислени параметри	Цехови подстанции						
	ЦП 9	ЦП 6	ЦП 11	ЦП 13	ЦП 14	ЦП 15	ЦП 1
$S_n=630kVA$ $\beta=0,33$ $u_k [\%]=7,9$	$S_n=1000kVA$; $\beta = 0,49$ $u_k [\%]=8,04$	$S_n=560kVA$; $\beta = 0,48$ $u_k [\%]=7,2$	$S_n=1000kVA$; $\beta = 0,56$ $u_k [\%]=8,04$	$S_n=1000kVA$; $\beta = 0,56$ $u_k [\%]=8,04$	$S_n=1000kVA$; $\beta = 0,42$ $u_k [\%]=8,04$	$S_n=1000kVA$; $\beta = 0,28$ $u_k [\%]=8,04$	
$Q_k [kVAr]$	150	240	120	240	240	240	240
$\cos\phi$	0,9	0,88	0,89	0,86	0,87	0,86	0,91
$f_p [Hz]$	346	289	248	257	262	271	368
$K_{ип}^I$	7	6	5	5	5	5	7

От таблица 3 могат да се направят следните изводи:

- установено е, че при КРТ е възможно да настъпи напреженов резонанс при включване на голяма компенсираща мощност и той настъпва при $\nu = (5 \div 7)$, като при понижено натоварване (ЦП 1 - $\beta = 0,28$ и ЦП 9 - $\beta = 0,33$), резонансната честота е по – висока ($\nu = 7$).

- От табл. 2 може да се заключи, че коефициентите на хармоника по напрежение K_{U5} и K_{U7} имат най – големи стойности, в сравнение с останалите хармоници, т.е. ЕСС на фирма „Елкабел“ АД е предразположена за възникване на напреженов резонанс при прилагане на неразчетена КРТ.

За предотвратяване на негативното явление е необходимо да се въведе управление на КРТ с помощта на регулатор, работещ по критерий посока и големина на реактивната мощност, който да управлява дислоцирано разположени КБ, монтирани към отделни силови табла на ЦП.[3,4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата са изследвани енергетични показатели и ПКЕЕ, анализирани и сравнени с нормативните изисквания, посочени в стандарта БДС EN 50160. Резултатите показват наличие на известни отклонения от нормите и общо-приети правила за нормална експлоатация на съоръженията. Вследствие настъпване на напреженов резонанс е регистрирано претоварване на КБ по ток, което е основание да се определят резонансните честоти за различни цехови подстанции и се маркират различията при понижено и нормално натоварване на СТ. Препоръчва се въвеждане на автоматично управление на мощността на КБ по критерии „посока и големина на реактивната мощност“ с внедряване на който ще се понижи вероятността за развитие на резонансни процеси.

ЛИТЕРАТУРА

- [1.] Киров. Р.В., Гюров В.Н., Електроснабдяване – 2 част. Режимы и оптимизация, ЕНА, 2015.
- [2.] Кузнецов.В., А. Григориев, В. Данимок, Снижение несиметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях, Киев, Наукова Думка 1992.
- [3.] Киров Р.М., Гюров В.Н., Стефанов С.С., Компенсация на реактивните товари – эффективен способ за икономия на ел. енергия. Енергиен форум Варна 2006 г., стр. 262-265.
- [4.] Киров Р.М., Гюров В.Н., Стефанов С.С., Изследване на възможностите за разпределение на компенсиращите мощности между страна НН и СН на промишлени обекти. Енергиен форум, Варна 2006 г., стр. 266-269.
- [5.] Илия Илиев – Въвеждане на интелигентни измервателни системи в България – фактор за подобряване качеството на електрическа енергия. Стр. 222-228, сборник Енергиен форум НТСЕБ 18-20 юни 2014 г.
- [6.] Илия Илиев – Икономическа целесъобразност от въвеждане на интелигентни измервателни системи в България като фактор за подобряване качеството на електрическа енергия. стр.229-235, сборник Енергиен форум НТСЕБ 18-20 юни 2014г.

STUDY OF PARAMETERS AND CHARACTERISTICS IN THE EXPLOITATION OF THE ELECCABLES SYSTEM OF ELKABEL INC., BURGAS

Proikov M. A., Giurov V. N., Panchev H. I., Ivanova G. H. , Kirov R. M.
m_proykov@abv.bg, vgiurov@yahoo.com, hr_panchev@abv.bg,
ginkahivanova@abv.bg, kvc_electroinvest@yahoo.com

*Technical University of Varna
Studentska 1, 9010 Varna,
BULGARIA*

Key words: power supply systems, operation, voltage resonance

Abstract: *The power supply system of the site consists of GRP and 16 workshop units. with an installed capacity of over 7 MW, the main users being SM with frequency control, DC motors, fans, pumps, etc. An objective study was carried out on the energy and electricity quality indicators for two working weeks with continuous 24-hour operation of the company. The results of the studies show some deviations of some indicators from the normative ones. This provides an opportunity to improve operating modes and increase the electrical energy efficiency of the subject. An overload of the capacitor batteries with current due to the occurrence of voltage resonance has been detected. Resonant frequencies were determined at reduced and normal power transformer (PT) load. To prevent resonance phenomena, it is necessary to introduce automatic power control of the capacitor batteries by means of a regulator operating on the criterion "direction and size of the reactive power". This provides an opportunity to increase the number of compensating power steps and to perform a finer adjustment. In addition, this approach allows adjustment of the adjustment time according to the dynamics of the load schedule. The switching processes are facilitated by the use of specialized contactors for capacitive load, shock absorbing currents, which greatly improves the efficiency of the system.*