

AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU REGLEMENTARE ÎN ENERGETICĂ

H O T Ă R Î R E

cu privire la aprobarea Instrucțiunii privind calcularea pierderilor
de energie electrică activă și reactivă în elementele de rețea
aflate la balanța consumatorului

nr. 246 din 02.05.2007

Monitorul Oficial nr.94-97/415 din 06.07.2007

* * *

În scopul stabilirii modului de determinare a pierderilor de energie electrică activă și reactivă în elementele de rețea aflate la balanța consumatorului și situate între punctul de delimitare și punctul de măsurare a energiei electrice consumate, în situațiile prevăzute de Regulamentul pentru furnizarea și utilizarea energiei electrice, aprobat prin Hotărîrea Guvernului RM nr.1194 din 22.11.2005, Consiliul de Administrație al Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică,

HOTĂRĂȘTE:

1. Se aprobă Instrucțiunea privind calcularea pierderilor de energie electrică activă și reactivă în elementele de rețea aflate la balanța consumatorului.
2. Prezenta Instrucțiune se aplică în mod obligatoriu de către toate întreprinderile de distribuție a energiei electrice, indiferent de forma de proprietate, care conform legislației sînt supuse reglementării de către Agenția Națională pentru Reglementare în Energetică (ANRE).
3. Se abrogă Instrucțiunea privind calcularea pierderilor de energie electrică în transformatoarele de forță aflate la balanța consumatorului, aprobată prin Hotărîrea Consiliului de Administrație ANRE nr.51 din 14.03.2002 și Instrucțiunea privind calcularea pierderilor de energie electrică în liniile electrice aflate la balanța consumatorului, aprobată prin Hotărîrea Consiliului de Administrație ANRE nr.69 din 15.11.2002.

DIRECTORUL GENERAL AL ANRE
Vitalie IURCU

DIRECTOR

Nicolae TRIBOI

DIRECTOR

Anatol BURLACOV

Chișinău, 2 mai 2007.
Nr.246.

Aprobată:

prin Hotărîrea Consiliului

de Administrație al ANRE

Nr.246 din 02 mai 2007

INSTRUCȚIUNE

privind calcularea pierderilor de energie electrică activă și reactivă

în elementele de rețea aflate la balanța consumatorului

1. SCOP

Instrucțiunea are drept scop să stabilească modul de determinare a pierderilor tehnice de energie electrică activă și reactivă în elementele de rețea aflate la balanța consumatorului și situate între punctul de delimitare și punctul de măsurare a energiei electrice consumate.

2. DOMENIUL DE APLICARE

Prezenta Instrucțiune se aplică la determinarea pierderilor tehnice de energie electrică activă și reactivă în elementele de rețea aflate la balanța consumatorului în situațiile prevăzute de Regulamentul pentru furnizarea și utilizarea energiei electrice, aprobat prin Hotărîrea Guvernului RM nr.1194 din 22.11.2005, cînd punctul de măsurare a energiei electrice și punctul de delimitare nu coincid.

3. DEFINIȚII ȘI NOTAȚII

3.1. Definiții

În sensul prezentei Instrucțiuni, noțiunile de mai jos au următoarea semnificație:

Perioada de calcul

perioada pentru care se efectuează calculul pierderilor de energie electrică.

Pierderi de putere (energie) electrică

consumul tehnologic de putere (energie) electrică aferent procesului de tranzitare a puterii (energiei) electrice prin elementele rețelei electrice.

Pierderile constante de putere (energie)

pierderile de putere (energie)

- în transformator, datorate magnetizării miezului și circulației curenților turbionari, precum și fenomenului de histerezis;
- în linie, datorate efectului corona și curenților de scurgere prin izolatoare.

Pierderile variabile de putere (energie)

pierderile de putere (energie) în înfășurările transformatorului și în conductoarele liniei electrice, datorate tranzitării puterii (energiei) electrice prin ele.

3.2. Notății

ΔP

- pierderile totale de putere activă în elementele rețelei electrice, kW;

ΔQ

- pierderile totale de putere reactivă, kvar;

ΔP_0

- pierderile constante de putere activă, kW;

ΔQ_0

- pierderile constante de putere reactivă, kvar;

ΔP_s

- pierderile variabile de putere activă (pierderi datorate sarcinii), kW;

ΔQ_s

- pierderile variabile de putere reactivă (pierderi datorate sarcinii), kvar;

ΔP_{sc}

- pierderile active de scurtcircuit, kW;

W_a

- energia activă, tranzitată prin elementele rețelei electrice pe parcursul perioadei de facturare, kWh;

W_r

- energia reactivă, tranzitată prin elementele rețelei electrice pe parcursul perioadei de facturare, kvarh;

ΔW_a

- pierderile totale de energie activă pe parcursul perioadei de facturare, kWh;

ΔW_r

- pierderile totale de energie reactivă pe parcursul perioadei de facturare, kvarh;

$\Delta W_{0,a}$

- pierderile constante de energie activă, kWh;

$\Delta W_{0,r}$

- pierderile constante de energie reactivă, kvarh;

$\Delta W_{s,a}$

- pierderile variabile de energie activă, kWh;

$\Delta W_{s,r}$

- pierderile variabile de energie reactivă, kvarh;

S_{max}

- puterea aparentă maximă a sarcinii, înregistrată pe parcursul perioadei de facturare, kVA;

S_{nom}

- puterea aparentă nominală a transformatorului, kVA;

T

- perioada de facturare, h;

T_M

- durata de utilizare a puterii aparente maxime, h;

T_f

- perioada de funcționare a elementelor rețelei electrice pe parcursul perioadei de facturare, h;

τ

- durata pierderilor maxime, h;

U_{nom}

- tensiunea nominală (primară) a transformatorului, tensiunea nominală a liniei, kV;

$\cos \varphi$

- factorul de putere;

$\tan \varphi$

- factorul de putere reactivă.

K_f

- coeficientul de formă al curbei de sarcină;

R

- rezistența liniei, Ohm;

l

- lungimea liniei, km;

q

- secțiunea conductorului, mm²;

4. METODICA DE CALCUL A PIERDERILOR TEHNICE DE ENERGIE ELECTRICĂ

ÎN ELEMENTELE REȚELEI ELECTRICE A CONSUMATORULUI

4.1. Ipoteze de calcul

La calculul pierderilor tehnice de energie electrică în transformator se vor utiliza parametri tehnici ai transformatorului, specificați în pașaportul acestuia. În cazul cînd consumatorul din careva considerente nu deține pașaportul respectiv, parametri tehnici ai transformatorului se vor lua conform Anexei 1 la prezenta Instrucțiune.

În dependență de performanța echipamentului de măsurare, montat la consumator, sînt definite trei situații informaționale în funcție de care se calculează pierderile tehnice de energie electrică în elementele rețelei electrice ale consumatorului.

Situația A - sînt cunoscuți toți parametri necesari calculului pierderilor tehnice de energie electrică în elementele rețelei electrice, inclusiv parametri regimului de consum (W_a , W_r , curba de sarcină orară, $\cos \varphi$). O asemenea situație este caracteristică unui echipament de măsurare performant.

Situația B - sînt cunoscute volumele de energie activă (W_a) și reactivă (W_r), înregistrate de echipamentul de măsurare, care au fost tranzitate prin elementele rețelei electrice pe parcursul perioadei de facturare. Echipamentul de măsurare nu are posibilitatea să înregistreze parametri regimului de consum (curba de sarcină orară), necesari calculului pierderilor tehnice de energie electrică în elementele rețelei.

Situația C - este cunoscut doar volumul de energie activă (W_a), care a tranzitat elementele rețelei electrice pe parcursul perioadei de facturare, înregistrat de echipamentul de măsurare.

Echipamentul de măsurare nu are posibilitatea să înregistreze parametrii regimului de consum, necesari calculului pierderilor tehnice de energie electrică în elementele rețelei electrice.

4.2. Algoritmul de calcul a pierderilor tehnice de energie electrică în transformatoarele de forță

4.2.1. Generalități

Circulația de putere și energie prin transformator cauzează pierderi de putere activă și reactivă

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_s \quad (1)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_0 + \Delta Q_s \quad (2)$$

precum și pierderi de energie activă și reactivă

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} \quad (3)$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} \quad (4)$$

4.2.2. Modalitatea de calcul a pierderilor constante

4.2.2.1. Pierderile constante de putere ΔP_0 și ΔQ_0 se determină în baza parametrilor tehnici ai transformatorului. Pierderile ΔP_0 reprezintă date de pașaport (catalog) al transformatorului, iar pierderile ΔQ_0 se calculează cu formula:

$$(5)$$

unde atât curentul $I_{0\%}$ cât și capacitatea transformatorului S_{nom} sînt date de pașaport (catalog).

4.2.2.2. Pierderile constante de energie $\Delta W_{0,a}$ și $\Delta W_{0,r}$ se determină conform formulelor:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f \quad (6)$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f \quad (7)$$

4.2.3. Modalitatea de calcul a pierderilor variabile

4.2.3.1. În prezenta Instrucțiune pierderile variabile de energie în transformatoare se determină folosind metoda duratei pierderilor maxime.

4.2.3.2. Pierderile variabile de energie activă și reactivă în transformator pe durata de facturare pentru Situația A și Situația B se determină aplicând formulele:

$$\frac{W_{2a} + W_{2r}}{\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times T_{2M} \times S_{2nom}} \quad (8)$$

$$\frac{W_{2a} + W_{2r}}{\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times T_{2M} \times S_{2nom}} \quad (9)$$

unde:

T_M și τ pentru Situația A se determină conform formulelor (15) și (16), iar

pentru Situația B – conform p.4.2.4.;

ΔP_{sc} reprezintă parametru de pașaport (catalog);

ΔQ_{sc} se calculează cu următoarea formulă:

$$(10)$$

Tensiunea de scurtcircuit $usc\%$, capacitatea transformatorului S_{nom} (în kVA) și pierderile de putere activă la scurtcircuit ΔP_{sc} (în kW) sînt parametri de pașaport (catalog).

4.2.3.3. Pierderile variabile de energie activă și reactivă în transformator pe durata de facturare, pentru Situația C, se determină aplicînd formulele:

$$\frac{W_{2a} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times T_{2M} \times S_{2nom}} \quad (11)$$

$$\frac{W_{2a} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times T_{2M} \times S_{2nom}} \quad (12)$$

unde:

T_M și τ pentru Situația C se determină conform p.4.2.4;

ΔP_{sc} reprezintă parametru de pașaport (catalog);

ΔQ_{sc} se calculează conform formulei (10);

W_a se calculează în baza indicațiilor echipamentului de măsurare, pentru perioada de facturare (este un parametru cunoscut);

$\operatorname{tg} \varphi$ se calculează cunoscând valoarea factorului de putere $\cos \varphi$ aplicînd formula:

$$(13)$$

4.2.3.4 Pentru a determina pierderile de energie în transformatorul consumatorului în Situația B factorul de putere se va calcula cu formula:

$$(14),$$

iar pentru calcularea cantității de energie reactivă și a pierderilor de energie în transformatorul consumatorului în Situația C se va folosi factorul de putere $\cos \varphi = 0,75$ indicat în contractul de furnizare a energiei electrice.

4.2.3.5. Durata de utilizare a puterii aparente maxime T_M , precum și durata pierderilor maxime τ , pentru Situația A se determină conform relațiilor:

(15)

(16)

unde:

St – puterea aparentă a sarcinii transformatorului în ora t a perioadei de facturare;

SM – puterea maximă înregistrată pe parcursul perioadei de facturare.

4.2.3.6. Valorile TM și τ pentru Situațiile B și C vor fi determinate în mod aproximativ conform p.4.2.4.

Valorile duratei pierderilor maxime τ , prezentate în tabelul 1, sînt determinate conform relației:

(17)

Valorile lunare ale duratelor TM și τ se calculează în baza relațiilor:

$TM_{\text{lună}} = TM_{\text{an}} / 12$ și $\tau_{\text{lună}} = \tau_{\text{an}} / 12$

4.2.4. Estimarea duratelor TM și τ pentru Situațiile B și C

4.2.4.1. Evaluarea duratei de utilizare a puterii aparente maxime TM se efectuează aplicînd așa numita metodă TM –mobil.

4.2.4.2. Valorile de calcul ale parametrilor TM și τ (ore - pe durata de calcul), în cele din urmă, vor fi alese din șirul valorilor discrete prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

TM, h

167

333

500

667

730

τ , h
77
200
383
623
730

Aceste valori lunare corespund valorilor anuale prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

TM, h
2000
4000
6000
8000
8760
 τ , h
920
2405
4592
7479
8760

4.2.4.3. Alegerea valorilor de calcul TM și τ se efectuează prin utilizarea unui parametru auxiliar de calcul W^+ , determinat conform formulei $W_i^+ = S_{nom} \times \cos\varphi \times TM_i$ pentru toate valorile TM indicate în tabelul 1.

Modalitatea de alegere a valorii finale TM este următoarea: pentru valorile cunoscute ale parametrilor S_{nom} și $\cos\varphi$ și pentru valoarea dată W_a se determină acea valoare minimă TM din șirul valorilor discrete 167, 333, etc. (vezi tabelul 1) pentru care este satisfăcută condiția:

$$W_a < 0,9 \times W^+ (TM).$$

4.2.5. Exemple de calcul al pierderilor de energie în transformatoare pentru cele trei situații menționate în p.4.1 sînt prezentate în Anexa 2.

4.3. Algoritmul de calcul a pierderilor tehnice de energie în liniile electrice

4.3.1. Generalități

4.3.1.1. Circulația de putere și energie prin linie cauzează pierderi de putere activă și reactivă

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_s \quad (1)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_0 + \Delta Q_s \quad (2)$$

precum și pierderi de energie activă și reactivă

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} \quad (3)$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} \quad (4)$$

4.3.1.2. Fiind valori mici, pierderile reactive în linie nu se consideră. Deci: $\Delta Q = 0$ și respectiv $\Delta W_r = 0$.

4.3.1.3. Avînd în vedere că pierderile active constante în liniile cu tensiunea nominală sub 110 kV sînt valori mici acestea se neglijează. Deci: $\Delta P_0 = 0$ și respectiv $\Delta W_{0,a} = 0$.

4.3.2. Calculul rezistenței liniei

Rezistența liniei se calculează aplicînd formula:

$$R = \frac{l}{q} \cdot k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot 10^3, [\text{Ohm}] \quad (5)$$

unde:

k_r - coeficient de răsucire (1 – pentru conductor monofilar; 1.02 – pentru conductor multifilar);

k_{tr} - coeficient de traseu, care ia în considerare alungirea liniei din cauza deflecției conductorului liniei electrice aeriene sau montării neregulate a cablului (se ia egal cu 1,03);

k_c - coeficient care ia în considerație creșterea rezistenței în curent alternativ datorită efectului pelicular și de apropiere precum și datorită pierderilor determinate de curenții induși în mantalele cablurilor ($k_c=1$ - pentru LEA; pentru cabluri - conform tabelului de mai jos):

Secțiunea conductorului, q, mm²

10

16

25

35

50

70

95

120

150

185

240

300

400

Coeficient Kc

1,006

1,009

1,015

1,020

1,029

1,041

1,056

1,070

1,088

1,108

1,140

1,175

1,234

mm²

ρ_{20} - rezistivitatea materialului conductorului la temperatura de 20°C, Ohm ·

—
(0,0175 – pentru cupru; 0,0295 – pentru
m

aluminu; 0,134 – pentru oțel);

l - lungimea liniei, km (indicată în contractul de furnizare a energiei electrice);

q - secțiunea conductorului, mm² (indicată în contractul de furnizare a energiei electrice).

De menționat că în cazul conductorului aluminu-oțel se ia doar secțiunea aluminului.

4.3.3. Modalitatea de calcul a pierderilor variabile active în linie

4.3.3.1. În prezenta Instrucțiune pierderile variabile de energie în linie se determină folosind metoda sarcinilor medii.

4.3.3.2. Pierderile variabile de energie activă în linie pe durata de facturare se determină aplicând formula:

$$\frac{W_{2a} + W_{2r}}{\Delta W_{s,a} = R \cdot K_{2f} \cdot \cdot 10^{-3}, [\text{kWh}]}$$

(6)

$$U_{2\text{nom}} \cdot T_f$$

unde:

T_f este perioada de funcționare a liniei pe parcursul perioadei de facturare, h;

W_a se calculează în baza indicațiilor echipamentului de măsurare, pentru perioada de facturare (este un parametru cunoscut), kWh;

W_r în Situația A și Situația B se calculează în baza indicațiilor echipamentului de măsurare, pentru perioada de facturare (este un parametru cunoscut), kvarh

iar, în Situația C se estimează aplicând formula:

; unde $\cos\phi$ este factorul de putere indicat în contractul de furnizare a energiei electrice;

K_f este coeficientul de formă al curbei de sarcină

Pentru Situația B și Situația C $K_f=1,15$, iar, pentru Situația A K_f se calculează cu următoarea formulă:

(7)

unde

S_t - puterea aparentă a sarcinii liniei în ora t a perioadei de facturare;

U_{nom} este tensiunea nominală a liniei, specificată în contract, kV;

R este rezistența liniei, calculată conform p.4.2.2, Ohm;

4.3.3.3. În cazul liniei monofazate pierderile variabile de energie activa se calculează cu formula (6) înmulțind la 2/3.

4.3.4. Exemple de calcul al pierderilor de energie în linii pentru diferite situații sînt prezentate în Anexa 3.

Anexa 1

Parametrii tehnici ai transformatoarelor

S_{nom} , kVA

U_{sc} , %

ΔP_{sc} , kW

ΔP_0 , kW

I_0 , %

$U_{nom} = 10/0,4$ kV

25

4,7

0,69

0,13

3,2

30

5,5

0,85

0,30

9,0

40

4,7

1,00

0,175

3,0

50

5,5

1,325

0,44

8,0

63

4,7

1,47

0,24

2,8

100

4,7

2,27

0,33

2,6

160

4,7

3,10
0,51
2,4
180
5,5
4,1
1,2
7,0
250
4,5
4,20
0,74
2,3
320
4,5
4,99
0,84
7,0
400
4,5
5,90
0,95
2,1
560
4,5
7,2
2,0
5,0
630
5,5
8,50
1,31
2,0
1000
5,5
12,20
2,45
1,4
1600
5,5
18,00
3,30
1,3
1800
5,5
24,0
8,0
4,5
2500
5,5
26,00
4,60

1,0
Unom = 6/0,4 kV
25
4,7
0,69
0,13
3,2
30
5,5
0,85
0,25
8,0
40
4,7
1,0
0,175
3,0
63
4,7
1,47
0,24
2,8
100
4,7
2,27
0,33
2,6
160
4,7
3,1
0,51
2,4
180
5,5
4,0
1,0
6,0
250
4,5
4,2
0,74
2,3
320
4,5
5,0
0,8
6,0
400
4,5
5,9
0,95
2,1

560
4,5
7,2
2,0
5,0
630
5,5
8,5
1,31
2,0
1000
5,5
12,2
2,45
1,4
1600
5,5
18
3,3
1,3
1800
5,5
24,0
8,0
4,5
2500
5,5
26
4,6
1,0
Unom = 10/6 kV
1000
5,5
11,6
2,4
1,4
1600
5,5
16,5
3,3
1,3
1800
5,5
24,0
8,0
4,5
2500
5,5
23,5
4,6
1,0
3200

5,5
37,0
11,0
4,0
4000
6,5
33,5
6,4
0,9
5600
5,5
56,0
18,0
4,0
6300
6,5
46,5
9,0
0,8

Anexa 2

Exemple ce ilustrează metodica de calcul a pierderilor în transformatoarele de forță

Exemplul 1 (Situația A)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică în transformatorul 10/0,4 kV al consumatorului pentru perioada 4 octombrie - 3 noiembrie. În perioada indicată transformatorul a funcționat timp de 528 ore. Echipamentul de măsurare instalat la partea de 0,4 kV a transformatorului are posibilitatea înregistrării curbei de sarcină activă și reactivă. În baza înregistrărilor echipamentului de măsurare utilizând formulele (15) și (16) au fost calculați $T_M = 447$ h și $\tau = 413$ h.

De asemenea se cunoaște:

- puterea nominală a transformatorului: $S_{nom} = 630$ kVA;
- tensiunea nominală (primară) a transformatorului: $U_{nom} = 10$ kV;
- consumul de energie activă și reactivă, calculat în baza indicațiilor echipamentului de măsurare pe perioada dată: $W_a = 201000$ kWh și $W_r = 96480$ kVarh;
- parametrii tehnici ai transformatorului: $u_{sc}\% = 5,5\%$; $\Delta P_{sc} = 8,5$ kW; $\Delta P_0 = 1,31$ kW; $I_0\% = 2,0\%$.

Rezolvare:

1. Durata de calcul reprezintă durata reală de funcționare a transformatorului: $T_f = 528$ h.
2. Pierderile constante de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f = 1,31 \times 528 = 691,68 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f = 12,532 \times 528 = 6616,896 \text{ kvarh}$$

unde

3. Pierderile variabile de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\begin{aligned} & W_{2a} + W_{2r} \\ & 2010002 + 964802 \\ & \Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \cdot \tau \cdot \\ & \hline & = 8,5 \cdot 413 \cdot \\ & \hline & = 2200,499 \text{ kWh} \\ & T_{2M} \cdot S_{2nom} \\ & 4472 \cdot 6302 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & W_{2a} + W_{2r} \\ & 2010002 + 964802 \\ & \Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \cdot \tau \cdot \\ & \hline & = 33,591 \cdot 413 \cdot \\ & \hline & = 8695,915 \text{ kvarh} \\ & T_{2M} \cdot S_{2nom} \\ & 4472 \cdot 6302 \\ & \text{unde} \end{aligned}$$

4. Pierderile totale de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} = 691,68 + 2200,499 = 2892 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} = 6616,896 + 8695,915 = 15313 \text{ kvarh.}$$

Exemplul 2 (Situția B)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică în transformatorul consumatorului pentru perioada 13 aprilie-12 mai. În perioada indicată transformatorul a funcționat timp de 696 ore. Echipamentul de măsurare instalat la partea de 0,4 kV a transformatorului are capacitatea de a înregistra consumul de energie activă și reactivă.

De asemenea se cunoaște:

- puterea nominală a transformatorului: $S_{nom} = 400 \text{ kVA}$;
- tensiunea nominală (primară) a transformatorului: $U_{nom} = 10 \text{ kV}$;
- consumul de energie activă și reactivă, calculat în baza indicațiilor echipamentului de măsurare pe perioada dată: $W_a = 53954 \text{ kWh}$ și $W_r = 39062 \text{ kVarh}$;
- parametrii tehnici ai transformatorului: $u_{sc}\% = 4,5\%$; $\Delta P_{sc} = 5,9 \text{ kW}$; $\Delta P_0 = 0,95 \text{ kW}$; $I_0\% = 2,1\%$.

Rezolvare:

1. Durata de calcul reprezintă durata reală de funcționare a transformatorului: $T_f = 696 \text{ h}$.
2. Factorul de putere $\cos\varphi$:

3. Duratele T_M și τ

Pentru valorile $S_{nom} = 400 \text{ kVA}$, $\cos\varphi = 0,81$ și $W_a = 53954 \text{ kWh}$, aplicăm cerințele 4.2.4 pentru a calcula T_M și τ .

Deci obținem: $T_M = 333 \text{ h}$ și $\tau = 200 \text{ h}$.

4. Pierderile constante de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f = 0,95 \times 696 = 661,2 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f = 8,346 \times 696 = 5808,816 \text{ kvarh}$$

unde

5. Pierderile variabile de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\begin{aligned} &W_{2a} + W_{2r} \\ &539542 + 390622 \\ &\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times \end{aligned}$$

$$= 5,9 \times 200 \times$$

$$= 295,087 \text{ kWh}$$

$$T_{2M} \times S_{2nom}$$

$$3332 \times 4002$$

$$\begin{aligned} &W_{2a} + W_{2r} \\ &539542 + 390622 \\ &\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times \end{aligned}$$

$$= 17,005 \times 200 \times$$

$$= 850,502 \text{ kvarh}$$

$$\begin{aligned} & T2M \times S2_{nom} \\ & 3332 \times 4002 \end{aligned}$$

unde

6. Pierderile totale de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} = 661,2 + 295,087 = 956 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} = 5808,816 + 850,502 = 6659 \text{ kvarh.}$$

Exemplul 3 (Situția C)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică în transformatorul 10/0,4kV a consumatorului pentru perioada de 28 zile. Echipamentul de măsurare instalat la partea de 0,4 kV a transformatorului înregistrează numai cantitatea de energie activă.

De asemenea se cunoaște:

- puterea nominală a transformatorului: $S_{nom} = 63 \text{ kVA}$;
- tensiunea nominală (primară) a transformatorului: $U_{nom} = 10 \text{ kV}$;
- factorul de putere indicat în contractul de furnizare: $\cos\varphi = 0,75$;
- consumul de energie activă înregistrat de contor pe perioada dată – $W_a = 20100 \text{ kWh}$;
- parametrii tehnici ai transformatorului: $usc\% = 4,7\%$; $\Delta P_{sc} = 1,47 \text{ kW}$; $\Delta P_0 = 0,24 \text{ kW}$, $I_0\% = 2,8\%$.

Rezolvare:

1. Durata de calcul: $T_f = 28 \times 24 = 672 \text{ h}$.
2. Duratele T_M și τ pentru perioada de calcul.

Pentru valorile $S_{nom} = 63 \text{ kVA}$, $\cos\varphi = 0,75$ și $W_a = 20100 \text{ kWh}$, aplicăm cerințele 4.2.4 pentru a calcula T_M și τ .

Deci obținem: $T_M = 500 \text{ h}$ și $\tau = 383 \text{ h}$.

3. Pierderile constante de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f = 0,24 \times 672 = 161,28 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f = 1,748 \times 672 = 1174,656 \text{ kvarh}$$

unde

4. Pierderile variabile de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\begin{aligned} & \frac{W_{2a} (1 + \tan^2\varphi)}{T_{2M} \times S_{2nom}} \\ & \frac{201002 \times (1 + 0,88192)}{5002 \times 632} \\ & \Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times \\ & \hline & = 1,47 \times 383 \times \\ & \hline & = 407,528 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{W_{2a} (1 + \tan^2\varphi)}{T_{2M} \times S_{2nom}} \\ & \frac{201002 \times (1 + 0,88192)}{5002 \times 632} \\ & \Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times \\ & \hline & = 2,57 \times 383 \times \\ & \hline & = 712,48 \text{ kvarh} \end{aligned}$$

unde

5. Pierderile totale de energie în transformator pe perioada de calcul:

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} = 161,28 + 407,528 = 569 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} = 1174,656 + 712,48 = 1887 \text{ kvarh.}$$

Anexa 3

Exemple ce ilustrează metodică de calcul a pierderilor
tehnice de energie în liniile electrice

Exemplul 1 (Situația A)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică activă în linia electrică aeriană 10 kV a consumatorului pentru perioada 4 octombrie – 3 noiembrie. În perioada indicată linia a funcționat timp de 528 ore. Linia leagă punctul de delimitare și transformatorul 10/0,4 kV – proprietate a consumatorului. Energia intrată în transformator pe parcursul perioadei de funcționare a constituit: activă – 203892 kWh și reactivă – 111793 kvarh. Echipamentul de măsurare instalat la partea de 0,4 kV a transformatorului are posibilitatea înregistrării curbei de sarcină activă și reactivă. În baza înregistrărilor echipamentului de măsurare utilizând formula (7) a fost calculat $K_f = 1,18$.

De asemenea se cunoaște:

- lungimea liniei: $l = 1,5 \text{ km}$;
- secțiunea liniei: $q = 70 \text{ mm}^2$;
- conductorul: aluminiu, multifilar.

Rezolvare:

1. Durata de calcul reprezintă durata reală de funcționare a liniei: $T_f = 528$ h.

2. Rezistența liniei:

$$R = \frac{l}{1,5} \cdot k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot \frac{1}{10^3} = 1,02 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 0,0295 \cdot \frac{1}{10^3} = 0,664 \, \Omega$$

3. Pierderile variabile de energie activă în linie pe perioada de calcul:

$$\Delta W_{s,a} = \frac{W_{2a} + W_{2r}}{10^{-3}} = \frac{2038922 + 1117932}{10^{-3}} = 0,664 \cdot 1,182 \cdot \frac{U_{2nom}^2 \cdot T_f}{10^3} = 947 \, \text{kWh}$$

Exemplul 2 (Situția B)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică activă în linia electrică în cablu 10 kV a consumatorului pentru perioada 13 aprilie – 12 mai. În perioada indicată linia a funcționat timp de 696 ore. Linia leagă punctul de delimitare și transformatorul 10/0,4 kV – proprietate a consumatorului. Echipamentul de măsurare instalat la partea de 10 kV a transformatorului are capacitatea de a înregistra consumul de energie activă și reactivă. Energia intrată în transformator pe parcursul perioadei de funcționare a constituit: activă – 54910 kWh și reactivă – 45721 kvarh.

De asemenea se cunoaște:

- lungimea liniei: $l = 0,15$ km;
- secțiunea liniei: $q = 50$ mm²;
- conductor: aluminiu, monofilar.

Rezolvare:

1. Durata de calcul reprezintă durata reală de funcționare a liniei: $T_f = 696$ h.

2. Rezistența liniei:

$$\begin{aligned} & l \\ & 0,15 \\ R &= k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot \\ & \cdot 10^3 = \\ & 1 \cdot 1,03 \cdot 1,029 \cdot 0,0295 \cdot \\ & \cdot 10^3 = 0,094 \, \Omega \\ & q \\ & 50 \end{aligned}$$

3. Pierderile variabile de energie activă în linie pe perioada de calcul:

$$\begin{aligned} & W_{2a} + W_{2r} \\ & 549102 + 457212 \\ \Delta W_{s,a} &= R \cdot K_{2f} \cdot \\ & \cdot 10^{-3} \\ & = 0,094 \cdot 1,152 \cdot \\ & \cdot 10^{-3} = 9 \text{ kWh} \\ & U_{2nom} \cdot T_f \\ & 102 \cdot 696 \end{aligned}$$

Exemplul 3 (Situția C)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică activă în linia electrică în cablu 0,38 kV a consumatorului pentru perioada de 28 zile. Consumatorul a fost obligat să-și instaleze contor de energie reactivă, însă prescripția nu a fost executată. În perioada de calcul echipamentul de măsurare instalat la capătul liniei opus punctului de delimitare înregistrează numai consumul de energie activă. Consumul de energie activă înregistrat pe parcursul perioadei de funcționare a constituit: 20100 kWh.

De asemenea se cunoaște:

- factorul de putere aplicat pentru condițiile expuse: $\cos\varphi = 0,75$;

- lungimea liniei: $l = 0,05 \text{ km}$;
- secțiunea liniei: $q = 25 \text{ mm}^2$;
- conductor: cupru, monofilar.

Rezolvare:

1. Durata de calcul reprezintă durata reală de funcționare a liniei: $T_f = 28 \times 24 = 672 \text{ h}$.

2. Rezistența liniei:

$$R = \frac{l}{0,05} \cdot k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot \frac{q}{25} \cdot 10^3 =$$

$$1 \cdot 1,03 \cdot 1,015 \cdot 0,0175 \cdot 10^3 = 0,037 \, \Omega$$

3. Consumul estimativ de energie reactivă:

4. Pierderile variabile de energie activă în linie pe perioada de calcul:

$$\Delta W_{s,a} = \frac{W_{2a} + W_{2r}}{U_{2nom}^2 \cdot T_f} \cdot 10^{-3}$$

$$= \frac{201002 + 177272}{0,382^2 \cdot 672} \cdot 10^{-3} = 362 \text{ kWh}$$

Exemplul 4 (Situția C)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică activă în linia electrică în cablu 0,38 kV a consumatorului pentru perioada de 30 zile. Echipamentul de măsurare instalat la capătul liniei opus punctului de delimitare înregistrează numai consumul de energie activă. Conform normelor, consumatorul nu este obligat să-și instaleze contor de energie reactivă. Consumul de energie activă înregistrat pe parcursul perioadei de funcționare a constituit: 6100 kWh.

De asemenea se cunoaște:

- factorul de putere: $\cos\varphi = 0,92$;
- lungimea liniei: $l = 0,1$ km;
- secțiunea liniei: $q = 35$ mm²;
- conductor: cupru, monofilar.

Rezolvare:

1. Durata de calcul reprezintă durata reală de funcționare a liniei: $T_f = 30 \times 24 = 720$ h.

2. Rezistența liniei:

$$R = \frac{l}{0,1} \cdot k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot \frac{q}{35} \cdot 10^3 =$$
$$1 \cdot 1,03 \cdot 1,020 \cdot 0,0175 \cdot \frac{35}{35} \cdot 10^3 = 0,053 \, \Omega$$

3. Consumul estimativ de energie reactivă:

4. Pierderile variabile de energie activă în linie pe perioada de calcul:

$$\begin{aligned}
 &W_{2a} + W_{2r} \\
 &61002 + 25992 \\
 &\Delta W_{s,a} = R \cdot K_{2f} \cdot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\cdot 10^{-3} \\
 &= 0,053 \cdot 1,152 \cdot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\cdot 10^{-3} = 30 \text{ kWh} \\
 &U_{2nom} \cdot T_f \\
 &0,382 \cdot 720
 \end{aligned}$$

НАЦИОНАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

об утверждении Инструкции по расчету потерь активной и
реактивной электрической энергии в элементах сети,
находящихся на балансе потребителя

N 246 от 02.05.2007

Мониторул Официал N 94-97/415 от 06.07.2007

* * *

В целях установления метода определения потерь активной и реактивной электрической энергии в элементах сети, находящихся на балансе потребителя и расположенных между точкой разграничения и точкой учета использованной электрической энергии, в случаях, предусмотренных Положением о поставке и использовании электрической энергии, утвержденным Постановлением Правительства № 1194 от 22.11.2005 г.,
Административный совет Национального агентства по регулированию в энергетике

ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Утвердить Инструкцию по расчету потерь активной и реактивной электрической энергии в элементах сети, находящихся на балансе потребителя.
2. Настоящая инструкция является обязательной для всех распределительных предприятий электрической энергии независимо от формы собственности, которые согласно законодательству регламентируются Национальным агентством по регулированию в энергетике (НАРЭ).
3. Аннулировать Инструкцию по расчету потерь в силовых трансформаторах, состоящих на балансе потребителя, утвержденную Постановлением Административного совета НАРЭ № 51 от 14.03.2002 г., и Инструкцию по расчету потерь электроэнергии в линиях электропередачи, находящихся на балансе потребителя, утвержденную Постановлением Административного совета НАРЭ № 69 от 15.11.2002 г.

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР НАРЭ

Виталие ЮРКУ

ДИРЕКТОР НАРЭ

Николае ТРИБОЙ

ДИРЕКТОР НАРЭ

Анато́л БУРЛАКОВ

Кишинэу, 2 мая 2007 г.

№ 246.

Утверждено

Постановлением

Административного

совета НАРЭ

№ 246 от 2 мая 2007 г.

ИНСТРУКЦИЯ

по расчету потерь активной и реактивной электрической энергии

в элементах сети, находящихся на балансе потребителя

1. ЦЕЛЬ

Целью данной инструкции является установление метода определения технических потерь активной и реактивной электрической энергии в элементах сети, являющихся собственностью потребителя и находящихся между разграничительным пунктом и точкой учета потребленной электрической энергии.

2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая инструкция применяется для определения технических потерь активной и реактивной электрической энергии в элементах сети, являющихся собственностью потребителя, в ситуациях, предусмотренных Положением о поставке и использовании электрической энергии, утвержденным Постановлением Правительства № 1194 от 22.11.2005 года, когда точка учета электрической энергии не совпадает с разграничительным пунктом.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

3.1. Определения

В понимании настоящей инструкции приведенные ниже понятия имеют следующее значение:

расчетный период - период, для которого осуществляется расчет потерь электрической энергии;

потери электрической (энергии) мощности - технологическое потребление электрической (энергии) мощности, относящееся к передаче электрической мощности (энергии) через элементы сети;

постоянные потери (энергии) мощности - потери (энергии) мощности:

в трансформаторе из-за намагничивания сердечника и вихревых токов, а также гистерезиса;

в линиях из-за эффекта короны и токов утечки через изоляторы;

переменные потери (энергии) мощности - потери (энергии) мощности в обмотках трансформатора и в проводах электрической линии при передаче электрической (энергии) мощности через них.

3.2. Обозначения

ΔP

- общие активные потери мощности в элементах сети, kW;

ΔQ

- общие реактивные потери мощности, kvar;

ΔP_0

- постоянные активные потери мощности, kW;

ΔQ_0

- постоянные реактивные потери мощности, kvar;

ΔP_s

- переменные активные потери мощности (нагрузочные потери), kW;

ΔQ_s

- переменные реактивные потери мощности (нагрузочные потери), kvar;

ΔP_{sc}

- активные потери короткого замыкания, kW;

W_a

- активная энергия, переданная через элементы сети в течение расчетного периода, kWh;

W_r

- реактивная энергия, переданная через элементы сети в течение расчетного периода, kvarh;

ΔW_a

- общие потери активной энергии в течение расчетного периода, kWh;

ΔW_r

- общие потери реактивной энергии в течение расчетного периода, kvarh;

$\Delta W_{0,a}$

- постоянные потери активной энергии, kWh;

$\Delta W_{0,r}$

- постоянные потери реактивной энергии, kvarh;

$\Delta W_{s,a}$

- переменные потери активной энергии, kWh;

$\Delta W_{s,r}$

- переменные потери реактивной энергии, kvarh;

S_{max}

- максимальная нагрузка, зарегистрированная в течение расчетного периода, kVA;

S_{nom}

- номинальная мощность трансформатора, kVA;

T

- расчетный период, h;

T_M

- время использования максимальной нагрузки, h;

T_f

- продолжительность работы элементов сети в течение расчетного периода, h;

τ

- время наибольших потерь, h;

U_{nom}

- номинальное (первичное) напряжение трансформатора, номинальное напряжение линии, kV;

$\cos \varphi$

- коэффициент мощности;

$\operatorname{tg} \varphi$

- коэффициент реактивной мощности;

K_f

- коэффициент формы графика нагрузки;

R

- сопротивление линии, Ом;

L

- протяженность линии, km;

q

- сечение провода, мм²

4. МЕТОД РАСЧЕТА ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ

ЭНЕРГИИ В ЭЛЕМЕНТАХ СЕТИ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ

СОБСТВЕННОСТЬЮ ПОТРЕБИТЕЛЯ

4.1. Гипотезы расчета

При расчете технических потерь электрической энергии в трансформаторе используются технические параметры (данные) трансформатора, приведенные в его техническом паспорте. В случае если у потребителя нет такого паспорта, тогда технические параметры трансформатора берутся из приложения № 1 к настоящей инструкции.

В зависимости от характеристик средства учета, установленного у потребителя, определено три информационных случая, относительно которых рассчитываются технические потери электрической энергии в элементах сети.

Случай А. Известны все параметры, необходимые для расчета технических потерь электрической энергии в элементах сети, включая параметры режима потребления (W_a , W_r , часовой график нагрузки, $\cos \varphi$). Такой случай характерен для современных средств учета.

Случай В. Известно количество активной (W_a) и реактивной (W_r) энергии, переданное через элементы сети и зарегистрированное средством учета в течение расчетного периода. Средство учета не имеет возможность регистрировать параметры режима потребления (часовой график нагрузки), необходимые для расчета технических потерь электрической энергии в элементах сети.

Случай С. Известно только количество активной (W_a) энергии, переданное через элементы сети в течение расчетного периода и зарегистрированное средством учета. Средство учета не имеет возможность регистрировать параметры режима потребления, необходимые для расчета технических потерь электрической энергии в элементах сети.

4.2. Алгоритм расчета технических потерь электрической энергии в силовых трансформаторах

4.2.1. Общие замечания

Передача мощности и энергии через трансформатор приводит к потерям активной и реактивной мощности:

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_s \quad (1)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_0 + \Delta Q_s \quad (2),$$

а также к потерям активной и реактивной энергии:

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} \quad (3)$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} \quad (4)$$

4.2.2. Метод расчета постоянных потерь

4.2.2.1. Постоянные потери мощности ΔP_0 и ΔQ_0 определяются на основе технических параметров трансформатора. Потери ΔP_0 представляют собой справочные/паспортные данные трансформатора, а потери ΔQ_0 рассчитываются согласно формуле:

$$(5),$$

где ток $I_0\%$ и мощность трансформатора S_n являются справочными/паспортными данными.

4.2.2.2. Постоянные потери энергии $\Delta W_{0,a}$ и $\Delta W_{0,r}$ определяются согласно выражениям:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f \quad (6)$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f \quad (7)$$

4.2.3. Метод расчета переменных потерь

4.2.3.1. В настоящей инструкции переменные потери энергии в трансформаторах определяются методом времени наибольших потерь.

4.2.3.2. Переменные потери активной и реактивной энергии в течение расчетного периода для случаев А и В определяются согласно следующим формулам:

$$\frac{W_{2a} + W_{2r}}{\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times}$$

$$(8) \\ T_{2M} \times S_{2nom}$$

$$\frac{W_{2a} + W_{2r}}{\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times}$$

$$(9), \\ T_{2M} \times S_{2nom}$$

где:

T_M и τ для случая А определяются согласно формулам (15) и (16) и

для случая В – согласно п.4.2.4;

ΔP_{sc} представляют собой справочный/паспортный параметр;

ΔQ_{sc} определяются по формуле:

(10)

Напряжение короткого замыкания $usc\%$ и мощность трансформатора S_{nom} (kVA) и активные потери короткого замыкания ΔP_{sc} (kW) являются справочными/паспортными параметрами.

4.2.3.3. Переменные потери активной и реактивной энергии в трансформаторе в течение расчетного периода для случая С определяются, используя следующие выражения:

$$\frac{W_{2a} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times}$$

$$(11) \\ T_{2M} \times S_{2nom}$$

$$\frac{W_{2a} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times}$$

$$(12), \\ T_{2M} \times S_{2nom}$$

где:

T_M и τ для случая С определяются согласно п.4.2.4;

ΔP_{sc} представляет собой справочный/паспортный параметр,

ΔQ_{sc} рассчитывается согласно формуле (10);

W_a определяется на основе показаний средства учета для расчетного периода (является известным параметром);

$\operatorname{tg} \varphi$ рассчитывается, имея значение коэффициента мощности $\cos \varphi$, согласно формуле:

(13)

4.2.3.4. Для расчета количества потерь энергии в трансформаторе потребителя в случае В коэффициент мощности рассчитывается по формуле:

(14),

а для расчета количества реактивной энергии и значения потерь энергии в трансформаторе потребителя в случае С используется коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,75$, указанный в контракте на поставку электрической энергии.

4.2.3.5. Время использования максимальной нагрузки ТМ, как и время наибольших потерь τ для случая А определяются приближенно согласно формулам:

(15)

(16),

где:

St – полная мощность нагрузки трансформатора в течение часа t расчетного периода;

SM – максимальная мощность, зарегистрированная в течение расчетного периода.

4.2.3.6. Значения ТМ и τ для случаев В и С определяются приближенно согласно пункту 4.2.4. Значения времени наибольших потерь τ , приведенные в таблице № 1, определяются согласно формуле:

(17)

Месячные значения времен ТМ и τ рассчитываются согласно формулам:

$TM_{\text{месяц}} = TM_{\text{год}} / 12$ и $\tau_{\text{месяц}} = \tau_{\text{год}} / 12$.

4.2.4. Расчет времен ТМ и τ для случаев В и С

4.2.4.1 Вычисление времени максимальной нагрузки ТМ производится, применяя так называемый метод ТМ -мобил.

4.2.4.2 Расчетные значения параметров ТМ и τ (часы – в течение расчетного периода), в конечном итоге, выбираются из серии конкретных значений, приведенных в таблице № 1.

Таблица № 1

ТМ, h

167

333

500

667

730

τ, h

77

200

383

623

730

Данные месячные значения соответствуют годовым значениям, приведенным в таблице № 2.

Таблица № 2

ТМ, h

2000

4000

6000

8000

8760

τ, h

920

2405

4592

7479

8760

4.2.4.3. Выбор значений для расчета ТМ и τ производится, применяя вспомогательный расчетный параметр W^+ , вычисленный по формуле $W_i^+ = S_{nom} \times \cos\varphi \times T_{Mi}$ для всех значений ТМ, приведенных в таблице № 1.

Способ выбора значения ТМ следующий: для известных значений параметров S_{nom} и $\cos\varphi$ и для заданного значения W_a определяется то минимальное значение ТМ из серии конкретных значений 167, 333 и т.д. (смотри таблицу № 1), для которой выполняется условие:

$$W_a < 0,9 \times W^+(TМ).$$

4.2.5. В приложении № 2 приведены примеры расчета потерь электрической энергии в трансформаторах для тех трех случаев, приведенных в п.4.1.

4.3. Алгоритм расчета технических потерь электрической энергии в линиях

4.3.1. Общие положения

4.3.1.1. Передача мощности и энергии по линии вызывает потери активной и реактивной мощности

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_s \quad (1)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_0 + \Delta Q_s \quad (2),$$

а также потери активной и реактивной энергии

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} \quad (3)$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} \quad (4)$$

4.3.1.2. Ввиду своих малых значений, реактивные потери в линии не учитываются. Таким образом: $\Delta Q=0$ и, соответственно, $\Delta W_r=0$.

4.3.1.3. Ввиду того что активные постоянные потери в линиях с номинальным напряжением ниже 110 кВ малы, их не учитывают. Таким образом: $\Delta P_0=0$ и, соответственно, $\Delta W_{0,a}=0$.

4.3.2. Расчет сопротивления линии

Сопротивление линии рассчитывается согласно формуле:

$$R = \frac{l}{q} \cdot k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot 10^3, [\text{Ом}] \quad (5),$$

где:

k_r - коэффициент скрутки (1 – для одножильного провода; 1.02 – для многожильного провода);

k_{tr} - коэффициент трассы, который учитывает удлинение линии за счет провисания проводов воздушной линии электропередачи или непрямолинейной прокладки кабеля (принимается равным 1,03);

k_c - коэффициент, который учитывает увеличение сопротивления переменному току за счет поверхностного эффекта и эффекта близости, а также за счет потерь, обусловленных токами, индуцированными в кабельных оболочках ($k_c=1$ - для ЛЭП; для кабеля – в соответствии с приведенной ниже таблицей):

Сечение провода, q , мм²

10

16

25

35

50

70

95

120

150

185

240

300

400

K_c

1,006

1,009

1,015

1,020

1,029

1,041

1,056

1,070

1,088

1,108

1,140

1,175

1,234

мм²

ρ_{20} - удельное сопротивление материала провода при температуре 20°C, Ом ·

(0,0175 – для меди; 0,0295 – для
м

алюминия; 0,134 – для стали);

l - длина линии, км (указанная в контракте на поставку электроэнергии);

q - сечение провода, мм² (указанное в контракте на поставку электроэнергии);

Следует отметить, что в случае сталеалюминиевого провода берется только сечение алюминия.

4.3.3. Порядок расчета переменных активных потерь в линии.

4.3.3.1. В настоящей инструкции переменные потери электроэнергии в линии определяются методом средних нагрузок [1,2,4].

4.3.3.2. Переменные потери активной энергии в линии в течение расчетного периода определяются по формуле:

$$\frac{W_{2a} + W_{2r}}{\Delta W_{s,a} = R \cdot K_{2f} \cdot}$$
$$\cdot 10^{-3}, [\text{кВт}\cdot\text{ч}]$$

(6),

$$U_{2\text{nom}}^2 \cdot T_f$$

где:

T_f - период работы линии в течение расчетного периода, ч;

W_a - рассчитывается на основании показаний средства учета за расчетный период (этот параметр известен), кВт·ч;

W_r - в ситуации А и ситуации В рассчитывается на основании показаний средства учета за расчетный период (этот параметр известен), квар.ч,

а в ситуации С рассчитывается по формуле:

, где $\cos\varphi$ – это коэффициент мощности, указанный в контракте на поставку электроэнергии;

K_f - коэффициент формы графика нагрузки.

Для ситуации В и ситуации С $K_f=1.15$, а для Ситуации А K_f рассчитывается по следующей формуле:

(7),

где

St - кажущаяся мощность нагрузки линии, соответствующая часу t периода фактуриации;

U_{nom} - номинальное напряжение линии, указанное в контракте, кВ;

R - сопротивление линии, рассчитанное согласно п.5.2.2, Ом.

4.3.3.3. В случае однофазной линии переменные потери активной энергии рассчитываются по формуле (6), затем умножая на $2/3$.

4.3.4. Примеры расчета потерь энергии в линии для различных ситуаций представлены в приложении 3.

Приложение № 1

Технические параметры силовых трансформаторов

S_{nom} , kVA

U_{sc} , %

ΔP_{sc} , kW

ΔP_0 , kW

I_0 , %

$U_{nom} = 10/0,4$ kV

25

4,7

0,69

0,13

3,2

30

5,5

0,85

0,30

9,0

40

4,7

1,00

0,175

3,0

50
5,5
1,325
0,44
8,0
63
4,7
1,47
0,24
2,8
100
4,7
2,27
0,33
2,6
160
4,7
3,10
0,51
2,4
180
5,5
4,1
1,2
7,0
250
4,5
4,20
0,74
2,3
320
4,5
4,99
0,84
7,0
400
4,5
5,90
0,95
2,1
560
4,5
7,2
2,0
5,0
630
5,5
8,50
1,31
2,0
1000
5,5

12,20
2,45
1,4
1600
5,5
18,00
3,30
1,3
1800
5,5
24,0
8,0
4,5
2500
5,5
26,00
4,60
1,0
 $U_{nom} = 6/0,4 \text{ kV}$
25
4,7
0,69
0,13
3,2
30
5,5
0,85
0,25
8,0
40
4,7
1,0
0,175
3,0
63
4,7
1,47
0,24
2,8
100
4,7
2,27
0,33
2,6
160
4,7
3,1
0,51
2,4
180
5,5
4,0

1,0
6,0
250
4,5
4,2
0,74
2,3
320
4,5
5,0
0,8
6,0
400
4,5
5,9
0,95
2,1
560
4,5
7,2
2,0
5,0
630
5,5
8,5
1,31
2,0
1000
5,5
12,2
2,45
1,4
1600
5,5
18
3,3
1,3
1800
5,5
24,0
8,0
4,5
2500
5,5
26,0
4,6
1,0
Unom = 10/6 kV
1000
5,5
11,6
2,4

1,4
1600
5,5
16,5
3,3
1,3
1800
5,5
24,0
8,0
4,5
2500
5,5
23,5
4,6
1,0
3200
5,5
37,0
11,0
4,0
4000
6,5
33,5
6,4
0,9
5600
5,5
56,0
18,0
4,0
6300
6,5
46,5
9,0
0,8

Приложение № 2

Примеры, иллюстрирующие методологию расчета

Пример 1 (случай А)

Требуется определить технические потери электроэнергии в трансформаторе 10/0,4 kV, принадлежащем потребителю, за период с 4 октября по 3 ноября. В данный период времени трансформатор работал 528 часов. Средство учета, установленное на напряжение 0,4 kV трансформатора, имеет возможность регистрировать активную и реактивную

составляющие нагрузки. На основе показаний средства учета, используя формулы (15) и (16), были рассчитаны $T_M = 447 \text{ h}$ и $\tau = 413 \text{ h}$.

Также известны:

- номинальная мощность трансформатора: $S_{nom} = 630 \text{ kVA}$;
- номинальное (первичное) напряжение трансформатора: $U_{nom} = 630 \text{ kV}$;
- потребление активной и реактивной энергии, определенное на основе показаний средств учета для данного периода: $W_a = 201000 \text{ kWh}$ и $W_r = 96480 \text{ kvarh}$;
- технические параметры трансформатора: $usc\% = 5,5\%$; $\Delta P_{sc} = 8,5 \text{ kW}$; $\Delta P_0 = 1,31 \text{ kW}$; $I_0\% = 2,0\%$.

Решение:

1. За расчетный период принимается фактический период работы трансформатора: $T_f = 528 \text{ h}$.
2. Постоянные потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f = 1,31 \times 528 = 691,68 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f = 12,532 \times 528 = 6616,896 \text{ kvarh}$$

где

3. Переменные потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\begin{aligned} & W_{2a} + W_{2r} \\ & 201000 + 96480 \\ & \Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times \end{aligned}$$

$$= 8,5 \times 413 \times$$

$$= 2200,499 \text{ kWh}$$

$$T_M \times S_{2nom}$$

$$4472 \times 6302$$

$$\begin{aligned}
 &W_{2a} + W_{2r} \\
 &2010002 + 964802 \\
 &\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times
 \end{aligned}$$

$$= 33,591 \times 413 \times$$

$$= 8695,915 \text{ kvarh}$$

$$T_{2M} \times S_{2nom}$$

$$4472 \times 6302$$

где

4. Общие потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} = 691,68 + 2200,499 = 2892 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} = 6616,896 + 8695,915 = 15313 \text{ kvarh.}$$

Пример 2 (случай В)

Требуется определить технические потери электроэнергии в трансформаторе, принадлежащем потребителю, за период с 13 апреля по 12 мая. В течение данного периода времени трансформатор работал 696 часов. Средство учета установлено на стороне 0,4 kV трансформатора и регистрирует потребление активной и реактивной энергии.

Также известны:

- номинальная мощность трансформатора: $S_{nom} = 400 \text{ kVA}$;
- номинальное (первичное) напряжение трансформатора: $U_{nom} = 10 \text{ kV}$;
- потребление активной и реактивной энергии, определенное на основе показаний средства учета для данного периода: $W_a = 53954 \text{ kWh}$ и $W_r = 39062 \text{ kvarh}$;
- технические параметры трансформатора: $usc\% = 4,5\%$; $\Delta P_{sc} = 5,9 \text{ kW}$; $\Delta P_0 = 0,95 \text{ kW}$; $I_0\% = 2,1\%$.

Решение:

1. Расчетный период равен фактическому периоду работы трансформатора: $T_f = 696 \text{ h}$.

2. Коэффициент мощности $\cos\varphi$:

3. Периоды ТМ и τ .

Для значений $S_{nom} = 400 \text{ kVA}$, $\cos\varphi = 0,81$ и $W_a = 53954 \text{ kWh}$ применяем требования пункта 5.2.4 для расчета ТМ и τ .

Итак, получаем $TM = 333 \text{ h}$ и $\tau = 200 \text{ h}$.

4. Постоянные потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f = 0,95 \times 696 = 661,2 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f = 8,346 \times 696 = 5808,816 \text{ kvarh}$$

где

5. Переменные потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\begin{aligned} & W_{2a} + W_{2r} \\ & 539542 + 390622 \\ & \Delta W_{s,a} = \frac{\Delta P_{sc} \times \tau \times}{T_{2M} \times S_{2nom}} \\ & = \frac{5,9 \times 200 \times}{3332 \times 4002} \\ & = 295,087 \text{ kWh} \\ & \Delta W_{s,r} = \frac{\Delta Q_{sc} \times \tau \times}{T_{2M} \times S_{2nom}} \\ & = \frac{17,005 \times 200 \times}{3332 \times 4002} \end{aligned}$$

$$= 850,502 \text{ kvarh}$$

$$T2M \times S2_{nom}$$

$$3332 \times 4002$$

где

6. Общие потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} = 661,2 + 295,087 = 956 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} = 5808,816 + 850,502 = 6659 \text{ kvarh.}$$

Пример 3 (случай С)

Требуется определить технические потери в трансформаторе 10/0,4 kV, принадлежащем потребителю, за период равный 28 дням. Средство учета установлено на стороне 0,4 kV трансформатора и регистрирует только количество активной энергии.

Также известно:

- номинальная мощность трансформатора: $S_{nom} = 63 \text{ kVA}$;
- номинальное (первичное) напряжение трансформатора: $U_{nom} = 10 \text{ kV}$;
- значение коэффициента мощности, указанного в контракте на поставку электрической энергии: $\cos\varphi = 0,75$;
- потребление активной энергии, регистрируемое счетчиком за данный период: $W_a = 20100 \text{ kWh}$;
- технические параметры трансформатора: $usc\% = 4,7\%$; $\Delta P_{sc} = 1,47 \text{ kW}$; $\Delta P_0 = 0,24 \text{ kW}$; $I_0\% = 2,8\%$

Решение:

1. Период расчета: $T_f = 28 \times 24 = 672 \text{ h}$.
2. Периоды ТМ и τ для расчетного периода.

Для значений $S_{nom} = 63 \text{ kVA}$, $\cos\varphi = 0,75$ и $W_a = 20100 \text{ kWh}$ применяем требования пункта 5.2.4 для получения ТМ и τ .

Итак, получаем $T_M = 500 \text{ h}$ и $\tau = 383 \text{ h}$.

3. Постоянные потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\Delta W_{0,a} = \Delta P_0 \times T_f = 0,24 \times 672 = 161,28 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{0,r} = \Delta Q_0 \times T_f = 1,748 \times 672 = 1174,656 \text{ kvarh},$$

где

4. Переменные потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\frac{W_{2a} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{201002 \times (1 + 0,88192)} \\ \Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times$$

$$= 1,47 \times 383 \times$$

$$= 407,528 \text{ kWh} \\ T_{2M} \times S_{2nom} \\ 5002 \times 632$$

$$\frac{W_{2a} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{201002 \times (1 + 0,88192)} \\ \Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times$$

$$= 2,57 \times 383 \times$$

$$= 712,48 \text{ kvarh}, \\ T_{2M} \times S_{2nom} \\ 5002 \times 632$$

где

5. Общие потери энергии в трансформаторе за расчетный период:

$$\Delta W_a = \Delta W_{0,a} + \Delta W_{s,a} = 161,28 + 407,528 = 569 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_r = \Delta W_{0,r} + \Delta W_{s,r} = 1174,656 + 712,48 = 1887 \text{ kvarh.}$$

Приложение 3

Примеры, иллюстрирующие методику расчета технических потерь
электрической энергии в линиях

Пример 1 (ситуация А)

Требуется определить технические потери активной электроэнергии в ВЛЭП 10 кВ потребителя за период с 4 октября по 3 ноября. В указанном периоде линия работала в течение 528 часов. Линия связывает разграничительный пункт и трансформатор 10/0,4 кВ – собственность потребителя. Энергия, поступившая в трансформатор в течение периода работы линии, составила: активная – 203892 кВт.ч и реактивная – 111793 квар.ч. Средство учета, установленное на стороне 0,4 кВ трансформатора, имеет возможность регистрации графика активной и реактивной нагрузки. На основании показаний средства учета, используя формулу (7), был рассчитан $K_f = 1,18$.

Также известны:

- длина линии: $l = 1,5 \text{ км}$;
- сечение линии: $q = 70 \text{ мм}^2$;
- провод: алюминиевый, многожильный.

Решение:

1. Период работы линии представляет собой реальное время ее работы: $T_f = 528 \text{ ч}$.
2. Сопротивление линии:

$$\begin{aligned}
 & 1 \\
 & 1,5 \\
 & R = k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot \\
 & \frac{\cdot 10^3 =}{1,02 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 0,0295 \cdot} \\
 & \cdot 10^3 = 0,664 \text{ Ом} \\
 & q \\
 & 70
 \end{aligned}$$

3. Переменные потери активной энергии в линии за период расчета:

$$\begin{aligned}
 & W_{2a} + W_{2r} \\
 & 2038922 + 1117932 \\
 & \Delta W_{s,a} = R \cdot K_{2f} \cdot \\
 & \frac{\cdot 10^{-3}}{= 0,664 \cdot 1,182 \cdot} \\
 & \cdot 10^{-3} = 947 \text{ кВт·ч} \\
 & U_{2nom} \cdot T_f \\
 & 102 \cdot 528
 \end{aligned}$$

Пример 2 (ситуация В)

Требуется определить технические потери активной электроэнергии в кабельной линии электропередачи 10 кВ потребителя за период с 13 апреля по 12 мая. В указанный период линия работала в течении 696 часов. Линия связывает разграничительный пункт и трансформатор 10/0,4 кВ – собственность потребителя. Средство учета, установленное на стороне 10 кВ трансформатора, имеет возможность регистрировать потребление активной и реактивной энергии. Энергия, поступившая в трансформатор в течение периода работы линии, составила: активная – 54910 кВт.ч и реактивная – 45721 квар.ч.

Также известны:

- длина линии: $l=0,15$ км;
- сечение линии: $q=50$ мм²;
- провод: алюминиевый, многожильный.

Решение:

1. Период работы линии представляет собой реальное время ее работы: $T_f = 696$ ч.

2. Сопротивление линии:

$$\begin{aligned} & l \\ & 0,15 \\ & R = k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot \\ & \frac{\cdot 10^3 =}{1 \cdot 1,03 \cdot 1,029 \cdot 0,0295 \cdot} \\ & \cdot 10^3 = 0,094 \text{ Ом} \\ & q \\ & 50 \end{aligned}$$

3. Переменные потери активной энергии в линии за период расчета:

$$\begin{aligned} & W_{2a} + W_{2r} \\ & 549102 + 457212 \\ & \Delta W_{s,a} = R \cdot K_{2f} \cdot \\ & \frac{\cdot 10^{-3}}{= 0,094 \cdot 1,152 \cdot} \\ & \cdot 10^{-3} = 9 \text{ кВт-ч} \\ & U_{2nom}^2 \cdot T_f \\ & 102 \cdot 696 \end{aligned}$$

Пример 3 (ситуация С)

Требуется определить технические потери активной электроэнергии в кабельной линии электропередачи 0,38 кВ потребителя за период, равный 28 дням. Потребитель был обязан установить счетчик реактивной энергии, но предписание не было выполнено. В период расчета средство учета, установленное на противоположной разграничительной точке конце линии, регистрирует только потребление активной энергии. Потребление активной энергии, зарегистрированное в течение периода работы линии, составило: 20100 кВт-ч.

Также известны:

- коэффициент мощности, применяемый в приведенных условиях $\cos\varphi = 0,75$;
- длина линии: $l = 0,05$ км;
- сечение линии: $q = 25$ мм²;
- провод: медный, одножильный.

Решение:

1. Период работы линии представляет собой реальное время ее работы: $T_f = 28 \times 24 = 672$ ч.

2. Сопротивление линии:

$$\begin{aligned} & 1 \\ & 0,05 \\ R &= k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot \\ & \cdot 10^3 = \\ & 1 \cdot 1,03 \cdot 1,015 \cdot 0,0175 \cdot \\ & \cdot 10^3 = 0,037 \text{ Ом} \\ & q \\ & 25 \end{aligned}$$

3. Расчетное потребление реактивной энергии:

4. Переменные потери активной энергии в линии за расчетный период:

$$\begin{aligned} & W_{2a} + W_{2r} \\ & 201002 + 177272 \\ \Delta W_{s,a} &= R \cdot K_{2f} \cdot \\ & \cdot 10^{-3} \\ & = 0,037 \cdot 1,152 \cdot \\ & \cdot 10^{-3} = 362 \text{ кВт-ч} \\ & U_{2nom}^2 \cdot T_f \\ & 0,38^2 \cdot 672 \end{aligned}$$

Пример 4 (ситуация С)

Требуется определить технические потери активной электроэнергии в кабельной линии электропередачи 0,38 кВ потребителя за период, равный 30 дням. Средство учета,

установленное в противоположном разграничительному пункту конце линии, регистрирует только потребление активной энергии. Согласно нормам, потребитель не обязан устанавливать у себя счетчик реактивной энергии. Потребление активной энергии, зарегистрированное в течение периода работы, составило: 6100 квт-ч.

Также известны:

- коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,92$;
- длина линии: $l = 0,1$ км;
- сечение линии: $q = 35$ мм²;
- провод: медный, одножильный.

Решение:

1. Период работы линии представляет собой реальное время ее работы: $T_f = 30 \times 24 = 720$ ч.

2. Сопротивление линии:

$$R = \frac{l}{q} \cdot k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \rho_{20} \cdot 10^3 =$$

$$1 \cdot 1,03 \cdot 1,020 \cdot 0,0175 \cdot 10^3 = 0,053 \text{ Ом}$$

3. Расчетное потребление реактивной энергии:

4. Переменные потери активной энергии в линии за расчетный период:

$$W_{2a} + W_{2r}$$

$$61002 + 25992$$

$$\Delta W_{s,a} = R \cdot K2f \cdot$$

$$\cdot 10^{-3}$$

$$= 0,053 \cdot 1,152 \cdot$$

$$\cdot 10^{-3} = 30 \text{ кВт-ч}$$

$$U_{2nom} \cdot T_f$$

$$0,382 \cdot 720$$