

The power supply of the Rozhen NAO: current problems and directions for improvement

Georgi Ganev¹, Ilian Kh. Iliev², Ekaterina Geordzheva¹

¹ Technical University of Sofia, Plovdiv Branch

² Institute of Astronomy, Bulgarian Academy of Sciences

geoganev@yahoo.com

(Research report)

Abstract. Some characteristics of Rozhen NAO power supply are reported. Main attention is paid on the power quality control. Results of field measurements and simulations are presented and discussed in brief. Some suggestions have been given how to improve the power supply.

Key words: power supply quality

Електроснабдяването на НАО "Рожен" - текущи проблеми и насоки за подобряване

Георги Ганев, Илиан Илиев, Екатерина Георджева

В статията се разглеждат някои особености на електрозахранването на НАО "Рожен". Основно внимание е отделено на контрола на качеството на електроенергията.

Представени са и са дискутирани кратко резултатите от проведени измервания и симулационни моделирания. Обосновани са някои възможности за подобряване на качеството на доста-вяната електроенергия.

Увод

В своя наредба от м. юни 2004 год. Държавната комисия по енергийно и водно регулиране (ДКЕВР) определя основното задължение на електро-разпределителните дружества - да доставят електрическа енергия до присъединените към техните мрежи потребители с определени качествени показатели (ДКЕВР [2004]). Тази наредба е само една стъпка по пътя на хармонизиране на техническите стандарти на Република България с тези на Европейския съюз.

В нашата страна са приети и действуват редица европейски стандарти, касаещи качеството на електроенергията и електромагнитната съвместимост на консуматорите - БДС EN 61000, БДС EN 50160 и др. Понятието качество на електроенергията (КЕЕ) обединява в себе си различни конкретни технически показатели, чрез които се дефинират параметрите на електрическата енергия. Общоприетите показатели за КЕЕ (ДКЕВР [2004]) са: отклонения на напрежението, бързи изменения на напрежението, несиметрия на напрежението, несинусоидалност на напрежението, краткотрайни спадания на напрежението, краткотрайни прекъсвания на напрежението, продължителни прекъсвания на напрежението, честота на напрежението.

Базирайки се на БДС EN 50160 в ДКЕВР [2004] са определени т. нар. норми за показателите за КЕЕ. Чрез тях се отчита случайния характер на възникване на едни или други смущаващи въздействия. "За показателите за непрекъснатост на снабдяването с електрическа енергия не се задават стандартни стойности. Електро-разпределителните предприятия определят постигнатите показатели за началната година (2003) и предлагат план за подобряване в следващите години" (ДКЕВР [2004]). С други думи, наред с

привеждането на нормативните документи в съответствие с изискванията на ЕС, следва да се отчитат характерните особености на географския район, на наличното оборудване, на конкретния етап на икономическото развитие на страната и др. фактори които в различна степен оказват влияние върху електропотреблението като цяло и в частност - върху КЕЕ.

Националната Астрономическа Обсерватория "Рожен" (НАО) работи без прекъсване вече около тридесет години, като проблемите свързани с КЕЕ напоследък са неотменима част от ежедневието на Обсерваторията. Целта на доклада е отново да насочи вниманието към тези проблеми и възможностите за тяхното разрешаване (вж. още Ганев [2005]).

1 Предпоставки за възникване на проблеми с КЕЕ

Най-общо, факторите обуславящи влошаването на КЕЕ през последните години, може да се разделят на две големи групи:

- а) обективни - отнесени към днешна дата, те може да се считат за даденост;
- б) субективни - при тях влиянието на човешкият фактор е много по-непосредствено и явно.

Сред основните обективни предпоставки водещи до влошаване на КЕЕ трябва да се посочи географското разположение на НАО "Рожен" - надморска височина 1750 m, на 25 km северно от град Смолян и на 12 km на юго-изток от град Чепеларе. Основното захранване на НАО "Рожен" е осигурено от подстанция "Северни Родопи" - въздушен извод "Проглед". Резервирането на захранването става чрез въздушен извод "Хубча" от подстанция "Смолян". В непосредствена близост до НАО двата въздушни електропровода преминават в кабелни. Изводите "Проглед" и "Хубча", към които са прикачени отклоненията за НАО "Рожен", захранват и други консуматори. Мрежата средно напрежение (СН) е сравнително дълга и е силно разклонена.

На второ място стои избраният начин за реализиране на мрежата СН - като въздушна мрежа 20 kV с компенсирана неутрала. Известни са предимствата и недостатъците на компенсираните мрежи - слабо токово, съответно и термично натоварване на използваните съоръжения; възможно е съоръженията да работят при наличие на земно съединение; почти винаги се създава възможност за гасене на дъгата; недобро ограничаване на възникващите пренапрежения; добра чувствителност на сигнализацията за земни съединения (Мехмед-Хамза и др. [2007]).

Използването на компенсирани мрежи за захранване на отдалечени обекти води до възникване на редица проблеми с КЕЕ.

- а) Възникването на земно съединение е една от най-често проявяващи се аварии, характерна за въздушните мрежи средно напрежение, пресичащи залесени райони с планински релеф. Обикновено, то е съпроводено с възникване на дъга между тоководещ проводник и земя (напр. клон на дърво, разлюлян при силен порив на вятъра). Горенето на дъгата е неустойчиво - при спадане на синусоидалното напрежение до нула тя угасва, но ако условията за възникването ѝ все още съществуват - отново се пали. Параметрите ѝ имат случаен характер - съпротивлението ѝ се променя в широки граници, а продължителността на горенето е от няколко милисекунди до няколко минути (Swift et al. [2003]). Този случаен характер на изменение на параметрите на дъгата е определящ за изменението на тока на земно съединение (з.с.) и на напреженията на трите фази.

Стойността на тока на земно съединение се определя на практика от съпротивлението на дъгата. Възникването на земно съединение е съпроводено с изменение на напреженията на трите фази - докато напрежението на заземената фаза спада и зависи от съпротивлението на дъгата, то напреженията на двете здрави фази нарастват. В установен режим, при метално земно съединение, напрежението на всяка една от здравите фази към земя е равно на линейното.

При електропроводите СН се използват решетъчни или бетонни стълбове. Те притежават някои безспорни предимства в сравнение със дървените стълбове. При тях, обаче, възможността за възникване на з.с. поради повърхностен разряд към земя е много по-голяма, отколкото при използването на дървени стълбове (Нанчев [1968], Darvenitza & Saha [2003]).

б) Попадение на мълния - електропроводите, пресичащи планински райони с повишена надморска височина и залесени с висока растителност, са подложени на силното влияние на атмосферните пренапрежения. Тези пренапрежения са резултат както от пряко попадение на мълния, така и при възникване на разряд в непосредствена близост до електропровода.

Сред субективните фактори, които може да се изтъкнат като причини за влошаването на КЕЕ към днешна дата са:

а) бързото разрастване на курортният комплекс Пампорово. Новите обекти се захранват от съществуващата десетки години електроразпределителна система. От една страна, поради увеличените загуби, това предизвиква нарастване на пада на напрежение. От друга страна - бурното строителство на нови обекти е причина за значително по-честото аварийно изключване поради стоително-ремонтните дейности;

б) експлоатацията на електросъоръженията от поддържащия персонал. Това са различни периодично провеждани мероприятия като прочистване на просеките на въздушните електропроводи, подмяна на спуканите изолатори и др.;

в) все по-широкото използване на оборудване, което е силно чувствително към КЕЕ. Наред със оборудването, необходимото за провеждане на астрономически наблюдения - главно CCD-камери, широко приложение намират мрежовите и файлови сървъри, персоналните компютри и мрежите от тях, GPS-системите, офис-техниката, системите за сигнализация и др. Въпреки разнообразието на наличното оборудване (по предназначение и година на производство), то се характеризира със силна чувствителност към КЕЕ.

2 Анализ на резултатите от симулационното моделиране

За моделиране на режимите на работа на електропровода СН, свързващ подстанция "Северни Родопи" и НАО "Рожен" е създаден модел в среда Matlab/Simulink.

Приема се, че мрежата високо напрежение (ВН) има достатъчно голяма мощност. Отчитат се параметрите на силовия трансформатор Т0 (110/20 kV), на разпределителния трансформатор Т1 (20/0.4 kV), на заземителната бобина, на въздушната и кабелна мрежи. Вместо разпределените консуматори захранвани от същия извод, е използван един съсредоточен товар, прикачен към възлова подстанция "Проглед". Резервното захранване на НАО "Рожен" от извод "Хубча" е изключено.

Параметрите на модела са определени въз основа на известни методики (Стоянов [1981], Филкаб [2007]). Разглеждат се два вида з.с. Те се моделират

Table 1. Параметри на изводите, захранващи НАО "Рожен"

Наименование	Дължина, km	Въздушна част, %	Кабелна част, %
Проглед	17.7	95.8	4.2
Хубча	20.6	96.5	3.5

чрез различните стойности на съпротивлението R . При възникване на дъга между тоководещ проводник и земя, съпротивлението има силно изразен случаен характер. Затова се приема, че съпротивлението на з.с. е постоянно за интервала на аварията, дъгата периодично се пали и има продължителност 1.6 ms, а интервалът на възникването ѝ е 22.2 ms. Прието е, че интервалът на затихване е достатъчно дълъг и аperiodичните колебания на напрежението не оказват значимо влияние върху последващите преходни процеси във веригата.

Резултатите са получени при моделиране на различни режими на работа:

- а) при възникване на метално к.с. (съпротивление $R = 0.001 \Omega$ и различно разстояние до трансформатора Т1. Товарът ниско напрежение (НН) е $0.75S_{nom}$, $\cos \phi = 0.9$ и е симетрично разпределен на трите фази, компенсиращата бобина е с надрезонансна настройка;
- б) при възникване на з.с. (съпротивление $R = 10 \Omega$) на фаза В при различни напрежения в различни точки на симулираната мрежа;
- в) при неравномерно разпределение на трифазния товар. Товарът на мрежата НН е съответно равен на $S_a = 0.75S_{nom}$, $\cos \phi = 0.9$; $S_b = 0.75S_{nom}$, $\cos \phi = 0.9$; $S_c = 0.75S_{nom}$, $\cos \phi = 0.9$;
- г) при ненатоварена мрежа СН. Товарът на мрежата СН е съответно равен на $S_a = 0.05S_{nom}$, $\cos \phi = 0.9$;
- д) при комутиране на други консуматори средно напрежение (СН). Товарът СН е $0.5S_{nom, T1}$ и към мрежата се включва товар $0.05S_{nom, T1}$;
- е) при несинусоидалност на напрежението в мрежата ВН $U_3 = 0.05U$.

След анализиране на получените резултати се налагат следните изводи:

- а) поради възникването на преходни или трайни з.с., възникването на дъга е често срещано явление и се счита за основна причина за поява на пренапрежения. Пренапреженията до голяма степен зависят от момента на възникване и съответно - от моментната стойност на напрежението на "болната" фаза;
- б) изменението на товарите води до промяна на характера на протичащите преходни процеси и разпространението на пренапреженията. Затихването на пренапреженията е значително по-бързо при увеличаване на товара СН. Товарът НН не оказва съществено влияние върху характера на протичащите преходни процеси;
- в) съчетаването на въздушен електропровод с кабелен, наред с присъщите си предимства, е предпоставка за възникване на аварийни режими. Поради различните характеристични съпротивления на двете линии, е възможно възникването на отразени вълни (Нанчев [1968]);
- г) НАО е последен консуматор захранван от отклонения на електропроводите "Проглед" и "Хубча", което го прави особено чувствителен към пренапреженията, разпространяващи се в мрежата СН (Нанчев [1968]);
- д) възникването на висши хармоници в мрежата СН или ВН предизвиква деформиране на синусоидалната форма на напрежението на шини НН.

3 Резултати от проведените измервания

В периода септември 2004 г. до август 2005 г. бяха проведени серия измервания на КЕЕ на НАО "Рожен". Използван е анализатор на КЕЕ тип MI-2191 на фирмата Metrel. Измерванията са проведени в различни сезони от годината. На Фиг. 1 са представени измерените относителни минимални стойности на трите фазови напрежения на вторичната страна на понижаващия трансформатор ТМ-400 kVA 20/0.4 kV.

В Табл. 2 са представени регистрираните изключения на релейните защиты на изводите "Проглед" и "Хубча" захранващи НАО "Рожен" за периода от 01.01.2003 г. до 30.09.2004 г.

Table 2. Регистрирани изключения на релейните защиты (01.01.2003 – 30.09.2004)

Извод	МТО	МТЗ
Проглед	28	175
Хубча	–	182

В Табл. 3 са сравнени изключенията N_{oe} на различните изводи. За целта се използват т. нар. усреднени стойности:

$$N_{oe} = \frac{N}{lt}, \quad (1)$$

където N е броят на изключенията, l - дължината на извода в km, а t - продължителността на разглеждания интервал в месеци.

Усреднените стойности на N_{oe} за електропроводите "Хубча" и "Проглед" през посочения период съответно са 0.493 и 0.514 изкл./km месечно. От представените данни в Мехмед-Хамза и др. [2007] следва, че изключенията на електропроводи СН (вж. Табл. 3) дължащи се на атмосферни влияния и механични повреди са около 7% от всички изключения. Заедно с тези, причините за които не са известни, общият им дял достига до 40% от всички аварийни изключения.

Table 3. Изключения на защитите N_{oe} (Мехмед-Хамза и др. [2007])

Година	Извод1	Извод2
2000	0.063	0.1141
2001	0.0645	0.0844
2002	0.0836	0.1029
2003	0.0244	0.1529

В сравнение с други консуматори, захранването на които става с компенсирани мрежи СН, усредненият брой на изключенията за двата извода "Проглед" и "Хубча" е значително по-висок. Може да се приеме, че разпределението на причините за изключение на електрозахранването на НАО е

аналогично на разпределението при другите електропроводи СН. Различията се дължат преди всичко на разположението на електропроводите "Проглед" и "Хубча", пресичащи залесени планински терени, с активна атмосферна дейност.

На Фиг. 1 е показано измереното фазово напрежение (в относителни единици - U/U_{nom}) за периода 23.07.2005 – 24.07.2005. Вероятно поради възникването на аварийни режими на някои отклонения на мрежата СН - з.с. или двуфазни къси съединения (к.с.), в напрежението на шини НН възникват характерни провали и се нарушава тяхната симетрия. Това са т.нар. краткотрайни спадания на напрежението на една и/или две фази, съпроводени с преходна несиметрия на трифазното напрежение. Преходните з.с. и/или преходните двуфазни к.с. не винаги водят до изключване на релейната защита. Често пъти причините за тяхното възникване отпадат и напрежението на фазите се възстановява. Ако причината за възникване на з.с. или к.с. е трайна, това води до изключване на защитата на съответния електропровод или трансформатор. Напрежението на товара спада до 0 V. След около 0.2 sec т.нар. автоматично повторно включване (АПВ) включва захранването на извода. Ако причините за аварията са отпаднали, захранването се възстановява В противен случай, следва повторно зареждане на защитата и трайно изключване на захранването.

Честотата на възникване на краткотрайните спадания на напрежението е сравнително висока (вж. Фиг. 1), а влиянието им върху консуматорите - осезаемо. Точното определяне на мястото и конкретните причини за възникване на тези бързи изменения на напрежението не винаги е възможно. При дъждовно време и при наличие на гръмотевични бури напреженията на трите фази се характеризират със значима несиметрия.

Използването на единични уреди за измерване на КЕЕ през определени интервали от време не позволява едновременно регистриране на различните показатели, например изменение на ефективната стойност на напреженията/токовете и преходните пренапрежения/сврхтокове. При използвания анализатор - Metrel MI2192, измерваните стойности се усредняват и записват в паметта на уреда. Интервалът за измерване се задава в границите от 10 s до няколко минути, а възникващите преходни пренапрежения се игнорират.

Някои показатели на КЕЕ - краткотрайно спадане на напрежението, краткотрайните и продължителни прекъсвания на напрежението се нормират за период от година (ДКЕВР [2004]). Такива продължителни и непрекъснати измервания може да се направят при използване на стационарни уреди за регистриране на КЕЕ.

От резултатите от симулациите и според Нанчев [1968] следва, че възникващите пренапрежения достигат стойности повече от два пъти по-високи от обявените. Но без необходимата стационарна апаратура за мониторинг на отделните показатели на КЕЕ, това твърдение не може да бъде конкретизирано (Merlin-Gerin [2005], Janitza [2007]).

На този етап не се обсъжда възможността НАО да се захранва от подстанция "Пампорово", въпреки че дължината на този извод ще бъде по-малка от дължините на използваните сега електропроводи.

4 Възможности за подобряването на КЕЕ на НАО

Възможни са различни подходи за подобряване на КЕЕ на НАО.

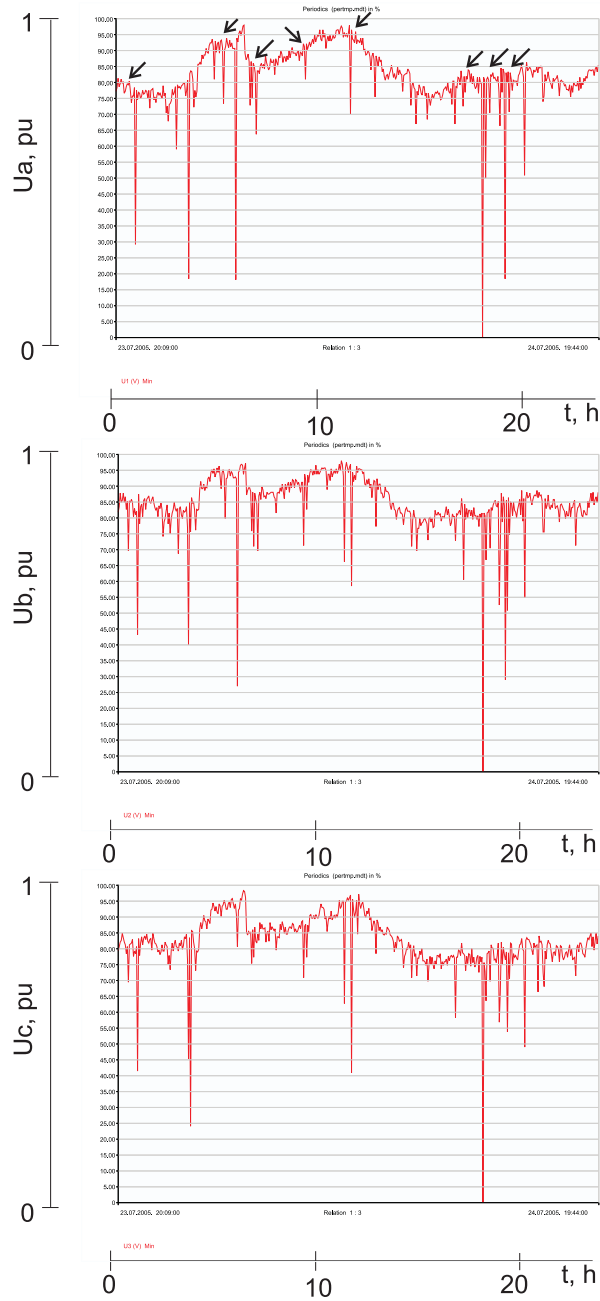


Fig. 1. Регистрирани напрежения на 23.07.2005 – 24.07.2005. Със стрелки са указани асиметричните изменения на напрежението в трите фази.

На първо място сред начините за отстраняване на влиянието на внесените смущения (дължащи се на аварии възникващи на други отклонения на

магистралния електропровод), е захранването на НАО "Рожен" да се реализира чрез автономен извод от подстанция "Северни Родопи". В момента се изгражда възлова подстанция "Пампорово", разположена в непосредствена близост на комплекса Пампорово. Предстои пускането ѝ в експлоатация. Очаква се това да нормализира натоварването на електропроводите, а с това и да се подобри КЕЕ.

В някои страни (Darvenitza & Saha [2003], Haine et al. [2005]), за изграждане на въздушни електропроводи в гористи и планински райони се широко са използват проводници с покритие от омрежен полиестер, устойчив на UV лъчи. Такива проводници удовлетворяващи изискванията на евростандарт EATS43/122 са например SAX-W BLL-T/BLX-T (Филкаб [2007]). Резултатите от използването на изолирани проводници са разностранни: а) намалява се броят на прекъсванията, причинени от атмосферни пренапрежения и мълнии, паднали върху проводниците клони и дървета, контактни пренапрежения възникващи при силни пориви на вятъра и др.; б) намаляват се екологичните разходи - просеките са с около 50% по-малка ширина спрямо тези при електропроводите с неизолирани проводници (напр. сега използваните АС); в) намаляват се експлоатационните разходи - по-ниски разходи за поддръжка и ремонт на изградените съоръжения; г) увеличават се първоначалните капиталовложения за изграждане на електропровода поради по-високата цена на изолирани проводници.

Предимствата на компенсирани мрежи се проявяват най-добре когато индуктивността на заземителната бобина е настроена на т.нар. надрезонансна честота (Нанчев [1968]). Тази честота се определя както от параметрите на мрежата, така и от натоварването ѝ. Тя се променя в зависимост от моментната консумирана мощност.

Ефективно средство за подтискане на несиметрията на товара е използването на разпределителни трансформатори с намотки свързани Y/Z_n . Свързването на намотки НН в зигзаг позволява да се преразпределят несиметричните токове консумирани от товара. Наред с това, несиметрията на напреженията СН също се подтиска. Проблемите с КЕЕ на НАО се дължат преди всичко на честото възникване на преходни или трайни земни съединения. Затова използване на този тип трансформатори може да се счита за ефективно средство при подобряване на КЕЕ. Но трябва да се отчете факта, че заради по-високата си цена, трансформаторите с намотки свързани Y/Z_n се произвеждат за значително по-ниски номинални мощности (до 160 kVA). Затова подмяната на сега съществуващите разпределителни трансформатори с намотки DY_n може да стане само след оценка на натоварването и на тенденциите в развитието на НАО.

Друг начин за подобряване на КЕЕ е използването на т.нар. UPS (системи за непрекъсваемо захранване). Чрез тях се гарантира локално захранване на чувствителни консуматори за определено време. Цената им се определя от техническите параметри и най-вече от мощността. Непрекъсваемите захранвания притежават характерен недостатък - при нормално захранване консумирайки несинусоиден ток, те се явяват източник на висши хармоници. Тези хармоници увеличават загубите в мрежата НН и при определени условия смущават работата на други чувствителни консуматори.

Изводи

1. Изградената схема на електрозахранване на НАО - въздушна мрежа 20 kV с компенсирана неутрала се характеризира с добри експлоатационни показатели - осигурява време за отпадане на възникващите земни съединения, предпазва оборудването СН от излишни изключения и др. Наред с това, поради заземяването на неутралата през гасителна бобина, се създават предпоставки за влошаване на КЕЕ.
2. Използването на компенсирана мрежа предполага периодично регулиране на заземителната бобина с оглед постигане на оптимално компенсиране на токовете на земно съединение. При това периодично регулиране на индуктивността на бобината, следва да се има предвид и изменението на натоварването на мрежата в рамките на денонощието, седмицата, месеца и през различните сезони. В този смисъл би следвало да се оцени и целесъобразността от въвеждане в експлоатация и на системи за автоматично регулиране на индуктивността на дъгогасителните бобини.
3. Може да се приеме, че някои от възникващите аномални режими, т.е. несиметриите на напрежението се дължат на аварийни процеси, възникващи в мрежата СН, но не и в разглежданото отклонение, захранващо НАО "Рожен".
4. Изменението на товарите, захранвани от същия електропровод, оказва съществено влияние върху характера на протичащите преходни процеси в мрежата СН и върху качеството на електроенергия НАО "Рожен".
5. НАО "Рожен" е последният консуматор, включен към отклонение с дължина около 4.5 km състоящ се от въздушен и от кабелен електропровод. При възникване на земни съединения е реална възможността честотата на многократно отразяваните вълни да съвпадне със собствената честота на разпределителния трансформатор.
6. Използването на системи за непрекъсваемо електрозахранване (UPS) може да се счита като едно временно решение, с което само се отлага решаването на този значим за НАО проблем. От своя страна, системите за непрекъсваемо електрозахранване консумират несинусоидален ток. Това също е причина за влошаване на КЕЕ и за допълнително натоварване на неутралата.
7. Наложително е да се създаде система за непрекъснат мониторинг на отделните показатели на КЕЕ. Тя ще даде възможност да се получи по-достоверна представа за конкретните стойности на показателите на КЕЕ и тяхното изменение. Едва след натрупването на достатъчен обем информация за достатъчно дълъг период от време би могло да се коментира КЕЕ на НАО с фирмата доставчик на електроенергия и съответствието на отделни нейни показатели на сега действащите норми.
8. През последните години при изграждането на въздушни електропроводи в някои европейски страни се налага използването на изолирани проводници. По-високата им цена се компенсира от безспорните предимства на тези електропроводи. В този смисъл, следва да се оценят предимствата и недостатъците на възможната подмяна на вече съществуващата мрежа, захранваща чувствителни консуматори на електроенергия.
9. След прецизна преценка на годишното разпределение на натоварването и тенденциите за неговото развитие, трябва да се прецени възможността за подмяна на наличните разпределителни трансформатори с други такива, използването на които по-ефективно. Това са трансформатори

с по-ниски загуби на празен ход, т. е. с по-ниски годишни разходи. От особено значение е да се използват разпределителни трансформатори с намотки свързани Y/Zn - това ще доведе до чувствително снижаване на влиянието на земните съединения и други такива смущаващи въздействия възникващи в мрежата СН.

Благодарности Авторите изказват своята благодарност на инж. Васил Цветков за проведените многобройни професионални дискусии и дадените ценни съвети.

References

- Ганев Г., 2005, Доклад No4286, Електроразпределение-Пловдив АД
 ДКЕВР, 2004, Показатели за качество на електроснабдяването - май 2004 г.,
 (файл indic_1.pdf)
 Мехмед-Хамза М., Филипов, А., Георгиев, С., 2007, *Енергетика*, 6-7, 25-31
 Нанчев, Н., 1968, Компенсиране на токове при земно съединение, София, Техника
 Стоянов, Ст., 1981, Справочник на енергетика, том 1, София, Техника
 Филкаб, 2007, Фирмен каталог - Проводници и кабели
 Darvenitza, M., Saha, T., 2003, The University of Queensland, (файл saha-mat-dist2003.pdf)
 Janitza Electronics GmbH, 2007, Main Catalogue, (файл НК_E_08_10_07.pdf)
 Haine, P., Turunen, J., Lehtonen, M., Oikarinen, A., 2005, IEEE PowerTech-2005, p.5
 Merlin-Gerin, 2005, Енергиен мениджмънт - Power Logic Systems, (файл PowerLogic.pdf)
 Swift, G., Fedirchuk, D., Ernst, T., 2003, Georgia Tech Fault and Disturbance Analysis
 Conference, Atlanta, GA

