

Modul 6. Intocmirea si analiza auditurilor electroenergetice

- Indicații metodologice generale privind elaborarea bilanțurilor electroenergetice
- Întocmirea și analiza bilanțurilor electroenergetice, prima etapa a analizei energetice într-un contur industrial
- Întocmirea și analiza auditurilor electroenergetice, pentru analiza referitoare la o zonă în care se desfășoară o activitate industrială
- Întocmirea și analiza auditurilor electroenergetice, pentru sectorul terțiar. Realizarea auditului pentru instalații de încălzire, climatizare și ventilație, iluminat electric etc.
- Întocmirea și analiza auditurilor electroenergetice, pentru sistemele complexe cu specific electroenergetic

Transportul și distribuția energiei electrice, ca orice fenomen fizic sau tehnic, se face cu un **consum propriu tehnologic**, deci este legat de niște **pierderi de energie**.

Pentru acoperirea pierderilor în rețele, care se cifrează în jurul unei valori medii de circa 10% din energia transportată, se impun cheltuieli determinate de necesitatea instalării unor grupuri de puteri mai mari la centralele electrice și asigurării cu resurse energetice primare corespunzătoare.

Problema reducerii acestor pierderi în rețelele electrice capătă în prezent o importanță deosebită având în vedere criza de energie ce se manifestă pe plan mondial.

În problema consumului propriu tehnologic în rețele există numeroase publicații în diferite țări în care sînt indicate, în general, pierderile pe ansamblul sistemelor energetice, dar se dau mai puține informații cu privire la pierderile diferențiate pe nivele de tensiuni, respectiv pierderi optime pe fiecare categorie de rețea.

O analiză făcută pe baza datelor statistice din buletinul anual O.N.U. pentru Europa, editat în 1978 [36], evidențiază că nivelul consumului tehnologic se situează în general în fiecare țară, în jurul unor valori medii față de care oscilează valorile anuale fără ca să existe o tendință netă de scădere.

Pentru comparație de modul în care au evoluat consumurile proprii tehnologice în rețele în unele țări din Europa în perioada 1970 - 1978, față de cele înregistrate în țara noastră, în fig. 4.1 se dau aceste valori ce au fost extrase din Buletinul O.N.U. menționat.

Pierderile procentuale pe ansamblul sistemului reflectă particularitățile energetice din țările respective. Pierderi procentuale în rețele cu valori mai mari apar acolo unde se utilizează preponderent combustibilul inferior (lignitul) sau energia hidroelectrică pentru obținerea energiei electrice. deoarece centralele electrice în aceste cazuri se amplasează în apropierea exploatărilor carbonifere sau pe cursurile de apă, fiind astfel depărtate de zona de consum.

Pierderi procentuale reduse în rețele exprimă, în primul rând, o repartiție uniformă a centralelor electrice pe teritoriul acelor țări, respectiv utilizarea drept combustibil a păcurii și gazului metan, care ce pot transporta comod și ieftin.

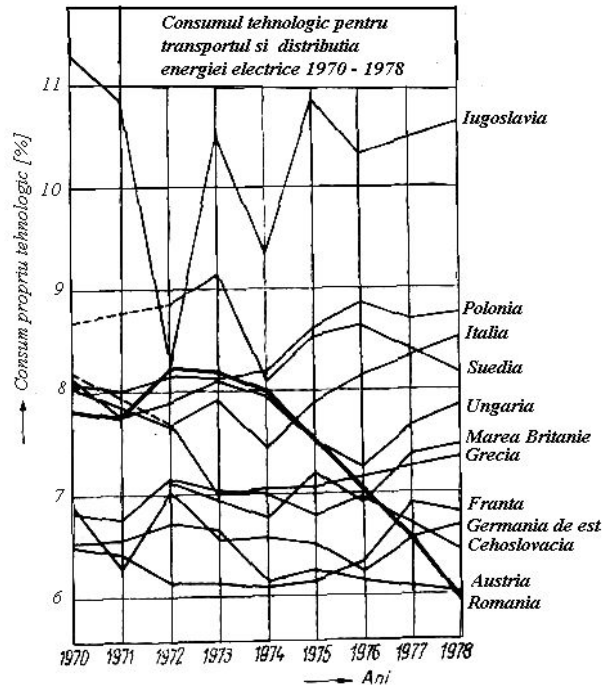


Fig. 1. Evoluția Consumului Propriu Tehnologic în România

Procentul consumului propriu tehnologic în rețelele electrice din țara noastră a scăzut continuu în ultimii 10 ani. Începând din anul 1975 acest procent a scăzut însă, în mod substanțial, de la 7,48% cât era în 1975, la 5,92% în 1978 și la 5,8 % în 1979, procent raportat la total surse România, așa cum rezultă din fig. 2, și aceasta datorită măsurilor speciale luate în acest sens, în cadrul sistemului nostru energetic.

Pierderile în rețele se pot împărți în: pierderi tehnice și pierderi comerciale.

Din pierderile tehnice subîmpărțite pe elementele rețelei fac parte :

a. Pierderi în linii și cabluri.

- pierderi în funcție de sarcină (pierderi prin încălzirea conductorului atunci când este străbătut de curent, denumite și *pierderi prin efect Joule*);

- pierderi corona pe linii;

- pierderi prin conducție transversală pe linii (prin izolatoare);

- pierderi dielectrice în cabluri.

b. Pierderi în transformatoare

— pierderi în funcție de sarcină pe înfășurări (pierderi de scurtcircuit sau în bobinaj);

— pierderi independente de sarcină în miezul de fier (pierderi de mers în gol și prin histerezis).

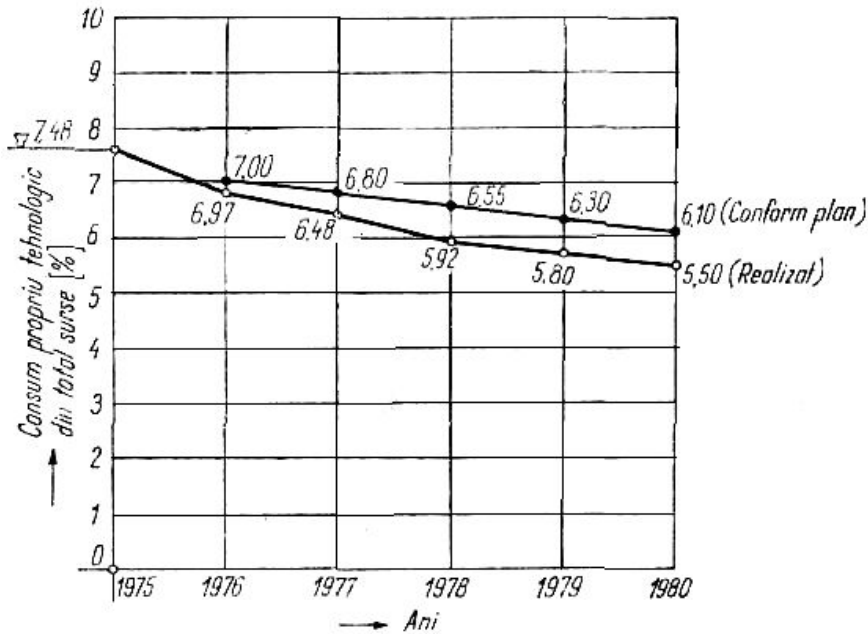


Fig. 2. Evoluția Consumului Propriu Tehnologic în România pentru transportul și distribuția energiei electrice, în procente pe total surse

c. Pierderi în contoare, transformatoare de măsură, siguranțe, instrumente de măsură etc

Din categoria pierderilor comerciale se menționează:

- pierderi prin nedemararea contoarelor în cazul unor sarcini mici;
- pierderi prin imprecizia contoarelor;
- pierderi prin citirea defectuoasă și nesimultană a contoarelor;
- sustrageri necontrolate de energie din rețea.

Pierderile prin încălzirea conductoarelor (pierderile Joule) sunt dependente de cantitatea de energie vehiculată prin instalațiile de transport și distribuție și reprezintă partea principală a pierderilor.

Pierderile datorate magnetizării în circuitele transformatoarelor sunt practic independente de sarcină.

Pierderile transversale care cuprind pierderile: corona, în dielectric și izolații, sunt independente de sarcină.

Pierderile corona capătă valori importante numai la nivele ridicate de tensiune, de regulă de la tensiuni de 220 kV în sus.

Pierderile în dielectricii cablurilor și condensatoarelor cât și cele datorate unor izolații imperfecte joacă un rol secundar și uneori ele se pot neglija.

În unele cazuri, cum ar fi la cablurile de medie tensiune cu izolații din PVC, aceste pierderi pot să capete importanții, din care cauză trebuie să se țină seama de ele când se dorește să se facă un bilanț riguros al pierderilor în rețele.

La închiderea bilanțului energetic al unei rețele electrice, trebuie să se țină seama și de consumul propriu al contoarelor și transformatoarelor de măsură; datorită numărului foarte mare de astfel de aparate aflate în instalații, valoarea globală a pierderilor în aceste aparate nu se poate neglija.

Randamentul unitar al instalațiilor de transport și distribuție este relativ ridicat el fiind, de exemplu, la transformatoarele mari de circa 99 %, la o linie de înaltă tensiune de 100 km lungime și încărcată la puterea ei naturală de circa 98%, etc.

Așa cum rezultă din datele statistice, randamentul global al instalațiilor de transport și distribuție este în general în jur de 90 %. În cazuri speciale când se iau măsuri deosebite de îmbunătățire a acestui randament, se poate ajunge la circa 91 - 92%.

Stabilirea prin măsurători a pierderilor unei rețele electrice ridică o serie de probleme, uneori foarte dificil de rezolvat.

În rețelele de înaltă tensiune se pot stabili mai ușor aceste pierderi, prin măsurători, prin compararea energiei primite și a celei livrate, deoarece numărul punctelor de schimb la aceste nivele de tensiune este relativ mic și este posibil să se facă citiri de contoare la intervale de timp egale.

În rețelele de medie tensiune și de joasă tensiune, această metodă este aplicabilă numai în cazuri particulare, deoarece în acest caz stabilirea energiei livrate consumatorilor pentru o perioadă dată, nu este posibilă decât pentru un timp care să acopere mai multe săptămâni.

La rețelele de medie tensiune, dacă sunt cunoscute încărcările, se poate face o apreciere a pierderilor globale din rețea prin calculul pierderilor unitare.

La rețelele de joasă tensiune această metodă nu este aplicabilă. Aici se pot determina valori de pierderi pentru rețelele care au posibilități tehnice de măsurare a energiei. Aceste valori pot fi apoi utilizate ca valori directe pentru rețelele cu caracteristici constructive asemănătoare.

În totalul pierderilor de energie prin rețele trebuie să se țină seama atât de pierderile tehnice cât și de cele comerciale. Aceste pierderi sunt de fapt consumurile proprii tehnologice în rețele care însoțesc transportul energiei electrice de la surse la consumatori.

Nivelul consumului tehnologic pentru transportul și distribuția energiei electrice este determinat de amplasarea geografică a surselor de producere și a centrelor de consum, de structura consumului și de caracteristicile structural - dimensionale ale rețelelor electrice.

Între consumurile tehnologice în rețele și investițiile aferente acestora există o tendință contradictorie. Rețelele supradimensionate care corespund unor investiții mari conduc la pierderi mai reduse; în schimb, rețelele subdimensionate care corespund unor investiții mai reduse conduc la consumuri tehnologice mai mari, la aceeași sarcină transportată.

Criteriul de optimizare a soluțiilor este criteriul cheltuielilor totale actualizate minime într-un interval de timp dat, în care pierderile în rețele în diferite variante analizate sunt incluse atât în valoarea de investiție, ca putere suplimentară instalată necesară pentru menținerea aceluiași nivel a rezervei în sistem, cât și cu valoarea cheltuielilor anuale de exploatare, ca energie consumată.

Elementul important de care trebuie să se țină seama în prezent este stabilirea cât mai corectă a costului kilowattorei de pierderi, în condițiile mondiale ale prețului combustibililor primari.

În politica de investiții în rețele trebuie să se obțină optimizarea pierderilor prin reducerea la minimum a cheltuielilor totale. Stabilirea pierderilor optime în rețele pe diverse trepte de tensiune constituie obiectivul principal în acest domeniu.

Paralel cu măsurile de optimizare a dezvoltării instalațiilor de transport și distribuție trebuie să se prevadă și aplicarea unor tehnici de exploatare cât mai eficiente a instalațiilor. În conducerea exploatarei, un rol important îl reprezintă minimizarea consumului propriu tehnologic într-un regim de siguranță corespunzător.

Realizarea nivelului optim de pierderi în rețele, în cazul rețelelor sistemului energetic, pentru o structură de centrale și cu restricții de combustibili date, revine în principal la :

- urmărirea unei repartiții optime a puterilor active pe centrale ținând seama și de pierderile în rețele;
- repartiția corectă a sarcinii reactive la sursele existente în sistem și reglarea corespunzătoare a nivelurilor de tensiune;
- realizarea unor configurații optime din punctul de vedere al pierderilor în rețele, cu asigurarea unui grad corespunzător de siguranță în funcționare.

Măsurile de reducere a consumurilor proprii tehnologice în rețele care au un efect mai important de reducere, exprimat în milioane kWh sau mii tone combustibil convențional, ce pot împărți pe mai multe categorii după sfera de aplicare și anume:

- planificarea dezvoltării sistemului,
- exploatarea instalațiilor,
- îmbunătățirea randamentului echipamentelor energetice,
- introducerea de tehnologii noi și de perspectivă,
- măsuri organizatorice, alte măsuri.

În cadrul acestor categorii se pot analiza o serie de măsuri tehnice și organizatorice care să conducă la evidențierea tuturor căilor de reducere a indicelui de consum tehnologic.

Planificarea dezvoltării sistemului. Măsurile ce trebuie luate în cadrul acestei acțiuni trebuie să prevadă în principal:

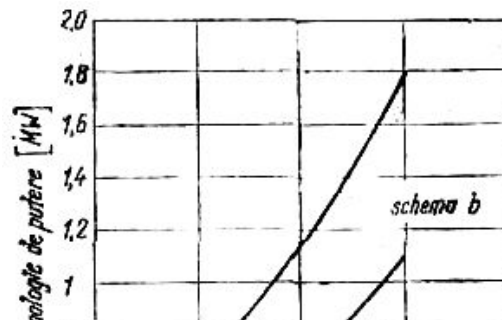
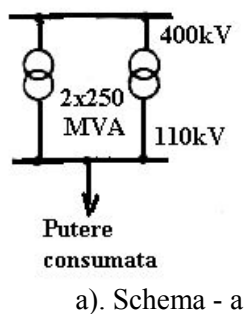
- Construcția de instalații care să conducă la un consum tehnologic cât mai scăzut. Pentru aceasta trebuie întocmite studii de dezvoltare care să țină seama de structura producerii și a consumului de energie electrică pe tensiuni, stabilind fluxuri de energie vehiculată.

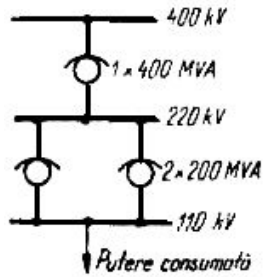
- Din aceste studii vor rezulta cele mai importante artere de transport care trebuie construite și care condiționează în mod deosebit reducerea consumului tehnologic.

- Eliminarea dublei transformări în stațiile de transformare din rețeaua de 400-220-110kV în care apar transformări duble (400/200kV și 220/110kV), iar consumul pe bara de 220kV este redus, acesta putând fi preluat pe tensiunea de 110kV. În acest caz trebuie să se prevadă montarea de transformatoare 400/110kV, eliminându-se treapta intermediară de transformare de 220kV.

În fig. 1 se da variația consumului tehnologic cu puterea consumată la 110kV în două configurații.

Astfel în fig. 1, *a* schema transformarea directă - 400/110kV, iar în fig. 1, *b* schema cu transformare intermediară prin autotransformatoare de 220kV, în timp ce fig.1.c cuprinde graficul dependenței Consumului Propriu Tehnologic (CPT) funcție de puterea consumată P_{cons}





b). Schema - b

c). Evoluția CPT la configurațiile analizate

Fig. 1. Variația consumului tehnologic cu puterea consumată la 110kV la diferite scheme ale stației de transformare

- Trecerea la 400 kV a rețelelor construite pentru această tensiune și care funcționează la tensiunea de 220 kV. Consumul tehnologic în rețeaua de 400 kV este de circa patru ori mai redus decât al rețelei de 220 kV, la aceeași energie vehiculată (fig. 2) [21].

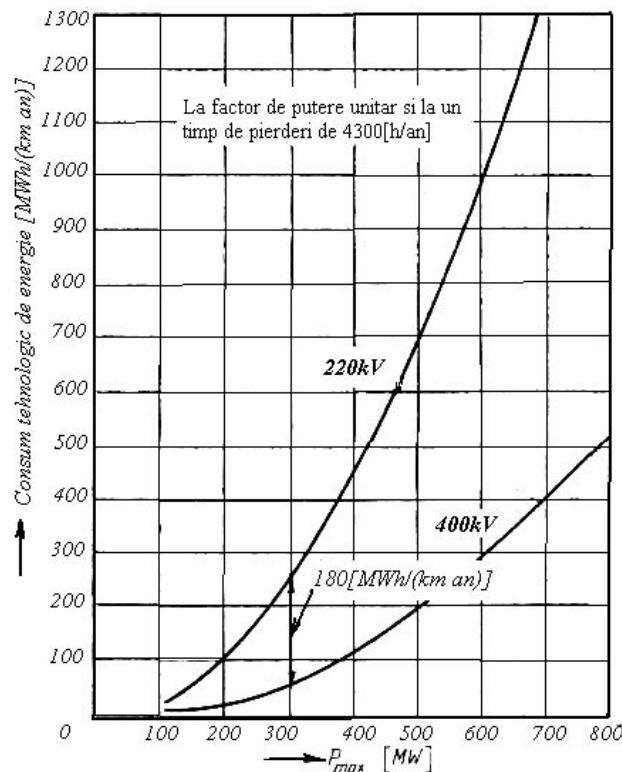


Fig. 2. Variația consumului tehnologic de energie la liniile de transport – 220kV și 400kV – în funcție de puterea maximă

- Compensarea puterii reactive prin montarea de compensatoare statice și condensatoare. Una din măsurile eficiente în scopul reducerii consumurilor proprii tehnologice în rețelele electrice este aceea de reducere a vehiculării energiei reactive prin rețea datorată atât naturii inductive a elementelor componente cât și consumului de energie reactivă a consumatorilor. Aceasta reducere se face prin compensarea puterilor reactive, cu alte cuvinte montarea surselor de energie reactivă cât mai aproape de consumatori.
- Instalarea de surse de putere reactivă trebuie făcută cu prioritate în punctele unde indicele de eficiență (reducerea consumului tehnologic pentru o unitate de putere reactivă instalată), are valorile cele mai mari.
- Dezvoltarea rețelei de 110 kV, medie și joasă tensiune, urmărind și reducerea consumului

propriu tehnologic. Ca urmare a creșterii consumului de energie electrică la abonați, energia vehiculată în rețelele de 110 kV, medie și joasă tensiune crește foarte mult. Din acest motiv aceste rețele de distribuție cu tensiunea de 110 kV și mai jos vor trebui dezvoltate corespunzător. Construirea de noi puncte de injecție în rețeaua de medie tensiune IT/MT, construirea de noi linii electrice de medie tensiune și de noi puncte de injecție MT/JT în rețeaua de joasă tensiune va trebui să se facă urmărind minimizarea consumurilor tehnologice în aceste rețele;

- Reconstrucția rețelelor existente de distribuție la medie tensiune în vederea măririi randamentului, în principal prin trecerea la tensiuni superioare;
- Studiarea micșorării densității economice de curent pe liniile de distribuție efectuându-se calcule tehnico-economice aprofundate. De asemenea trebuie analizată soluția de înlocuire a conductoarelor cu secțiuni mici în aceste rețele care conduc la pierderi mari, cu altele corespunzătoare (fig. 3 și 4) etc.

Exploatarea instalațiilor, în cadrul acestei acțiuni sînt cuprinse măsurile de îmbunătățire a conducerii operative a instalațiilor energetice prin optimizarea regimurilor de funcționare și reducerea duratelor de retragere din exploatare a instalațiilor.

Aplicarea acestor măsuri necesită o dotare tehnică corespunzătoare optimizării funcționării instalațiilor la un nivel de siguranță dat prin introducerea de programe și metode noi de calcul.

În cadrul măsurilor pentru îmbunătățirea exploatarei instalațiilor se evidențiază :

- Stabilirea de configurații optime în rețelele electrice pe ansamblul sistemului energetic și pe zone (buclări-debrucări) pentru obținerea unui consum tehnologic minim în condiții de siguranță corespunzătoare;
- Optimizarea circulațiilor de puteri și a nivelelor de tensiuni în rețele prin :
 - repartiția economică a sarcinii pe centrale cu considerarea consumului tehnologic în rețele, în limitele cotei de combustibil aprobată;
 - reglarea corelată a sarcinii surselor de putere reactivă și prizele autotransformatoarelor cu reglare în sarcină (stabilirea fluxului de putere reactivă în elementele rețelei de transport prin procedee de optimizare);
 - stabilirea reglajului transformatoarelor în stații (graficul de tensiuni).
- Stabilirea schemelor optime de funcționare în stațiile de transformare (număr de transformatoare în sarcină și automatizarea punerii și scoaterii din funcțiune a acestora);
- Funcționarea la tensiunea maximă admisibilă a rețelelor de înaltă tensiune, corelat cu starea meteorologică, în regimurile cu încărcări mari. Reglarea tensiunilor în rețelele de 400 kV și 220 kV pentru reducerea pierderilor prin efect corona pe timp de ceață;
- Permutarea transformatoarelor din rețelele de distribuție în raport cu gradul lor de încărcare optim;
- Asigurarea nivelului de tensiuni în limitele admisibile la consumatorii de medie și joasă tensiune, prin realizarea de injecții de IT/MT și MT/JT corespunzătoare, egalizarea încărcării fazelor în rețelele de joasă tensiune, trifazarea rețelelor de joasă tensiune etc.

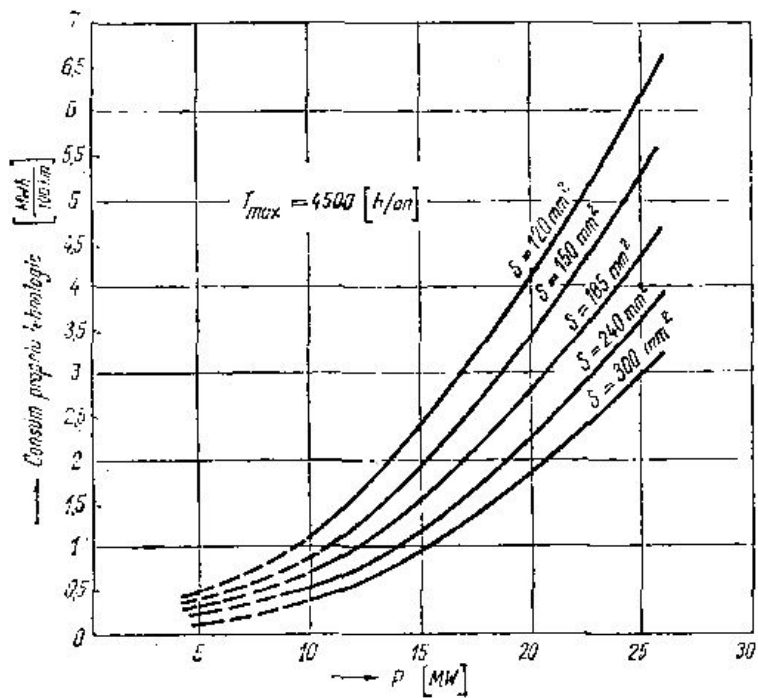


Fig. 3. Variația consumului propriu tehnologic în funcție de secțiune (LES 20kV)

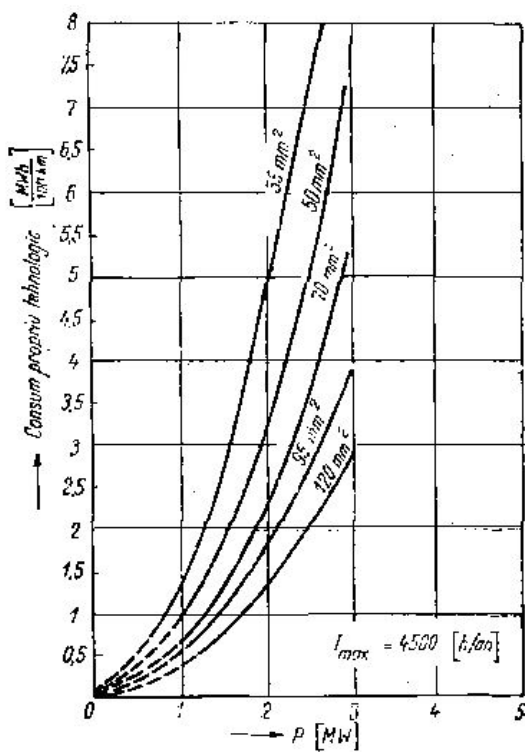


Fig. 4. Variația consumului propriu tehnologic în funcție de secțiune (LEA 20kV)

- **Trecerea unor rețele la tensiuni superioare.** Din cauza creșterii consumurilor și a dificultăților

de exploatare, treptele de tensiune 60 kV, 15 kV și 5 kV din rețelele de medie tensiune și 208/127 V din rețelele de joasă tensiune aproape au dispărut din rețelele noastre, urmând ca în perspectiva anului 1985 să fie eliminate și tensiunile de 35 kV și 25 kV. Trecherile s-au făcut de la 208 V la 380 V, de la 5 kV la 10 kV și de la 15 kV la 20 kV, în fig. 5 se arată cum scade consumul tehnologic la trecerea rețelelor de la tensiunea de 15 kV la 20 kV, în funcție de puterea maximă a liniei.

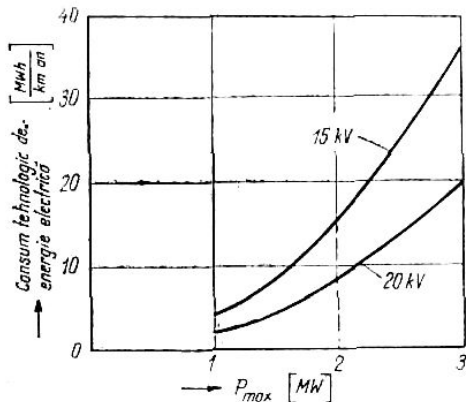


Fig. 5. Variația consumului tehnologic la trecerea rețelelor de la tensiunea de 15kV la 20kV, în funcție de puterea maximă a liniei

- Creșterea tensiunilor în rețelele de distribuție prin creșterea ponderii rețelelor de tensiuni mari (20 kV), în raport cu rețelele de 6kV și 10kV;
- Utilizarea calculatoarelor de proces pentru realizarea unor regimuri optime;
- Elaborarea unei strategii optime de menținere în funcțiune a instalațiilor;
- Introducerea lucrului sub tensiune în rețele și alte măsuri în vederea reducerii duratelor de întrerupere pentru revizia instalațiilor, etc.

Îmbunătățirea randamentului echipamentelor energetice. Îmbunătățirea randamentului echipamentelor prin folosirea de materiale cu performanțe superioare și reproiectarea unor instalații care să conducă la consumuri tehnologice scăzute este o alta cale de reducere a pierderilor în rețele. Din această categorie se menționează următoarele acțiuni:

- Folosirea aluminiului cu grad ridicat de puritate pentru conductoarele electrice (99,7%) în vederea reducerii rezistivității lui, introducerea conductoarelor de tip ALCORO în construcția liniilor electrice aeriene etc;
- Tendința generală de azi vizează realizarea unei conductivități electrice a conductoarelor liniilor de aluminiu de $\gamma = 35,96 \text{ Sm/mm}^2$;
- Folosirea de transformatoare cu tole având pierderi de magnetizare mici și eventuala introducere a conductoarelor de cupru. În cadrul realizării unor transformatoare cu pierderi reduse, prin utilizarea unor tole cu particule orientate se obțin pierderi la mers în gol de 0,4 W/kg toală;
- Utilizarea în rețelele de distribuție a unor transformatoare cu capacitate de supraîncărcare pe timp limitat. în rețelele de distribuție rurale se montează, în general, transformatoare dimensionate ca să corespundă vârfului de sarcină maximă, în restul timpului acestea funcționând mult descărcate;
- Construirea de linii de înaltă tensiune 110, 220, 400 kV cu pierderi micșorate (mărirea izolației, izolarea conductoarelor de protecție etc.);
- Înlocuirea izolației din PVC cu cea din polietilenă și polietilena reticulată la cablurile de medie tensiune, în felul acesta pierderile prin dielectric reducându-se foarte mult.
- Înlocuirea becurilor cu incandescență de la iluminatul public cu becuri cu vapori de mercur și în special cu sodiu și reducerea puterii acestora, inclusiv compensarea curentului reactiv produs de aceste lămpi, la fiecare loc de lampă;
- Îmbunătățirea randamentului la contoare și la transformatoarele de sonerie. Un contor obișnuit monofazat de abonat are un consum propriu de circa 2,5 W, funcționând tot timpul anului, respectiv 8760 h/an. Având în vedere numărul foarte mare de astfel de contoare pe întreg sistemul energetic, care

este de ordinul sutelor de mii de bucăți, consumul propriu tehnologic însumat pentru aceste contoare devine foarte mare. Transformatoarele de sonerie au un consum tehnologic care nu se sesizează de către contoare. Având în vedere numărul foarte mare de astfel de transformatoare instalate și faptul că sînt în permanență sub tensiune, consumul lor însumat pe întreg sistemul energetic devine important. Cea mai bună soluție pentru eliminarea acestor consumuri ar fi montarea numai de sonerii muzicale care se leagă direct la tensiunea de 220 V, fără transformatoare.

Introducerea de tehnologii noi și de perspectivă. Din această categorie sunt incluse măsuri privind:

- Realizarea de autotransformatoare de 400 kV cu reglaj longo-transversal sub sarcină.
- Îmbunătățirea tehnologiei de montaj a conductoarelor de 110, 220 și 400 kV în vederea obținerii unor suprafețe curate (lustruirea conductoarelor) pentru reducerea la minimum a pierderilor prin efect corona.
- Introducerea instalațiilor cu hexaflorură de sulf de 110 kV, în vederea realizării de racorduri adânci. Construirea de celule capsulate de dimensiuni mici de 110 kV va permite pătrunderea mai accentuată a tensiunii de 110 kV spre centrele de consum.
- Studiarea alimentării consumatorilor casnici prin posturi individuale de bloc MT/JT. Pentru aceasta este necesar să se realizeze celule prefabricate de dimensiuni mici pentru introducerea lor în blocurile de locuințe, reducându-se astfel lungimea rețelelor de joasă tensiune.
- Ca soluții de perspectivă și care nu pot fi aplicate într-un timp relativ scurt în sistemul nostru energetic, cu efecte asupra micșorării consumurilor tehnologice în rețele, se menționează:
 - introducerea unor sisteme noi de transport T50 kV în curent alternativ sau curent continuu;
 - extinderea stațiilor cu hexaflorură de sulf la tensiunea de 400 kV care să permită apropierea tensiunilor înalte de centrele de consum;
 - îmbunătățirea tehnicii de fabricare a cablurilor de curent alternativ (criogenie, îmbunătățiri de izolații, sisteme de răcire etc);
 - revederea treptelor de tensiuni standardizate utilizate; studierea introducerii tensiunii de 660 V sau 1 000 V în rețeaua de joasă tensiune;
 - studierea oportunității extinderii interconexiunilor cu alte sisteme energetice în vederea reducerii consumurilor tehnologice în rețele.

Măsuri organizatorice, alte măsuri. În cadrul acestei categorii se evidențiază următoarele măsuri de reducere a consumurilor tehnologice:

- Identificarea consumatorilor cu regim deformant și nesimetric în vederea simetrizării lor, prin montarea de filtre.
- Stimularea compensării puterii reactive la consumatorii industriali.
- Aplatisarea curbilor de sarcină prin măsuri la consumatori.
- Stabilirea unui regim optim de exploatare a sistemelor de irigații.
- Îmbunătățirea sistemului de măsurare a energiei electrice. Îmbunătățirea evidenței și a preciziei contoarelor de energie electrică în punctele de schimb a energiei dintre centrale și întreprinderi de rețele, dintre întreprinderi de rețele între ele și dintre întreprinderi și marii consumatori industriali.
- Efectuarea de bilanțuri energetice pe localități și contururi de rețele în scopul depistării pierderilor datorate defecțiunilor la sistemele de măsurare, imprecizia contoarelor, sustragerile de energie etc.

În întreprinderile industriale pentru reducerea consumurilor tehnologice datorate iluminatului spațiilor de producție și a iluminatului general se recomandă luarea următoarelor măsuri:

- asigurarea iluminatului locuirilor de muncă prin secționări ale instalațiilor de iluminat în scopul funcționării numai a celor necesare;
- verificarea nivelelor de iluminare prin măsurători în spațiile de producție și alte spații iluminate și încadrarea lor în normative aprobate;

- în perioada când iluminatul natural asigură nivelele normate, se va întrerupe automat iluminatul artificial;
- interzicerea funcționării iluminatului general în hale de producție sau alte încăperi în care lucrează un număr redus de persoane ;
- introducerea accelerată a lămpilor cu vapori de sodiu care realizează consumuri reduse de energie la iluminatul exterior din întreprinderi și combinate;
- reducerea înălțimii de montare a corpurilor de iluminat în halele de producție și alte încăperi pentru reducerea puterii instalate și, respectiv, a energiei consumate de acestea.

În prezentarea făcută privind căile și metodele de reducere a consumului propriu tehnologic în rețele au fost subliniate aspectele mai importante și mai actuale în condițiile îndeplinirii unor sarcini tot mai grele de reducere a acestor consumuri în rețelele electrice din sistemul energetic românesc.

Pe baza acestor acțiuni se vor putea adine soluțiile prezentate, prin studii și cercetări aprofundate, evidențiind la fiecare măsură efectele valorice ce se pot obține, care se traduc în economii de energie electrică (milioane kilowattoră), respectiv de combustibil primar (mii tone combustibil convențional, transformarea făcându-se cu ajutorul valorii medii de 348 g cc./kWh produsă).

În funcție de economiile rezultate și în raport cu investițiile solicitate, se va putea stabili o pondere de prioritate a fiecărei măsuri în parte, dându-se câștig acelor care au eficiența cea mai ridicată.

1. INFLUENȚA RIDICĂRII NIVELULUI TENSIUNII ASUPRA PIERDERILOR DE ENERGIE

Pentru reducerea pierderilor de energie în rețele este necesară menținerea unui nivel ridicat de tensiune în limite admisibile, realizat în exploatare cu ajutorul dispozitivelor de reglare (alegerea corespunzătoare a prizelor la transformatoare etc.).

Când tensiunea într-o rețea U_n crește cu valoarea u (%), variația pierderilor ΔP_u într-un element de rețea de rezistență R este dată de relația:

$$\begin{aligned} \Delta P_u &= \Delta P_1 - \Delta P_2 = \frac{S_k^2}{U_n^2} \cdot R - \frac{S_k^2}{\left[U_n \cdot \left(1 + \frac{u}{100} \right) \right]^2} \cdot R = \\ &= \frac{S_k^2}{U_n^2} \cdot R \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{u}{100} \right)^2} \right] = \frac{S_k^2}{U_n^2} \cdot R \cdot \frac{\frac{u}{100} \cdot \left(2 + \frac{u}{100} \right)}{\left(1 + \frac{u}{100} \right)^2} \end{aligned} \quad (83)$$

în care : ΔP_1 este pierderea de putere când se funcționează în rețea cu tensiunea U_n ;

ΔP_2 - pierderea de putere când tensiunea crește cu valoarea u [%] față de valoarea nominală.

Reducerea procentuală a pierderilor de putere când tensiunea crește cu u (%) este:

$$\Delta P_u(\%) = \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1} \cdot 100 = \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{u}{100}\right)^2} \right] \cdot 100 \quad (84)$$

Ridicarea nivelului de tensiune, de exemplu eu 5 % duce la scăderea pierderilor de putere activă în rețele cu 9 %.

2. REPARTIȚIA ECONOMICĂ A CIRCULAȚIEI PUTERILOR ACTIVE ȘI REACTIVE IN REȚELELE ELECTRICE

De mare importanță într-o rețea electrică de distribuție este determinarea circulațiilor de putere pentru care pierderile Joule sunt minime. Se consideră un element dintr-o rețea buclată așa cum rezultă din fig. 6 având impedanțele liniilor \underline{Z}_i și \underline{Z}_j .

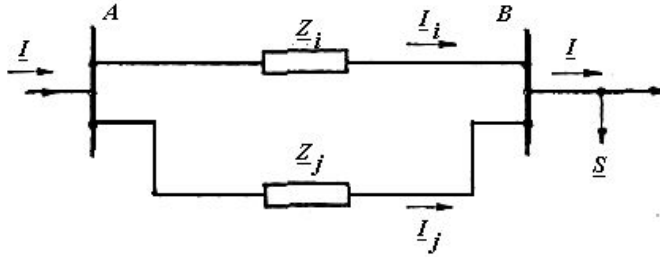


Fig. 6. Element dintr-o rețea electrică complex buclată

Pierderile de putere activă pe cele două linii sunt:

$$\begin{aligned} \Delta P_i &\approx \frac{R_i}{U_n^2} \cdot (P_i^2 + Q_i^2) = \frac{R_i}{U_n^2} \cdot \frac{R_j^2 + X_j^2}{(R_i + R_j)^2 + (X_i + X_j)^2} \cdot (P^2 + Q^2); \\ \Delta P_j &\approx \frac{R_j}{U_n^2} \cdot (P_j^2 + Q_j^2) = \frac{R_j}{U_n^2} \cdot \frac{R_i^2 + X_i^2}{(R_i + R_j)^2 + (X_i + X_j)^2} \cdot (P^2 + Q^2) \end{aligned} \quad (85)$$

Dacă se admite că una din reactanțele X_i , X_j este variabilă se verifică cu ușurință că suma pierderilor $\Delta P_i + \Delta P_j$ este minimă atunci când impedanțele \underline{Z}_i și \underline{Z}_j , au același argument, adică $R_i/R_j = X_i/X_j$.

Repartiția optimă a puterilor se obține:

$$\underline{S}_i = \frac{\underline{Z}_j}{\underline{Z}_i + \underline{Z}_j} \cdot \underline{S} = \frac{R_j}{R_i + R_j} \cdot \underline{S}; \quad \underline{S}_j = \frac{\underline{Z}_i}{\underline{Z}_i + \underline{Z}_j} \cdot \underline{S} = \frac{R_i}{R_i + R_j} \cdot \underline{S} \quad (86)$$

Rezultă deci că minimum pierderilor de putere într-o rețea are loc atunci când circulațiile puterilor coincid cu circulațiile ce ar rezulta într-o rețea formată numai din rezistențe ou valori egale cu rezistențele liniilor rețelei reale.

Repartiția circulațiilor, după criteriul pierderilor minime, se realizează în mod natural numai în cazul rețelilor de aceeași construcție (aceeași valoare a lui \underline{Z}_o pentru toate liniile) sau în cazul rețelilor oare

au toate liniile cu $r_o/x_o = const.$ Dacă această condiție nu este îndeplinită, se obține altă circulație decât cea corespunzătoare pierderilor minime. Această situație apare în special în cazul rețelelor buclate cu tensiuni diferite.

Bilanțul electroenergetic (electric) este un bilanț electric simplu la care se ia în considerare numai o singură formă de energie și anume energia electrică.

Conturul de bilanț este suprafața închisă (pe schemele electrice sau pe cele tehnologice) cuprinsă între limitele față de care se consideră intrările și ieșirile de energie electrică.

Modelul matematic al bilanțului este constituit dintr-un ansamblu de relații matematice, care exprimă principiul conservării energiei aplicate la conturul considerat legat direct de ecuațiile funcționale ale elementelor cuprinse în contur. În cazul general, acest model se rezumă la ecuația:

$$\sum E_i + E_g = \sum E_u + \sum E_p$$

în care:

$\sum E_i$ - suma tuturor cantităților de energie electrică care intră în contur din exteriorul acestuia;

$\sum E_g$ - suma tuturor cantităților de energie generate în interiorul conturului în surse proprii, care folosesc ca resursă primară alta decât energia electrică intrată;

$\sum E_u$ - suma cantităților de energie electrică folosită în mod util în cadrul conturului;

$\sum E_p$ - suma tuturor pierderilor de energie electrică în contur;

Energia efectiv utilă într-un proces tehnologic este în foarte multe cazuri o noțiune al cărui conținut este susceptibil de interpretări și de aceea se consideră în mod convențional ca fiind:

- în cazul acționărilor electrice, diferența dintre energia absorbită de la rețea și pierderile electromagnetice și mecanice din motorul electric și mașina de lucru;
- la acționările electrice care au drept scop producerea altei forme sau purtător de energie, energia corespunzătoare formei sau purtătorului nou produs sau căruia i s-au transformat parametrii;
- în procesele de sudură electrică, tăiere anodomecanică, electroeroziune sau analoge, energia electrică măsurată la bornele electrozilor;
- în procesele electrochimice (electroliză, galvanotehnică etc.) energia teoretic necesară reacțiilor chimice, energia obținută după transformare;
- la instalațiile de iluminat electric, energia corespunzătoare fluxului luminos al lămpilor cu incandescență ținând cont de puterea nominală a acestora și de randamentele medii luate din literatură sau din cataloage;
- în transportul energiei electrice, energia utilă este cea debitată la capătul lanțului de transport;

În elaborarea bilanțurilor electrice reale se parcurg de regulă următoarele etape:

- examinarea instalațiilor și proceselor tehnologice și întocmirea schemei tehnologice de principiu (cu amplasarea receptoarelor electrice) și a schemei de alimentare cu energie electrică;
- stabilirea conturilor electrice și a celor tehnologice pentru care se va întocmi bilanțul;
- stabilirea mărimilor ce se vor măsura la fiecare contur, ținând cont de specificul receptoarelor, al regimurilor de funcționare și de cel al agregatelor tehnologice;
- stabilirea punctelor de măsură și a aparatelor necesare pentru măsurători;

- efectuarea măsurătorilor, evidențiind în același timp regimurile tehnologice pentru care acestea s-au executat;

- prelucrarea datelor și elaborarea bilanțurilor reale. Bilanțurile se întocmesc sub formă tabelară însoțită de diagrame de tip Sankey.

Componentele bilanțului electric sunt: puterea activă și cea reactivă intrate în contur (sau generate în interiorul acestuia), puterea utilă și pierderile de putere (puterea reactivă intrată în contur se consideră ca fiind în întregime o pierdere), energia activă și cea reactivă, pierderile de energie.

Indicatorii energetici ai conturului sunt: randamentul (raportul dintre puterea utilă și cea intrată în contur, respectiv dintre energiile corespunzătoare) și factorul de putere cu care se realizează consumul conturului.

Pentru elaborarea bilanțului real se recurge, de regulă, la măsurarea următoarelor mărimi: puterea activă și cea reactivă (cu aparate indicatoare, prin citiri periodice sau, mai recomandabil, cu aparate înregistratoare) sau energia activă și cea reactivă (cu ajutorul contoarelor) sau curentul și factorul de putere.

La receptoarele care au un grafic de sarcină în trepte, atunci valoarea medie a mărimii măsurate are expresia:

$$y_m = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N y_j^2 t_j}{t_c}}$$

Dacă graficul de sarcină este o curbă oarecare, durata ciclului se împarte în N intervale (astfel încât pe fiecare interval să se poată stabili o valoare medie), astfel că vom avea relația:

$$y_m = \sqrt{\frac{\int_0^{t_c} y^2(t) dt}{t_c}}$$

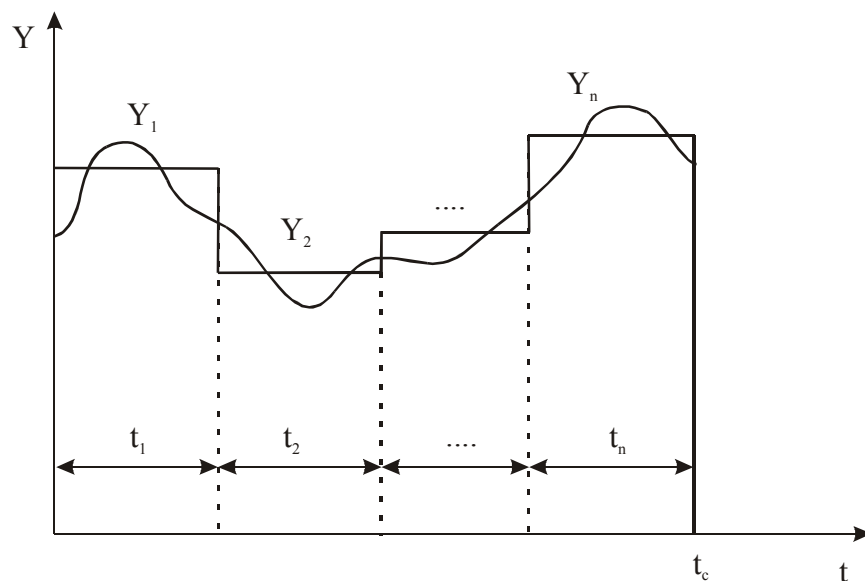


Fig. Exemplu de grafic de sarcină după o curbă oarecare.

CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND MOTORUL ASINCRON

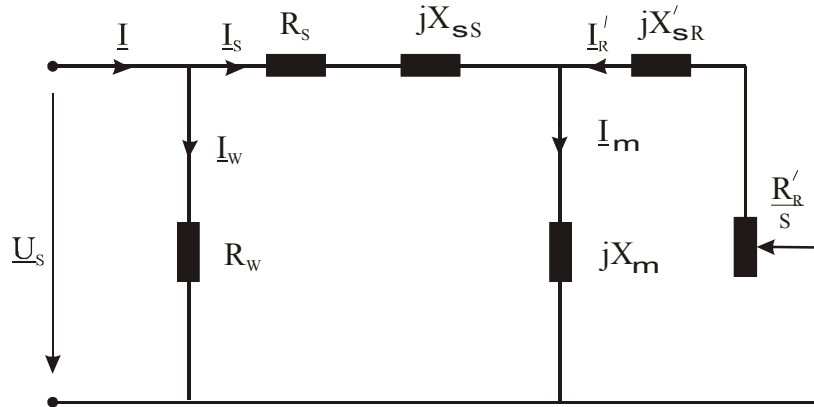


Fig. Schema echivalentă de calcul pentru motorul asincron

Modelul matematic complet constă în ecuațiile:

$$P_A = P_S + P_{Fe} + P_R + P_{mv} + P_a \quad (10.4)$$

$$Q_A = Q_{\sigma S} + Q_{\mu} + Q_{\sigma R} \quad (10.5)$$

unde: P_A, Q_A - puterea activă, respectiv cea reactivă absorbită de rețea;
 P_S, P_R - pierderile prin efect Joule în stator, respectiv rotor;
 P_{Fe}, P_{mv} - pierderile în fier, respectiv cele mecanice și de ventilație;
 P_a - puterea disponibilă la arbore;
 $Q_{\sigma S}, Q_{\sigma R}$ - puterea activă care acoperă dispersia statorică, respectiv pe cea rotorică;
 Q_{μ} - puterea reactivă necesară magnetizării mașinii.

Suma:

$$P_e = P_{mv} + P_a = P_R \frac{1-s}{s}$$

reprezintă puterea electromagnetică.

Valoarea pierderilor și de ventilație se poate obține în mai multe moduri, dintre care amintim: dintr-o încercare oarecare de mers în gol (cu mașina de lucru decuplată mecanic de motor) la care se măsoară tensiunea de alimentare pe fază (U_{S0}), curentul absorbit (I_0) sau puterea activă absorbită (P_{A0}). În funcție de mărimile măsurate (I_0 sau P_{A0}) se determină relațiile alunecarea de mers în gol (s_0). Cu aceasta se calculează pierderile în înfășurarea rotorică (P_{R0}) și apoi:

$$P_{mv} = P_{e0} + P_{R0}(1-s)/s_0$$

tot dintr-o încercare de mers în gol, cu relația:

$$P_{mv} = P_{A0} - 3R_S I_{S0}^2 - P_{Fe}$$

din datele regimului nominal. Se calculează pierderile Joule în înfășurarea rotorică (P_{Rn}) pentru alunecarea nominală (s_n) cu care se obțin:

$$P_{en} = P_{Rn} (1 - s_n) / s_n$$

$$P_{mv} = P_{en} - P_n$$

Puterea activă absorbită se determină cu relația (10.4) și puterea disponibilă la arbore și randamentul rezultă:

$$P_A = P_e - P_{mv} = P_A - (P_S + P_{Fe} + P_R + P_{mv})$$

$$\eta = P_a / P_A$$

puterea aparentă și factorul de putere rezultă:

$$S_A = P_A + jQ_A$$

$$S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2}$$

$$\cos \varphi = P_A / S_A$$

Diagramele de bilanț ale puterilor motorului asincron sunt prezentate în figura de mai jos:

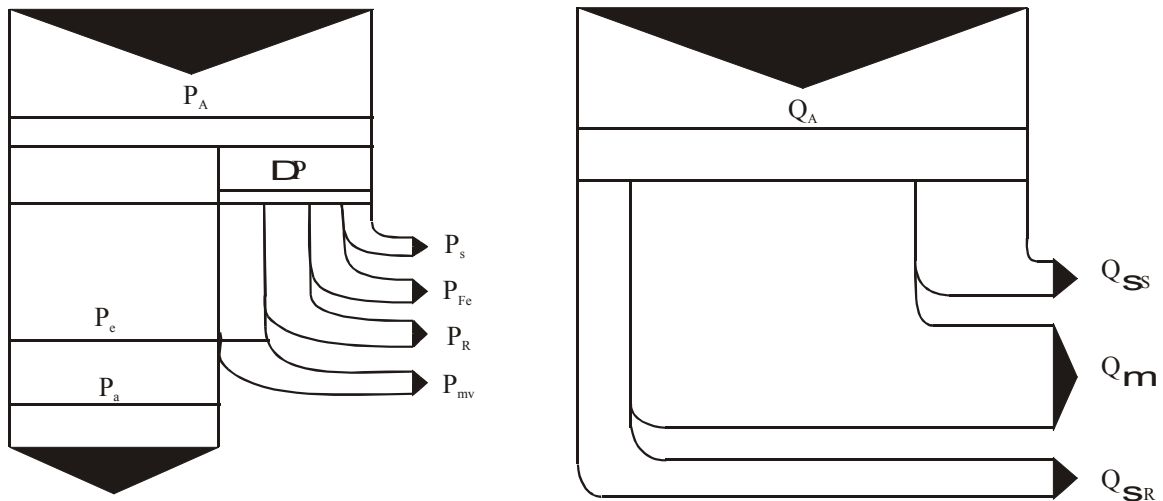


Fig. Diagramele de bilanț al puterilor la motorul asincron

a. puterile active b. puterile reactive

Modelul matematic simplificat

Faptul că principalele mărimi de stare ale motoarelor asincrone sunt normate a permis găsirea unor expresii simple care să reprezinte dependența dintre randament, respectiv factor de putere și grad de încărcare.

În literatură, prin grad de încărcare se înțelege raportul dintre puterea dezvoltată la arbore în regimul considerat și puterea nominală ($\beta_m = P_a / P_n$).

Deoarece determinarea experimentală în condiții de exploatare a puterii la arbore ridică o serie de dificultăți s-a adoptat utilizarea unuia din cei doi indicatori de mai jos, pentru caracterizarea regimului;

- gradul de încărcare cu putere activă: $\beta_m = P_a / P_{An}$ sau
- gradul de încărcare cu curent: $\beta_I = I / I_n$

Fiindcă măsurarea puterii active sau a curentului absorbit este realizabilă ușor, avantajul folosirii acestor indicatori devine evident.

Din analiza unor caracteristici determinate experimental, s-au determinat curbele de variație ale randamentului și factorului de putere în funcție de gradul de încărcare (β_m)

- dacă se utilizează indicatorul β_p :

$$\eta \cong \frac{\beta_p - A_\eta}{B_\eta \beta_p}$$

$$\cos \varphi \cong \frac{\beta_p}{A_\varphi + B_\varphi \beta_p}$$

- dacă se utilizează indicatorul β_I :

$$\eta \cong \frac{\beta_I}{A_\eta + B_\eta \beta_I}$$

$$\cos \varphi \cong \frac{\beta_I}{A_\varphi + B_\varphi \beta_I}$$

Coeficienții A_η , B_η și A_φ , B_φ depind de valoarea randamentului nominal, respectiv de cea a factorului de putere nominal. Valorile medii ale acestor coeficienți sunt prezentate în tabelele

Modelele simplificate nu permit separarea diferitelor categorii de pierderi din motor dar în majoritatea numărului de cazuri (în special pentru motoarele de putere mică sau mijlocie) acest lucru nu este absolut necesar.

Ele pot însă furniza datele primare necesare pentru luarea de măsuri privind reducerea pierderilor active sau pentru compensarea puterii reactive.

Coeficienții din expresia randamentului:

η_n	A_η	B_η
0.96	0.0309	1
0.95	0.0314	1.01
0.94	0.0371	1.014
0.93	0.0379	1.025
0.92	0.0388	1.035
0.91	0.0453	1.039
0.9	0.0462	1.05
0.89	0.0474	1.06
0.88	0.0468	1.072
0.87	0.0497	1.083
0.86	0.0479	1.099
0.85	0.0459	1.115
0.84	0.0469	1.128
0.83	0.054	1.132
0.82	0.0564	1.144
0.81	0.0578	1.158

η_n	A_η	B_η
0.78	0.0706	1.1888
0.77	0.0726	1.282
0.75	0.0769	1.231
0.74	0.0791	1.246
0.73	0.0815	1.261
0.72	0.0939	1.264
0.71	0.1074	1.265
0.7	0.1108	1.281
0.69	0.1144	1.297
0.68	0.1181	1.313
0.67	0.122	1.33
0.66	0.1263	1.347
0.65	0.1306	1.364
0.64	0.1353	1.382
0.63	0.14	1.4

0.8	0.0669	1.161
0.79	0.0688	1.174

0.62	0.1452	1.419
0.61	0.1488	1.454

$\cos \varphi_n$	A_φ	B_φ
0.91	0.155	0.944
0.9	0.167	0.944
0.89	0.181	0.943
0.88	0.196	0.941
0.87	0.202	0.948
0.86	0.218	0.944
0.85	0.237	0.94
0.84	0.257	0.934
0.83	0.265	0.94
0.82	0.303	0.917
0.81	0.329	0.905
0.8	0.359	0.892
0.79	0.378	0.876

$\cos \varphi_n$	A_φ	B_φ
0.78	0.386	0.899
0.77	0.4	0.898
0.76	0.438	0.877
0.75	0.481	0.852
0.74	0.475	0.876
0.73	0.496	0.874
0.72	0.517	0.871
0.71	0.511	0.898
0.7	0.534	0.895
0.69	0.527	0.922
0.68	0.552	0.919
0.67	0.544	0.948
0.66	0.538	0.954

Modelul matematic pentru un grup de motoare alimentate dintr-un punct comun.

Adesea, datorită limitării posibilităților de măsurare sau numărului mare de motoare existente într-o anumită instalație este practic foarte dificilă tratarea individuală a acestora.

Fie un grup de N motoare (indicele curent fiind i) alimentate de la un punct comun, la care se cunosc: puterile nominale (P_{ni}); randamentele și factorii de putere nominali (η_{ni} , $\cos \eta_{ni}$) și puterea totală absorbită de grupul de motoare (P_{Ae})

Cu acesta se calculează:

- puterea nominală a motorului echivalent:

$$P_{ne} = \sum_{i=1}^N P_{ni} ;$$

- randamentul nominal al motorului echivalent:

$$\eta_{ne} = \frac{1}{P_{ne}} \sum_{i=1}^N P_{ni} \eta_{ni} ;$$

• *factorul de putere nominal al motorului echivalent:*

$$\cos \varphi_{ne} = \frac{1}{P_{ne}} \sum_{i=1}^N \cos \varphi_{ni} P_{ni} ;$$

• *gradul de încărcare a motorului echivalent:*

$$\beta_{Pe} = P_{Ae} / P_{ne} ;$$

• *randamentul și factorul de putere de regim pentru motorul echivalent:*

$$\eta_e = \frac{\beta_{Pe} - A_\eta}{B_\eta \beta_{Pe}}$$

$$\cos \varphi_e = \frac{\beta_{Pe}}{A_\varphi + B_\varphi \beta_{Pe}}$$

în care coeficienții $A_\eta, B_\eta, A_\varphi, B_\varphi$ corespund randamentului, respectiv factorului de putere nominal ai motorului echivalent conform tabelor ...

În continuare se obțin :

• *pierderile de putere în grupul de motoare:*

$$\Delta P_e = (1 - \eta) P_{Ae} ;$$

• *puterea reactivă absorbită în grup:*

În acest mod, sunt determinați principalii indicatori energetici ai grupului de motoare.

Înlocuirea motoarelor asincrone care funcționează în regim permanent subîncărcate

Din punct de vedere energetic, principalele efecte pozitive pe care se scontează prin înlocuirea motoarelor subîncărcate cu altele de putere nominală mai apropiată de cea cerută de mașina de lucru sunt: reducerea puterii absorbite și îmbunătățirea factorului de putere.

Un prim pas în stabilirea oportunității înlocuirii îl constituie determinarea gradului de încărcare real (β_p), lucru ce se poate realiza printr-o măsurare de putere activă pentru regimul considerat.

Analiza caracteristicilor de randament și factor de putere în funcție de gradul de încărcare a arătat că la încărcări mai mari de $0,75 P_n$, valorile acestor indicatori sunt practic cele din regimul nominal și deci înlocuirea nu este oportună.

La încărcări mai mici de $0,75$, înlocuirea conduce la reducerea pierderilor active dacă se respectă condiția:

$$\eta_{n2} > \eta_1$$

și la creșterea factorului de putere, dacă:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 < \frac{\eta_{n2}}{\eta_1} \operatorname{tg} \varphi_1$$

în care s-au notat:

η_{n2} - randamentul nominal al motorului înlocuitor;

η_1 - randamentul de regim al motorului înlocuit;

φ_2, φ_1 - unghiul de defazaj al motorului înlocuitor, respectiv al celui înlocuit.

În afara aspectelor menționate, înlocuirea este posibilă numai dacă se asigură condițiile de pornire și cele legate de menținerea stabilității în funcționare a acționării respective.

Funcționarea motoarelor subîncărcate cu conexiune statorică stea, în loc de triunghi

La motoarele care funcționează în regim permanent cu conexiunea statorică triunghi (Δ) și cu grade de încărcate mai mici de 40% se recomandă trecerea la conexiune stea .

Situația este echivalentă cu reducerea tensiunii de alimentare pe fază de $\sqrt{3}$ ori.

Cuplul electromagnetic dezvoltat de motor are expresia:

$$M_e = \frac{sK_e}{s^2 a_c + s b_c + 1}$$

în care coeficienții ce intervin aici depind de construcția mașinii respective.

CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND MOTORUL SINCRON

Modelul matematic complet

Puterea activă absorbită de la rețea este:

$$P_A = P_S + P_{Fe} + P_f + P_{mv} + P_a$$

în care:

P_A este puterea activă absorbită de la rețea;

P_S - pierderile în fier;

P_f - pierderile Joule în înfășurarea de excitație;

P_{mv} - pierderile mecanice și de ventilație;

P_a - puterea disponibilă la arbore.

Se presupun cunoscute:

U_S - tensiunea de alimentare de fază;

I - curentul de fază absorbit de la rețea;

$\cos \varphi$ - factorul de putere;

R_S - rezistența pe fază a înfășurării statorice;

X_d, X_q - reactanța longitudinală, respectiv transversală;

X_{ad} - reactanța corespunzătoare fluxului longitudinal de reacție;

R_f - rezistența înfășurării de excitație;

U_f, I_f - tensiunea, respectiv curentul de excitație;

R_w - rezistența corespunzătoare pierderilor în fier;

Pierderile mecanice și de ventilație se pot calcula în mai multe feluri, dintre care amintim:
dintr-o încercare de mers în gol la care s-au măsurat: $U_{S0}, I_0, \cos \varphi_0$.

Se calculează unghiul intern și tensiunea redusă corespunzătoare (δ_0, E_{f0}) ... iar apoi, deoarece în acest regim, puterea electromagnetică acoperă numai pierderile mecanice și rezultă:

$$P_{mv} = P_{e0}$$

din datele regimului nominal:

$$P_{mv} = P_{en} - P_n$$

în care puterea electromagnetică (P_{en}) se calculează similar ca mai sus.

Puterea la arbore în regimul considerat este:

$$P_a = P_e - P_{mv}$$

În continuare puterile absorbite pe la bornele statorului sunt:

$$P_A = P_a + \Delta P = P_a + P_S + P_{Fe} + P_{mv}$$

$$Q_A = P_a \operatorname{tg} \varphi.$$

Randamentul mașinii este: $\eta = P_a / P_A$

Dacă se consideră și pierderile active în excitație se obține un randament global:

$$\eta_G = \frac{P_a}{P_A + P_f}$$

Diagrama de bilanț a puterilor active este prezentată în figura

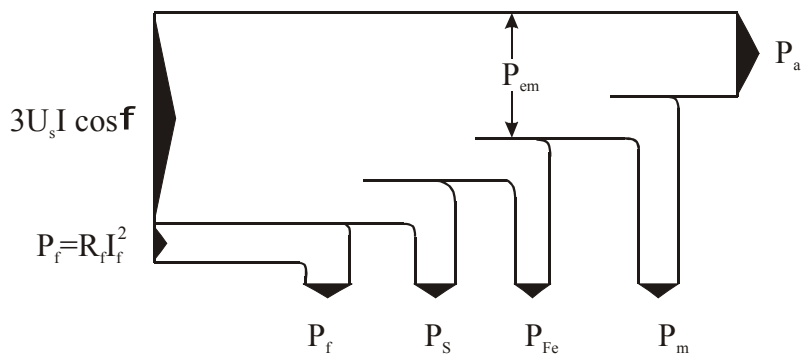


Fig. Diagrama de bilanț a motorului sincron.

Modelul matematic simplificat

Modelul descris permite determinarea pierderilor și a puterii utile dacă se cunosc:

- puterea nominală, P_n ;
- factorul de putere nominal, $\cos \varphi_n$;
- curentul nominal, I_n ;
- puterea și curentul la mersul în gol, P_0, I_0 ;
- puterea și curentul în regimul considerat, P_A, I

conform relațiilor:

$$\Delta p = \Delta p_n - \frac{\Delta p_n - p_0}{1 - i_0^2} (1 - i^2)$$

în care:

$$\Delta p_n = \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}; \quad p_0 = \frac{P_0}{P_n};$$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_n}; \quad i = \frac{I}{I_n};$$

și avem:

$$\Delta P = \Delta p P_n; \quad P = P_A - \Delta P; \quad \eta = \frac{P_a}{P_A};$$

$$S_A = 3U_s I; \quad Q_A = \sqrt{S_A^2 - P_A^2}; \quad \cos \varphi = \frac{P_A}{S_A}.$$

SISTEME DE ACȚIONARE ELECTRICĂ

Considerații teoretice.

Un sistem de acționare electrică (SAE) este un ansamblu de elemente interconectate, cu ajutorul căruia se realizează conversia energiei electrice în energie mecanică, în scopul efectuării unui proces tehnologic. El trebuie să asigure realizarea optimă a parametrilor procesului tehnologic cu investiții mici și cu pierderi minime de energie.

Orice SAE are, în principiu, trei componente structurale:

- motor electric (ME), ansamblu care asigură transmisia mișcării de la motorul electric la mașina antrenată ; în numeroase situații OT realizează și modificarea vitezei mișcării transmise;
- organ de transmisie (OT), subansamblu care asigură transmisia mișcării de la motorul electric la mașina antrenată; în numeroase situații OT realizează și modificarea vitezei mișcării transmise;
- mașina de lucru (ML) numit și mecanism executor, subansamblu care efectuează procesul tehnologic.

Sistemul de acționare electrică conține și alte elemente ca echipamente de alimentare, comutație, comandă, reglare și protecție pe care le putem considera incluse în dispozitivul de alimentare (DA).

Pentru determinarea corectă a regimului energetic al SAE este necesar să se cunoască serviciul de funcționare al acestuia.

Serviciul de funcționare al unei ME este determinat de succesiunea și durata de menținere a regimurilor sale de funcționare.

Regimul de funcționare al unei ME reprezintă ansamblul valorilor numerice ale mărimilor mecanice și electrice care caracterizează funcționarea acestuia la un moment dat.

Serviciul tip al unei ME este dat de succesiunea și durata de menținere standardizată a regimurilor sale componente; el este un serviciu de funcționare convențional.

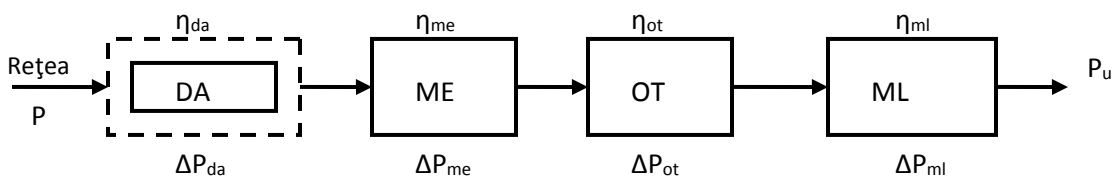


Fig. Elementele componente ale unui SAE.

În STAS1893-72 se definesc 8 servicii de funcționare tip: S_1 – continuu; S_2 – de scurtă durată; S_3 – intermitent periodic; S_4 – intermitent periodic cu durată de pornire; S_5 – intermitent cu durată de pornire și frânare electrică; S_6 – neîntrerupt cu sarcină intermitentă periodică; S_7 – neîntrerupt cu frânări periodice; S_8 – neîntrerupt cu modificarea periodică a turației.

Serviciul S_1 se caracterizează prin funcționare la sarcină constantă un timp $t_f \geq (3-4)T$, suficient de mare pentru stabilirea echilibrului termic (T reprezintă constanta de timp de încălzire a ME sau factorul de timp termic).

În serviciul S_2 motorul electric funcționează un timp mai scurt decât cel necesar atingerii echivalentului termic, $t_f < (3-4)T$. După deconectare ME rămâne în repaus un timp suficient de mare pentru a atinge temperatura mediului ambiant înainte de a fi reconectată. Duratele de funcționare t_f sunt standardizate la 10, 30, 60 și 90 min.

Serviciul S_3 este ciclic. Durata unui ciclu t_c este suficient de mică astfel încât nu se stabilește echilibrul termic și nu se ajunge la o temperatură stabilizată. Cele două componente temporale ale ciclului – durata de funcționare, t_f și cea de repaus, t_r – îndeplinesc condiția $t_f < 3T$ și $t_r < T_r$, T_r fiind constanta de timp de răcire.

Temperaturile la care se ajunge în timpul funcționării nu trebuie să depășească anumite valori admise. Temperaturile maxime admisibile ale înfășurărilor depind de clasa de izolație a acestora.

Supratemperatura, numită și încălzire, se definește cu: $\Delta\theta = \theta - \theta_a$, unde θ_a este temperatura mediului ambiant. Supratemperatura maximă este dată de $\Delta\theta_{\max} = \theta_{\max} - \theta_a - \Delta\theta$, unde $\Delta\theta$ pune în evidență faptul că în interiorul ME există puncte în care temperatura este mai mare decât cea medie.

Serviciile S_4 și S_5 sunt, de asemenea, ciclice și cu funcționare intermitentă, ca serviciul S_3 .

Pentru caracterizarea unui regim intermitent de funcționare se folosește noțiunea de *durată relativă de acționare* (sau durată relativă de funcționare):

$$D_A = \frac{t_f}{t_f + t_r} = \frac{t_f}{t_c}$$

Valorile standardizate ale duratei relative sunt $D_A = 15\%$; 25% ; 40% ; 60% , iar pentru durata ciclului $t_c = 10$ min, în serviciile tip cu caracter ciclic.

Celelalte trei servicii (S_6 , S_7 și S_8) se caracterizează prin faptul că ME este conectat permanent la rețeaua electrică. Din punct de vedere al regimului de încălzire, dacă durata ciclului, în aceste servicii, este mică în raport cu constanta termică de timp – caz întâlnit frecvent în practică – se poate admite că se atinge un regim termic stabilizat, (cu o temperatură aproximativ constantă).

SAE funcționează în majoritatea situațiilor, cu principalii parametri constanți: tensiunea și frecvența de alimentare, curent de excitație, număr de poli, rezistență (sau impedanță) a circuitelor inductor și indus, turație și cuplu. Se spune că un asemenea regim de funcționare este staționar. Dacă în cursul funcționării unui SAE există intervale de timp în care parametrii funcționali ca tensiuni, curenți, viteză unghiulară, cupluri etc. Variază, atunci acesta se regăsește într-un regim *tranzitoriu, nestaționar* sau *dinamic*. De regulă, regimul tranzitoriu apare la trecerea de la un regim staționar la altul. El poate fi comandat în funcție de necesitățile procesului tehnologic sau poate fi accidental, consecutiv perturbațiilor produse de modificarea tensiunii, intensității curentului de alimentare sau a frecvenței acestuia, dar – în special – de modificarea cuplului rezistent la ML sau al OT.

Trebuie să semnalăm faptul că există numeroase ML (malaxoare, tocătoare, mori cu bile, pompe cu piston etc.) la care cuplul rezistent variază permanent astfel că SAE se află tot timpul în regim tranzitoriu.

Dacă variațiile cuplului rezistent se produc cu o anumită regularitate pe perioade scurte de timp, se obține un regim de funcționare cvasistaționar.

În timpul regimului tranzitoriu au loc transformări energetice din energie electrică în energie mecanică și termică, care influențează consumul global de energie al SAE cu atât mai mult cât ponderea temporală a regimurilor tranzitorii este mai mare în raport cu durata de funcționare.

În timpul regimurilor tranzitorii în care viteza unghiulară (turația) crește, o parte din energia electrică absorbită de la rețea se transformă în energie cinetică (de rotație), iar în timpul regimurilor tranzitorii de frânare, această energie - sau o parte din ea – se transformă în energie electrică sau în lucru mecanic util pentru realizarea procesului tehnologic. Aceste transformări ale energiei sunt însoțite de procese ireversibile – înregistrate în bilanțul energetic al SAE drept pierderi – care conduc la încălzirea ME de acționare și a mediului ambiant. Rezultă de aici că reducerea acestor pierderi se poate obține prin alegerea unor metode avantajoase de pornire, de frânare și de utilizare a maselor suplimentare de volant.

Determinarea corectă a regimurilor de funcționare economică a unui SAE trebuie să țină seama atât de părțile componente ale sistemului, cât și de parametrii care caracterizează regimul economic:

P – puterea activă absorbită de la rețea,

η_{da} – randamentul dispozitivului de alimentare și comandă DA (dacă există),

η_{md} – randamentul motorului electric ME,

η_{ot} – randamentul organului de transmisie OT,

η_{ml} – randamentul mașinii de lucru antrenate ML.

Randamentul unui element k al SAE se definește prin raportul dintre puterea livrată la ieșire P_{ke} și cea absorbită P_{ki} la intrarea acestui element:

$$\eta_k = \frac{P_{ke}}{P_{ki}} = 1 - \frac{\Delta P_k}{P_{ki}}$$

unde ΔP_k reprezintă pierderile de putere în elementul considerat. Avem, evident, că:

$$P_{ki} = P_{ke} + \Delta P_k$$

Randamentul motorului electric η_{me} este dat de raportul dintre puterea mecanică utilă P_{mu} , furnizată la arbore și puterea electrică, activă în cazul motoarelor de curent alternativ, P_{mi} , primită de la DA sau direct de la rețeaua electrică de alimentare (când lipsește DA):

$$\eta_{me} = \frac{P_{mu}}{P_{mi}}$$

Randamentul global al unui SAE depinde de randamentul elementelor componente fiind cu atât mai mare cu cât aceste randamente sunt mai ridicate:

$$\eta_{SAE} = \eta_{da} \eta_{me} \eta_{ot} \eta_{ml} = \frac{P_u}{P}$$

Dacă nu există DA se consideră $\eta_{da}=1$, iar dacă arborele ME este cuplat direct cu arborele ML, $\eta_{ot}=1$.

Problema calculării randamentului total al unui SAE și studiul regimurilor sale de funcționare implică cunoașterea randamentelor componente DA, ME, OT, ML.

Dintre aceste componente cel mai important rol îl are ME în calitate de convertor electromecanic și de sursă energo-cinetică a SAE.

Relația se poate scrie sub forma:

$$\eta_{me} = \frac{P_{mu}}{P_{mu} + \Delta P_{me}}$$

Pentru randamentul global se folosește următoarea relație:

$$\eta = \left[1 + \frac{(a + k^2)(1 - \eta_n)}{k(1 + a)\eta_n} \right]^{-1}$$

în care: k este coeficientul de încărcare a ME, definit de raportul dintre puterea mecanică utilă P_{mu} furnizată la arborele său și puterea mecanică utilă nominală P_n indicată pe tabla indicatoare a motorului sau calculabilă cu date nominale ale acestuia;

$$k = \frac{P_{mu}}{P_n}$$

iar a este raportul dintre suma puterilor de pierderi considerate ΔP_c și suma puterilor de pierderi variabile nominale ΔP_{vm} :

$$a = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{vm}}$$

și η_n este randamentul nominal al ME.

În situația când parametrul a nu poate fi calculat exact (din cauza lipsei unor date necesare) el se poate estima. Astfel, pentru motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit, cu colivie simplă obișnuită, $a=0,5\dots 1$; la motoarele asincrone de macara, $a=0,45\dots 0,6$; pentru motoarele de curent continuu cu excitație independentă, $a=1\dots 1,5$; pentru motoarele de curent continuu cu excitație, $a=1\dots 2$ și pentru cele cu excitație în serie $a=0,1\dots 0,5$. valorile mai reduse ale parametrului a corespund puterilor nominale mai mici sau vitezelor nominale mai scăzute.

Remarcăm faptul că în cazul motorului asincron interesează și dependența randamentului în funcție de factorul de încărcare β definit prin raportul dintre valorile intensităților curenților din circuitul rotoric, oarecare I_2 și nominală I_{2n}

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2n}}$$

(β este definit ca un raport de curenți efectivi – deci de mărimi electrice – și nu ca raport de puteri mecanice utile la arbore ca în cazul coeficientului de încărcare k).

Dacă tensiunile efective de alimentare pe fază în stator sunt constante și dacă se neglijează pierderile prin frecare și prin ventilație atunci:

$$\eta = \frac{S_n \beta \cos \varphi_1 - (\beta^2 \Delta P_{cun} + \Delta P_{fe})}{S_n \beta \cos \varphi_1}$$

unde:

S_n este puterea aparentă nominală a mașinii sincrone trifazate;

$\cos \varphi_1$ – factorul de putere în circuitul statoric;

ΔP_{nom} – pierderile Joule nominale ale mașinii;

ΔP_{fe} - pierderile de putere în circuitul (miezul) feromagnetic.

Observație: Se consideră $\cos \varphi = 1 = \text{const}$ și pentru ca randamentul maxim să se afle în plaja $\eta_{\max} = 0,8 \dots 0,9$ este necesar ca $\beta_{\max} = 0,89 \dots 0,95$.

ASPECTE ECONOMICE SI TEHNICE ALE REDUCERII PIERDERILOR IN POSTURI DE TRANSFORMARE SI LINII ELECTRICE DE DISTRIBUTIE

CONSIDERATII TEORETICE

Elemente pentru estimarea pierderilor de putere si de energie active.

Pierderile de putere electrica activa. Intr-un element de rețea parcurs de sarcina I , respectiv $S = \sqrt{3}U_n I$, aceste pierderi se pot calcula cu relația :

$$\Delta P = 3RI^2 = \frac{R}{U_n^2} \cdot S^2 = \frac{R}{U_n^2} (P^2 + Q^2)$$

in care:

R este rezistenta fazica, in $[\Omega]$;

U_n – tensiunea nominala intre faze, in $[kV]$;

P – puterea activa, in $[kW]$;

Q – puterea reactiva, in $[kVar]$.

Pierderile de energie electrica activa. In cazul când – cu ajutorul unor aparate înregistratoare sau prin citiri repetate – se cunoaște evoluția in timp a sarcinii, pierderile de energie se pot determina cu formula:

$$\Delta W = 3R \sum_{t_{st}} I_i^2 t_i 10^{-3} = \frac{R}{U_n^2} \sum_{t_{st}} (P^2 + Q^2) t_i 10^{-3}$$

in care :

I_i - reprezintă sarcina medie in intervalul de timp t_i , în $[A]$;

t_{st} – durata de studio, în $[ore]$;

P_i – puterea active medie in intervalul de timp t_i , în $[kW]$;

Q_i – puterea reactiva medie in intervalul de timp t_i , în $[kVar]$.

Adeseori, atât în proiectare, cât și în exploatare, se dispune doar de un volum redus de informații cu privire la evoluția în timp a sarcinii. În astfel de cazuri, de obicei, se recurge la una din următoarele două metode de estimare a pierderilor de energie, în ambele cazuri fiind necesară cunoașterea tranzitului de energie active W_P și energie reactivă W_Q din intervalul de timp de studiu t_{st} .

Metoda sarcinii medii (I_{med} sau S_{med}) și a coeficientului de forma C_f al curbei de sarcină:

$$\Delta W = \frac{R}{U_n^2} S_{med}^2 t_{st} C_f 10^{-3} = \frac{R}{U_n^2} \frac{W_P^2 + W_Q^2}{t_{st}} C_f 10^{-3}$$

Alura curbei de sarcină nefiind cunoscută, valoarea coeficientului de forma C_f rămâne să fie evaluată în funcție de experiența pe care o are în acest sens cel ce decide.

Coeficientul de formă minim – egal cu unitatea – corespunde graficelor complet plate. Valoarea coeficientului C_f crește pe măsură ce graficele de sarcină prezintă variații mai ample.

Metoda sarcinii maxime (I_M sau S_M) și a duratei de calcul a pierderilor τ :

$$\Delta W = 3RI_M^2 10^{-3} = \frac{R}{U_n^2} S_M^2 10^{-3}$$

În proiectare, sarcina maximă trebuie estimată. În exploatare, aceasta sarcină poate fi măsurată, de exemplu, cu un ampermetru prevăzut cu un indicator de maxim.

Durata de calcul τ poate fi cu atât mai bine cunoscută, cu cât se cunoaște mai bine alura graficului de sarcină.

Deoarece metoda se referă la cazurile când forma graficului de sarcină nu este cunoscută, rezultă că valoarea duratei de calcul trebuie apreciată și aceasta cel puțin în funcție de indicatorul “durata de utilizare a sarcinii maxime”:

$$T_{SM} = \frac{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}{S_M}$$

unde:

T_{SM} este durata de utilizare a sarcinii maxime, în [ore];

S_M – sarcina maximă, în [kVA].

2. În cadrul tabelelor 12.1...12.5 sunt prezentate valorile actuale ale unor indicatori tehnico-economici necesari pentru stabilirea soluțiilor de reducere a pierderilor din posturi de transformare și linii electrice de distribuție [68] – [73].

Costurile specifice pe baza cărora trebuie studiată eficiența eforturilor de investiții necesare pentru reducerea pierderilor de energie electrică.

Costurile c_{iv}^* din tabelul 12.6, ale kilowattorei pierdute în sistemul nostru electroenergetic sunt sensibil mai mari față de prețurile sistemului de tarifare a energiei furnizate întreprinderilor în scop productiv[74].

Atragem atenția asupra acestui aspect, deoarece costurile din tabelul 12.6, în medie, reflectă efortul real pe care îl face economia națională, atunci când ”acceptă” pierderea unui [kWh], pentru producerea căruia trebuie consumat ”combustibil marginal”. Ca urmare, justificarea economică a

investițiilor pentru reducerea pierderilor de energie electrică este legiferat să fie făcută pe baza sistemului de costuri normat prin [68].

Limitele folosirii intensive ale liniilor electrice aeriene de distribuție cu secțiuni “ s_e ” existente în exploatare.

La depășirea acestor limite în amperi devine eficient economic – respective obligatoriu din punct de vedere termic – efortul de investiții într-un al doilea circuit cu secțiune s_M maximă utilizată în țara noastră la tipul respective de linie.(Extras din INSTRUCȚIUNEA MEE – CIRE I 164/1986)

Curentul economic, I_{fec} , în [A],

Tipul liniei	s_e [mm ²]	T_{SM} durata de utilizare a sarcinii maxime, in [h/an]							curentul termic I_{ft} la temp. aer 40°C, în [A]
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	
LEA joasă tensiune $s_M = 95\text{mm}^2$	35	135	110	90	75				140
	50	175	140	115	100				175
	70	220	175	145	130				215
	95	275	220	180	155				
LEA de 20kV cu conductoare din OL-Al $s_M = 120\text{mm}^2$	35		125	105	90	75	65	65	140
	50		155	130	110	95	80		175
	70		195	165	140	120	100		225
	95		240	200	170	145	125		270
LEA de 110 kV cu conductoare din OL-Al $s_M = 300\text{mm}^2$	120		285	240	200	175	150		310
								220	
	150		440	375	325	280	250	250	360
	185		505	430	375	325	285	310	420
	240		610	515	455	390	345	345	495
300		715	610	535	460	405		575	

Limitele folosirii intensive ale liniilor de distribuție în cabluri cu secțiuni “s_e” existente în exploatare

La depășirea acestor limite în amperi devine eficient economic – respectiv obligatoriu din punct de vedere termic – efortul de investiții într-un al doilea circuit cu secțiune s_M maximă utilizată în țara noastră la tipul respective de linie. (Extras din INSTRUCȚIUNEA MEE – CIRE I 164/1986)

Curentul economic I_{fec}, în [A],

Tipul liniei	S _e mm ²	durate de utilizare a sarcinii maxime T _{SM} , în [h/an]						curent termic I _t , în [A], la pozare în	
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	Sol la 20°C	Aer la 20°C
LEC de joasă tensiune cu izolație sintetică și conductoare din aluminiu S _M =240 mm ²	35	130	105	90	75			120	100
	50	165	130	110	90			145	125
	70	195	160	130	110			175	155
	95	235	195	160	135			215	190
	120	275	225	185	155			245	220
	150	320	260	215	180			275	250
	185	375	305	250	210			310	285
	240	450	365	305	155			360	340
LEC de 6 kV cu izolație sintetică și conductoare din aluminiu S _M =240 mm ²	35		125	110	90	80	70	115	105
	50		155	130	110	100	90	175	130
	70		190	160	140	120	110	170	160
	95		230	200	165	145	130	200	195
	120		270	230	195	170	150	230	220
	150		310	265	225	190	175	260	250
	185		360	310	260	230	205	290	285
	240		440	375	315	275	250	330	340

LEC de 20kV realizate cu câte trei cabluri monofazate, cu izolație sintetică (PVC/polietilenă) cond. AL $S_M=150 \text{ mm}^2$	50		235	200	170	150	130	135/180	130/185
	70		295	245	210	185	160	165/215	160/220
	95		360	305	265	230	200	195/245	195/255
	120		425	360	305	270	235	225/275	230/295
	150		500	420	360	320	280	250/305	260/325

Frontierele dintre domeniile de curenți maximi de calcul I_M corespunzătoare folosirii economice – conform PE 135/1985 – a secțiunilor din aluminiu la liniile de joasă tensiune (în A). (Extras din Instrucțiunea MEE – CIRE I 164/1986)

Tipul constructiv al liniei electrice	Sec mm^2	Durata de utilizare a sarcinii maxime, în h/an			
		1000	2000	3000	4000
LEC J.T.	25	26	21	18	15
În izolație sintetică și conductoare din aluminiu $S_M=240 \text{ mm}^2$	35	37	30	25	20
	50	50	42	35	30
	70	70	60	50	40
	95	95	75	65	55
	120	115	95	80	65
	150	145	120	100	80
	185	185	150	125	105
	240	370	300	250	210
LEA J.T. cu 3+1 conductoare din aluminiu $S_M=95 \text{ mm}^2$	35	34	27	22	20
	50	47	38	32	27
	70	65	55	45	37
	95	200	160	140	120

Frontierele dintre domeniile de curenți maximi de calcul I_M corespunzătoare folosirii economice – conform PE 135/1985 – a secțiunilor din aluminiu la liniile de medie tensiune (in A). (Extras din Instrucțiunea MEE – CIRE I 164/1986)

Tipul constructiv al liniei electrice	S mm ²	Durata de utilizare a sarcinii maxime					
		2000	3000	4000	5000	6000	7000
LEC 6 kV cu izolație sintetică și conductoare de aluminiu S _M =240 mm ²	35	32	27	23	20	18	16
	50	45	36	33	29	26	23
	70	63	54	45	40	35	31
	95	82	70	60	52	46	41
	120	103	88	74	65	58	51
	150	127	109	92	80	72	64
	195	162	138	119	102	91	82
	240	380	325	275	240	215	190
LEC 20 kV realizate cu câte trei cabluri monofazate, având izolație sintetică și conductoare din aluminiu	50	60	50	45	40	35	30
	70	85	70	60	55	50	45
	95	110	95	80	70	60	55
	120	140	115	100	90	80	70
	150	400	350	300	260	230	200
LEA 20 kV cu conductoare din Cu-Al S _M =120 mm ²	35	26	22	19	16	14	12
	50	37	31	26	23	20	18
	70	50	45	35	31	27	25
	95	65	55	50	40	35	30
	120	200	170	140	120	110	100

Coefficienții de încărcare ai transformatoarelor la sarcinile lor maxime anuale pe baza criteriului economic pentru alegerea transformatoarelor în proiectare și pentru stabilirea oportunității rocadelor în exploatare. (Extras din Prescripția energetică republicană PE 145/1985)

Durata de utilizare a sarcinii maxime anuale T_{SM} , h/an	Frontierele domeniilor de încărcări maxime anuale între care este economic să se încadreze			
	Încărcarea la sarcina S_M , din primul an de exploatare		Încărcările la sarcinile maxime din toți ani de exploatare	
	$k_{1,inf}$	$k_{1,sup}=1.6k_{1,inf}$	k_{inf}	k_{sup}
≤ 2000	0.60	0.96	0.50	1.00
3000	0.55	0.88	0.50	1.00
4000	0.50	0.80	0.45	0.90
5000	0.45	0.72	0.40	0.80
6000	0.40	0.64	0.35	0.70
7000	0.35	0.56	0.30	0.60
8000	0.30	0.48	0.25	0.50

Costurile specifice medii ale energiei electrice care se pierde la diferite trepte din sistemul nostru energetic național. (Extras din normativul republican PE 011/82)

Treapta de tensiune	C_w^*	C_p^{**}
220-400 kV	0.71	7500
110 kV	0.78	
M.T.	0.92	
J.T.	1.42	

* [lei/kWh]; cheltuielile exclusive de amortizare ale investiției la capacitatea respectivă de producție din “centrala electrică etalon”;

** [lei/kW]; investiția în centrala etalon care, conform normelor în vigoare se consideră că este cea care produce energia electrică ce se pierde în rețea.

13. DETERMINAREA CONSUMURILOR SPECIFICE ȘI A PIERDERILOR DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN CONDIȚIILE FUNCȚIONĂRII UTILAJELOR CU ABATERI ALE FRECVENȚEI ȘI A TENSIUNII DE ALIMENTARE

13.1 CONSIDERAȚII TEORETICE

Funcționarea cu tensiune, respectiv, frecvență de alimentare diferită de cea nominală, influențează diversele categorii de pierderi, precum și cererea de putere și energie de la rețea, conducând prin aceasta la modificarea componentelor unui bilanț electric, determinate pentru regim normal.

Estimarea elementelor de calcul pentru studierea comportării utilajelor în astfel de situații se poate face pe baza unor calcule analitice, în condițiile întocmirii bilanțurilor energetice de proiect, necesare realizării unor instalații noi sau a modernizării celor existente, precum și pe baza unor informații obținute prin măsurători, direct din instalație, în cazul unor *bilanțuri reale*, pentru utilajele aflate în exploatare.

Ținând seama de marea lor răspândire în activitățile industriale, modul de calcul al mărimilor necesare întocmirii bilanțurilor electrice în alte condiții decât nominale a fost exemplificat pentru *mașini unelte de prelucrat metale prin așchiere* și, pentru generalitate, *relațiile de calcul prezentate permit estimarea comportării motorului electric de antrenare încă din faza de proiectare a instalației*.

Estimarea mărimilor necesare întocmirii bilanțului electric al utilajului pentru obținerea unui produs se poate face cunoscând *cuplul relativ rezistent (m) la arborele motorului*, care în regim stabilizat, este exprimabil printr-o relație de forma [39],[40]:

$$m = \frac{P}{P_n} \frac{n_n}{n_2} \quad (13.1)$$

în care : P, P_n sunt puterea utilă la arbore, respectiv puterea nominală a motorului, kW, n_2, n_n - turația rotorului, respectiv turația nominală a motorului, rot/min.

Puterea utilă dezvoltată la axul principal al mașinii unelte în procesul de așchiere este :

$$P_{na} = 1.0267 * 10^{-4} S t d i_t n_2 \quad (13.2)$$

în care :

S - avansul sculei așchietoare, mm/rot;

t – adâncimea de așchiere, mm;

d – diametrul de prelucrat, mm;

i_t - raportul de transformare al cutiei de viteze.

Exprimând puterea utilă la arborele motorului în funcție de parametrii tehnologici ai regimului de așchiere, relația de calcul a cuplului relativ rezistent (m) se poate pune sub forma :

$$m = \frac{1.0267 * 10^{-4} * S t d i_t n_n}{\eta_{mec} P_n} = C_t \frac{n_n}{P_n} \quad (13.3)$$

unde :

η_{mec} este randamentul mecanic al lanțului cinematic;

C_t - constanta dependentă de parametrii fazei tehnologice a produsului analizat.

În ceea ce privește randamentul mecanic al lanțului cinematic, acesta este dependent de gradul de încărcare al mașinii unelte după o relație de forma [41] :

$$\eta_{mec} = \frac{1}{1 + \frac{P_{uaM}}{P_{ua}} \left(\frac{1}{\eta_{mec,n}} - 1 \right)} \quad (13.4)$$

în care : $P_{ua,M}$ este puterea utilă de așchiere maximă dezvoltată de mașina unealtă; $\eta_{mec,n}$ - randamentul mecanic maxim al lanțului cinematic.

După cum se poate remarca, pentru mașini unelte de prelucrat prin așchiere, cuplul rezistent (m) este independent de turație, deci de condițiile de alimentare de la rețea.

Cunoscând cuplul relativ m pentru fiecare fază tehnologică a prelucrării, se pot estima elementele de calcul necesare întocmirii bilanțului electric, în condițiile în care tensiunea de alimentare raportată la valoarea nominală este $u = \frac{U}{300}$ și frecvența relativă a rețelei este $f = \frac{F}{50}$.

Succesiunea etapelor de întocmire a bilanțului electric pentru o faza tehnologică este prezentată în continuare.

• *Se determină alunecarea de regim a motorului :*

$$s = \frac{s_n b}{f b_2}, \quad (13.5)$$

în care: s_n este alunecarea nominală a motorului, a cărei valoare depinde de turația nominală a mașinii (n_n), după relația :

$$s_n = \frac{n_0 - n_2}{n_0};$$

$b = b_n + \sqrt{b_n^2 - 1}$, unde b_n este multiplul cuplului maxim al motorului, indicat în catalog :

$$b_2 = b_R + \sqrt{b_R^2 - 1}, \text{ unde } b_R = \frac{b_n}{m} \left(\frac{u}{f} \right)^2.$$

• *Se determină curentul rotorului raportat la stator*

$$I_2' = I_{2n}' \sqrt{m \frac{b}{b_2}} \quad [\text{A}], \quad (13.6)$$

în care : I_{2n}' este curentul rotoric raportat la stator, în condițiile nominale de funcționare a motorului, în amperi; acesta poate fi determinat pe baza curentului statoric nominal (I_{1n}) și a factorului de putere nominal ($\cos \varphi_n$), indicate în catalog, neglijând componenta activă a curentului de mers în gol :

$$I_{2n}' = I_{1n} \cos \varphi_n \sqrt{\frac{2b_n}{b}}.$$

• Se determină curentul statoric :

$$I_1 = \sqrt{(I_0 + I_2' \sin \varphi')^2 + (I_2' \cos \varphi')^2} \quad [\text{A}] \quad (13.7)$$

unde : $I_0 = \frac{u}{f} I_{0n}$ este curentul de mers în gol (cu mecanismul decuplat), dependent de același curent în condiții nominale de funcționare ale motorului respectiv, care poate fi estimat pe baza datelor cu o relație de forma:

$$I_{0n} = \frac{I_{1n} (b \sin \varphi_n - \cos \varphi_n)}{b};$$

$$\sin \varphi' = \frac{1}{\sqrt{2b_n b_2}};$$

$$\cos \varphi' = \sqrt{\frac{b_2}{2b_n}}.$$

• Se determină pierderile în înfășurări :

$$\Delta p_{Cu} = 3(R_1 I_1'^2 + R_2' I_2'^2) * 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (13.8)$$

în care : R_1, R_2' sunt rezistența înfășurărilor statorice, respectiv rotorice, exprimate în ohmi.

• Se determină pierderile mecanice de putere ale motorului și cele suplimentare :

$$\Delta p_{mec} = \Delta p_{mec,n} \left(f \frac{1-s}{1-s_n} \right)^2 \quad [\text{kW}] \quad (13.9)$$

$$\Delta p_{supl} = \Delta p_{supl,n} f_m \frac{1-s}{1-s_n} \quad [\text{kW}] \quad (13.10)$$

unde : $\Delta p_{mec,n}$ și $\Delta p_{supl,n}$ sunt pierderile mecanice, respectiv cele suplimentare în regim nominal, care se pot estima în kilowați, cu relațiile :

$$\Delta p_{mec,n} = \frac{0.65}{1000} \left(\frac{n_n}{1000} \right)^2 (0.0156H)^4;$$

$$\Delta p_{supl,n} = 0.005P_n.$$

unde : H este înălțimea axului mașinii indicată în catalog, în mm.

• Se determină pierderile de putere în fierul motorului :

$$\Delta p_{Fe} = (0.61 + 0.39f) \frac{u^2}{f} \Delta p_{supl} \quad [\text{kW}] \quad (13.11)$$

$$\text{în care : } \Delta p_{Fen} = \frac{P_n(1-\eta_n)}{\eta_n} - 3R_1 I_{1n}^2 10^{-3} - \frac{(P_n + \Delta p_{mec,n})s_n}{1-s_n} - \Delta p_{mec,n} - \Delta p_{supl,n};$$

η_n randamentul nominal al motorului electric .

• Se determină pierderile totale de putere în motor :

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{Fet} + \Delta p_{Cu} + \Delta p_{mec} + \Delta p_{supl} \quad [\text{kW}] \quad (13.12)$$

• Se determină puterea utilă la arborele motorului :

$$P = P_n m f \frac{1-s}{1-s_n} \quad [\text{kW}] \quad (13.13)$$

• Se determină puterea activă absorbită de motor de la rețea :

$$P_1 = P + \Delta p \quad [\text{kW}] \quad (13.14)$$

• Se determină puterea reactivă absorbită de motor de la rețea :

$$Q_1 = \sqrt{3}U_{1n} 10^3 (uI_0 + I'_{2n} m f \frac{b_1}{b_2}) \quad [\text{kvar}], \quad (13.15)$$

în care : $b_1 = \sqrt{\frac{b}{2b_n}}$; U_{1n} - tensiunea nominală de alimentare de la rețea, în [V].

Consumul suplimentar de energie electrică activă pentru transportul energiei reactive pe rețeaua de alimentare a motorului analizat se poate lua în considerare ținând seama de echivalentul energetic al puterii reactive, exprimat în kilowați pe kilovar.

• Se determină pierderile de putere mecanică în lanțul cinematic al mașinii unealtă analizată :

$$\Delta p_{mec,n} = P - P_{ua} \quad [\text{kW}] \quad (13.16)$$

• Pentru determinarea pierderilor corespunzătoare de energie electrică trebuie să se țină seamă de variația timpului de funcționare al motorului electric cu turația.

Timpul total de funcționare în sarcină al motorului electric corespunzător executării unei piese, se poate obține prin însumarea tuturor timpilor de bază, consumați pentru modificarea prin prelucrare a materialului, în fiecare fază tehnologică a operației analizate :

$$t_{fs} = \sum_{j=1}^m t_{bj}, \quad (13.17)$$

în care t_{bj} este timpul de bază corespunzător fazei tehnologice j .

De exemplu, pentru operațiile de strunjire, timpul de bază se poate estima cu o relație de forma :

$$t_{bj} = \frac{L_j}{S_j i_{ij} n_2} k_j \quad [\text{min}] \quad (13.18)$$

unde : L_j este lungimea drumului parcurs de sculă pentru executarea fazei tehnologice j ,

în mm;

k_j - numărul de treceri al sculei pentru executarea fazei j ;

Turația motorului de antrenare depinde de condițiile de alimentare, după cum urmează :

$$n_2 = n_0 f (1 - s) \quad [\text{rot/min}] \quad (13.19)$$

În afara timpilor de bază, executarea unei piese presupune și efectuarea unor operații ajutătoare (schimbarea turațiilor, deplasarea saniei și masei, prinderea și desprinderea pieselor). Durata acestor operații este normată pentru fiecare categorie de utilaj și nu este în general dependentă de condițiile electrice de alimentare.

Unele operații ajutătoare se pot executa fără decuplarea motorului de la rețea și suma timpilor acestor operații constituie timpul total de mers în gol (t_{agol}) al motorului pentru executarea unei piese (cu mecanismul antrenat):

$$t_{agol} = \sum_{j=1}^m t_{agol,i} \quad [\text{min}] \quad (13.20)$$

Energia consumată sau pierdută în procesul tehnologic analizat se poate obține ținând seama de expresia corespunzătoare a puterii consumată sau pierdută (determinabilă cu relațiile din paragrafele precedente) și de timpii de funcționare ai motorului de sarcină sau în gol pentru fiecare fază tehnologică în parte. Și apoi, pe operație.

Astfel, de exemplu, *consumul specific de energie electrică* pentru executarea unei piese se poate pune sub forma:

$$W_1 = \frac{1}{60} \left[P_{10} t_{agol} + \sum_{j=1}^m P_{1j} t_{bj} \right] \quad [\text{kWh/buc}] \quad (13.21)$$

în care :

P_{10} este puterea absorbită de motorul în gol, în [kW];

P_{1j} - puterea absorbită de motorul în sarcină pentru faza j , în [kW].

Exemplu de calcul: Determinarea pierderilor de energie electrică într-un transformator, 20/0,4 kV

Pierderile de putere activă într-un transformator se vor determina cu ajutorul relației:

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} + \Delta P_S, \text{ în care:}$$

- ΔP_T - pierderea totală de putere activă în transformator;
- ΔP_0 - pierderea de putere activă în transformator, la funcționarea sa în gol;
- ΔP_{SC} - pierderea de putere activă în transformator, la funcționarea sa în scurtcircuit;
- ΔP_S - pierderea de putere activă suplimentară, ce apare în cazul transformatoarelor cu răcire forțată (se determină prin măsurători);
- β - coeficientul de sarcină al transformatorului.

Pierderile de energie activă în transformator la funcționarea în gol se consideră egale cu pierderile în fier, iar pierderile de putere activă la funcționarea în scurtcircuit se consideră egale cu pierderile în cupru și se iau din cataloage sau din cartea tehnică a transformatorului respectiv.

Coeficientul de sarcină β se determină cu relația: $\beta = k_f \cdot \frac{I_m}{I_n}$, în care:

I_m - intensitatea medie a curentului ce străbate transformatorul;

I_n - intensitatea nominală a curentului transformatorului, la medie tensiune.

k_f este coeficientul de formă al funcției $I = f(t)$ și reprezintă variația în timp a curentului din linie I ,

definit cu relația: $k_f = \frac{I_{mp}}{I_m}$

Se realizează prin măsurători într-un interval de 24h (o zi) alegându-se în acest scop, o zi reprezentativă;

I_m este valoarea medie a curentului măsurat la capătul alimentat al liniei: $I_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$ [kA]

I_{mp} valoarea medie pătratică a curentului măsurat la capătul alimentat al liniei: $I_{mp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2}{n}}$ [kA]

n numărul de intervale egale (minim 24, pentru 24h) la care se face citirea curentului;

I_i valoarea curentului, măsurată la mijlocul intervalului i , în capătul alimentat al liniei [kA];

Pierderile de energie electrică activă în transformatoare se calculează cu relația:

$$\Delta E_a = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} \cdot \tau_f + \Delta P_S \cdot \tau_S; \text{ în care:}$$

τ_t - este timpul total de conectare;

τ_f - timpul de funcționare în sarcină;

τ_S - timpul de funcționare a instalațiilor auxiliare de răcire.

Pierderile la mersul în gol ΔP_0 și pierderile în scurtcircuit ΔP_{SC} se citesc pe eticheta transformatorului sau din documentația acestuia.

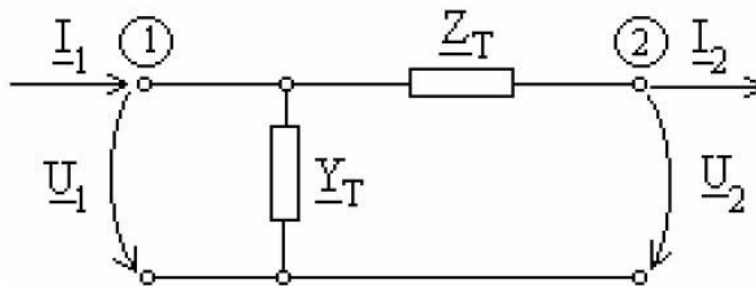
Caracteristicile electrice ale transformatorului

Puterea transformator S_n	kVA	1000
Tensiunea primară U_{1n}	kV	20
Tensiunea secundară U_{2n}	kV	0.4
Curentul nominal primar I_{1n}	A	28.8
Curentul nominal secundar I_{2n}	A	1443
Grupa de conexiuni		Dyn5
Pierderi la mers în gol P_0	kW	1.8
Pierderi în cupru P_k	kW	10.5
Curent de mers în gol i_0	%	1.4
Tensiune de scurt circuit u_k	%	6

Tensiunile si curentii nominali pe medie respectiv joasă tensiune vor fi:

- Pe partea de medie tensiune (conexiunea D)
 - $U_{n1} = 20 \text{ kV}$; - tensiunea de linie = tensiunea pe fiecare fază
 - $I_{n1} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n1}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 28.8 \text{ A}$ - curent de linie
 - $I_{nf1} = \frac{I_{n1}}{\sqrt{3}} = \frac{28.8}{\sqrt{3}} = 16.6 \text{ A}$ - curent de fază
- Pe partea de joasă tensiune (conexiunea yn)
 - $U_{n2} = 0.4 \text{ kV}$; - tensiunea de linie
 - $U_{nf2} = \frac{U_{n2}}{\sqrt{3}} = 0,230 \text{ kV}$; - tensiunea de fază
 - $I_{n2} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n2}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 10^3} = 1443.4 \text{ A}$ - curent de linie = curent de fază
- Raportul de transformare și factorul de înfășurare (Dyn5)
 - $k_U = \frac{U_{n1}}{U_{n2}} = \frac{20000}{400} = 50$; Raportul de transformare
 - $k_i = \frac{U_{nf1}}{U_{nf2}} = \frac{20000}{230.9} = 86.6$; Factorul de înfășurare

Calcularea parametrilor schemei electrice echivalente simplificate în Γ a transformatorului raportată la primar



Schema în Γ a transformatorului analizat

Parametrii longitudinali ai transformatorului:

- Calculăm impedanța echivalentă a transformatorului:

$$Z_T = \frac{u_{sc}}{100} \frac{U_{n2}^2}{S_n} k_i^2 = \frac{6 \cdot (0.4 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 1000 \cdot 10^3} (86.6)^2 = 72$$

- Calculam rezistența echivalentă pentru un transformator :

$$R_T = \Delta P_{Cu} \frac{U_{n2}^2}{S_n^2} k_i^2 = 10.5 \cdot 10^3 \frac{(0.4 \cdot 10^3)^2}{(1000 \cdot 10^3)^2} (86.6)^2 = 12.6 \Omega$$

- Calculam reactanța echivalentă pentru un transformator :

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{72^2 - 12.6^2} = 71. \Omega \cong Z_T$$

Parametrii transversali ai transformatorului:

- Calculam admitanța echivalentă pentru un transformator :

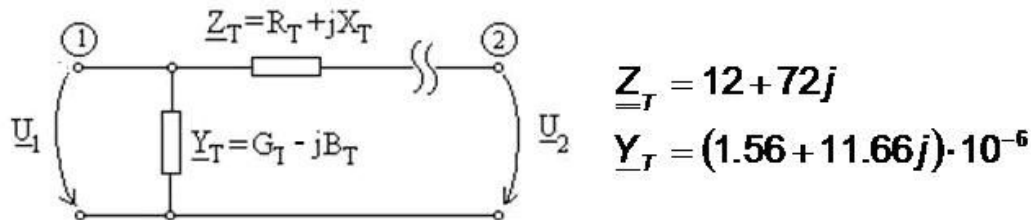
$$Y_T = \frac{i_0}{100} \frac{S_n}{U_{n2}^2} \cdot \frac{1}{k_i^2} = \frac{1.4}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{(0.4 \cdot 10^3)^2} \cdot \frac{1}{(86.6)^2} = 11.66 \cdot 10^{-6} S$$

- Calculam conductanța echivalentă pentru un transformator :

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{U_{n2}^2} \cdot \frac{1}{k_i^2} = \frac{1.85 \cdot 10^3}{(0.4 \cdot 10^3)^2} \cdot \frac{1}{(86.6)^2} = 1.54 \cdot 10^{-6} S$$

- Calculam susceptanța echivalentă pentru un transformator :

$$B_T = \sqrt{Y_T^2 - G_T^2} = \sqrt{11.66^2 - 1.54^2} \cdot 10^{-6} = 11.5 \cdot 10^{-6} S \cong Y_T$$



$$\underline{Z}_T = 12 + 72j$$

$$\underline{Y}_T = (1.56 + 11.66j) \cdot 10^{-6}$$

Coeficientul de sarcină β se determină cu relația: $\beta = k_f \cdot \frac{I_m}{I_n} = 1.02 \cdot \frac{146}{1444} \approx 0.1 = 10\%$

Pierderile de putere activă într-un transformator se vor determina cu ajutorul relației:

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \beta^2 \cdot \Delta P_{sc} + \Delta P_s, \quad \text{în care:}$$

- ΔP_T pierderea totală de putere activă în transformator;
- $\Delta P_0 = 1.85 \text{ kW}$ pierderea de putere activă în transformator, la funcționarea în gol;
- $\Delta P_{sc} = 10.5 \text{ kW}$ pierderea de putere activă în transformator, la funcționarea sa în scurtcircuit;

- $\Delta P_S = 0$ pierderea de putere activă suplimentară, ce apare în cazul transformatoarelor cu răcire forțată (prin măsurători)

Coeficientul de sarcină al transformatorului: $\beta = k_f \cdot \frac{I_m}{I_n} = 1.02 \cdot \frac{146}{1444} \approx 0.1 = 10\%$.

Pierderea de putere activă pentru punctul de funcționare impus de încărcarea acestuia va fi:

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} + \Delta P_S = 1.85 + (0.1)^2 \cdot 10.5 = 1.955 \text{ kW}$$

Variația pierderilor de putere activă în funcție de încărcarea acestuia sunt prezentate în figura de mai jos punându-se în evidență și pierderile la încărcarea actuală:

Estimarea pierderilor de energie activă în transformator pe diverse perioade de timp

Relația de calcul a pierderilor de energie activă în transformatorul cu două înfășurări este următoarea: _

$$\Delta E_a = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} \cdot \tau_f + \Delta P_S \cdot \tau_S; \text{ în care:}$$

- τ_t - este timpul total de conectare;
- τ_f - timpul de funcționare în sarcină;
- τ_S - timpul de funcționare a instalațiilor auxiliare de răcire. = 0

Având în vedere că activitatea de producție se desfășoară în mod continuu, 24 de ore pe zi, 7 zile pe săptămână putem aprecia următoarele consumuri de putere activă în transformator :

- Estimare consum energie activă pentru o zi (24h) de lucru normală:

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24 \text{ h}$.
- Timpul de funcționare în sarcină într-o zi va fi: $\tau_f = 24 \text{ h}$.

$$\Delta E_{a zi} = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} \cdot \tau_f = 1.85 \cdot 10^3 \cdot 24 + (0.1)^2 \cdot 10.5 \cdot 10^3 \cdot 24 = 46.92 \text{ kWh}$$

- Estimare consum energie activă pe perioada unei săptămâni (7 zile):

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24 \times 7 = 168 \text{ h}$.
- Timpul de funcționare în sarcină într-o săptămână va fi: $\tau_f = 24 \times 7 = 168 \text{ h}$.

$$\Delta E_{a sap} = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} \cdot \tau_f = 1.85 \cdot 10^3 \cdot 168 + (0.1)^2 \cdot 10.5 \cdot 10^3 \cdot 168 = 328.44 \text{ kWh}$$

- Estimare consum energie activă pe perioada unei luni (4 săptămâni):

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24 \times 7 \times 4 = 672$ h.
- Timpul de funcționare în sarcină într-o lună va fi: $\tau_f = 24 \times 7 \times 4 = 672$ h

$$\Delta E_{a \text{ luna}} = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} \cdot \tau_f = 1.85 \cdot 10^3 \cdot 672 + (0.1)^2 \cdot 10.5 \cdot 10^3 \cdot 672 = 1313.76 \text{ kWh}$$

- Estimare consum energie activă pe perioada unui an (12 luni):

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24 \times 7 \times 4 \times 12 = 8064$ h.
- Timpul de funcționare în sarcină într-un an va fi: $\tau_f = 24 \times 7 \times 4 \times 12 = 8064$ h

$$\Delta E_{a \text{ an}} = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta P_{SC} \cdot \tau_f = 1.85 \cdot 10^3 \cdot 8064 + (0.1)^2 \cdot 10.5 \cdot 10^3 \cdot 8064 = 15.765 \text{ MWh}$$

Pierderile de putere reactivă într-un transformator se vor determina cu ajutorul relației:

Pierderile de putere activă într-un transformator se pot determina cu ajutorul relației:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \beta^2 \cdot \Delta Q_{SC} + \Delta Q_S, \quad \text{în care:}$$

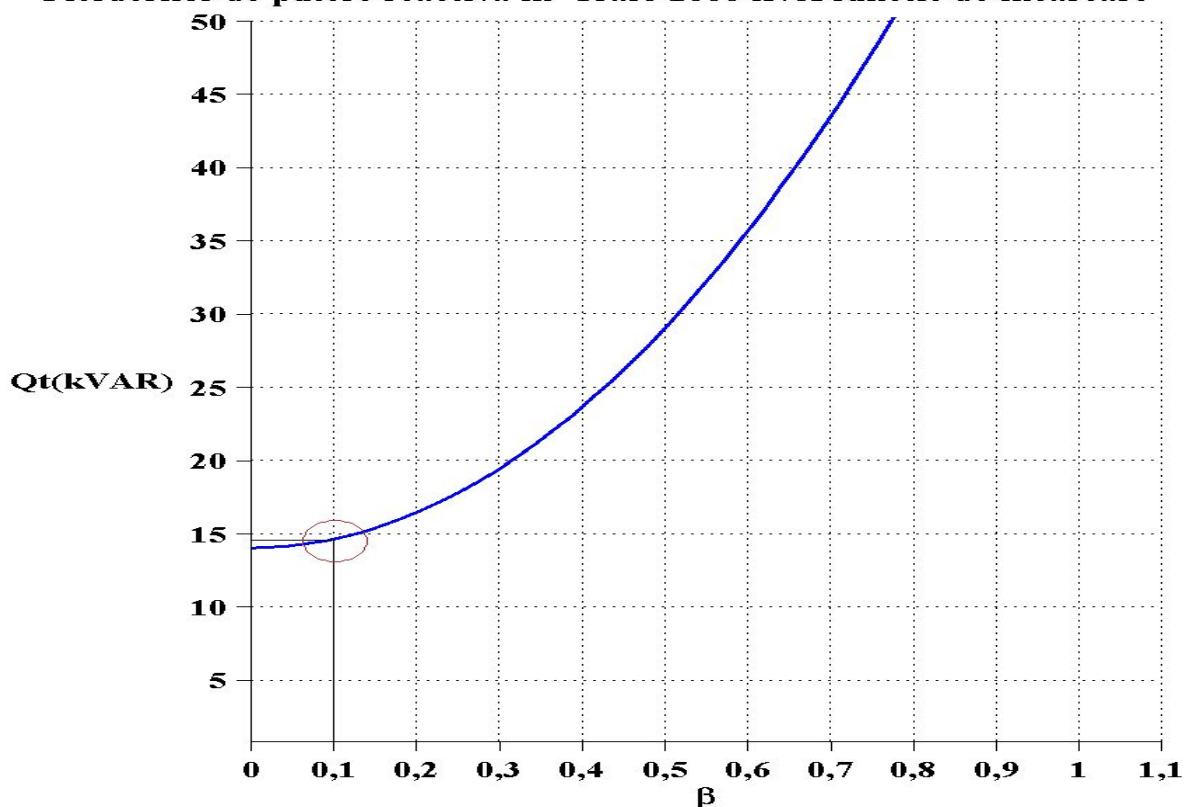
- ΔQ_T pierderea totală de putere reactivă în transformator;
- $\Delta Q_0 = \frac{i_0}{100} S_n = 14 \text{ kVAR}$; pierderea de putere reactivă în transformator, la funcționarea în gol;
- $\Delta Q_{SC} = \frac{u_{sc}}{100} S_n = 60 \text{ kVAR}$; pierderea de putere reactivă în transformator, la funcționarea sa în în regim nominal;
- $\Delta Q_S = 0$; pierderea de putere reactivă suplimentară, ce apare în cazul transformatoarelor cu răcire forțată (prin măsurători);

$$\beta = k_f \cdot \frac{I_m}{I_n} = 1.02 \cdot \frac{146}{1444} \approx 0.1 = 10\% \quad \text{coeficientul de sarcină al transformatorului.}$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \beta^2 \cdot \Delta Q_{SC} + \Delta Q_S = 14 + (0.1)^2 \cdot 60 = 14.6 \text{ kVAR}$$

Variația pierderilor de putere activă în funcție de încărcarea acestuia sunt prezentate în figura de mai jos punându-se în evidență și pierderile la încărcarea actuală:

Pierderilor de putere reactiva in Trafo 1000 kVA functie de incarcare



Estimarea pierderilor de energie reactivă în transformator pe diverse perioade de timp

Relația de calcul a pierderilor de energie activă în transformatorul cu două înfășurări este următoarea: _

$$\Delta E_a = \Delta Q_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta Q_{SC} \cdot \tau_f + \Delta Q_S \cdot \tau_S; \text{ în care:}$$

τ_t - este timpul total de conectare;

τ_f - timpul de funcționare în sarcină;

τ_S - timpul de funcționare a instalațiilor auxiliare de răcire.=0

Având în vedere că activitatea de producție se desfășoară în mod continuu, 24 de ore pe zi, 7 zile pe săptămână putem aprecia următoarele consumuri de putere reactivă în transformator

- Estimare consum energie reactivă pentru o zi (24h) de lucru normala:

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24$ h.
- Timpul de funcționare în sarcină într-o zi va fi: $\tau_f = 24$.

$$\Delta E_{r zi} = \Delta Q_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta Q_{SC} \cdot \tau_f = 14 \cdot 10^3 \cdot 24 + (0.1)^2 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 24 = 350.4 \text{ kVARh}$$

- Estimare consum energie reactivă pe perioada **unei săptămâni** (7 zile):

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24 \times 7 = 168 \text{ h}$.
- Timpul de funcționare în sarcină într-o săptămână va fi: $\tau_f = 24 \times 7 = 168 \text{ h}$

$$\Delta E_{r sap} = \Delta Q_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta Q_{SC} \cdot \tau_f = 14 \cdot 10^3 \cdot 168 + (0.1)^2 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 168 = 2.453 \text{ MVARh}$$

- Estimare consum energie reactivă pe perioada **unei luni** (4 săptămâni):

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24 \times 7 \times 4 = 672 \text{ h}$.
- Timpul de funcționare în sarcină într-o lună va fi: $\tau_f = \tau_t = 24 \times 7 \times 4 = 672 \text{ h}$.

$$\Delta E_{r luna} = \Delta Q_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta Q_{SC} \cdot \tau_f = 14 \cdot 10^3 \cdot 672 + (0.04)^2 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 672 = 9.811 \text{ MVARh}$$

- Estimare consum energie reactivă pe perioada **unui an** (12 luni):

- Timpul total de conectare este: $\tau_t = 24 \times 5 \times 4 \times 12 = 8064 \text{ h}$.
- Timpul de funcționare în sarcină într-un an va fi: $\tau_f = 24 \times 5 \times 4 \times 12 = 8064 \text{ h}$

$$\Delta E_{r an} = \Delta Q_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta Q_{SC} \cdot \tau_f = 14 \cdot 10^3 \cdot 8064 + (0.04)^2 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 8064 = 117.734 \text{ MVARh}$$

ASPECTE CANTITATIVE PRIVIND FUNCȚIONAREA TRANSFORMATORULUI ÎN SARCINA

1) Caracteristica externă

În funcție de încărcarea β , variația de tensiunea în secundarul transformatorului funcție de sarcină are expresia:

$$\frac{\Delta U}{U_{20}} = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = (\beta \cdot u_{sca} \cos \varphi_2 + \beta \cdot u_{scr} \sin \varphi_2) = \beta \cdot (u_{sca} \cos \varphi_2 + u_{scr} \sin \varphi_2), \quad \text{unde:}$$

U_{20} = tensiunea nominală din secundar a transformatorului = 400 V

β = încărcarea transformatorului = 0.04

$\cos \varphi_2$ = factorul de putere mediu în secundarul transformatorului = 0.95

- u_{sca} = componenta activa a tensiunii de scurt circuit:

$$u_{sca} = \frac{P_{sc}}{S_n} = \frac{10.5 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^3} = 1.05 \% \quad (\text{în care am considerat datele transformatorului})$$

- u_{scr} = componenta reactiva a tensiunii de scurt circuit:

$$u_{scr} = \sqrt{u_{sc}^2 - u_{sca}^2} = \sqrt{6^2 - 1.05^2} = 5.91 \% \cong u_{sc} \quad (\text{în care am considerat datele transformatorului})$$

Pentru calcule considerăm factorul de putere mediu extras din capitolul de măsurători: $\cos \varphi_2 = 0.95$, iar factorul de încărcare $\beta = 0.04$. În aceste condiții obținem o variație a tensiunii de:

$$\frac{\Delta U}{U_{20}} = \beta(u_{sca} \cos \varphi_2 + u_{scr} \sin \varphi_2) = 0.1 \cdot \left(\frac{1.05}{100} \cdot 0.95 + \frac{6}{100} \cdot 0.31 \right) = 0,002857$$

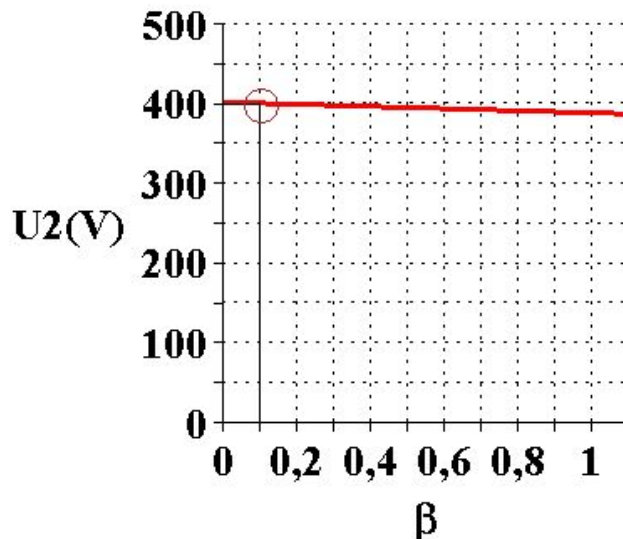
Sau:

$$U_2 = U_{20} - U_{20} \cdot \Delta U = 400 - 0.002857 \cdot 400 = 398,857 V ;$$

$$\frac{\Delta U}{U_{20}} = \frac{400 - 398.857}{400} \cdot 100 = \frac{1.143}{400} \cdot 100 = 0.286 \%$$

Căderea de variație de tensiune în secundarul transformatorului datorită încărcării ΔU se sub limita acceptată de (2-5)% pentru transformatoare din această clasă de putere. În funcție de alte valori ale sarcinii este prezentată mai jos variația tensiunii în secundar.

Variația tensiunii în secundar funcție de încărcare



2) Caracteristica randamentului

Exprimând relația de mai sus în funcție de încărcarea transformatorului β , acesta va deveni:

$$\eta = \frac{S_n \beta \cos \varphi_2}{S_n \beta \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{sc}}$$

Pentru calcule considerăm factorul de putere mediu extras din capitolul de măsurători: $\cos \varphi_2 = 0.95$, iar factorul de încărcare $\beta = 0.1$. În aceste condiții obținem un randament al transformatorului:

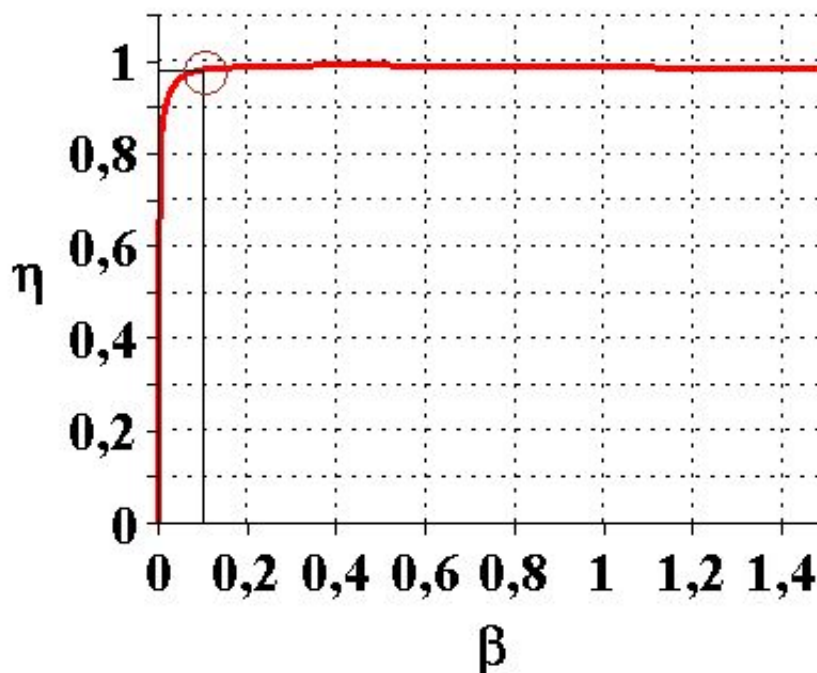
$$\eta = \frac{S_n \beta \cos \varphi_2}{S_n \beta \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{sc}} = \frac{1000 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 0.95}{1000 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 0.95 + 1850 + (0.1)^2 \cdot 10500} = 0.9798$$

$$\eta = 97.98\%$$

Valoarea obținută pentru se încadrează în plaja de randamente pentru transformatoarele electrice de putere: 95 ÷ 99.9 %.

În figura de mai jos se prezintă caracteristica randamentului luând în considerare ca parametru încărcarea acestuia.

Variatia randamentului Trafo 1000 kVA functie de incarcare



Caracteristica randamentului pentru transformatorul electric.

Randamentul maxim se obține din $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$, adică pentru $P_0 = P_{sc}$. sau $\beta_{\max} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{sc}}}$.

Având în vedere datele transformatorului analizat, încărcarea pentru care se obține randamentul maxim este:

$$\beta_{\max} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{sc}}} = \sqrt{\frac{1850}{10500}} = 0.4199.$$

În acest caz randamentul maxim are expresia:

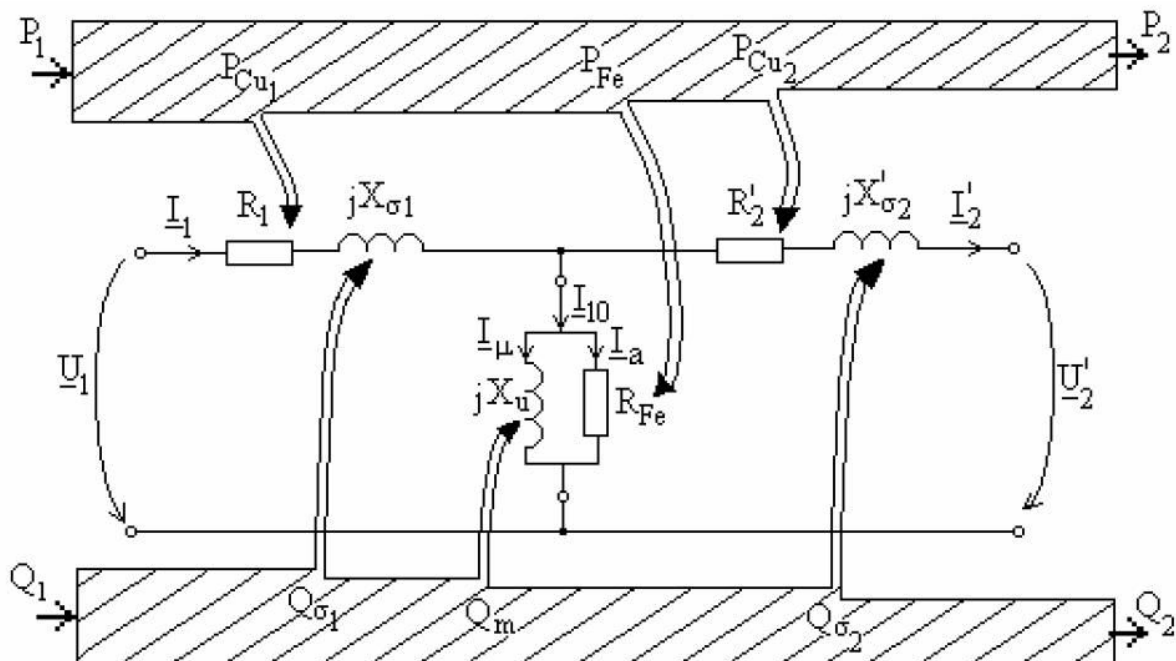
$$\eta_{\max} = \frac{S_n \cos \varphi_2}{S_n \cos \varphi_2 + 2\sqrt{P_{sc} \cdot P_0}}$$

$$\eta_{\max} = \frac{S_n \cos \varphi_2}{S_n \cos \varphi_2 + 2\sqrt{P_{sc} \cdot P_0}} = \frac{1000 \cdot 10^3 \cdot 0.95}{1000 \cdot 10^3 \cdot 0.95 + 2\sqrt{10500 \cdot 1850}} = 0.989$$

Se poate constata că practic transformatorul funcționează cu un randament foarte apropiat de cel maxim pentru o plajă foarte largă de sarcini: $\beta = 0.3 - 1$.

Diagramele Sankey de bilanț pentru puterile active și reactive în punctul de funcționare al transformatorului

Sursele pierderilor de putere activă și reactivă în transformator sunt prezentate sugestiv în figura de mai jos:

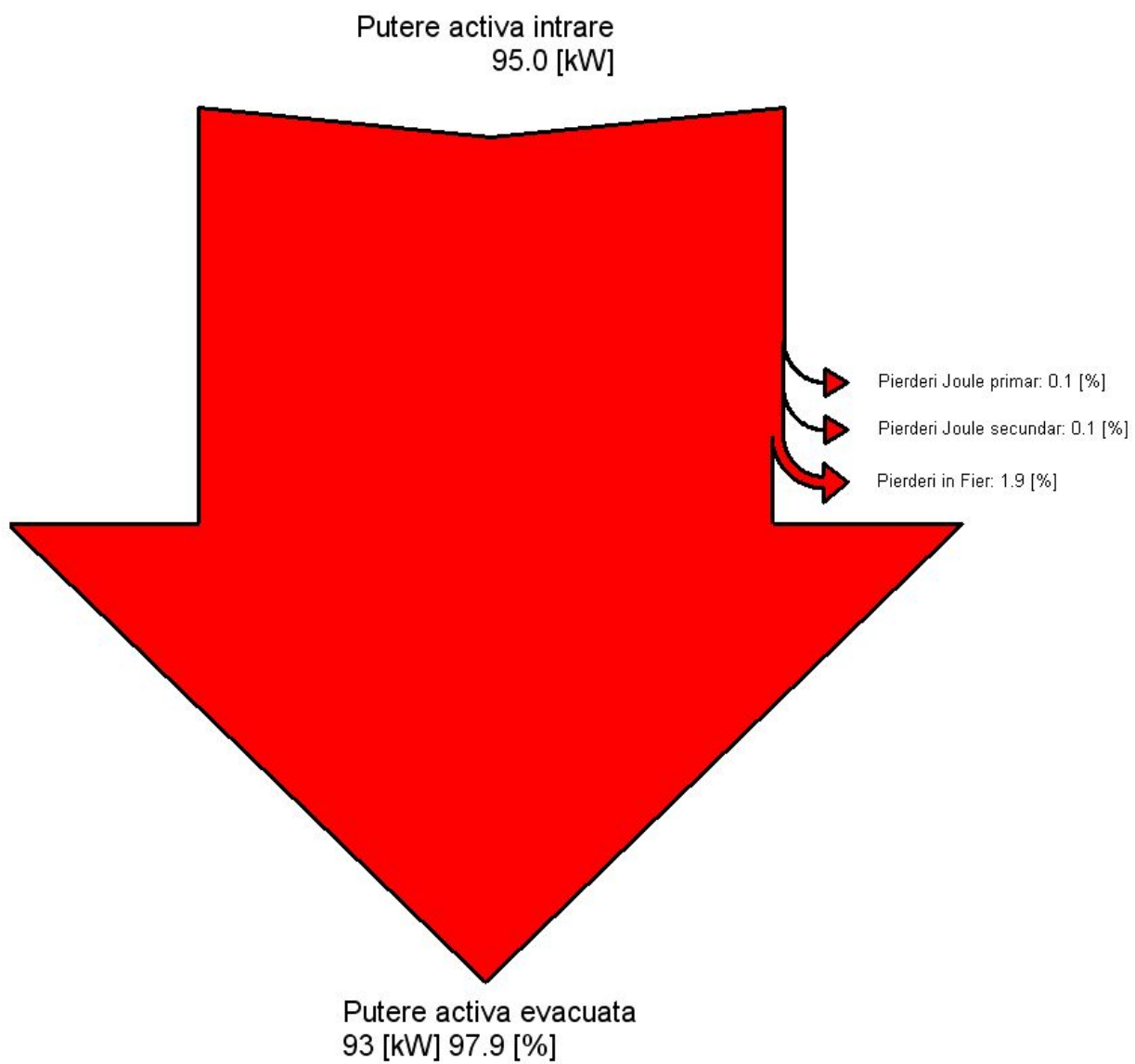


În cele ce urmează sunt prezentate tabelar valorile cantitative pentru fiecare din cele două tipuri de puteri circulate prin transformatorul analizat:

Puterea activă

Puterea activă absorbita din rețea P_1	kW	94.963
Pierderi Joule în înfășurarea primară	kW	0.061
Pierderi Joule în înfășurarea secundară	kW	0.052
Pierderi Joule în înfășurări (secundar + primar)	kW	0.113
Pierderi în miezul transformatorului (pierderi în fier)	kW	1.85
Puterea activă absorbită de consumator în secundar de din rețea P_2	kW	93

Diagrana Sankey corespunzătoare circulației de puteri active în transformator



Bibliografie

- [1] GOLOVANOV N., I. IORDANESCU POSTOLACHE., TOADER C s.a - *Instalații Electroenergetice și Elemente de Audit Industrial*, editura N'ERGO, București, 2008.
- [2] GOLOVANOV N., POSTOLACHE., TOADER C., *Eficiența și calitatea energiei electrice*, Editura AGIR, București, 2007.
- [3] CARABULEA, A., ș.a, *Modele de bilanțuri energetice reale și optime*, Editura Academiei Române, București, 1982.
- [4] CARABOGDAN, I.Gh., ș.a. *Bilanțuri energetice. Probleme și aplicații pentru ingineri*, Editura Tehnică, București, 1986.
- [5] ICEMENERG PE 92/1986 (actualizat 1995)– *Ghid de elaborare și analiza a bilanțurilor energetice*, ICEMENERG, București, 2003.
- [6] BERINDE, T., ș.a, *Întocmirea și analiza bilanțurilor energetice în industrie* (vol. I și II), Ed. Tehnică – București, 1976.
- [7] GEORGESCU, GH., GAVRILAȘ, M., RĂDĂȘANU DANIELA – *Calculul și reducerea pierderilor de putere și energie în rețelele electrice*. Editura Spectrum, Iași, 1997.
- [8] DUȘĂ V., GHEJU P., *Întocmirea și analiza bilanțurilor electroenergetice*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004.
- [9] I. IORDANESCU, GH. IACOBESCU, *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- [10] I. IORDANESCU, ș.a, *Rețele electrice pentru alimentarea întreprinderilor industriale- Aplicații*, Editura Tehnică, 1985.
- [11] GH. IACOBESCU, ș.a, *Rețele și sisteme electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- [12] GH. IACOBESCU, ș.a, *Rețele electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [13] N. GOLOVANOV, I. IONESCU, N. MIRA, P. POSTOLACHE, C. TOADER, *Consumatori de energie electrică: materiale, aparate și instalații electrice*, Editura AGIR, București 2009.
- [14] C. DUMITRIU, L. DUMITRIU, *Bazele electroenergeticii și rețele electrice*, Editura Printech, București, 2007.
- [15] ARIE, A., NEGUȘ, C., GOLOVANOV, N., GOLOVANOV, C. - *Poluarea cu armonici a sistemelor electroenergetice funcționând în regim permanent simetric*. Editura Academiei Române, București, 1994.
- [16] POTLOG D. M., MIHĂILEANU C., *Acționări electrice industriale cu motoare asincrone. Aplicații industriale*, Editura tehnică, București, 1989.
- [17] BĂLĂ C., *Mașini electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- [18] NOVAC I., s.a, *Mașini și acționări electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [19] SAAL C., SZABO W., *Sisteme de acționare electrică. Determinarea parametrilor de funcționare*, Editura Tehnică, București, 1981.
- [20] SAAL C., TOPA I., FRANSUA A., MICU E., *Acționări electrice și automatizari*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- [21] E. SERACIN, D. POPOVICI, *Tehnica acționărilor electrice*, București, Editura Tehnică, 1985.
- [22] TUNSOIU Gh., SERACIN E., SAAL C., *Acționări electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [23] KELEMEN A., *Acționări electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
- [24] KELEMEN A., IMECS M, *Electronică de putere*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [25] KELEMEN A., IMECS M, *Mutatoare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- [26] CENTEA O., BIANCHI C., *Instalații electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973.
- [27] GAVRILĂ H., *Electrotehnică și echipamente electrice*, vol. 1+2, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1994.

- [28] M. PREDA, P. CRISTEA, F. MANEA, s.a , *Probleme de electrotehnică și Mașini electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [29] ALBERT HERMINA, FLOREA I., *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale*, Editura Tehnică, București, 1987.
- [30] GOLOVANOV CARMEN, ALBU MIHAELA, *Probleme moderne de măsurare în electroenergetică*, Editura Tehnică, București, 2001.
- [31] FRANSUA AL. ș.a. *Mașini și sisteme de acționări electrice. Probleme fundamentale*, Editura Tehnică, București, 1978.
- [32] FRANSUA A., MAGUREANU R., *Mașini și acționări electrice. Elemente de execuție*, Editura Tehnică, București, 1986.
- [33] FRANSUA, A. S., MĂGUREANU, R., TOCACI, M., *Mașini și acționări electrice. Culegere de probleme*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980;
- [34] ALBERT HERMINA, MIHĂILESCU ANCA, *Pierderi de putere și energie în rețelele electrice. Determinare. Măsurări de reducere*, Editura Tehnică, București, 1997.
- [35] GOLOVANOV, N., ȘORA, I., șa – *Electrotermie și Electrotehologii*, - volumul 1+ 2. Editura Tehnică, București, 2000;
- [36] IORDACHE MIHAELA, CONECINI I., *Calitatea energiei electrice*, Editura tehnică, București, 1997.
- [37] MIRCEA, I. - *Instalații și echipamente electrice. Ghid teoretic și practice*. Ediția a doua. Editura Didactică și Pedagogică, București, 2002;
- [38] PAICU, G. – *Utilizări ale energiei electrice. Tehnologii electrice speciale*. Editura Venus, Iași, 2006.
- [39] UNGUREANU, M., CHINDRIȘ, M., LUNGU, I.- *Utilizări ale energiei electrice*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 2000.
- [40] SORA I., VĂZDĂUȚEANU V., COITA V., POPOVIC D., *Utilizări ale energiei electrice*. Editura Flaca, Timișoara, 1983.
- [41] BALAURESCU D., EREMIA M., *Îmbunătățirea factorului de putere*, Editura Tehnică, București, 1981.
- [42] LECA, A. – *Principii de management energetic*. Editura Tehnică, București, 1997.
- [43] VUC, GH. – *Managementul energiei electrice*. Editura AGIR, București, 2001;
- [44] COMĂNESCU, M. – *Aspecte energetice europene*. Editura Economică, București, 2000;
- [45] COMȘA, D., ș.a., *Proiectarea instalațiilor electrice industriale*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [46] Gh. HORTOPAN, *Aparate electrice*, vol I+II, Editura Tehnică, București, 2000.
- [47] Gh. HORTOPAN, s.a., *Probleme de aparate electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [48] P. DINCULESCU, *Instalații Electrice industriale de joasă tensiune*- Editura Matrix-Rom, București, 2003
- [49] IGNAT, J., POPOVICI, C.G. – *Rețele electrice de joasă tensiune*, Editura Matrix Rom, București, 2003.
- [50] GROUP SCHNEIDER, *Electrical Installation Guide*, Schneider Electric, 2007.
- [51] DINCULESCU P., SISAK F., *Instalații și echipamente electrice*. București Editura Didactica si Pedagogica, 1981.
- [52] PANTELIMON, COMSA, DINCULESCU, CRACIUNESCU, CHINDRIS. *Utilizarea energiei electrice și instalații electrice - Probleme*. București, Editura Didactica si Pedagogica, 1980.
- [53] DINCULESCU P., COMSA D., *Utilizări ale energiei electrice și instalații electrice*. București, Editura didactica si Pedagogica, 1983.
- [54] POTLOG D. M., *Bilanțul electric al acționărilor cu motoare asincrone*, Energetica, nr. 8/1982.
- [55] SOCI, A., MORARU, A. - *Description des moteurs et des transformateurs electriques dans les bilans electroenergetiques des entreprises industrielles*. Revue Roumaine de science techniques, tome 19/1974.