

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. Notații

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;
$\operatorname{tg} \varphi$	- factorul de putere reactivă.
K_f	- coeficientul de formă al curbei de sarcină;
R	- rezistența liniei, Ohm;
l	- lungimea liniei, km;
q	- secțiunea conductorului, mm ² ;

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 parametrii tehnici ai transformatorului, specificați în pașaportul acestuia. În cazul când consumatorul din careva considerente nu deține pașaportul respectiv, parametrii 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 parametrii necesari calculului pierderilor tehnice de energie electrică în elementele rețelei electrice, inclusiv parametrii regimului de consum (W_a , W_r , curba de sarcină orară, $\cos\phi$). 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 parametrii 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:

$$\Delta Q_0 = \sqrt{\left(\frac{I_0 \%}{100} \times S_{nom}\right)^2 - \Delta P_0^2} \quad (5)$$

unde atît curentul $I_0\%$ cît 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:

$$\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times \frac{W_a^2 + W_r^2}{T_M^2 \times S_{nom}^2} \quad (8)$$

$$\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \times \tau \times \frac{W_a^2 + W_r^2}{T_M^2 \times S_{nom}^2} \quad (9)$$

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:

$$\Delta Q_{sc} = \sqrt{\left(\frac{u_{sc} \%}{100} \times S_{nom} \right)^2 - \Delta P_{sc}^2} \quad (10)$$

Tensiunea de scurtcircuit $u_{sc} \%$, 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:

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

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

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);

$tg \varphi$ se calculează cunoscînd valoarea factorului de putere $\cos \varphi$ aplicînd formula:

$$tg \varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} \quad (13)$$

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

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} \quad (14),$$

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:

$$T_M = \frac{1}{S_M} \times \sum_{i=1}^T S_i \quad (15)$$

$$\tau = \frac{1}{S_M^2} \times \sum_{i=1}^T S_i^2 \quad (16)$$

unde:

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

S_M - puterea maximă înregistrată pe parcursul perioadei de facturare.

4.2.3.6. Valorile T_M 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:

$$\tau_{an} = \left(0,124 + \frac{T_{Man}}{10000} \right)^2 \times 8760 \quad (17)$$

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

$$T_{M, \text{ lună}} = T_{M, \text{ an}} / 12 \text{ și } \tau_{\text{ lună}} = \tau_{\text{ an}} / 12$$

4.2.4. Estimarea duratelor T_M și τ pentru **Situațiile B** și **C**

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

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

Tabelul 1

$T_M, \text{ h}$	167	333	500	667	730
$\tau, \text{ h}$	77	200	383	623	730

Aceste valori lunare corespund valorilor anuale prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

$T_M, \text{ h}$	2000	4000	6000	8000	8760
$\tau, \text{ h}$	920	2405	4592	7479	8760

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

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

$$W_a \leq 0,9 \times W^* (T_M) .$$

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:

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

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 nerectilinie 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, mm^2	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Coeficient 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

ρ_{20} - rezistivitatea materialului conductorului la temperatura de 20°C, $Ohm \cdot \frac{mm^2}{m}$ — (0,0175 - pentru cupru; 0,0295 - pentru aluminiu; 0,134 - pentru oțel);

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

q - secțiunea conductorului, mm^2 (indicată în contractul de furnizare a energiei electrice).

De menționat că în cazul conductorului aluminiu-oțel se ia doar secțiunea aluminiului.

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 aplicînd formula:

$$\Delta W_{s,a} = R \cdot K_f^2 \cdot \frac{W_a^2 + W_r^2}{U_{nom}^2 \cdot T_f} \cdot 10^{-3}, [kWh] \quad (6)$$

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 aplicînd formula:

$$W_r = W_a \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1}$$

; unde $\cos \varphi$ 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:

$$K_f = \frac{\sqrt{T_f \sum_{t=1}^{T_f} S_t^2}}{\sum_{t=1}^{T_f} S_t}$$

(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, Ωm ;

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.

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
$U_{nom} = 6/0,4$ 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
$U_{nom} = 10/6$ 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

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

$$\Delta Q_0 = \sqrt{\left(\frac{I_0\%}{100} \times S_{nom}\right)^2 - \Delta P_0^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{100} \times 630\right)^2 - 1,31^2} = 12,532 \text{ kvar.}$$

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

$$\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \cdot \tau \cdot \frac{W_a^2 + W_r^2}{T_M^2 \cdot S_{nom}^2} = 8,5 \cdot 413 \cdot \frac{201000^2 + 96480^2}{447^2 \cdot 630^2} = 2200,499 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{s,r} = \Delta Q_{sc} \cdot \tau \cdot \frac{W_a^2 + W_r^2}{T_M^2 \cdot S_{nom}^2} = 33,591 \cdot 413 \cdot \frac{201000^2 + 96480^2}{447^2 \cdot 630^2} = 8695,915 \text{ kvarh}$$

unde

$$\Delta Q_{sc} = \sqrt{\left(\frac{u_{sc}\%}{100} \times S_{nom}\right)^2 - \Delta P_{sc}^2} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \times 630\right)^2 - 8,5^2} = 33,591 \text{ kvar.}$$

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 (Situația B)

Se cere determinarea pierderilor tehnice de energie electrică în transformatorul consumatorului pentru perioada 13 aprilie-12mai. 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 $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} = \frac{53954}{\sqrt{53954^2 + 39062^2}} = 0,81$$

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 .

min

$T_M \text{ h}$	167	333	500	667	730
$\tau, \text{ h}$	77	200	383	623	730
$0,9 \times S_{nom} \times \cos\varphi \times T_M \text{ kWh}$	48697,2	97102,8	145800	194497,2	212868

$$W_a \leq 0,9 \times S_{nom} \times \cos\varphi \times T_M$$

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

$$\Delta Q_0 = \sqrt{\left(\frac{I_0\%}{100} \times S_{nom}\right)^2 - \Delta P_0^2} = \sqrt{\left(\frac{2,1}{100} \times 400\right)^2 - 0,95^2} = 8,346 \text{ kvar.}$$

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

$$\Delta W_{s,a} = \Delta P_{sc} \times \tau \times \frac{W_a^2 + W_r^2}{T_M^2 \times S_{nom}^2} = 5,9 \times 200 \times \frac{53954^2 + 39062^2}{333^2 \times 400^2} = 295,087 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{s,r} = \frac{\Delta Q_{sc} \times \tau}{T_M^2 \times S_{nom}^2} = 17,005 \times 200 \times \frac{53954^2 + 39062^2}{333^2 \times 400^2} = 850,502 \text{ kvarh}$$

unde

$$\Delta Q_{sc} = \sqrt{\left(\frac{u_{sc} \%}{100} \times S_{nom}\right)^2 - \Delta P_{sc}^2} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100} \times 400\right)^2 - 5,9^2} = 17,005 \text{ kvar.}$$

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 (Situația 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: $u_{sc} \% = 4,7\%$; $\Delta P_{sc} = 1,47 \text{ kW}$; $\Delta P_0 = 0,24 \text{ kW}$, $I_0 \% = 2,8\%$.

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 .

<i>min</i>					
T_M, h	167	333	500	667	730
τ, h	77	200	383	623	730
$0,9 \times S_{nom} \times \cos \varphi \times T_M, kWh$	7101,7	14160,8	21262,5	28364,2	31043,3

$$W_a \leq 0,9 \times S_{nom} \times \cos \varphi \times T_M$$

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

$$\Delta Q_0 = \sqrt{\left(\frac{I_0 \%}{100} \times S_{nom}\right)^2 - \Delta P_0^2} = \sqrt{\left(\frac{2,8}{100} \times 63\right)^2 - 0,24^2} = 1,748 \text{ kvar.}$$

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

$$\Delta W_{s,a} = \frac{\Delta P_{sc} \times \tau}{T_M^2 \times S_{nom}^2} \times \frac{W_a^2 (1 + tg^2 \varphi)}{20100^2 \times (1 + 0,8819^2)} = \frac{1,47 \times 383}{500^2 \times 63^2} = 407,528 \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{s,r} = \frac{\Delta Q_{sc} \times \tau}{T_M^2 \times S_{nom}^2} \times \frac{W_a^2 (1 + tg^2 \varphi)}{20100^2 \times (1 + 0,8819^2)} = \frac{2,57 \times 383}{500^2 \times 63^2} = 712,48 \text{ kvarh}$$

unde

$$\Delta Q_{sc} = \sqrt{\left(\frac{u_{sc} \%}{100} \times S_{nom}\right)^2 - \Delta P_{sc}^2} = \sqrt{\left(\frac{4,7}{100} \times 63\right)^2 - 1,47^2} = 2,57 \text{ kvar.}$$

$$tg \varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} = \sqrt{\frac{1}{0,75^2} - 1} = 0,8819$$

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 metoda 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: $T_f = 528 \text{ h}$.

2. Rezistența liniei:

$$R = k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \frac{l}{\rho_{20} \cdot q} \cdot 10^3 = \frac{1,02 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 1,5}{0,0295 \cdot 70} \cdot 10^3 = 0,664 \, \Omega$$

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

$$\Delta W_{s,a} = R \cdot K_f^2 \cdot \frac{W_a^2 + W_r^2}{U_{nom}^2 \cdot T_f} \cdot 10^{-3} = 0,664 \cdot 1,18^2 \cdot \frac{203892^2 + 111793^2}{10^2 \cdot 528} \cdot 10^{-3} = 947 \text{ kWh}$$

Exemplul 2 (Situația 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: $l = 0,15 \text{ km}$;
- secțiunea liniei: $q = 50 \text{ mm}^2$;
- conductor: *aluminu, monofilar*.

Rezolvare:

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

2. Rezistența liniei:

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

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

$$\Delta W_{s,a} = R \cdot K_f^2 \cdot \frac{W_a^2 + W_r^2}{U_{nom}^2 \cdot T_f} \cdot 10^{-3} = 0,094 \cdot 1,15^2 \cdot \frac{54910^2 + 45721^2}{10^2 \cdot 696} \cdot 10^{-3} = 9 \text{ kWh}$$

Exemplul 3 (Situația 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: $T_f = 28 \times 24 = 672$ h.

2. Rezistența liniei:

$$R = k_r \cdot k_{tr} \cdot k_c \cdot \frac{l}{\rho_{20} \cdot q} \cdot 10^3 = \frac{1 \cdot 1,03 \cdot 1,015}{0,0175} \cdot \frac{0,05}{25} \cdot 10^3 = 0,037 \Omega$$

3. Consumul estimativ de energie reactivă:

$$W_r = W_a \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} = 20100 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,75^2} - 1} = 17727 \text{ kvarh}$$

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

$$\Delta W_{s,a} = R \cdot K_f^2 \cdot \frac{W_a^2 + W_r^2}{U_{nom}^2 \cdot T_f} \cdot 10^{-3} = 0,037 \cdot 1,15^2 \cdot \frac{20100^2 + 17727^2}{0,38^2 \cdot 672} \cdot 10^{-3} = 362 \text{ kWh}$$

Exemplul 4 (Situația 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:

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

3. Consumul estimativ de energie reactivă:

$$W_r = W_a \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} = 6100 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,92^2} - 1} = 2599 \text{ kvarh}$$

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

$$\Delta W_{s,a} = R \cdot K_f^2 \cdot \frac{W_a^2 + W_r^2}{U_{nom}^2 \cdot T_f} \cdot 10^{-3} = 0,053 \cdot 1,15^2 \cdot \frac{6100^2 + 2599^2}{0,38^2 \cdot 720} \cdot 10^{-3} = 30 \text{ kWh}$$