

## Компютърно ориентиран алгоритъм за определяне на техническите загуби в разпределителните мрежи ниско напрежение

В. Русева, Ст. Стефанов, Р. Русев

**Determination of electrical losses in low-voltage electrical power grid by computer based algorithm:** В практиката се въвеждат системи за дистанционно отчитане на абонатните електромери на битовите електропотребители. Те дават техническата възможност да се изготвят действителни (точни) баланси на електрическата енергия, които позволяват да се определят общите загуби в разпределителните мрежи ниско напрежение. В настоящата работа се преплага компютърно ориентиран алгоритъм, с помощта на който могат да се определят техническите загуби на мощност и енергия в произволен участък от електроснабдителната система ниско напрежение. С негова помощ може да се разработи и подходящ програмен продукт. Разликата между общите и изчислените технически загуби ще позволи на електроразпределителните дружества да контролират и намаляват т.нар. търговски загуби.

**Ключови думи:** битово електропотребление, технически загуби в разпределителни мрежи ниско напрежение.

### ВЪВЕДЕНИЕ

В практиката често започват да се използват системи за дистанционно отчитане на абонатните електромери на битовите електропотребители. Преобладаващата част от тези системи записват само стойностите на консумираната електрическа енергия от абонатите, най-често ден по ден и представят справки за консумираната електрическа енергия за периодите на отчитане, които са ежемесечни.

За съжаление, тази информация не е достатъчно пълна за цялостен електроенергиен анализ. Функционалните възможности на системите позволяват да се записва и допълнителна информация. Трифазните статични електромери имат възможност да записват информация за стойностите на голям брой параметри, в това число данни за товари графици (ТГ), за някои основни параметри на захранващата мрежа (ток, напрежение, фактор на мощността и др.), за настъпили събития и др. По аналогия и за еднофазните статични електромери лесно може да се разработи подходящ софтуер, който да поддържа подобна подробна информация.

Всеки един потребител на електрическа енергия се характеризира със своя денонощен ТГ. Но тъй като битовите абонати са голям брой (в България те са около четири милиона), в практиката няма изградена единна методика за събиране и обработка на данни за техните ТГ. Такава информация би била полезна за определянето на един от най-важните показатели за ефективната работа на електроразпределителните мрежи ниско напрежение (НН), а именно техническите загуби. Масивите от данни за системните параметри могат да се използват за непрекъсната достоверна оценка на някои от показателите за качеството на захранващото напрежение.

Въз основа на получените и обработени данни от системи за дистанционно отчитане на абонатни електромери могат да се получат баланси на електрическата енергия и да се изготвят допълнителни справки, например за техническите загуби, които ще дадат възможност да се извършва цялостен електроенергиен анализ в разпределителните мрежи НН.

**Целта** на работата е да се предложи компютърно ориентиран алгоритъм, с помощта на който могат да се определят техническите загуби на мощност и енергия в произволен участък от електроразпределителната мрежа ниско напрежение.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Използваните системи за дистанционно отчитане в битовите мрежи включват балансен електромер, който се монтира към силовия трансформатор или на всеки извод НН в трафопоста, и абонатни електромери. Отчитането на данните от тях

става едновременно и това позволява да се изготвят баланси на електрическата енергия [4]. Общите загуби на електрическа енергия в разпределителните мрежи НН включват две съставки – технически и търговски загуби. Търговските загуби се дължат на неточното измерване на електрическата енергия и на консумираната, но неинкасирана енергия. Ако се определят техническите загуби и се извадят от общите загуби се получават търговските загуби [3, 4]. Основната цел е те да бъдат контролирани и намалявани, тъй като те се отразяват върху себестойността и водят до увеличаване на цената на електрическата енергия.

Техническите загуби на енергия се от своя страна състоят от няколко съставящи – първата от тях са т. нар. “джауловите загуби”, които се пресмятат по закона на Джаул – Ленц при симетричен товар. Те зависят главно от сечението и дължината на проводниците и от натоварването. Предопределени са при изпълнението на мрежата и слабо зависят от качеството на експлоатацията. Останалите технически загуби в мрежите НН се дължат на несиметрия на товара, на лоши контактни връзки и на утечки през изолацията. Тези загуби силно зависят от експлоатацията на мрежите [4].

Загубите на енергия  $\Delta W$ , в участък от електрическата мрежа със съпротивление  $R$ , за определен период от време  $T$  в h, се определят чрез интеграла:

$$\Delta W = \int_0^T \Delta P(t) dt = \int_0^T \frac{S^2(t)}{U^2(t)} R dt , \quad (1)$$

На практика, и при проектиране, и в процеса на експлоатация, не се разполага с точни интегрални криви за мощността и за напрежението, които са случайни функции на времето. Затова интегралът се заменя със сума от  $n$  на брой дискретни интервала, всеки с продължителност  $\Delta t$ :

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \frac{S_i^2}{U_i^2} R \cdot \Delta t = \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2}{U_i^2 \cdot \cos^2 \varphi} R \cdot \Delta t , \quad (2)$$

През всеки от интервалите се приема, че мощността и напрежението имат константни стойности. На практика това трябва да бъдат средните стойности на мощността и напрежението през съответния интервал. Колкото интервалите са по-малки, толкова е по-малка грешката от дискретизация, но се увеличава обемът на данните и изчисленията. При използването на съвременната компютърна техника това не е съществен проблем. При голям брой консуматори, както е при битовите електропотребители, общият ТГ е относително плавен и при оценка на загубите на енергия обикновено се приема  $\Delta t = 1$  h. При необходимост от по-точни сравнителни и оптимизационни изчисления е добре да се работи и с по-малки интервали.

Основният проблем при изчисляването на загубите на мощност и енергия в разклонени мрежи произтича от трудността при определянето на точни стойности на някои от величините, участващи в класическите формули и преди всичко на действителните стойности на товара (ТГ или поне максимален товар).

За да се получи информация за ефективността на използване на дадена електроразпределителна мрежа е необходимо за всеки участък от нея да се пресметнат:

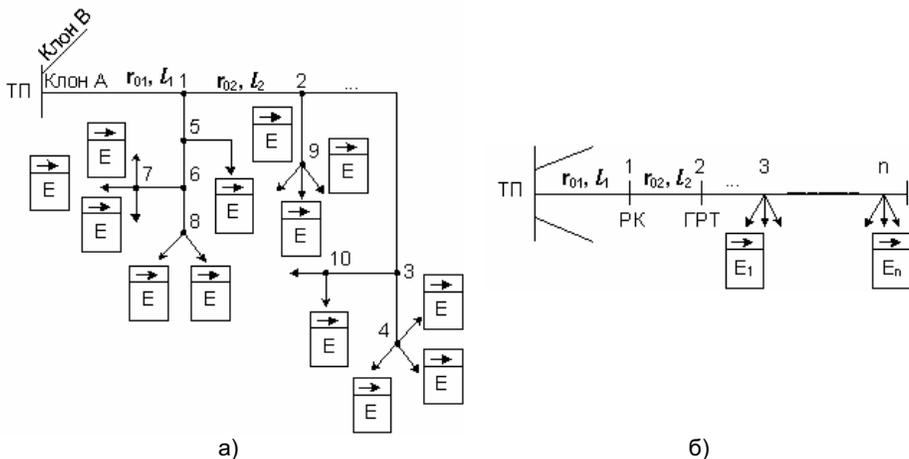
1. Загубите на мощност при максимален товар  $\Delta P_M$ . Те се пресмятат с помощта на съпротивлението и максималния товар за участъка  $P_M$ ;

2. Загубите на електрическа енергия  $\Delta W$  за определен период от време (денонощие, месец). Желателно е да се определят загубите за една година, с цел отчитане влиянието на годишните сезони. Загубите на енергия могат да се определят по два начина:

- точно, когато се разполага с товарови графици за участъка за целия период (по формула 2);

- приблизително, с помощта на максималния товар  $P_M$  и неговата използваемост  $\tau_M$ .

Конфигурацията на разпределителните мрежи НН зависи от вида и териториалното разположение на захранваните абонати. Въздушните мрежи обикновено се използват за захранване на еднофамилни жилища, при които товарите са по-малки, и са разположени на приблизително еднакви разстояния по дължината на линията (фиг.1а). При кабелните мрежи в жилищните комплекси, електрическите товари са сравнително по-големи и са групирани по кооперации или жилищни входове (фиг.1б).



Фиг.1. Разпределителни мрежи ниско напрежение: а) въздушна, б) кабелна

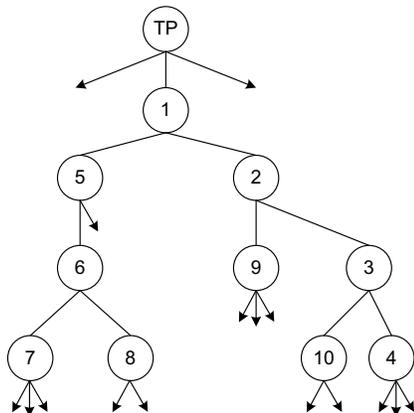
За изчисляването на техническите загуби с помощта на компютърна техника е необходимо схемата на разпределителната мрежа НН да се опише по подходящ начин. В случая е удачно да се използва дървовидна структура от данни, която е показана на фиг.2. Листата на дървото са абонатите, където се извършва отчитане на стойностите на величините, за които са програмирани статичните еднофазни електромери. Възлите представят разклоненията в мрежата. Дъгите ще съдържат информация за параметрите на захранващата мрежа. На базата на това описание, изчисляването на техническите загуби се свежда до модифициран алгоритъм за обхождане на дърво в дълбочина. По начин, аналогичен на показания на фиг.2, може да бъде представена и кабелната мрежа НН.

След като се опише схемата, следващата алгоритмична стъпка е да се определи начинът за изчисляването на електрическия товар по участъци. Това зависи от наличната входна информация от електромерите.

*Първи вариант* – записват се стойностите за ТГ на всеки абонат. Ако четенето на данните се прави ежедневно, за всеки абонат ще се получи едномерен масив с усреднени стойности на мощността за всеки интервал на дискретизация. Ако интервалът на дискретизация е  $\Delta t = 1$  час, масивът ще съдържа 24 стойности за мощността на абоната. Колкото по-малък е интервалът на дискретизация, толкова по-висока ще бъде точността.

Получаването на мощностите по отделните участъци за всеки един интервал от времето става чрез просто сумиране на мощностите на абонатите, захранвани от този участък. След това, ако се разполага със стойностите на специфичните съпротивления, които зависят от вида и сечението на проводника и неговата

дължина, лесно се изчисляват загубите на мощност за всеки участък, за всеки интервал по класическата формула на Джаул-Ленц.



Фиг.2. Дървовидна структура от данни, представяща въздушна разпределителна мрежа НН

спрямо среднодневната консумация на електрическа енергия. Могат да се използват и литературни данни за типове ТГ за характерни групи жилища, но в този случай ще се получи по-голямо отклонение от действителните товари.

*Трети вариант* – записват се данни само за месечната консумация на електрическа енергия от всеки абонат. В този случай максималният товар [2] за всеки участък може да се пресметне като отношение на среднодневната консумация на захранваните жилища от този участък и денонощната използваемост на максималния товар  $T_{мд}$  за съответната типична група жилища. За  $T_{м}$  се препоръчват [2] стойностите, показани в табл. 1.

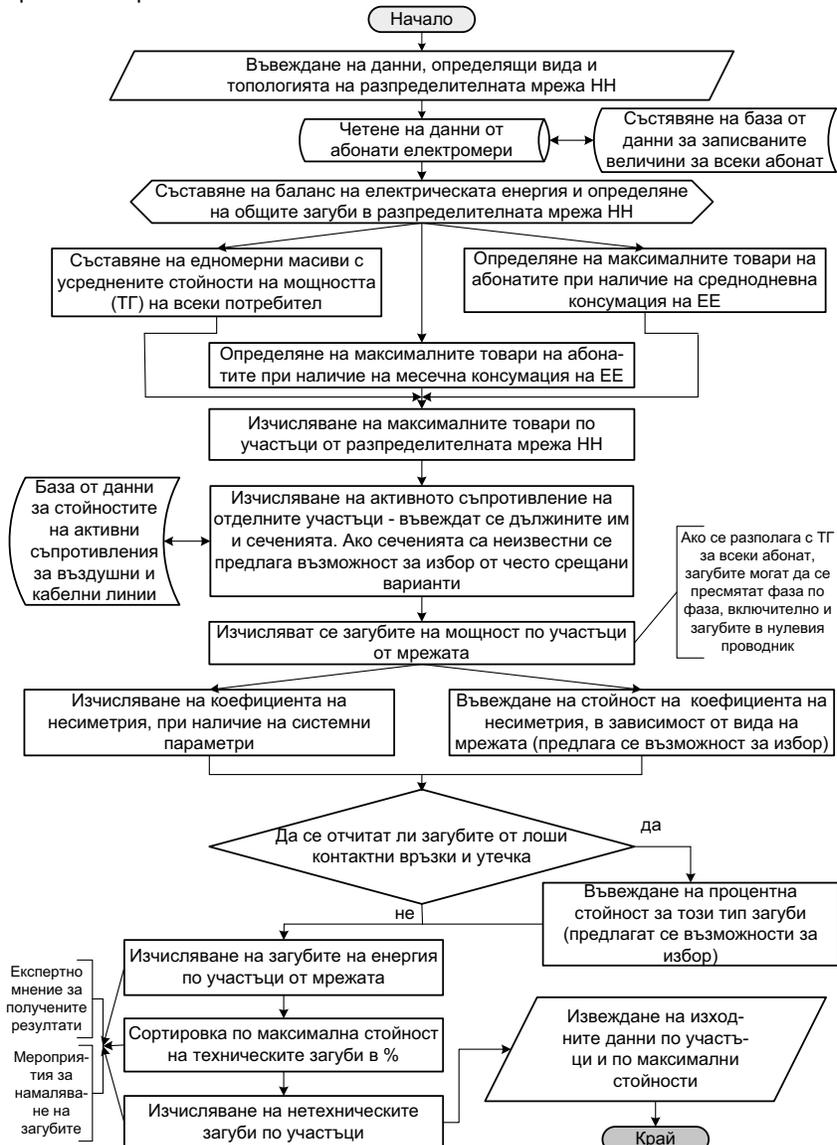
Таблица 1.

Денонощна използваемост на максималния товар за типични групи жилища

Сезон	Ден	Жилища с преобладаващо електрическо отопление	Жилища с преобладаващ друг начин на отопление	Жилища с комбинирано отопление
Лято	Работен	8,5	12,1	11,0
	Почивен	10,1	13,3	10,9
Зима	Работен	9,9	10,3	12,9
	Почивен	10,0	13,2	

На фиг.3 е показана блоковата схема на алгоритъма за определяне на техническите загуби в разпределителните мрежи НН. След определянето на максималните товари за абонатите и по участъците от мрежата е необходимо да се въведат стойностите за параметрите на захранващата мрежа. На практика тази информация, не навсякъде е документирана и затова ако няма подробни данни за тях се предлага следния подход. Въвеждат се стойностите за дължините по участъци, като за въздушните мрежи те лесно се определят чрез измерване. За кабелните мрежи има проблем при определянето на разстоянията между ТП и разпределителната касета (РК). В този случай няма да се допусне съществена грешка, ако се въведе най-прякото разстояние между тях и се завиши с 20%. След това разстоянията за участъците от РК до захранваните от нея входове и до абонатите могат да се определят чрез измервания и експертна преценка. По отношение на съпротивленията за захранващите проводници се предвижда да се

състави база от данни, съдържаща данни за най-често използваните сечения по участъци от въздушни и кабелни разпределителни мрежи НН и за тях се дават съответните специфични съпротивления. По изчислителен начин се получават общите съпротивления по участъците на конкретната мрежа и с това става възможно изчисляването загубите на мощност по участъци от мрежата при симетричен товар.



Фиг. 3. Блокова схема за алгоритъм за определяне на техническите загуби в разпределителни мрежи ниско напрежение

При разпределителните мрежи НН има още три вида технически загуби – от несиметрия на товара, от лоши контактни връзки и от утечка.

Когато се разполага с конкретни ТГ за всеки абонат и по участъците от разпределителната мрежа, загубите могат да се пресмятат фаза по фаза, включително и в нулевия проводник. Ако липсва такава информация, може да се пресметне коефициент на несиметрия по данни от направени измервания на токовете по участъци, или да се въведат направо стойности за него в зависимост от вида на мрежата. При определяне на загубите от лоши контактни връзки и утечка са предвидени две възможности – да се взимат предвид или не. При сравнително дълги и разклонени въздушни мрежи те не бива да се пренебрегват и в този случай също може да се въведе % на тези загуби спрямо загубите при симетричен режим.

След като се изчисляват загубите на мощност, се определят и загубите на енергия по формула (2) при наличие на ТГ или чрез времетраенето на максималните загуби на мощност  $\tau_M$ , като е необходимо да се използват актуални данни за типични групи битови електропотребители.

Нетехническите загуби се определят като разлика между общите загуби и изчислените техническите загуби. Предложеният алгоритъм и организацията по съхраняването на данните могат да позволят изготвянето на справки за най-големите стойности на техническите загуби по съответните участъци за различни периоди от време. Важен елемент от процеса на анализа на получените резултати е експертната оценка, тъй като изчислителната процедура е точна, но резултатите все пак са приблизителни, тъй като се правят редица допускания и условия при въвеждането на входните данни. След като се анализират резултатите за техническите загуби могат да се набележат мероприятия за тяхното намаляване до икономически оптимални стойности. При анализа на нетехническите загуби могат да се набележат абонати, чиито електромери е необходимо да бъдат проверени.

Когато се говори за загуби в разпределителните мрежи НН, винаги трябва да се има предвид, че това е един цялостен непрекъснат процес с множество взаимовръзки, който непрекъснато трябва да се следи и контролира.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системите за дистанционно отчитане на абонатните електромери на битовите електропотребители позволяват да се получават различни данни, за основните показатели, характеризиращи ги като електропотребители – товарови графици, дневна и месечна консумация на електрическа енергия. Като се използват тези данни се предлага компютърно ориентиран алгоритъм за определяне на техническите загуби в разпределителните мрежи ниско напрежение. Установено е, че е удачно да се използва дървовидна структура от данни при описанието на разпределителните мрежи НН. Изчисляването на техническите загуби ще се сведе до модифициран алгоритъм за обхождане на дърво в дълбочина. Като резултат от изчисленията по предложения алгоритъм, могат да се изчисляват с достатъчна за практиката точност, техническите и нетехническите загуби на мощност за произволни периоди от време. Основната цел е загубите да бъдат контролирани и намалявани, тъй като те се отразяват пряко върху себестойността и водят до увеличаване на цената на електрическата енергия.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Наредба № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, София, Балканпрес, 2004, стр. 542.

[2] Русева В, Ст. Стефанов, Л. Михайлов. Сравнителен анализ на денонощните товаровите графици на битови електропотребители. София, Енергетика, 2006.

[3] Русева В. Допълнителни възможности на статичните електромери, използвани в електроразпределителните мрежи. Енергиен форум, Варна, 2005, с. 18 ...21.

[4] Стефанов Ст, В. Русева. Електроснабдяване. РУ "Ангел Кънчев", Русе, 2010, с.211.

**За контакти:**

доц. д-р инж. Вяра Русева, Катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", Русенски университет "А. Кънчев", Тел. 082 888 616; 0888 521 861, E-mail: [vruseva@uni-ruse.bg](mailto:vruseva@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**