

7. CALCULELE ELECTRICE CE SE EFECTUEAZĂ ÎN VEDEREA DETERMINĂRII PUTERII TRANSFORMATOARELOR ȘI A NUMĂRULUI DE TRANSFORMATOARE DIN POSTURILE DE TRANSFORMARE

Posturile de transformare sunt puncte de alimentare cu energie electrică la tensiunea de utilizare a utilajelor și receptoarelor: 380 V și 220 V.

Ele reprezintă legătura dintre instalația de distribuție în medie tensiune și cea de joasă tensiune.

Clasificare:

- posturi prefabricate: sunt instalate în interiorul întreprinderii, în centrele de greutate ale sarcinilor;
- posturi integrate în clădirile secțiilor;
- posturi independente de clădirile întreprinderii.

Posturile prefabricate reprezintă o tendință actuală în alimentarea secțiilor unei întreprinderi datorită avantajelor:

- eliminarea construcțiilor de zidărie;
- montaj simplu și rapid;
- reducerea rețelei de joasă tensiune prin instalarea în centrele de greutate ale sarcinilor.

Schemele de conexiuni ale unui post de transformare conțin:

- circuite primare (principale);
- circuite secundare.

Schemele de conexiuni ale circuitelor primare se compun din:

- circuite de înaltă tensiune : celule de linie și celule de transformator;
- circuite de joasă tensiune: tablourile generale de distribuție cu plecări spre tablouri secundare de distribuție sau utilaje.

Schema unui post de transformare este prezentată în fig.7.1.

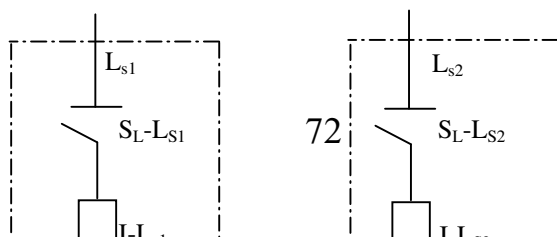


Fig.7.1. Schema unui post de transformare [7]

Pentru dimensionarea posturilor de transformare este nevoie să se calculeze puterea cerută și factorul de putere mediu.

7.1. DETERMINAREA PUTERII CERUTE ȘI A FACTORULUI

DE PUTERE MEDIU

Determinarea puterii cerute se efectuează astfel:

- pentru instalațiile deja existente pe baza curbelor de sarcină;
- pentru instalațiilor ce se proiectează prin intermediul metodelor:
 - metoda analizei directe;
 - metoda coeficienților de cerere;
 - metoda formulei binome;
 - metoda folosirii duratei de utilizare.

7.1.1. Metoda analizei directe

Această metodă se utilizează atunci când numărul de receptoare este mic.

Puterea cerută P_c este dată de relația:

$$P_c = K_c P_i \quad (7.1)$$

unde: K_c - coeficientul de cerere;

P_i - puterea instalată totală (suma puterilor instalate ale diverselor receptoare), în KW.

Coeficientul de cerere K_c este:

$$K_c = \frac{K_i \cdot K_s}{\eta_m \cdot \eta_r} \quad (7.2)$$

unde: K_i - coeficientul de încărcare;

K_s - coeficientul de simultaneitate;

η_m - randamentul mediu al receptoarelor;

η_r - randamentul rețelei între receptoare și punctul în care se calculează puterea cerută.

Calculăm fiecare coeficient ce face parte din coeficientul de cerere.

$$K_i = \frac{P_{abs}}{P_{if}} \quad (7.3)$$

În mod obișnuit $K_i = 0,97 \div 0,99$

$$K_s = \frac{P_s}{P_i} \text{ - se calculează} \quad (7.4)$$

unde: P_s = puterea în funcțiune simultană, în kW.

Randamentul mediu al receptoarelor se calculează astfel:

$$\eta_m = \frac{\sum_{k=1}^n P_k}{\sum_{k=1}^n \frac{P_k}{\eta_k}} \quad (7.5)$$

P_k - puterile nominale (utile) ale receptoarelor care funcționează simultan [KW];

η_k - randamentul nominal al receptoarelor care funcționează simultan.

Randamentul rețelei η_r în mod obișnuit este:

$$\eta_r = 0,98 \div 1,0$$

Factorul de putere mediu se determină cu relația:

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{P_k}{\eta_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{P_k}{\eta_k \cdot \cos \varphi_k}} \quad (7.6)$$

Această relație dă valoarea lui $\cos \varphi_m$ sub formă generală, situație existentă în cazul motoarelor.

În cazul receptoarelor termice sau de lumină la care puterea nominală este egală cu cea absorbită deci $\eta_k = 1$, relația devine:

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum_{k=1}^n P_k}{\sum_{k=1}^n \frac{P_k}{\cos \varphi_k}} \quad (7.7)$$

7.1.2. Metoda coeficienților de cerere

Această metodă se utilizează în cazul unui număr de receptoare mare.

Metoda constă în utilizarea unor coeficienți de cerere stabiliți pentru grupe de receptoare și care se găsesc dați în tabele în literatură.

Puterea activă totală cerută P_c este:

$$P_c = \sum_{k=1}^n P_{ck} = \sum_{k=1}^n K_{ck} \cdot P_{ik} \quad (7.8)$$

în care: P_{ck} - puterea activă cerută de grupa de receptoare k [KW];

K_{ck} - coeficientul de cerere pentru grupa de receptoare k ;

P_{ik} - puterea activă instalată pentru grupa de receptoare k [KW].

Factorul de putere mediu $\cos\varphi_m$ este:

$$\cos\varphi_m = \frac{P_c}{S_c} = \frac{P_c}{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}} \quad (7.9)$$

în care: S_c = puterea aparentă totală cerută [KVA];

Q_c = puterea reactivă totală cerută [KVAR].

Puterea reactivă totală cerută Q_c este:

$$Q_c = \sum_{k=1}^n Q_{ck} = \sum_{k=1}^n P_{ck} \operatorname{tg}\varphi_{ck} \quad (7.10)$$

în care: Q_{ck} = puterea reactivă cerută de grupa de receptoare K ;

$\operatorname{tg}\varphi_{ck}$ = tangenta unghiului φ pentru grupa de receptoare K , ce se ia din tabele, din literatură.

7.1.3. Metoda folosirii duratei de utilizare

Această metodă se utilizează pentru determinarea puterii cerute P_c atunci când se cunoaște consumul specific de energie electrică pe unitatea de producție.

Consumul anual de energie W al unei întreprinderi este dat de relația $W = W_0 A$ (7.11)

În care: W_0 = consumul de energie specific pe unitatea de producție în KWh/bucăți, tone etc.

A = producția anuală a întreprinderii în unități de măsură corespunzătoare (bucăți, tone etc.).

Puterea cerută se determină cu relația:

$$P_c = \frac{W}{T_u} \quad (7.12)$$

în care: T_u = timpul de utilizare a puterii maxime cerute [h].

7.1.4. Metoda formulei binome

Această metodă se utilizează pentru determinarea puterii cerute și a factorului de putere mediu la instalații cu număr mare de receptoare. Este o metodă mai precisă decât metoda coeficienților de cerere.

Receptoarele se consideră repartizate pe grupe de receptoare, puterea cerută determinându-se la nivelul grupelor:

- pe baza puterii instalate P_{ik} a tuturor receptoarelor din grupa K ;
- pe baza puterii instalate P_{ix} a primelor x receptoare din aceeași grupă, luate în ordine descrescătoare a puterilor instalate.

Puterea activă cerută de cele n_k receptoare din grupa K este:

$$P_{ck} = (aP_{ix})_k + b_k P_{ik} \quad (7.13)$$

în care a și b sunt coeficienții formulei binome, iar x numărul de receptoare pentru care se calculează P_{ix} .

Aceste date sunt specifice metodei de calcul după formula binomă, coeficienții fiind indicați în tabele în literatură.

Puterea cerută de cele m grupe de receptoare ale consumatorilor este:

$$P_c = (aP_{ix})_M + \sum_{k=1}^m b_k \cdot P_{ik} \quad (7.14)$$

unde: $(aP_{ix})_M$ - este termenul cu valoarea cea mai mare dintre termenii $(aP_{ix})_k$;

$\sum_{k=1}^m b_k \cdot P_{ik}$ - suma tuturor termenilor de forma $b_k P_{ik}$, corespunzători celor m grupe de receptoare.

Puterea reactivă absorbită la nivelul consumatorilor este:

$$Q_c = \sum_{k=1}^m P_{ck} \cdot \operatorname{tg} \varphi_k \quad (7.15)$$

în care $\operatorname{tg} \varphi_k$ reprezintă tangenta corespunzătoare factorului de putere introdus de receptoarele din grupa K , mărime indicată în tabele.

Se calculează puterea aparentă corespunzătoare cu relația (7.16):

$$\text{Apoi: } S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \quad (7.16)$$

Apoi se determină factorul de putere mediu cu relația:

$$\cos \varphi_m = \frac{P_c}{S_c} \quad (7.17)$$

7.2. DIMENSIONAREA TRANSFORMATOARELOR PENTRU POSTURILE DE TRANSFORMATOARE CE SE PROIECTEAZĂ PE BAZA PUTERII CERUTE

Cunoscându-se consumatorii care vor fi alimentați din postul de transformare se cunosc puterile instalate și factorii de putere nominali din cataloagele motoarelor sau din prescripțiile de fabricație.

Prin una din metodele prezentate se calculează puterea cerută și factorul de putere mediu $\cos \varphi_{med}$.

Se calculează apoi puterea reactivă cerută:

$$Q_c = \sum_{k=1}^n Q_{ck} = \sum_{k=1}^n P_{ck} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ck} \quad (7.18)$$

Se calculează apoi puterea aparentă cerută ținându-se seama și de necesitatea ameliorării factorului de putere printr-o baterie de condensatoare montată pe barele tabloului general.

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + (Q_c - Q_{BC})^2}; S'_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \quad (7.19)$$

Q_{BC} - puterea reactivă a bateriei de condensatoare.

$$Q_{BC} = P_c (\operatorname{tg} \varphi_m - \operatorname{tg} \varphi_N) \quad (7.20)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_m}}{\cos \varphi_m} \quad (7.21)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_N = \operatorname{tg}(\arccos \varphi_N) \quad (7.22)$$

$\cos \varphi_N$ = factorul de putere neutral

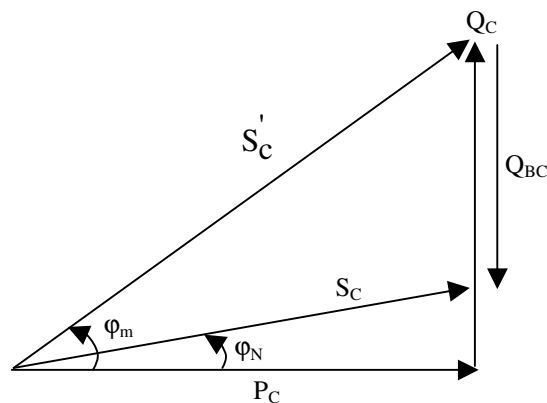


Fig.7.2. Triunghiul puterilor

Se calculează apoi puterea nominală a transformatorului:

$$S_{NT} = \frac{S_c}{K_e}$$

K_e = coeficient ce ține seama de încărcarea transformatoarelor astfel încât pierderile specifice de energie în transformator să fie minime.

$$K_e = 0,7 \div 0,8$$

Din cataloagele de transformatoare se alege apoi un transformator care are puterea nominală standardizată.

$$S_{NTSTAS} \geq S_{NT} \quad (7.24)$$

De asemenea se alege transformatorul astfel încât tensiunile nominale primare cât și cele secundare să fie corespunzătoare.

Există cazuri când puterea calculată prin metoda coeficientului de cerere este mai mare decât cea mai mare putere nominală a transformatoarelor construite în serie conform STAS.

În acest caz sunt necesare mai multe transformatoare în fiecare post de transformare.

Numărul necesar de transformatoare se va stabili prin utilizarea relației.

$$\frac{S_{NT}}{S_{NT_{STAS}}} \leq \text{nr. întreg} \quad (7.25)$$

Pentru același raport de transformare există o familie de transformatoare la care diferă puterile aparente.

La alegerea numărului de transformatoare trebuie ținut cont de rezerva necesară corespunzătoare consumatorului și de condiția ca pentru varianta aleasă pierderile în transformatoare să fie minime.

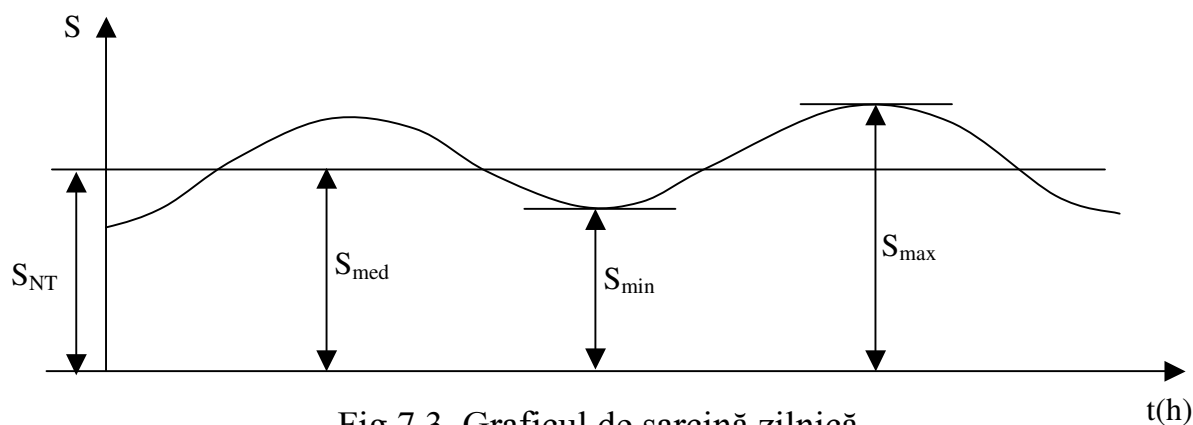
$$\Delta P_{\text{total}} = n\Delta P_{0(\text{Fe})} + \frac{1}{n}\Delta P_{sc(\text{inf})} k_e^2 + n\Delta P_{\text{vent}} = \text{min} \quad (7.26)$$

7.3. DIMENSIONAREA TRANSFORMATOARELOR PE BAZA VARIAȚIEI DE SARCINĂ ZILNICE ȘI ANUALE

Se știe că puterea în sistemele electrice variază în cursul zilei și în cursul anului.

Pentru ca un transformator să-și mențină durata de viață și siguranța în funcționare se admite o supraîncărcare a transformatorului cu un procentaj stabilit, astfel încât să nu fie depășite temperaturile izolației și fierului corespunzătoare transformatorului respectiv, pe întreaga durată de funcționare în gol și vârf de sarcină.

Pentru graficul de sarcină zilnic se poate determina (defini) coeficientul de umplere a curbei de sarcină K_{up} .



$$K_{up} = \frac{S_{med}}{S_{max}} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T S dt}{S_{max}} = \frac{A}{T \cdot S_{max}} \quad (7.27)$$

S_{med} = valoarea medie a puterii cerute pe perioada de 24 h;

S_{max} = valoarea maximă a puterii cerute;

A = suprafața cuprinsă între curba de sarcină zilnică și axele de coordonate.

Pentru a evita subîncărcarea transformatoarelor alese după puterea maximă cerută se va ține cont de două condiții:

- Suprasarcinile admisibile ale transformatoarelor pe baza variațiilor zilnice ale sarcinilor stabilite prin regula celor trei procente.
- Suprasarcinile admisibile pe baza variațiilor anuale ale sarcinii, stabilite prin regula celor p procente.

7.3.1. Regula celor 3 procente

Această regulă se exprimă astfel:

Pentru fiecare 10 procente de reducere a coeficientului de umplere a curbei de sarcină K_{up} față de 100% în perioada de gol de zi se admite o suprasarcină de 3% peste puterea nominală a transformatorului pe perioada de vârf de zi.

Notăm:

$\frac{S_{max} - S_{med}}{S_{max}} 100$ - procentul de creștere a sarcinii peste sarcina nominală a transformatorului;

unde: $S_{med} = S_{NT}$;

$S_{max} = S_V$;

α_3 = factorul de supraîncărcare ținând seama de regula celor 3 procente.

Atunci:

$$3\% \text{ de supraîncărcare} \quad \alpha_3 \quad 10\% \text{ de subîncărcare}$$

$$\alpha_3 \frac{S_{max} - S_{med}}{S_{max}} 100$$

$$\text{rezultă: } \alpha_3 = \frac{3}{10} \frac{S_{max} - S_{med}}{S_{max}} 100 \quad (7.28)$$

$$\text{sau: } \alpha_3 = \frac{3}{10} (100 - K_{up} [\%])$$

$$\text{sau: } \alpha_3 = \frac{3}{10} (1 - K_{up}) \quad (7.29)$$

7.3.2. Regula celor p procente

Această regulă spune că suprasarcinile admisibile pe baza variațiilor anuale ale sarcinilor se stabilesc prin regula celor p procente. Respectiv:

Pentru fiecare p procente de subîncărcare vara, față de puterea nominală S_{NT} a transformatorului, iarna se poate admite o suprasarcină de p procente, care să nu depășească însă 15%.

Deci:

$$\alpha_p = 100 \frac{S_{NT} - S_{\max \text{ vara}}}{S_{NT}} [\%] \leq 15\% \quad (7.30)$$

Suprapunând regula celor 3 procente și a celor p procente rezultă că un transformator se poate supraîncărca cu un coeficient maxim:

$$K_{s\max} = \alpha_3 + \alpha_p \quad (7.31)$$

Acest coeficient nu trebuie să depășească:

- 20% pe timpul verii sau pentru transformatoarele instalate în interior;
- 30% pe timpul iernii sau pentru transformatoarele instalate în exterior.

Puterea nominală a transformatorului se alege astfel încât, ținând cont de suprasarcina totală admisă să se asigure puterea maximă cerută pe timpul iernii.

$$S_{\max \text{ iarnă}} = S_{NT}(1 + K_{s\max}) \quad (7.32)$$

$$\text{deci: } S_{NT} = \frac{S_{\max \text{ iarna}}}{1 + K_{s\max}} \quad (7.33)$$

$$S_{NT} = \frac{S_{\max \text{ iarna}}}{1 + \alpha_3 + \alpha_p} \quad (7.34)$$

$$S_{NT} = \frac{S_{\max \text{ iarna}}}{1 + 3 \frac{1 - K_{up}}{10} + \frac{S_{NT} - S_{\max \text{ vara}}}{S_{NT}}} \quad (7.35)$$

$$S_{NT} \left(1 + 3 \frac{1 - K_{up}}{10} + 1 - \frac{S_{\max \text{ v.}}}{S_{NT}} \right) \geq S_{\max \text{ i}} \quad (7.36)$$

$$S_{NT} \left(2 + 3 \frac{1 - K_u}{10} \right) - S_{\max \text{ vara}} \geq S_{\max \text{ iarna}} \quad (7.37)$$

$$S_{NT} \geq \frac{S_{\max i} + S_{\max v}}{2 + 3 \frac{1 - K_{up}}{10}} \quad (7.38)$$

7.4. DETERMINAREA NUMĂRULUI DE TRANSFORMATOARE DIN POSTUL DE TRANSFORMARE

Determinarea miezului se efectuează în funcție de categoria consumatorilor, respectiv pentru consumatorii de categoria: 0, I, II și III.

0 - Pentru consumatorii de categoria zero, rezerva se asigură în proporție de 100%;

I - Pentru consumatorii de categoria I, rezerva în ceea ce privește numărul de transformatoare, se realizează echipând postul cu cel puțin două transformatoare. Rezerva în ceea ce privește puterea, rezultă din condiția ca în cazul avariei unui transformator unitățile care rămân în funcțiune să poată asigura alimentarea mai departe a consumatorilor.

În cazul când puterea consumatorilor de categoria I depășește 50% din sarcina totală a postului, se recomandă utilizarea a trei transformatoare de putere egală, două având suma puterilor egală cu sarcina totală.

În cazul când puterea consumatorilor din categoria I nu depășește 50% din sarcina totală a postului, se recomandă utilizarea a două transformatoare a căror putere instalată este egală cu sarcina totală calculată, iar pentru fiecare din ele puterea este cel puțin egală cu cea a consumatorilor de categoria I.

II - Pentru consumatorii din categoria a II-a, alimentarea continuă cu energie se asigură prin legături de rezervă în rețea sau grupuri electrogene, numai în măsura în care este indicată din punct de vedere economic.

III - Pentru consumatorii de categoria a III-a nu se asigură rezervă.

Aplicație:

1) Să se dimensioneze postul de transformare pentru alimentarea următoarelor grupe de consumatori:

1. Motoare pentru mașini de lucru continuu: $P_i=500$ KW;
2. Motoare pentru mașini-unelte cu regim de lucru normal: $P_i=1430$ KW;
3. Motoare pentru mașini-unelte cu regim de lucru greu, $P_i=270$ KW;
4. Cuptoare electrice cu rezistență, $P_i=610$ KW;
5. Iluminat cu lămpi cu vapori de mercur la înaltă presiune, $P_i=140$ KW;
6. Iluminat cu lămpi fluorescente, $P_i=120$ KW.

7. Calculele electrice ce se efectuează în vederea determinării puterii transformatoarelor și a numărului de transformatoare din posturile de transformare

Se va utiliza metoda coeficienților de cerere și a puterii cerute:

$$P_{c_k} = K_{c_k} \cdot P_{i_k}; \quad Q_{c_k} = P_{c_k} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{c_k} \quad (7.39)$$

$$P_c = \sum_{k=1}^6 P_{c_k}; \quad Q_c = \sum_{k=1}^6 Q_{c_k} \quad (7.40)$$

Date				Calcul		
Categoria receptoarelor	P_i [KW]	K_c	$\cos\varphi_c$	$\operatorname{tg}\varphi_c$	$P_c=K_c P_i$ [KW]	$Q_c=P_c \operatorname{tg}\varphi_c$ [KVAR]
1	500	0,75	0,8	0,75	375	281
2	1430	0,2	0,6	1,33	286	380
3	270	0,25	0,6	1,33	67	89
4	610	0,6	1	0	366	0
5	140	1	0,6	1,33	140	187
6	120	1	0,85	0,62	120	74
TOTAL					1354	1011

$$\cos\varphi_m = \frac{P_c}{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}} = 0,8$$

$$Q_B = P_c(\operatorname{tg}\varphi_m - \operatorname{tg}\varphi_N) = 570 \text{ KVAR}$$

$$\cos\varphi_N = 0,95$$

$$S'_c = \sqrt{P_c^2 + (Q_c - Q_{BC})^2} = \sqrt{1354^2 + (1011 - 570)^2} = 1415 \text{ KVA}$$

$$S_{NT} = \frac{S'_c}{K_e} = \frac{1415}{0,75} = 1886 \text{ KVA}$$

Pentru alegerea transformatoarelor există 2 posibilități:

I-2 transformatoare cu $S_{NT_{STAS}} = 1000 \text{ KVA}$; $P_0 = 1,850 \text{ KW}$; $P_{sc} = 12 \text{ KW}$;

II-3 transformatoare cu $S_{NT_{STAS}} = 630 \text{ KVA}$; $P_0 = 1,2 \text{ KW}$; $P_{sc} = 8,2 \text{ KW}$.

$$\Delta P_I = 2(\Delta P_0 + \Delta P_{sc}) = 2(1,85 + 12) = 27,7 \text{ KW};$$

$$\Delta P_{II} = 3(\Delta P_0 + \Delta P_{sc}) = 3(1,2 + 8,2) = 28,2 \text{ KW}.$$

Varianta care se adoptă este aceea cu 2 transformatoare de $S_{NT_{STAS}} = 1000 \text{ kVA}$.