

Оперативни мерки за намаляване на загубите на мощност и енергия в електроразпределителните мрежи

Бончо Димитров, Христо Попов, Димо Стоилов

***Резюме:** В статията са представени оперативните мерки за намаляване на загубите на мощност и енергия в електроразпределителните мрежи. За оценката на техния ефект и правилното им приложение е необходимо да бъдат използвани пълни и точни модели на разпределителните мрежи. Създаването на такива модели в съчетание със системите за измерване в реално време ще позволи също надзор върху техническите и нетехническите загуби и по такъв начин ще улесни своевременното разкриване на кражби. В заключение е предложен приложим към електроразпределителните дружества в България план за развитие на потенциала за намаляване на загубите на електроенергия.*

***Ключови думи:** оперативни мерки, загуби на мощност и електроенергия, електроразпределителни мрежи, математически модели на елементите на мрежите*

Operational measures for reduction of power and energy losses in electricity distribution networks

Boncho Dimitrov, Hristo Popov, Dimo Stoilov

***Abstract:** The article describes the operational measures for reduction of power and energy losses in electricity distribution networks. For the assessment of their effect and their correct application, it is necessary to use complete and accurate models of the distribution networks. Creation of such models in combination with real-time measurement systems will also allow for the monitoring of technical and non-technical losses and in this way could facilitate the timely detection of thefts. In conclusion, a plan for development of potential for reduction of power and energy losses, applicable for the electricity distribution companies in Bulgaria, is proposed.*

***Keywords:** Operational measures, electric power and energy losses, electricity distribution networks, mathematical models of network elements*

I. Въведение

Тази статия е посветена на приложимите мерки за намаляване на загубите по различните елементи при опериране на съществуващите електроразпределителни мрежи. Те са подложени на природни вредности, на естествено или ускорено стареене (в резултат на претоварване, превишено напрежение, надпроектни къси съединения и др.), на принудени или планирани конструктивни или режимни изменения и поради това адаптивното опериране изисква непрестанно актуализиране на усилията за намаляване на

загубите. Развитието или модернизацията на мрежата създава възможност за прилагане на т.нар. инвестиционни мерки, които изискват повече начални средства и време, и не са предмет на разглеждане тук.

Мерките за намаляване на общите загуби на което и да е дружество са разнообразни и са насочени както към състоянието на съоръженията, така и към режима на тяхното използване [1, 7]. Общите загуби трябва да бъдат разграничени с достатъчна точност по видове, по съоръжения и по причинност, така че мерките да бъдат адекватно насочени, а резултатите от тях да са оценени. Тогава всяка една възможна мярка може да бъде анализирана и проведена, ако ползите превишават разходите за нейното прилагане. Тази оценка може да бъде направена само със средствата на математическото моделиране. Дискусия по този въпрос е представена във втория раздел на статията. В третия раздел са припомнени възможните мерки [2, 3], които следва да бъдат подбрани в зависимост от ефективността им, а в последния раздел е представено нашето виждане относно съдържанието на примерен план за развитие потенциала на разпределително дружество за намаляване на загубите на електроенергия.

II. Значение на математическите модели на елементите на мрежите за оценката на мерките за намаляване на загубите

Отчитайки физическа същност на загубите, както и нормативните изисквания, за безспорно се приема, че представително (достоверно и проверяемо) определяне на загубите в какъвто и да е елемент от мрежата на електроразпределителните дружества може да се направи само чрез удостоверяване измерване на разликата между влизащата в и излизащата от елемента мощност/енергия [8]. Липсата на „излишни” измервания прави тази задача изпълнима. Поради това историята за моделно изчисляване на загубите в елементите на мрежата се развива повече от 120 години.

Моделирането на елементите от електроразпределителните мрежи [7, 9], позволява изчисляване на моментните или интегрирани за час, за денонощие, за месец технически загуби по тях. То е задължително средство за надзор на нетехническите загуби в реално или удължено реално време или по-дълги периоди. Това е така, тъй като чрез измерванията е възможно да се определят единствено общите (технически + нетехнически) загуби. Следователно за разделянето им е нужно да бъде определен аналитично поне единият от двата компонента. Математическите модели на мрежовите елементи, развивани и усъвършенствани в течение на десетилетия, дават възможност за определяне на техническите загуби. Удобно и повсеместно използвано е определянето на нетехническите загуби като разликата между общите и техническите, вместо чрез невъзможни опити за разгадаване на тактиката и стратегията на крадците на електроенергия.

Друга причина, която налага безусловното съставяне и използване на модели на мрежовите елементи, е възможността за оперативна оценка на ефекта

от различните приложими мерки за намаляване на загубите. Мерките са представени в следващия раздел. Симулирането на поведението на мрежата (реализуемо единствено чрез адекватни модели) след провеждане на съответна мярка дава оценка за нейната ефективност и служи като индикатор за предприемане на действия, които в различните случаи може да бъдат автоматизирани или от оператор.

Европейският тип разпределителни мрежи се отличава от американския по: i) наличие на трафопостове, които съдържат трансформатори и апарати за закрити помещения, в т.ч. разпределителни табла ниско напрежение; ii) отсъствие на т.нар. „подпредавателна мрежа” (сиреч има по-малък брой трансформации) и iii) отсъствие на дълги еднофазни клонове средно напрежение с присъединени към тях много еднофазни трансформатори средно на ниско напрежение непосредствено до крайните потребители (най-често потребителските отклонения (рекордоманите) започват от самия трансформатор, разположен на уличния стълб).

Споменаваме тези разлики, за да подчертаем, че мрежите средно напрежение у нас са типични европейски и имат по-еднородни елементи в сравнение с американските, което опростява моделирането.

За целите на поотделното определяне на загубите най-често се приема следният състав от елементи на мрежите: **електромери, потребителски отклонения, мрежа ниско напрежение, трафопостове и възлови подстанции, мрежа средно напрежение и други технически загуби.**

Най-широко използваните аналитични модели [7, 9] са представителни за мрежи със синусоидални напрежения и токове, някои от които с нарушена симетрия. Електропроводи, по които се провеждат деформирани синусоидални величини, имат увеличени загуби [10], [11]. В [12] е приведено изследване, показващо повече от двукратно повишаване на загубите на мощност в проводниците на мрежа ниско напрежение (захранваща LED осветители) в сравнение с тези, които биха се получили само от основния хармоник на тока. За такива електропроводи се прилагат модели, които отчитат и влиянието на провежданите хармонични съставляващи на деформираните напрежения и токове. Препоръчваме на електроразпределителните дружества да проведат измервания по характерни електропроводи, след което да анализират степента на хармонични замърсявания и отражението им както върху качеството на електроснабдяване, така и върху загубите.

III. Оперативни мерки за намаляване на загубите в електроразпределителните мрежи

Мярката, която заема **първо място** в списъците за намаляване на загубите, в комбинация с удовлетворяване изискванията за качество на електрозахранването, е **оптималното регулиране на напрежението** (optimal voltage control). Както при електропроводите средно, така и при мрежите ниско напрежение. Оптимизацията по напрежение и реактивна мощност е възможна единствено въз основа на прилагане на точни и пълни модели на мрежата.

Втора измежду най-ефикасните мерки е опериране при **оптимална конфигурация на мрежата** (optimal network configuration) [4, 5]. С други думи, това означава операторът да провежда периодичен анализ на натоварването на електропроводите и в съчетание със задачата за определяне на състоянието да избира оптимално място за отваряне на мрежите, които са изградени като многоконтурни, но трябва да работят лъчисто. Тази оптимизационна задача има исторически добре формулирана цел, ограничителни условия и средства за решаване. Веднъж доставен и компетентно използван, софтуерът бързо се откупува, защото има относително ниска начална цена и малко текущи разходи.

Трета мярка с подобна ниска начална цена и малки разходи е **оптималното натоварване на трансформаторите** (optimal transformer loading) чрез включване или изключване на резервните трансформатори през различните периоди.

Свързана с тази мярка е задачата за избор на **оптимална мощност на трансформаторите** (optimal transformer capacity) чрез анализиране на тяхното натоварване и подходящо разместване поради относително трайни изменения в използваемостта им.

Подобно на трансформаторите не може да се приеме, че веднъж избран като мощност и място за присъединяване, капацитивният или индуктивният компенсатор трябва да бъде неизменно включен. **Оптималното използване на кондензаторните батерии и на компенсиращите реактори** (optimal capacitor and reactor operation) е мярка с неотменима значимост.

Стимулирането и санкционирането на консуматорите за намаляване на индуктивните им товари са ефикасни и популярни мерки, които най-често се свеждат до прилагане на т.нар. „косинус фи тарифа“. Всъщност те са част от по-общата задача за **оптимален фактор на мощността** (cos ϕ optimization).

Необходими мерки са стимулирането и санкционирането на производителите и консуматорите, предизвикващи допълнителни загуби от породени при тях изкривявания в синусоидалния електромагнитен процес, което популярно се нарича **оптимизация на хармоничните съставляващи** (harmonics optimization).

Мярка с неоспорима ефективност е **оптималното разместване на товарите към различните фази** (optimal phase load replacement), така че несиметрията/небалансът и предизвиканите от него допълнителни загуби да бъдат минимални [6].

Аналогична е мярката за **оптималното присъединяване или разместване на разпръснатите** из електроразпределителната мрежа **производствени агрегати** (optimal distributed units connection).

Друга мярка с голям потенциал и малка начална стойност е подобряването на **профилактичните прегледи и поддържането, основано на безопасността, надеждността и намаляването на загубите** (safety, reliability and losses based maintenance). Като пример с особено значение не само за загубите, но и за безопасността, следва да посочим пренебрежителното отношение към заземителите по таблата на консуматорите и по електропроводите ниско напрежение, особено в селските мрежи. Друг пример с двойствено значение (за

загубите и за сигурността на захранването) е поддържането на изправни контактни съединения.

Исторически значима, но пренебрегвана мярка е **намаляването на върховите товари** (peak load reduction). Тя е изоставена само в сферата на държавната тарифна политика, известна със своята неефикасност.

Много значими са също мерките за намаляване на нетехническите загуби [7]. В тази област електроразпределителните дружества у нас вече имат традиции и ако успеят да преодолеят ширещата се корупция, могат да служат за пример в борбата с кражбите на електроенергия.

Познаването, но неамбициозно използване на мерките за намаляване на загубите не е достатъчно. Електроразпределителните дружества трябва да имат добре разработени, ефикасни и постоянно актуализирани планове за намаляване на загубите. При това те не трябва да са едностранна грижа само на дружествата. Плановите трябва да привличат за съучастници всички консуматори чрез стимулиране на мерки при потреблението. Тези планове ще бъдат морално остарели, ако се основават само на добре известните класически мерки, но не предвиждат модернизирани мрежите и използване на новостите както в електроразпределителните технологии, така и в срастващите се мрежата модерни информационни и управляващи системи. В следващия раздел, вместо заключение, даваме нашата представа за съдържание на един примерен план за развитие потенциала на разпределително дружество за намаляване на загубите на електроенергия.

IV. Предложение на план за развитие потенциала на разпределително дружество за намаляване на загубите на електроенергия

1. Прекратяване употребата на електромери, които не отговарят на изискванията по **Препоръка 2012/148/ЕО** и **Препоръка 2014/724/ЕО** и започване употребата само на електромери, които удовлетворяват тези изисквания.

2. Модернизирани системата за събиране и обработка на електромерна информация.

3. Инициране на промяна на подхода за изчисляване на енергията по границите с ЕСО и инсталиране на електромери на всеки извод от подстанциите 110/СрН.

4. Инсталиране на „излишни“ електромери по потребителски табла с много индивидуални електромери, както и по трафопостовите и възловите подстанции.

5. Изработване на индивидуални изчислителни модели за всеки електропровод средно и ниско напрежение, в т.ч. трафопостовите.

6. Създаване на методика и измерване на пасивните параметри на електропроводите средно и ниско напрежение (за проверяване достоверността на индивидуалните изчислителни модели, съставени по заводски и литературни данни).

7. Проектиране, изработване или закупуване на изчислителна система, използваща електромерните данни и изчислителните модели за ежемасово пресмятане и надзор на общите, техническите и нетехническите загуби.

8. Проучване на търговските предложения за създаване на авангардна система за управление на мрежата и сравняване с варианти за подобряване на съществуващите информационно изчислителни системи.

9. Набелязване на средно и дългосрочни цели и планови дейности за преминаване по пътя към смарт мрежите.

Благодарности

Авторите благодарят на Министерството на Образованието и Науката и на Научно-Изследователския Сектор на Технически Университет – София за оказаната помощ чрез финансирането на научно-изследователски проекти в помощ на докторанти №№ 182ПД0018-01 и 182ПД0019-01.

Литература

- [1]. Shilpa Kalambe, Ganga Agnihotri, Loss minimization techniques used in distribution network - bibliographical survey, 2013;
- [2]. Juan Andres Martin, Antonio Jose, Gil, A New Heuristic Approach for Distribution Systems Loss Reduction, EPSR, 2008;
- [3]. Julio Romero Agüero, Improving the Efficiency of Power Distribution Systems through Technical and Non-Technical Losses Reduction, IEEE 2012;
- [4]. Ching-Tzong Su, Chu-Sheng Lee, Feeder Reconfiguration and Capacitor Settings for Loss Reduction, EPSR, 2001;
- [5]. S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, S. S. H. Lee, Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction, IEEE TPD 1988;
- [6]. Dickson K. Chembe, Reduction of Power Losses Using Phase Load Balancing Method in Power Networks, WCECS 2009.
- [7]. Стоилов, Д., В. Атанасов, И. Ангелов, Загуби по електроразпределителните мрежи, Технически университет - София, 2017.
- [8]. E08-ENM-04-03, Treatment-of-Losses, ERGEG Position Paper for Public Consultation PC, 2008-07-15.
- [9]. Ray Daniel Zimmerman, Comprehensive Distribution Power Flow- Modeling, Formulation, Solution Algorithms And Analysis, Dissertation, January 1995
- [10]. Bogdan C. Neagu, Gheorghe Georgescu, Ovidiu Ivanov, The Impact of Harmonic Current Flow on Additional Power Losses in Low Voltage Distribution Networks, EPE 2016
- [11]. Joy Mazumdar, System and Method for Determining Harmonic Contributions From Nonlinear Loads in Power Systems, Dissertation, Georgia Institute of Technology, 2006
- [12]. N. Milardovich, L. Prevosto and M. A. Lara, Calculation of harmonic losses and ampacity in low-voltage power cables when used for feeding large LED lighting loads, Advanced Electromagnetics, Vol. 3, No. 1, 2014;

Автори:

Бончо Димитров, докторант, ТУ – София, катедра Електроенергетика,

e-mail: bonchesto@abv.bg

Христо Попов, докторант, ТУ – София, катедра Електроенергетика,

e-mail: hristopopov66@yahoo.com

Димо Стоилов, доц. д-р, ТУ-София, катедра Електроенергетика, ИЯИЯЕ-БАН,

e-mail: dstoilov@tu-sofia.bg