

REGIA AUTONOMĂ DE ELECTRICITATE-RENEL

PE 120/94

INSTRUCȚIUNI
PENTRU COMPENSAREA PUTERII REACTIVE
ÎN REȚELELE ELECTRICE ALE FURNIZORILOR
DE ENERGIE ȘI LA CONSUMATORII
INDUSTRIALI ȘI SIMILARI

(aprobate cu Decizia RENEL nr. 771/24 XI 1994)

ICEMENERG

INSTITUTUL DE CĂRCEȚĂRI ȘI MODERNIZĂRI ENERGETICE

București - 1995

Lucrare elaborată de I.S.P.E.
Responsabil de lucrare: ing. Gheorghe Manea

REGIA AUTONOMĂ DE ELECTRICITATE-RENEL

DECIZIA nr. 771

Președintele - director general al Regiei Autonome de Electricitate RENEL.

Văzând procesul-verbal nr. 864/1994 al Comisiei Tehnice de Specialitate a D.G.T.D.E.E.,

În temeiul Hotărârii nr. 1199/1990 a Guvernului României de înființare a RENEL, a Ordinului nr. 3678/1993 al ministrului Industriilor și a prevederilor pct. 5 din Decizia nr. 463/1993 a RENEL,

emite următoarea

DECIZIE:

1. Se aprobă prescripția energetică "Instrucțiuni pentru compensarea puterii reactive în rețelele electrice ale furnizorilor de energie și la consumatorii industriali și similari" - PE 120/1994.

2. Prescripția de la pct. 1 se aplică de la data de 1 ianuarie 1995. Pe aceeași dată își încetează aplicarea ediția anterioară a instrucțiunilor aprobate cu Ordinul M.E.E. nr. 399/1985.

3. ICEMENERG va multiplica lucrarea în numărul de exemplare rezultat din ancheta de tiraj și o va difuza factorilor interesați.

Data la 24 XI 94

PREȘEDINTE - DIRECTOR GENERAL,

Victor Vaida

REGIA AUTONOMĂ DE ELECTRICITATE - RENEL	INSTRUCȚIUNI PENTRU COMPENSAREA PUTERII REACTIVE ÎN REȚELELE ELECTRICE ALE FURNIZORILOR DE ENERGIE ȘI LA CONSUMATORII INDUSTRIALI ȘI SIMILARI	Indicativ: PE 120/94
		Înlocuiește: PE 120/85
CUPRINS		
		Pag.
1.	Considerații generale.....	7
2.	Domeniul de aplicare, scopul și conținutul instrucțiunilor.....	9
3.	Terminologia utilizată și definițiile.....	10
4.	Alegerea tipurilor de instalații de compensare a puterii reactive.....	12
	4.1. Compensarea puterii reactive în rețelele FE.....	12
	4.2. Compensarea puterii reactive la consumatorii industriali și similari.....	13
	4.3. Alegerea tipului de instalații de compensare.....	16
	4.4. Amplasarea bateriilor de condensatoare.....	17
5.	Condițiile privind compensarea puterii reactive în nodurile cu regim deformant.....	18
6.	Metodologia de calcul privind compensarea puterii reactive.....	20
	6.1. Compensarea puterii reactive în rețelele FE.....	20
	6.2. Compensarea puterii reactive la un consumator in- dustrial.....	21
	<u>Anexe</u>	
	1(A.1) Legislația tehnică conexasă.....	22
	2(A.2) Calculele tehnico-economice.....	23
	3(A.3) Realizarea instalațiilor de baterii de condensatoare- derivație.....	27
	4(A.4) Exemple de calcul.....	31

1. CONSIDERAȚII GENERALE

Dezvoltarea actuală și de perspectivă a SEN impune necesitatea asigurării mijloacelor de compensare a puterii reactive, în scopul menținerii nivelurilor normate de tensiune în rețelele de transport și distribuție a energiei electrice, în regimuri caracteristice cu consum maxim și minim, cu N și N-1 elemente în funcțiune.

Mijloacele de compensare a puterii reactive sunt stabilite pe baza calculului de optimizare tehnico-economică a investițiilor respective în SEN.

Din punct de vedere economic se alocă surse de putere reactivă atât timp cât aceste surse se justifică prin scăderea pierderilor de putere activă în rețea.

Din punct de vedere tehnic se verifică dacă, conform criteriilor de dimensionare a SEN (PE 026/92), cu mijloacele de compensare rezultate după aplicarea criteriului economic se respectă benzile de tensiune în regimuri normale și de avarie.

În cazul în care, în anumite regimuri nu se respectă benzile de tensiune, soluția de compensare rezultată se suplimentează.

Analiza se face periodic, pe etape de mică perspectivă, de circa doi ani, pentru a avea o imagine cât mai reală asupra funcționării SEN, în condiții reale de disponibilitate a echipamentelor și evoluției consumului.

În palierele de vârf de sarcină, SEN se caracterizează prin vehicularea de la centrale la consumatori a unor fluxuri importante de putere activă și reactivă.

Centralele electrice nu pot și nici nu este economic să acopere tot consumul de putere reactivă. Ele sunt dimensionate la factori de putere cuprinși între 0,85 și 0,9, ceea ce corespunde unei puteri reactive disponibile de circa 50 - 60 % din puterea activă produsă.

Vehicularea puterii reactive de la centrale la consumatori poate conduce la:

- dificultăți în menținerea tensiunilor în benzile normate în regimuri staționare normale și de avarie;
- creșterea pierderilor de putere activă în rețea;
- diminuarea capacității efective de transport a rețelei.

Pentru evitarea acestor dezavantaje în toate țările dezvoltate din punct de vedere energetic se compensează puterea reactivă la consumatori și în rețea în anumite limite justificate tehnico-economic.

Compensarea puterii reactive se realizează prin amplasarea de mijloace specializate în producerea și absorbția de putere reactivă

Sursele de putere reactivă specializate utilizate în SEN sunt:

- baterii de condensatoare amplasate în medie tensiune (MT) și joasă tensiune (JT); în perspectivă aceste baterii se vor utiliza și în rețelele de 110 kV;

- compensatoare sincrone cu puterea maximă de 60 Mvar, amplasate în rețelele furnizorului și la consumatori.

De regulă, aceste surse se vor înlocui cu baterii de condensatoare reglabile sau cu compensatoare statice, aceasta fiind tendința și în cadrul UCPT (Uniunea pentru Coordonarea Producției și Transportului de Electricitate).

Sarcina compensării puterii reactive revine diferențiat atât consumatorilor industriali și similari, cât și furnizorului de energie electrică.

Consumatorii industriali și similari au obligația realizării factorului de putere neutral, pentru a fi scutiți de plata energiei reactive.

Notă. Factorul de putere neutral se stabilește periodic prin studii de sistem, pentru o anumită etapă de dezvoltare a SEN, ținând seama și de condițiile de tarifare a energiei electrice, precum și de costul echipamentelor de compensare etc. În prezent, factorul de putere neutral este de 0,92. Consumatorii care realizează un factor de putere mediu lunar sub 0,92 plătesc energia reactivă consumată suplimentar față de $\cos \varphi$ neutral [8].

Furnizorul de energie electrică are sarcina realizării compensării rețelelor sale de distribuție până la asigurarea unor factori de putere optimi de funcționare, diferențiați pe zone.

Zonele pentru care se stabilesc valorile optime ale factorilor de putere coincid cu zonele servite de întreprinderile de furnizare a energiei electrice, denumite în prezentele instrucțiuni FE (furnizori de energie).

În palierele de gol de sarcină rețeaua de transport de energie electrică a SEN se caracterizează prin tensiuni foarte ridicate (peste cele normale), dacă puterea reactivă generată de linii, funcționând sub puterea lor naturală, nu este suficient compensată cu bobine de reactanță, cu compensatoare statice funcționând în regim de absorbție a puterii reactive sau cu compensatoare sincrone funcționând în regim capacitiv.

Soluția modernă adoptată, în țările cu sisteme energetice dezvoltate, se referă la montarea compensatoarelor statice de mare putere, atât în rețelele de foarte înaltă tensiune, cât și în rețelele de distribuție. În această soluție se realizează un reglaj automat al puterii reactive absorbite sau injectate în rețea, cu controlul nivelului de tensiune în rețea. Reglarea puterii reactive se va face cu prioritate în nodurile de frontieră ale liniilor de interconexiune, în scopul minimizării circulațiilor de putere reactivă.

Amplasarea acestor mijloace se face în scopul realizării următoarelor condiții de funcționare a SEN:

- menținerea tensiunilor în benzile admisibile în palierele de sarcină minimă (GNVs - gol noapte vară zi de sărbătoare), fără a apela la deconectarea de elemente de rețea sau a recurge la posibilitățile de absorbție de putere reactivă ale grupurilor generatoare, absorbție care constituie o rezervă pentru cazul defectării unei bobine de reactanță;
- posibilitatea anclanșării în gol a oricărei linii de 400 și 750 kV.

2. DOMENIUL DE APLICARE, SCOPUL ȘI CONȚINUTUL INȘTRUCȚIUNILOR

2.1. Prezentele instrucțiuni se aplică atât la compensarea puterii reactive în rețelele FE, cât și la compensarea puterii reactive la consumatorii industriali și similari.

2.2. Instrucțiunile de compensare au drept scop stabilirea modalităților de realizare a compensării puterii reactive în rețelele FE și la consumatorii industriali și similari, pe bază de criterii tehnico-economice.

2.3. Necesarul de surse de putere reactivă, pentru fiecare FE și factorul de putere optim de funcționare pe zonă, se determină prin studiu de sistem, pentru fiecare etapă de dezvoltare a SEN.

Odată stabilită cantitatea de surse de putere reactivă ce-i revine, fiecare FE urmează să asigure, printr-un studiu detaliat de zonă, repartiția optimă a acestei cantități, pentru a obține o eficiență tehnico-economică maximă.

În acest scop instrucțiunea arată:

- a) modul de determinare a puterii reactive care trebuie compensată, tipul și amplasamentul instalațiilor de compensare, pentru a obține avantaje maxime;
- b) modul în care se pune în evidență eficiența economică a compensării puterii reactive.

2.4. Consumatorii industriali și similari au obligația realizării factorului de putere neutral, pentru a fi scutiți de plata energiei reactive.

2.5. Pentru consumatorii industriali și similari, în instrucțiune se arată:

- a) modul de determinare a puterii reactive care trebuie compensată, tipul și amplasamentele instalațiilor de compensare în cadrul instalațiilor consumatorului, pentru a obține avantaje economice maxime;
- b) modul în care se pune în evidență eficiența economică a compensării puterii reactive;
- c) considerațiile privind realizarea compensării puterii reactive la consumatorii cu regim deformant.

3. TERMINOLOGIA UTILIZATĂ ȘI DEFINIȚIILE

3.1. Element de condensator (sau element) - partea indivizibilă a unui condensator, constituită din armături separate printr-un dielectric.

3.2. Conoensator (sau unitate) - ansamblul format din unul sau mai multe elemente de condensator, așezate într-o singură cuvă și legate la borne de ieșire.

3.3. Baterie de condensatoare (sau baterie, treaptă) - ansamblul de condensatoare racordate electric între ele.

3.4. Tensiunea nominală a condensatorului (U_n) - valoarea efectivă a tensiunii între borne pentru care condensatorul a fost conceput să o poată suporta continuu în condițiile de mediu ambiant specificate.

3.5. Puterea nominală a condensatorului (Q_n) - puterea reactivă la tensiunea nominală și la frecvența nominală, pentru care a fost realizat condensatorul.

3.6. Curentul nominal (I_n) - valoarea efectivă a curentului ce trece printr-o bornă de ieșire a condensatorului, când acesta furnizează puterea sa nominală la tensiunea și frecvența nominale.

3.7. Celulă generală de MT - celula de condensator racordată la barele principale ale stației de distribuție, destinată alimentării unei baterii de condensatoare cu mai multe trepte.

3.8. Celulă de treaptă de MT - celula de condensator destinată alimentării unei trepte de putere a bateriei și care se alimentează la rândul ei de la barele principale prin celula generală de MT.

3.9. Factor de putere neutral - valoarea factorului de putere mediu lunar, stabilit prin lege, pe care trebuie să-l realizeze consumatorul pentru a fi scutit de plata energiei reactive.

3.10. Factor de putere optim - valoarea factorului de putere, la un palier de sarcină, rezultată prin optimizarea tehnico-economică a compensării puterii reactive consumate în acel palier.

3.11. Echivalent minim de pierderi - reducerea minimă de pierderi (kW) pentru care se justifică economic amplasarea unui Mvar în sistem.

3.12. Compensator static - ansamblu unitar cu reglare automată realizat din baterii de condensatoare sau filtre de armonici și bobine, reglat să poată funcționa inductiv și capacitiv pentru compensarea puterii reactive în nodul în care este instalat.

3.13. Filtru de armonică n - montaj serie constituit dintr-o inductanță și un ansamblu de condensatoare (racordate în serie, paralel sau mixt), acordat pe o frecvență armonică parazită, multiplu întreg (n) al frecvenței fundamentale a sistemului (50 Hz) și care este destinat scurtcircuitării armonicii parazite și compensării puterii reactive în nodul în care este instalat.

3.14. Furnizor de energie - unitatea din subordinea RENEL, la care activitatea de bază este furnizarea energiei electrice către consumatori.

3.15. Consumatori industriali și similari - consumatorii care folosesc energia electrică, în principal, în domeniul extragerii de materii prime, fabricării unor materiale sau prelucrării materiilor prime, a materialelor sau a unor produse agricole în mijloace de producție sau bunuri de consum. Prin asimilare, șantierele de construcții, stațiile de pompare, inclusiv cele pentru irigații, unitățile de transporturi feroviare, rutiere, navale și aeriene și altele asemenea se consideră consumatori industriali.

4. ALEGEREA TIPURILOR DE INSTALAȚII DE COMPENSARE A PUTERII REACTIVE

4.1. Compensarea puterii reactive în rețelele FE

4.1.1. Pentru rețelele FE, mijloacele de compensare utilizate vor fi:

- baterii de condensatoare reglabile, conectate în MT și în viitor în 110 kV;
- filtre de armonici (acolo unde este cazul) conectate la MT sau 110 kV;
- bobine de reactanță racordate în rețelele de 400 și 750 kV sau pe terțiarele AT-urilor de 400/220/22 kV;
- compensatoare statice instalate în nodurile de sistem ce necesită reglajul automat al puterii reactive inductiv și capacitiv. Cu prioritate, compensatoarele statice se vor instala în nodurile de interconexiune ale SEN, pentru a asigura reglajul tensiunii și puterii reactive.

4.1.2. Compensatoarele sincrone s-au utilizat pentru compensarea puterii reactive și reglajul tensiunii în rețelele de transport de 220 - 400 kV, unde se cer calități deosebite de reglaj, variație a puterii reactive în ambele sensuri, reglaj fin și elastic al tensiunii într-o bandă largă, ameliorare a stabilității în regimuri cu nivel scăzut de tensiune.

În prezent, în majoritatea țărilor cu sisteme energetice dezvoltate nu se mai utilizează compensatoare sincrone. În funcție de posibilități,

compensatoarele sincrone sunt înlocuite cu compensatoare statice. Compensatoarele statice prezintă, comparativ cu compensatoarele sincrone, o fiabilitate mai bună și o exploatare mai economică.

4.1.3. Se pot utiliza în regim de compensator sincron și generatoare sincrone care nu sunt utilizate pentru producerea de putere activă (grupuri ce urmează a se casa sau grupuri hidro în afara orelor de vârf).

4.1.4. Bateriile de condensatoare pot fi instalate în rețeaua de MT sau în cea de JT și sunt fixe sau reglabile. Cele reglabile pot fi prevăzute cu comutare manuală sau automată a treptelor.

Alegerea tipului bateriei de condensatoare este în funcție de variațiile curbei de sarcină ale nodului în care se montează bateria și de rezultatele calculului economic.

4.1.5. Filtrele de armonici pot fi instalate în rețeaua de 110 kV, MT sau în cea de JT, și sunt racordate pe frecvențele armonicilor parazite. Alegerea frecvențelor de acord pentru acestea se face în funcție de armonicile parazite depistate prin măsurători specializate, conform PE 143/94.

4.1.6. Studiarea necesarului de bobine de reactanță se va face prin studii de caz. Se verifică posibilitatea anclanșării în gol a liniilor de 400 și 750 kV și menținerea tensiunilor în benzile admisibile în regimuri de minim anual, fără a se recurge la deconectări de linii sau la funcționarea cu absorbție de putere reactivă pe grupurile generatoare.

Calculul se va efectua considerând indisponibilități în bobinele instalate în SEN, conform valorilor înregistrate în ultimii 3 ani.

4.2. Compensarea puterii reactive la consumatorii industriali și similari

Soluțiile de compensare cele mai utilizate la consumatorii industriali și similari vor fi bateriile de condensare și filtrele de armonici pentru cazurile în care consumatorii nu necesită absorbție de putere reactivă și compensatoare statice pentru cazurile în care reglajul puterii reactive este necesar a se realiza inductiv și capacitiv.

Pentru consumatorii industriali sunt posibile următoarele măsuri pentru creșterea valorii factorului de putere:

A. CREȘTEREA FACTORULUI DE PUTERE PRIN MIJLOACE STABILITE LA PROIECTAREA INSTALAȚIILOR CONSUMATORILOR

4.2.1. Se vor adopta, pe cât posibil, agregate și scheme tehnologice de funcționare, caracterizate printr-un factor de putere ridicat. Se va alege judicios puterea motoarelor și transformatoarelor electrice, evitându-se supradimensionările. Se va evita supradimensionarea parametrilor instalațiilor de redresare comandate.

4.2.2. În afara cazurilor în care procesul tehnologic impune utilizarea motorului sincron, instalarea acestui tip de motor, pentru ridicarea factorului de putere, se va putea adopta numai dacă rezultă avantajos tehnico-economic, în comparație cu folosirea motorului asincron, împreună cu o baterie de condensatoare la borne (vezi anexa 2, pct.1).

4.2.3. La proiectarea rețelei de distribuție a consumatorului se recomandă să se ia în considerație compensarea puterii reactive, ca mijloc de optimizare a soluției de realizare a rețelei respective. Se recomandă ca rețeaua să fie concepută de la început cu instalațiile sale de compensare a puterii reactive, care asigură compensarea necesară și nivelul de tensiune normal, cu cheltuieli minime (investiții, cheltuieli anuale).

Stabilirea structurii optime pentru rețeaua de distribuție, inclusiv compensarea puterii reactive necesară în fiecare etapă, se va face prin compararea tehnico-economică a variantelor, folosind metoda cheltuielilor totale actualizate (conform normativului PE 011).

4.2.4. La consumatorii cu regim deformant, se vor prevedea, în stadiul de fezabilitate, fondurile necesare pentru dotarea cu instalații de compensare a puterii reactive inclusiv dotarea cu filtre absorbante pentru armonici.

Considerații asupra dimensionării instalațiilor de compensare la consumatorii cu regim deformant sunt date în cap.5.

4.2.5. La consumatorii cu sarcini reactive fluctuante, la proiectare se vor prevedea instalații de compensare a puterii reactive, corelate cu necesitatea reducerii fluctuațiilor de tensiune la valorile normale (conform

PE 142), atât în rețelele furnizorului de energie electrică, cât și în instalațiile consumatorului.

4.2.6. Stabilirea caracteristicilor instalațiilor de compensare a puterii reactive, la consumatorii care produc fluctuații de tensiune (flicker), se va face întotdeauna prin studii elaborate de organizații specializate.

B. CREȘTEREA FACTORULUI DE PUTERE PRIN MIJLOACE NATURALE, LĂ INSTALAȚIILE EXISTENTE

4.2.7. Principalele măsuri de creștere a valorii factorului de putere sunt următoarele:

a) funcționarea în paralel a transformatoarelor de putere după grafic de pierderi minime, ori de câte ori condițiile de exploatare permit acest lucru (se va verifica și stabilitatea la scurtcircuit);

b) exploatarea motoarelor sincrone la limita economică a capacității de producere a puterii reactive;

c) limitarea mersului în gol al motoarelor asincrone, al transformatoarelor de sudare și al altor transformatoare speciale, cu regim de funcționare intermitentă, dacă durata dintre operații depășește 10 s, atunci când din punct de vedere tehnologic acest lucru este posibil și nu apar implicații tehnice;

d) utilizarea comutatoarelor stea-triunghi la motoarele asincrone de joasă tensiune, care sunt încărcate sistematic sub 40 % din sarcina nominală, pentru funcționarea de durată a motoarelor în conexiune stea;

e) înlocuirea motoarelor asincrone și a transformatoarelor supradimensionate, pe bază de analiză tehnico-economică, făcută cu metoda cheltuielilor totale actualizate;

f) menținerea în exploatare și verificarea la capacitatea proiectată a instalațiilor de compensare existente într-un regim corelat cu condițiile de exploatare stabilite de furnizor.

4.2.8. Creșterea factorului de putere prin mijloace naturale se recomandă cu prioritate.

C. CREȘTEREA FACTORULUI DE PUTERE FOLOSIND SURSE SPECIALIZATE DE PUTERE REACTIVĂ

4.2.9. În scopul creșterii factorului de putere până la valoarea justificată tehnico-economic, după ce au fost epuizate toate posibilitățile de creștere a factorului de putere prin mijloace naturale, se ia în considerație instalarea de surse specializate de putere reactivă (baterii de condensatoare, filtre de armonici și compensatoare statice).

4.2.10. Puterea reactivă ce trebuie compensată prin surse specializate se determină astfel, încât, prin reglaj, să se asigure valoarea factorului de putere neutral atât la vârful de sarcină al sistemului, cât și la puterea medie zilnică a consumatorului.

4.3. Alegerea tipului de instalații de compensare

4.3.1. Bateriile de condensatoare sunt se vor utiliza, de regulă, ca mijloc specializat de compensare a puterii reactive. Ele sunt mai economice decât compensatoarele sincrone și statice, la gama puterilor curente, și au condiții mai simple de exploatare.

4.3.2. Pentru consumatorii care prezintă regim deformant sau fluctuații rapide de sarcină reactivă (flicker), se recomandă utilizarea de surse statice de putere reactivă, reglabile cu tiristoare.

4.3.3. Se pot utiliza în regim de compensator sincron generatoare și motoare sincrone, în cazul în care această funcționare rezultă economic avantajoasă în raport cu alte surse.

4.3.4. Bateriile fracționate (cu mai multe trepte de putere) se adoptă în situațiile în care variația sarcinii reactive impune o adaptare a bateriei la curba de sarcină, astfel încât, în regimuri de sarcină mici, consumatorul să nu debiteze energie reactivă în sistem. Fraționarea bateriilor mai este impusă de posibilitățile tehnice de rupere a curenților capacitivi de către întrerupătoare.

4.3.5. De regulă, bateriile de condensatoare sunt de joasă tensiune sub 250 kvar și bateriile de medie tensiune cu puteri sub

1000 kvar vor fi prevăzute cu posibilitatea de deconectare manuală, prin întreruptor sau contactor și vor fi protejate împotriva scurtcircuitelor.

4.3.6. În cazurile în care bateriile de condensatoare se montează în instalații cu variații importante de sarcină reactivă și în cazurile în care puterea bateriei de medie tensiune depășește 1000 kvar, se vor alege, de regulă, baterii de condensatoare comandate automat, în funcție de puterea reactivă.

4.3.7. Bateriile de joasă tensiune, cu puteri sub 100 kvar, pot fi racordate direct la bornele receptoarelor, ca baterii fixe, fără aparataj de deconectare propriu; acest tip de baterie se poate folosi și pentru a compensa consumul de putere reactivă de mers în gol al transformatoarelor de distribuție în următoarele condiții:

- puterea bateriei nu va depăși 20 % din puterea nominală a transformatorului;
- transformatoarele vor fi echipate pe MT cu întrerupătoare.

4.3.8. Pentru compensarea individuală a motoarelor asincrone de medie și joasă tensiune se recomandă să se conecteze direct la bornele motoarelor respective baterii de condensatoare cu o putere care să nu depășească 90 % din consumul de putere reactivă al motorului în gol. Conectarea bateriilor se va face cu verificarea prealabilă a regimului deformant.

4.3.9. Realizarea și exploatarea bateriilor de condensatoare trebuie să se facă cu respectarea normelor de tehnică a securității muncii pentru instalații electrice, conform PE 119 și PE 111-11.

În anexa 3 se dau indicații privind realizarea instalațiilor de baterii de condensatoare la MT și JT.

Se impune dotarea instalațiilor de compensare a puterii reactive cu aparataj de măsură conform proiectelor tip.

4.4. Amplasarea bateriilor de condensatoare

Amplasarea bateriilor de condensatoare se stabilește pe baza calculului tehnico-economic, ținând seama de următoarele recomandări:

4.4.1. Bateriile de condensatoare se instalează cu prioritate în noduri alimentate prin circuite puternic încărcate, dacă compensarea duce la eliminări sau amânări de investiții costisitoare în rețea și la reduceri importante de pierderi de energie.

4.4.2. Pentru a se obține reduceri cât mai mari de pierderi de putere și de energie, bateriile de condensatoare se amplasează cât mai aproape de centrul de consum.

4.4.3. Bateriile de condensatoare automatizate și fracționate se instalează numai la bare cu consum important; puterea pe treaptă va fi de maximum 250 kvar la joasă tensiune și cuprinsă între 1000 și 4800 kvar la medie tensiune.

4.4.4. Bateriile de joasă tensiune se instalează, de regulă, în interior; bateriile de medie tensiune se recomandă să se instaleze în exterior. Instalațiile de compensare a puterii reactive trebuie să îndeplinească condițiile tehnice specifice consumatorului unde se vor amplasa.

În cazul motoarelor, bateriile de condensatoare se instalează, de regulă, în interior.

5. CONDIȚIILE PRIVIND COMPENSAREA PUTERII REACTIVE ÎN NODURILE CU REGIM DEFORMANT

5.1. În cazul compensării puterii reactive la consumatorii cu regim deformant trebuie avute în vedere următoarele precauții:

a) Regimul deformant are ca efect și solicitarea, peste limita admisă, a instalațiilor statice de compensare a puterii reactive.

În nodurile în care se constată existența unui regim deformant, parametrii acestui regim nu trebuie să depășească nivelurile limită admise în normativul PE 143.

Consumatorii care depășesc nivelurile limită admise, pentru oricare din parametrii regimului deformant, trebuie să ia măsuri de limitare a lor prin instalarea filtrelor de armonici sau a compensatoarelor statice

Obligația consumatorilor privind limitarea regimului deformant, conform valorilor admise, se referă la punctul de racord cu sistemul și se recomandă realizarea lui și în incinta rețelelor consumatorului.

b) Instalația de condensatoare se va proiecta având în vedere necesitatea evitării solicitărilor peste limitele admisibile ($I_{\max} = 1,3 I_n$; $U_{\max} = 1,1 U_n$ și $Q_{\max} = 1,43 Q_n$, unde U_n , I_n , Q_n sunt valori nominale în regim sinusoidal).

Depășirea curentului maxim admisibil la condensatoare poate fi cauzată de circulația armonicilor de curent, produse de receptoarele deformante.

În acest scop, instalațiile de compensare cu baterii de condensatoare de la consumatorii cu regim deformant trebuie să se verifice din punctul de vedere al curentului și al tensiunii maxime, ce pot apărea în regim deformant (verificările se vor face conform PE 143).

c) Pentru soluția de compensare preconizată trebuie să se studieze repartiția tuturor armonicilor de curent în ramurile schemei, inclusiv în ramurile bateriei de condensatoare. Se va verifica și posibilitatea apariției fenomenului de rezonanță (această examinare se face pe scheme echivalente, cu impedanțe și admitanțe calculate pentru fiecare armonică și considerând receptoarele deformante ca generatoare de curent sau tensiune).

5.2. În cazul în care rezultă depășire a curentului admisibil și atunci când apar condiții de rezonanță, se vor lua următoarele măsuri:

a) aplicarea de soluții pentru limitarea curenților armonici generați (redresoare cu număr mare de faze, reglarea aprinderii, conjugarea judicioasă a grupelor de conexiuni ale transformatoarelor instalațiilor de redresare);

b) realizarea de filtre absorbante de armonici, acordate pe principalele armonici cu parametri justificați în prealabil, pe baza unui studiu cu măsurători;

c) conectarea de reactoare în serie cu bateriile de condensatoare și acordarea filtrului astfel creat încât, la oricare din armonicile existente, cu excepția fundamentalei, circuitul refulant să aibă o reactanță inductivă; un astfel de circuit este un filtru refulant. Acesta se va utiliza numai în cazul în care parametrii regimului deformant sunt sub valorile prescrise.

6. METODOLOGIA DE CALCUL PRIVIND COMPENSAREA PUTERII REACTIVE

6.1. Compensarea puterii reactive în rețelele FE

Metodologia de calcul pentru compensarea puterii reactive în rețelele FE constă din parcurgerea următoarelor etape de calcul:

6.1.1. Prin studiu de sistem, elaborat, de regulă, la intervale de doi ani, se stabilește pentru etapa analizată necesarul de surse de putere reactivă pentru FE.

6.1.2. Se modelează în detaliu rețeaua de IT și MT a FE și se calculează regimurile staționare pentru palierele de vârf de sarcină (de iarnă - VSI și de vară - VDV) și minimul de sarcină (gol noapte vară - GNV) pentru fiecare an al perioadei analizate.

6.1.3. Regimurile staționare calculate la pct. 6.1.2 vor fi optimizate prin alocarea surselor de putere reactivă cu ajutorul programului NEWOPT (programul se găsește implementat în biblioteca Electra a fiecărei FE). Se alocă surse de putere reactivă, atât timp cât instalarea acestora în sistem conduce la o reducere de pierderi pe sistem, mai mare sau egală cu echivalentul minim de reducere de pierderi (valorile acestui echivalent sunt date în anexa 2, pct. A.2.2.).

6.1.4. Soluțiile obținute din aplicarea programului NEWOPT pentru un anumit an de funcționare în diverse paliere se intersectează sau se reunesc, obținându-se soluția de compensare necesară pentru fiecare FE, analizat în anul respectiv (intersecția sau reuniunea soluțiilor se face pe baza justificării economice). Se verifică dacă soluția astfel rezultată nu depășește cantitatea totală de surse de putere reactivă alocate FE și se determină în același timp și regimul optim de funcționare al surselor de putere reactivă pe diverse paliere și ani de funcționare.

6.1.5. Se calculează eficiența economică a amplasării de putere reactivă în sistem, exprimată sub forma duratei de recuperare a investițiilor în sursele de compensare.

În anexa 4.2 se prezintă un exemplu de calcul privind compensarea rețelelor unui furnizor de energie.

6.2. Compensarea puterii reactive la un consumator industrial

Factorul de putere necesar de asigurat de către consumatorii industriali și similari este factorul de putere neutral.

Etapele de calcul privind determinarea soluției de compensare sunt următoarele:

6.2.1. Se calculează pe curba de sarcină de putere activă (P) și reactivă (Q), pentru zilele calendaristice (zi de lucru iarnă și vară), la vârf de sarcină, puterea reactivă ce trebuie compensată pentru asigurarea factorului de putere.

Din analiza curbelor de sarcină din zilele caracteristice va rezulta și oportunitatea fracționării bateriilor de condensatoare.

Se va face în prealabil o analiză a regimului deformant conform PE 143/94, în vederea alegerii modului de compensare a puterii reactive (compensare simplă, compensare - filtrare).

6.2.2. Amplasarea surselor de putere reactivă în schema internă a consumatorului se va studia în mai multe variante posibile de amplasare, în scopul obținerii eficienței maxime a compensării. Se va ține seama de recomandările de la pct.4.2 - 4.4.

6.2.3. Se calculează eficiența economică a compensării puterii reactive, exprimată sub forma timpului de recuperare a investițiilor în sursele de compensare instalate la consumator.

În anexa 4.1 este prezentat un exemplu de calcul privind alegerea soluției optime de compensare la un consumator industrial.

ANEXA 1 (A.1)

LEGISLAȚIA TEHNICĂ CONEXĂ

A.1. PRESCRIPȚII

PE 111/11 - 93	Instrucțiuni pentru proiectarea stațiilor de conexiuni și transformare. Baterii de condensatoare șunt
PE 143/94	Normativ privind limitarea regimului deformant
PE 142/80	Normativ privind combaterea efectului de flicker în rețelele de distribuție (republicat în 1993)
PE 011/82	Normativ privind calculele comparative tehnico-economice la instalațiile de producere, transport și distribuție de energie electrică și termică (modificat în 1990)
PE 026/92	Normativ de proiectare a Sistemului Energetic Național
RFUEE, aprobat prin HG 236/93	Regulament de furnizare și utilizare a energiei electrice
1.E-Ip 19/87	Îndreptar de proiectare pentru bateriile de condensatoare din stațiile de 110 kV/MT.
PE 001/1994	Instrucțiuni de detaliere a unor reglementări ce decurg din RFUEE.

CALCULELE TEHNICO-ECONOMICE

A.2.1. Indicații privind efectuarea comparației economice între motorul sincron și motorul asincron compensat

Se compară din punct de vedere tehnico-economic varianta utilizării unui motor sincron cu varianta utilizării unui motor asincron, prevăzut cu compensare individuală, realizată cu baterii de condensatoare.

Din punct de vedere tehnic, variantele sunt echivalente, motoarele fiind de aceeași putere. Puterea reactivă pe care o poate da motorul sincron, în funcție de necesități, este furnizată în cazul soluției cu motor asincron de către bateria de condensatoare.

Comparația economică se va face pe baza criteriului cheltuielilor totale actualizate (CTA).

Acestea se compun astfel:

Varianta I cu motor sincron:

$$CTA_1 = I_s + \sum_{i=1}^T (1+a)^{-i} \cdot [C_{a1} I_s + \Delta P_s \cdot T_u \cdot C_{DE} - V_r]$$

unde: I_s este investiția totală în motorul sincron (lei);

- ΔP_s - pierderile de putere activă în motorul sincron (kW), corespunzătoare regimului de funcționare;
- C_{a1} - cota de cheltuieli anuale (%) din investiția totală (circa 8 % la MT și 11 % la JT);
- T_u - timpul de utilizare anuală a motorului (h/an);
- C_{DE} - costul energiei active (lei/kWh);
- V_r - valoarea remanentă a investiției;
- a - rata de actualizare (conform PE 011);
- T - durata de viață a bateriei de condensatoare.

Varianta a II-a cu motor asincron compensat:

$$CTA_2 = I_{AS} + I_{BC} + \sum_{i=1}^T (1+a)^{-i} \cdot [C_{a2} I_{AS} + C_{a3} I_{BC} + \Delta P_{AS} \cdot T_u \cdot C_{DE} - V_{rAS}]$$

- unde:
- I_{AS} este investiția totală în motorul sincron (lei);
 - I_{BC} - investiția totală în bateria de condensatoare (lei);
 - ΔP_{AS} - pierderile de putere activă, însumate din motorul asincron și bateria de condensatoare (kW);
 - C_{a2} - cota de cheltuieli anuale la motorul asincron (6 % la MT și 9 % la JT) din investiția în motor;
 - C_{a3} - cota de cheltuieli anuale (11%) din investiția în baterie de condensatoare;
 - V_{rAS} - valoarea remanentă a investiției în motorul asincron;
 - T - durata de viață a bateriei de condensatoare.

Pierderile de putere activă la motorul sincron și asincron variază în funcție de coeficientul de încărcare al motorului:

$$\left(K = \frac{P_{util}}{P_{nominal}} \right)$$

La motorul sincron variația pierderilor este și în funcție de puterea reactivă absorbită, sau debitată de motor, după cum acesta funcționează în regim subexcitat sau supraexcitat.

Pierderile de putere activă în motorul sincron se pot calcula simplificat, conform relației:

$$\Delta P_s = R_{st} \cdot \frac{\left(\frac{kP_n}{\eta} \right)^2 + Q^2}{U^2} + \frac{R_{rot} \cdot i_c^2}{\eta_{ex}} + \Delta P_0$$

- unde:
- R_{st} este rezistența înfășurării statorice (Ω);
 - k - coeficientul de încărcare (%);

- η este randamentul real al motorului, corespunzător regimului de încărcare;
- Q - puterea reactivă (absorbită sau debitată) de motor (var);
- U - tensiunea nominală la bornele motorului (V);
- R_{rot} - rezistența înfășurării rotorice, inclusiv rezistența înfășurării excitatricii (Ω);
- i_e - curentul de excitație ($i_e \leq i_{e \text{ nominal}}$) (A);
- ΔP_0 - pierderile de mers în gol ale mașinii sincrone (W).
- În cazul motorului asincron, pierderile se calculează cu formula:

$$\Delta P_{AS} = (1 - \eta) \cdot \frac{K \cdot P_{nom}}{\eta}$$

Valorile R_{st} , R_{rot} și i_e se obțin pentru fiecare tip de motor în parte de la furnizorul de echipament.

A.2.2. Determinarea echivalentului minim de reducere de pierderi (kW/Mvar) necesar instalării unui Mvar în SEN

Determinarea echivalentului minim de reducere de pierderi, necesar instalării unui Mvar, se face cu relația:

$$\rho = \frac{\Delta P}{Q_{comp}} \quad (\text{kW} / \text{Mvar}),$$

Pentru calculul echivalentului minim de reducere de pierderi, necesară instalării unui Mvar în SEN (ρ), s-a utilizat metoda cheltuielilor totale actualizate.

Metoda constă în compararea cheltuielilor totale actualizate, pe o perioadă de T ani, în varianta compensată cu cele în varianta necompensată.

a) Cheltuielile totale actualizate în varianta necompensată sunt:

$$C_1 = \sum_{i=1}^T P_{CDE} \cdot \tau \cdot \Delta P_i (1+a)^{-i}$$

unde:

- ΔP_i este reducerea de pierderi ce s-ar obține prin compensare (kW);
- P_{CDE} - costul specific al energiei (lei/kWh);
- τ - timpul de pierderi (h/an);
- a - rata de actualitate;
- T - durata de viață a bateriei de condensatoare.

b) Cheltuielile totale actualizate în varianta compensată sunt:

$$C_2 = I_{surse} + \sum_{i=1}^T C_{a\ surse} (1+a)^{-i} - V_r$$

unde:

- I_{surse} este investiția în surse de compensare (lei);
- $C_{a\ surse}$ - cheltuielile anuale cu sursele de compensare (lei);
- V_r - valoarea remanentă actualizată a sursei de compensare.

Prin egalarea cheltuielilor $C_1 = C_2$ se determină valoarea minimă [kW/Mvar] a reducerii de pierderi necesară justificării instalării unui Mvar în surse de compensare.

REALIZAREA INSTALAȚIILOR DE BATERII DE CONDENSATOARE-DERIVAȚIE

În această anexă sunt prezentate date cu caracter orientativ cu privire la modul de realizare a instalațiilor de baterii de condensatoare, care sunt utilizate în rețelele furnizorilor de energie și ale consumatorilor industriali și similari.

Informațiile cuprinse în anexă sunt cele disponibile la momentul întocmirii prezentei instrucțiuni.

A.3.1. Schemele de principiu pentru bateriile de condensatoare

În figurile 1 și 2 se indică tipurile și amplasamentele posibile pentru instalațiile de baterii de condensatoare de medie și joasă tensiune, utilizate în scopul compensării puterii reactive în rețelele FE, ca și la consumatorii industriali și similari.

Bateriile de condensatoare de medie tensiune și de joasă tensiune pot fi:

- baterii de condensatoare fixe (pozițiile 1, 6, 8, 9);
- baterii de condensatoare comutabile, manual sau automat, nefracționate sau fracționate: în 2 - 3 trepte de puteri egale la medie tensiune (pozițiile 3, 4, 5) sau în 4 - 5 trepte de puteri inegale la joasă tensiune (pozițiile 2,7).

A.3.2. Realizarea bateriilor de condensatoare

La realizarea bateriilor de condensatoare este necesar să se respecte indicațiile generale de proiectare cuprinse în instrucțiunea PE 111-11.

În funcție de necesitățile și de disponibilitățile sale, beneficiarul poate achiziționa instalația de baterii de condensatoare ca furnitură

completă sau o poate realiza în conformitate cu indicațiile cuprinse în proiectele tip elaborate de unitățile specializate.

A.3.3. Elementele componente ale bateriilor de condensatoare

A.3.3.1. Bateriile de condensatoare se pot realiza cu condensatoare de producție românească sau din import.

A.3.4. Diverse

A.3.4.1. Amplasarea unei baterii de condensatoare se va face numai în urma unor măsurători privind existența și mărimea regimului deformat.

A.3.4.2. Modul de funcționare al bateriei de condensatoare va fi corelat cu automatizările existente în instalația respectivă (AAR, RAR, DASf).

A.3.4.3. Se vor face, de asemenea, verificări asupra posibilității apariției fenomenului de rezonanță pe armonicile superioare (conform PE 143), ceea ce ar conduce la deteriorarea echipamentelor de compensare.

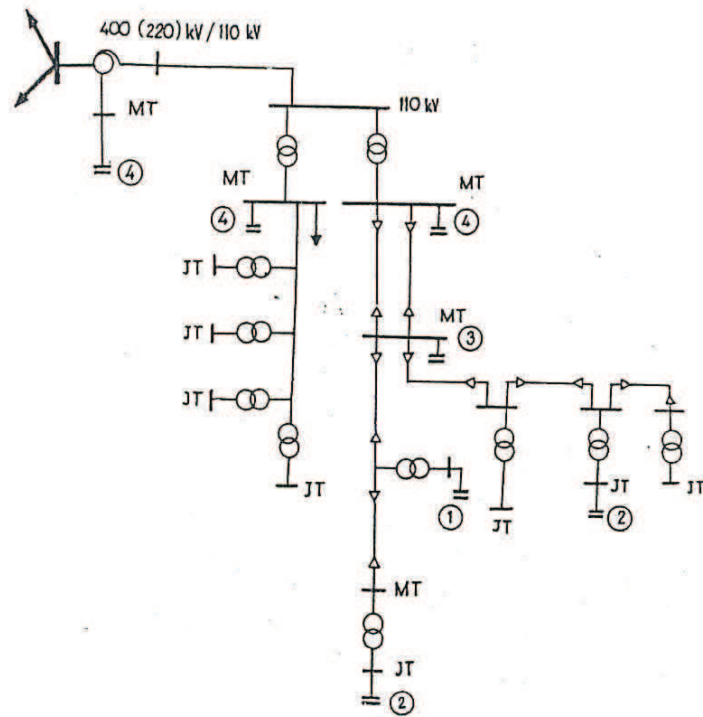


Fig. 1. Posibilități de amplasare a bateriilor de condensatoare în rețelele FRE.

Nr. bateriei	Treapta de tensiune	Observații
1	JT	Baterie fixă
2		Baterie comutabilă manual sau automat
3	MT	idem
4		idem

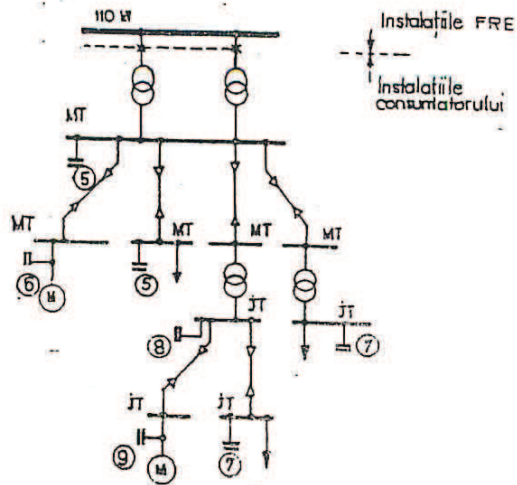


Fig. 2. Posibilități de amplasare a bateriilor de condensatoare în incinta consumatorului.

Nr. bateriei	Troapla de tensiune	Observații
5	MT	Baterii comutabile manual sau automat
6		Baterii fixe la bornele motoarelor, în conexiune stea sau triunghi.
7	JT	Baterii comutabile manual sau automat
8		Baterie fixă.
9		Baterii fixe la bornele motoarelor în conexiune stea sau triunghi cu borne inaccesibile.

EXEMPLE DE CALCUL

A.4.1. Compensarea puterii reactive la un consumator industrial

A.4.1.1. Caracteristicile generale ale consumatorului

Consumatorul este alimentat din rețeaua de 110 kV printr-un transformator de 40 MVA 110/6 kV, cu punctul de separație față de rețeaua FE pe partea de 110 kV a transformatorului. Regimul de funcționare al sistemului în punctul de racord este considerat sinusoidal.

Nivelul de compensare cerut corespunde factorului de putere neutral, $\cos \varphi = 0,92$.

Curba de sarcină pentru o zi de lucru caracteristică este dată în figura 1 și corespunde valorilor prezentate în tabelul 1. Din analiza curbei de sarcină se observă că puterea absorbită din sistem la vârf de sarcină este de $(13319+j 8858)$ kVA, în varianta necompensată, corespunzătoare unui factor de putere de 0,832.

TABELUL 1

DATE ORARE PRIVIND PUTEREA ACTIVĂ ȘI REACTIVĂ CONSUMATĂ DE CONSUMATORUL STUDIAT

Momen- tul, T	Puterea activă cerută, P_c	Puterea reactivă:			
		cerută Q_c	fără compensare, Mvar	la $\cos \varphi = 0,92$ $Q_1 = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi$ Mvar	de com- pensat $Q_2 = Q_c - Q_1$ Mvar
h	MW	3	4	5	6
1	9,7	6,77	4,10	2,67	2,90
2	9,75	6,80	4,10	2,70	2,90
3	8,25	5,76	3,49	2,27	2,90
4	9,50	6,63	4,03	2,60	2,90

TABELUL 1 (continuare)

1	2	3	4	5	6
5	9,50	6,63	4,03	2,60	2,90
6	9,00	6,75	3,80	2,95	2,90
7	10,10	7,57	4,28	3,29	3,20
8	11,60	8,70	4,92	3,78	3,20
9	11,90	8,92	5,04	3,88	3,20
10	12,60	9,45	5,34	4,11	3,20
11	12,46	9,34	5,28	4,06	3,20
12	12,83	8,53	5,43	3,10	3,20
13	13,04	8,67	5,52	3,15	3,20
14	13,04	8,67	5,52	3,15	3,20
15	13,23	8,79	5,60	3,19	3,20
16	12,45	8,28	5,30	2,98	3,20
17	12,13	8,06	5,70	2,36	3,20
18	13,32	8,86	5,64	3,22	3,20
19	11,58	7,70	4,90	2,80	3,20
20	11,58	7,70	4,90	2,80	3,20
21	11,45	7,99	4,85	3,14	3,20
22	11,52	8,04	4,88	3,16	3,20
23	11,18	7,80	4,70	3,10	3,20
24	11,90	8,30	5,04	3,26	3,20

Nu s-a prezentat aici curba de sarcină pentru zilele de sărbătoare, deoarece în aceste zile consumul este foarte redus, compus numai din iluminat, încălzire ș.a., realizând un factor de putere peste cel neutral. Se consideră că într-un an de zile numărul zilelor lucrătoare este de 250, restul de 110 zile fiind zile de sărbătoare sau de revizie.

Schema electrică de principiu a rețelei interne de distribuție (MT, JT) este dată în figura 2.

Consumatorul plătește următoarele tarife pentru plata energiei electrice (exemplu de calcul):

- energia activă: 73,1 lei/kWh;
- energia reactivă: 7.4 lei/kvarh.

A.4.1.2. Determinarea caracteristicilor instalațiilor de compensare

a) În tabelul 1 s-au calculat valorile orare ale puterii reactive

medii orare, corespunzătoare factorului de putere de tarifare, pentru curba de sarcină a unei zile de lucru caracteristice:

$$Q_1 = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

unde: P_c este puterea orară consumată;

$\operatorname{tg} \varphi$ - valoarea tangentei corespunzătoare factorului de putere de 0,92:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{(1 - 0,92^2)}}{0,92} = 0,424$$

b) Valoarea puterii reactive ce trebuie compensată (Q_2) s-a determinat ca diferență între puterea reactivă consumată (corespunzătoare factorului de putere neutral) și puterea reactivă Q_1 :

$$Q_2 = Q_c - Q_1$$

c) Din analiza valorilor orare ale puterii reactive, Q_2 , se observă că acestea variază între 2,3 Mvar și 4,1 Mvar, puterea reactivă necesară la vârf de sarcină (ora 18) fiind de 3,2 Mvar.

Pentru determinarea modului de funcționare al instalațiilor de compensare s-a ales ca puterea maximă a acestor instalații să fie de 3,2 Mvar, corespunzătoare puterii de vârf de sarcină. Cu această putere se va acționa 18 h/zi între orele 7-24. Pentru restul de 6 ore, puterea reactivă necesară este de 2,9 Mvar. Această valoare s-a determinat din necesitatea asigurării factorului de putere de 0,92 la energia zilnică:

$$Q_{\text{bat}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_2 - T_1 \cdot Q_{\text{MAX}}}{T_2}$$

unde:

Q_2 reprezintă valorile orare ale puterii reactive de compensat;

Q_{MAX} - puterea bateriilor corespunzătoare vârfului de sarcină (3,2 Mvar în cazul nostru);

T_1 - timpul de utilizare zilnică a puterii Q_{MAX} ;

$T_2 = 24 \cdot T_1$ reprezintă timpul de utilizare zilnică a treptei de putere inferioară.

Este necesar ca la alegerea puterii treptelor să se țină seama de faptul că, consumatorul nu trebuie să debiteze putere reactivă în sistem.

În cazul unei curbe de sarcină cu variații mai pronunțate, se pot alege mai multe trepte de funcționare ale instalațiilor de compensare.

d) S-au studiat trei variante de amplasare a instalațiilor de compensare în rețeaua consumatorului, și anume:

- varianta 1 - compensare la JT și MT (fig.3.a);

- varianta 2 - compensare la MT (fig.3.b);

- varianta 3 - compensare la barele generale (fig.3.c).

În toate variantele s-a făcut compensarea individuală a motoarelor asincrone de 6 kV. Amplasarea bateriilor în cele trei variante s-a făcut astfel, încât să se asigure trepte de putere de 2,9 Mvar, respectiv 3,2 Mvar.

Caracteristicile bateriilor de condensatoare în cele trei variante sunt indicate în tabelul 2.

TABELUL 2

AMPLASAREA ȘI CARACTERISTICILE INSTALAȚIILOR DE COMPENSARE

Varianta 1: Amplasarea bateriilor la JT și MT			
Nr. nod	Puterea(kvar)	Tensiunea (kV)	Tipul bateriei
1	2	3	4
17	75	6	Fixă la bornele motorului
	450	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
18	225	6	Fixă la bornele motorului
	1050	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
26	270	0,4	Comutabilă manual
28	180	0,4	Comutabilă manual
29	180	0,4	Comutabilă manual
	315	0,4	Comutabilă automat cu 1 treaptă
30	450	0,4	Comutabilă automat cu 3 trepte
Total	3195		

TABELUL 2 (continuare)

Varianta 2: Amplasarea bateriilor la MT, în secțiile de producție			
1	2	3	4
17	75	6	Fixă la bornele motorului
	450	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
18	225	6	Fixă la bornele motorului
	1050	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
14	600	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
19	300	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
	600	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
Total	3300		

Varianta 3: Amplasarea bateriilor la bara generală și în secțiile de producție (motoare)			
1	2	3	4
17	75	6	Fixă la bornele motorului
	450	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
18	225	6	Fixă la bornele motorului
	1050	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
Bara II	1200	6	Comutabilă manual
	300	6	Comutabilă automat cu 1 treaptă
Total	3300		

Reducerea pierderilor de putere în rețea datorită compensării, calculate la ora de vârf de sarcină în cele 3 variante, sunt prezentate sintetic în tabelul 3 și, în detaliu, pe fiecare element în parte, în tabelul 4.

TABELUL 3

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Δ P (kW)	18	9	8
Δ E (kWh/an)	63000	31500	28000

Pentru determinarea reducerilor anuale de energie de pierderi în cele trei variante, s-a calculat timpul de utilizare al puterii la vârf cu formula:

$$T_u = 250 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{24} P_i}{P_{\text{vârf}}}$$

unde: 250 reprezintă numărul zilelor lucrătoare/an;

$\sum_{i=1}^{24} P_i$ - suma puterilor orare într-o zi lucrătoare;
 $P_{\text{vârf}}$ - puterea consumată la vârful de iarnă.

A rezultat un timp de utilizare anuală a puterii la vârf de 5135 ore. Cu acest timp, din figura 4, reprezentând diagrama timpului de pierderi în funcție de timpul de utilizare a puterii la vârf și $\cos \varphi$, s-a determinat timpul de pierderi anual ($\tau = 3500$ h/an în cazul nostru). Reducerea de energie de pierderi se obține cu formula:

$$\Delta E = \Delta P \cdot \tau$$

Valorile acestor reduceri de energie de pierderi pentru variantele calculate sunt prezentate în tabelul 3.

Pentru determinarea variantei optime de compensare a puterii reactive în rețeaua consumatorului, în tabelul 5 s-a analizat eficiența economică a compensării, exprimată sub forma timpului de recuperare a investițiilor în instalațiile de compensare.

Din analiza rezultatelor prezentate în tabelul 5 se observă că varianta optimă este varianta 1, în care se obțin maximum de economie de pierderi, minimum de investiție în instalațiile de compensare și rezultă cel mai mic timp de recuperare al acestor investiții.

A.4.2. Compensarea puterii reactive în cadrul FE

S-a considerat un exemplu de calcul teoretic. Schema monofilară a rețelei FE este dată în figura 5. Analiza s-a efectuat pentru trei paliere de sarcină, palierele caracteristice ale unui an de funcționare. Balanțele de puteri active și reactive pe stații, pentru palierele considerate, sunt date în tabelul 6.

Conform studiului de sistem, efectuat în prealabil, a rezultat necesar ca în anul analizat, FE să amplaseze circa 40 Mvar, baterii de condensatoare, factorul de putere optim fiind de 0,95.

În scopul determinării amplasamentului optim al bateriilor de condensatoare și al eficienței economice a amplasării acestora în rețelele FE, s-au parcurs următoarele etape de calcul.

a) S-au calculat regimurile staționare pentru palierele de VDV, GNV și VSI în ipoteza necompensată

b) S-a calculat cu ajutorul programului NEWOPT necesarul de baterii de condensatoare pentru optimizarea funcționării FE în fiecare palier de sarcină. Cantitatea necesară rezultată este dată în tabelul 7. Din analizarea soluțiilor rezultate pentru fiecare palier de sarcină,

corelată cu efectul de reducere a pierderilor pe sistem datorită amplasării bateriilor de condensatoare și cu timpul de utilizare al palierelor, s-a determinat necesarul de baterii de condensatoare pentru anul studiat și modul de repartizare al acestora pe stații. Analiza efectuată a permis și stabilirea politicii optime de reglaj al bateriilor de condensatoare, pe paliere de sarcină.

Rezultatele acestei analize sunt prezentate în tabelul 7.

Factorii de putere optimi rezultați pe paliere au valori cuprinse între 0,94-0,96, ceea ce asigură realizarea unui factor de putere optim de 0,95:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{W_r}{W_a}\right)^2}}$$

unde: $W_a = P_{c \text{ VSI}} \cdot T_{u \text{ VSI}} + P_{c \text{ VDV}} \cdot T_{u \text{ VDV}} + P_{c \text{ GNV}} \cdot T_{u \text{ GNV}}$

$W_r = Q_{c \text{ VSI}} \cdot T_{u \text{ VSI}} + Q_{c \text{ VDV}} \cdot T_{u \text{ VDV}} + Q_{c \text{ GNV}} \cdot T_{u \text{ GNV}}$

P_c, Q_c este puterea activă, reactivă consumată la un anumit palier de sarcină;

T_u - timpul de utilizare a palierului de sarcină respectiv.

c) S-a calculat eficiența economică a amplasării bateriilor de condensatoare în rețelele FE.

Rezultatele acestui calcul sunt prezentate în tabelul 8.

TABELUL 4

TABEL CU PIERDERILE DE PUTERE ACTIVĂ (ΔP) ȘI REACTIVĂ (ΔQ)
PE ELEMENTELE SCHEMEI

Numărul elemen- tului din schemă	Varianta necompensată		Variantele de compensare la $\cos \varphi=0,92$					
			Varianta 1 la JT și MT		Varianta 2 la MT în secții		Varianta 3 la bara generală	
	ΔP (kW)	ΔQ (kvar)	ΔP (kW)	ΔQ (kvar)	ΔP (kW)	ΔQ (kvar)	ΔP (kW)	ΔQ (kvar)
1-13	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25
13-25	3,71	27,45	3,71	27,45	3,71	27,45	3,71	27,45
2-14	1,10	0,68	0,94	0,54	0,83	0,5	1,10	0,68
14-26	7,24	45,89	6,33	41,35	7,24	45,89	7,24	45,89
3-15	0,4	0,24	0,4	0,24	0,4	0,24	0,4	0,24
4-16	5,23	29,28	5,23	29,88	5,23	29,88	5,23	29,88
5-17	2,18	1,31	1,65	0,99	1,65	0,99	1,65	0,99
6-18	12,83	5,03	10,04	3,94	10,04	3,94	10,04	3,94
7-19	2,28	0,95	2,4	0,95	1,75	0,69	2,28	0,95
19-27	2,40	18,08	2,28	18,08	2,28	18,08	2,40	18,08
8-20	0,68	0,41	0,68	0,41	0,68	0,41	0,68	0,41
9-21	2,01	1,21	1,73	1,04	2,01	1,21	2,01	1,21
21-28	9,28	56,40	8,25	50,93	9,34	56,4	9,28	56,4
10-22	4,52	1,77	3,56	1,4	4,52	1,77	4,52	1,77
22-29	10,99	64,63	8,93	54,37	10,99	64,63	10,99	64,63
11-23	4,40	1,73	3,39	1,32	4,40	1,73	4,40	1,73
23-30	17,25	89,90	13,75	73,77	17,25	89,9	17,25	89,90
12-24	2,69	1,63	2,69	1,63	2,69	1,63	2,69	1,63
31-24	8,29	51,15	8,29	51,15	8,29	51,15	8,29	51,15
32-24	5,17	35,54	5,17	35,54	5,27	35,54	5,17	35,54
trafo 110kV	36,04	650,0	31,00	560,8	31,00	560,0	31,0	560,0
Total	139,43	1084,13	121,22	955,26	130,37	992,28	131,1	992,71

NOTE: 1) Calculul pierderilor de putere activă și reactivă s-a făcut ținând seama de puterile vehiculate și de celeritatea injectată de sursele de putere reactivă, precum și de valoarea rezistențelor și reacțanțelor diverselor elemente de circuit.

2) Reducerea de pierderi prin compensare:

- a) Pierderile de putere:
 varianta 1: $139,43-121,22 = 18,21$
 varianta 2: $139,43-130,37 = 9,06$
 varianta 3: $139,43-131,13 = 8,30$
- b) Pierderile de energie:
 Se amplifică pierderile de putere cu r.

TABELUL 5

ELEMENTE PENTRU CALCULUL EFICIENȚEI ECONOMICE
A COMPENSĂRII PUTERII REACTIVE

Nr. crt.	Specificația			U.M.	Varianta fX-R compensare, Vc	Variante de compensare la cos φ=0,92		
	2	3	4			V1	V2	V3
1	Putere activă					6	7	8
1	Consum propriu-zis Pierderi în rețea				13180	13180	13180	13180
					Pierderi în instalațiile existente	121	130	131
					Pierderi în instalațiile de compensare noi	-	-	-
					Producția netă centrală proprie	11,2	11,3	11,3
					Deficit acoperit din sistem	-	-	-
2	Putere reactivă				13319	13312	13321	13322
					Consum propriu-zis	7954	7954	7954
					Pierderi rețea	1084	992	993
					Aport capacitiv al cablurilor	-180	-180	-180
					Producție în instalațiile de compensare noi	-	-	-
3	Energie activă anuală				8058	534	5466	5467
					Consum propriu-zis	67679300	67679300	67679300
					Pierderi în rețea	486500	421500	455000
					Deficit acoperit din sistem	-	-	-
					Pierderi în rețea	-	-	-

TABELUL 5 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7
3	Pierderi în instalațiile de compensare	existente noi	kWh	-	-	-	-
	Producție nouă centrală proprie			-	57512	58026	58026
4	Energie reactive anuale	Consum propriu-zis	kvarh	68165800	68160312	68192326	68195826
	Pierderi în rețea	existente noi		40843790	40843790	40843790	40843790
	Aport specific al cablurilor			3342500	3472000	3472000	3472500
				-924300	-924300	-924300	-924300
				-	-	-	-
				-	16406325	16945500	16945500
				43713490	26855655	26445990	26449490
				14811191	-	-	-
5	Factorul de putere la deficit			0,83	0,22	0,92	0,92
				0,84	0,93	0,93	0,93
6	Noua instalație de compensare			-	3195	3300	3300
				-	15975000	16500000	16500000
7	Cheltuieli anuale			-	-	-	-
				4983·10 ⁶	4982,3·10 ⁶	4984,6·10 ⁶	4985,1·10 ⁶
				-	-	-	-
				109,6·10 ⁶	1,757·10 ⁶	1,815·10 ⁶	1,815·10 ⁶
				5092,6·10 ⁶	4984,3·10 ⁶	4986,6·10 ⁶	4986,9·10 ⁶
8	Eficiența Costurilor		ani	-	0,15	0,16	0,16

TABELUL 6

BALANȚE DE PUTERI ACTIVE ȘI REACTIVE PE STAȚII

Denumirea Stației	Puterea aparentă (S=P+jQ) produsă în centrală (MVA)			Puterea aparentă (S=P+jQ) consumată în stații (MVA)		
	VDV	ONV	VSI	VDV	ONV	VSI
ST 1				4,5+j1,7	3,5+j1,6	5,3+j1,8
ST 2				7+j2,5	4,8+j1,6	10+j3,1
ST 3				1,5+j1,3	1,1+j1	2,5+j1,6
ST 4				7,5+j2,5	5,7+j1,8	8+j3
ST 5	27+j23	25+j20	27+j23	27+j24	85+j20	28+j24
ST 6				7,5+j3	7+j3	8+j3,2
ST 7				7,5+j4,5	5,5+j3,1	7,9+j5
ST 8				5,3+j3	3,5+j2,2	5,5+j3,1
ST 9				2+j1,3	1,5+j1,2	2,2+j1,4
ST 10				-	-	-
ST 11				88+j36	66+j3	108+j4
ST 12				38+j2,5	2,8+j2,2	4,2+j2,7
ST 13				3,2+j1,5	2,7+j1,3	3,8+j1,7
ST 14				12+j1,7	7,5+j2,5	12,7+j4,8
ST 15				17+j1,4	1,2+j0,7	2+j1,5
ST 16				1,7+j1,4	1,1+j0,7	2+j1,5
ST 17				7+j3,6	5,1+j2,6	9,5+j5
ST 18				8+j6,6	8,3+j7	8,5+j7
ST 19				6,7+j2,9	6,6+j2,8	7,2+j3,1
ST 20				6+j3,8	4+j2,8	7+j3,9
ST 21				4,5+j2	4+j2,8	4,8+j3,1
ST 22				2,5+j1,8	1,9+j0,9	2,8+j1,9
ST 23				2,2+j1,4	2+j1,3	2,3+j1,4
ST 24				7,5+j3,5	5,8+j3	8+j3,6
ST 25	5,4+j2,5	5+j2	5,6+j2,6	6+j2,8	5+j2,6	6,5+j3
ST 26				6,5+j3,3	4+j2,7	7+j3,5
ST 27				2+j1,3	1,7+j1,2	2,4+j1,5
ST 28				5,5+j2,2	3,2+j1,5	6+j2,2
ST 29				1,5+j0,8	1,6+j0,6	1,7+j0,9
ST 30				8,5+j4,5	6,5+j4	9,2+j4,6
ST 31	2,5+j2	2,5+j2	2,5+j2	20,5+j11	16,8+j9	21,5+j12
ST 32				2,5+j1,5	1,7+j0,9	3+j1,8
ST 33				3,5+j1,6	2,1+j1,4	3,8+j1,7
TOTAL	34,9+j27,5	33+j24	35+j27,6	201,9+j114	159,1+j93	224+j123
cos φ cons-urs	-	-	-	0,89	0,88	0,89

TABELUL 7

REZULTATE DE CALCUL PRIVIND AMPLASAREA OPTIMĂ
A BATERIILOR DE CONDENSATOARE ÎN REȚELELE FE

Denumirea stației	Rezultatele programului NEWOPT privind necesarul de baterii de condensatoare (Mvar) pe paliere			Necesarul de baterii de condensatoare (Mvar) de instalat	Necesarul de baterii de condensatoare (Mvar) în funcțiune pe paliere de sarcină		
	VDV	GNV	VSI		VDV	GNV	VSI
1	2	3	4	5	6	7	8
ST 1	-	-	-	-	-	-	-
ST 2	-	-	3	-	-	-	-
ST 3	-	-	-	-	-	-	-
ST 4	2,4	-	2,4	2,4	2,4	-	2,4
ST 5	-	-	-	-	-	-	-
ST 6	-	-	-	-	-	-	-
ST 7	3	3	3	3	3	3	3
ST 8	3	-	3	3	3	-	3
ST 9	-	-	-	-	-	-	-
ST 10	-	-	-	-	-	-	-
ST 11	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
ST 12	-	-	-	-	-	-	-
ST 13	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ST 14	2,4	-	2,4	2,4	2,4	-	2,4
ST 15	-	-	-	-	-	-	-
ST 16	-	-	-	-	-	-	-
ST 17	2,4	-	2,4	2,4	2,4	-	2,4
ST 18	6	6	6	6	6	6	6
ST 19	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
ST 20	2,4	1,2	2,4	2,4	2,4	1,2	2,4
ST 21	-	-	-	-	-	-	-
ST 22	-	-	-	-	-	-	-
ST 23	-	-	-	-	-	-	-

TABELUL 7 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
ST 24	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ST 25	-	-	-	-	-	-	-
ST 26	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ST 27	-	-	1,2	-	-	-	-
ST 28	-	-	1,2	-	-	-	-
ST 29	-	-	-	-	-	-	-
ST 30	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
ST 31	6	3	8,4	8,4	6	3	8,4
ST 32	-	-	-	-	-	-	-
ST 33	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	37,8	23,4	45,6	40,2	37,8	23,4	40,2
cos φ rezultat pe paliere					0,96	0,94	0,96

TABELUL 8

CALCULUL EFICIENȚEI ECONOMICE A AMPLASĂRII
BATERIILOR DE CONDENSATOARE ÎN REȚELELE FE

Palierele de sarcină		VDV	GNV	VSI
Reducerea de pierderi datorată amplasării bateriilor de condensatoare	Putere (MW)	1,5	0,8	1,8
	Energie (MWh)	4050	2720	4256
Reducerea de pierderi de energie (MWh) anuală			11026	
Costul pierderilor de energie economisite (lei) (1 kWh = 71,1 lei)			806 · 10 ⁶	
Costul surselor de compensare (lei)			200 · 10 ⁶	
Cheltuieli anuale cu sursele de compensare (11 t I) (lei)			22 · 10 ⁶	
Timpul de recuperare al investiției $T_{rec} = \frac{I_{surse}}{C_{\Delta E} - C_{an\phi}} \text{ (ani)}$			0,3	

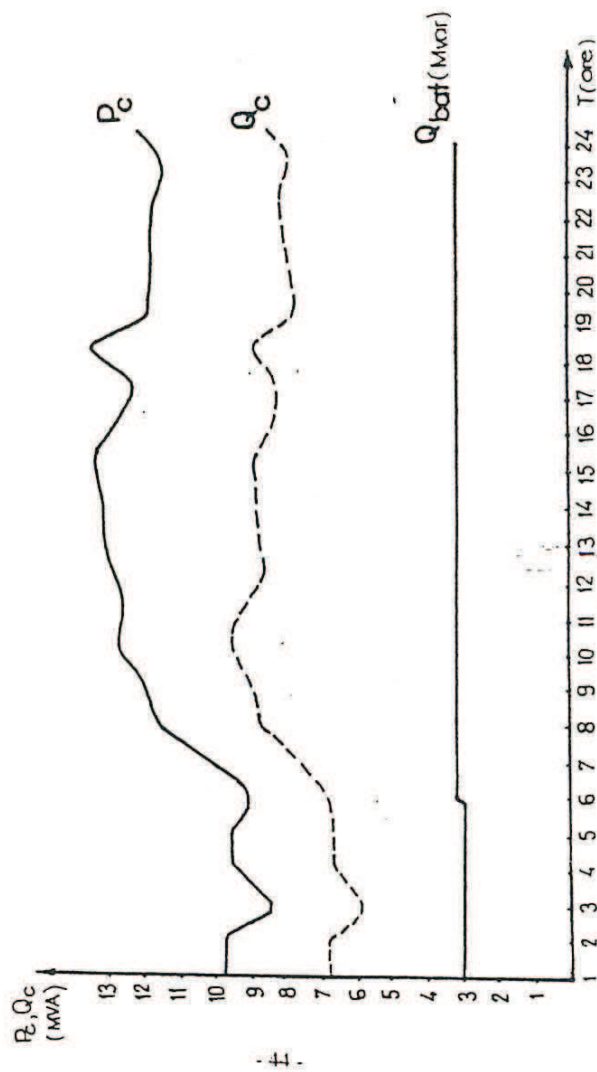
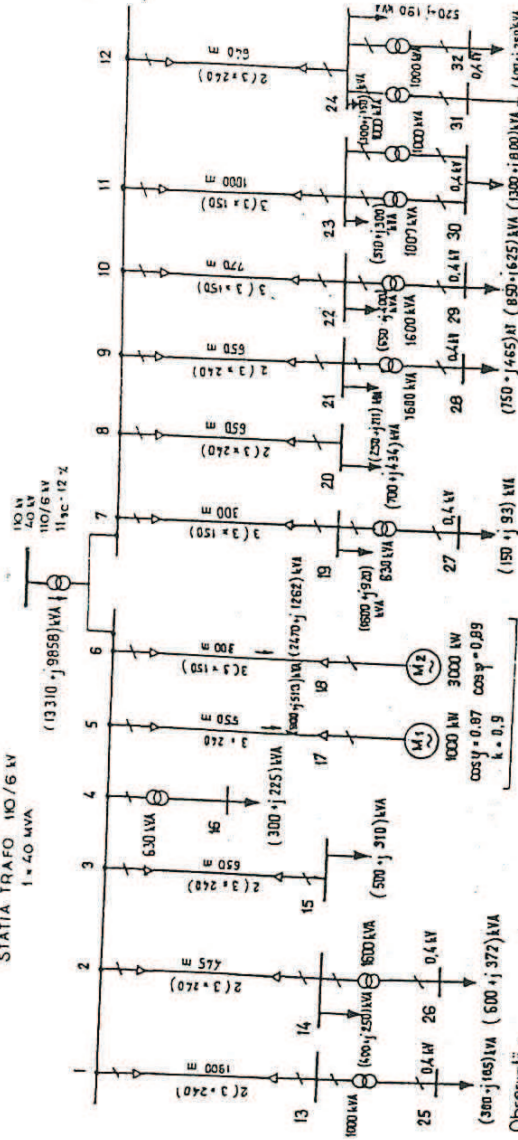


Fig.1. Variația curbei de sarcină activă și reactivă pentru o zi de lucru caracteristică.

STATIA TRAFU 110/6 kV
1 = 40 MVA



Observatii :

1. Caracteristici electrice ale elementelor din schemă.

a. Transformatoare

S _n (kVA)	U ₁ /U ₂ (kV)	ΔP ₁₅ (kW)	ΔQ (kvar)	U _n (%)	I (%)
630	6/0,4	5,35	9,72	13,5	7,4
1000	6/0,4	7,1	13,5	6	2,0
16000	110/0,4	52,0	80,2	6	1,7

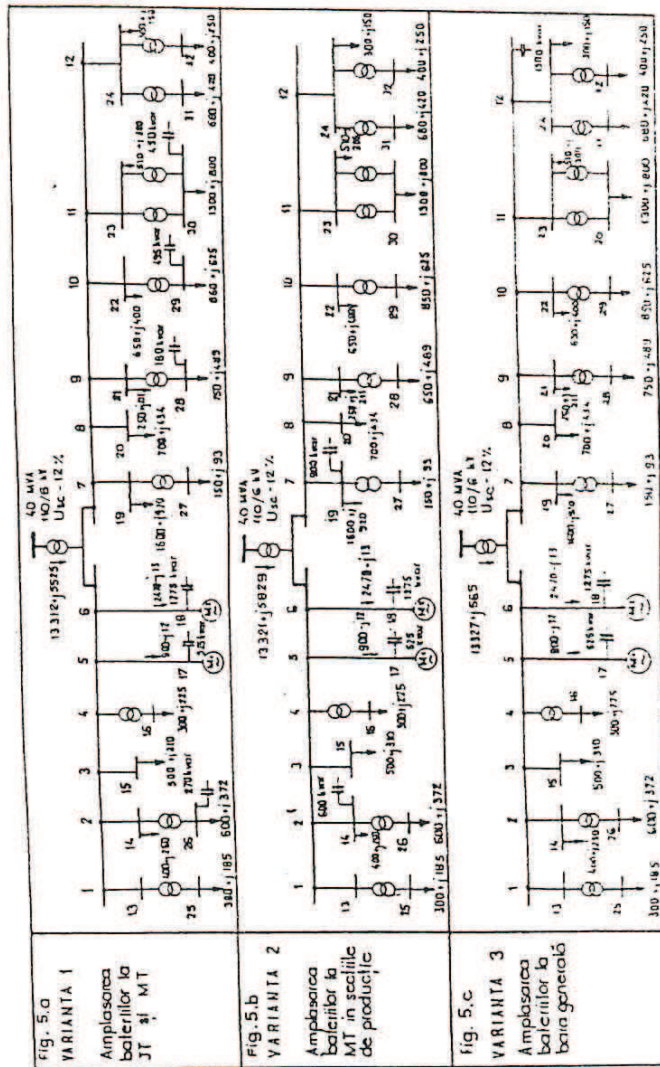
b. Cabluri - E.N.V. Aluminii

S _n (kVA)	U _n (%)	U _n (%)	U _n (%)
1000	0,98	0,00144	0,00053
16000	0,133	0,00053	0,00053

c. Izolatia M₁, M₂ sunt in stare obstructie

2. Puterile absorbite la parafa de 110 kV la trafa includ pierderile și aparatul de compensare din elementele schemei. In situatia fara compensare pierderile totale sunt Δp = 139,6 kW și ΔQ = 804,4 kvar

Fig. 2. Schema electrică de principiu a consui - matorului studiat.



Observatii 1. Caracteristicile elementelor de rețea sunt indicate în figura 4.

2. Tipurile de baterii de condensatoare sunt date în anexa 3.

3. Puterile din noduri sunt date în kW și kvar.

Fig. 3. Scheme electrice de principiu cu amplasarea bateriilor de condensatoare în diverse variante.

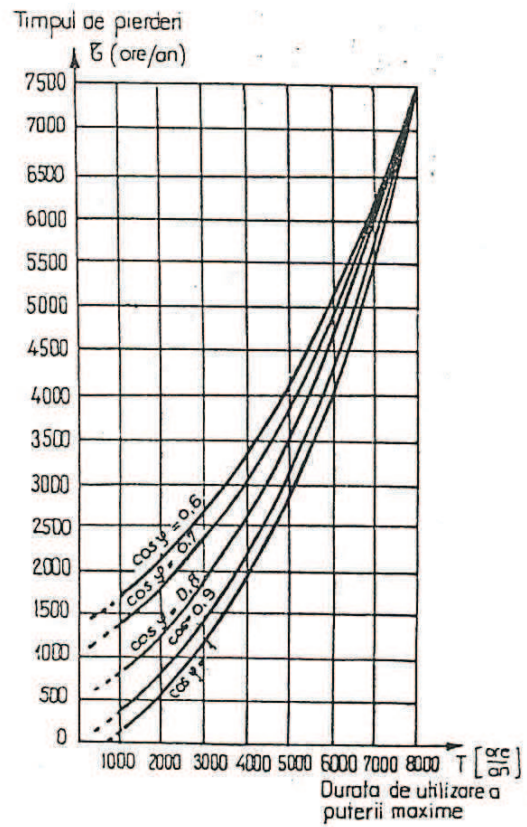


Fig. 4. Variația timpului de pierderi în funcție de durata de utilizare a puterii maxime.

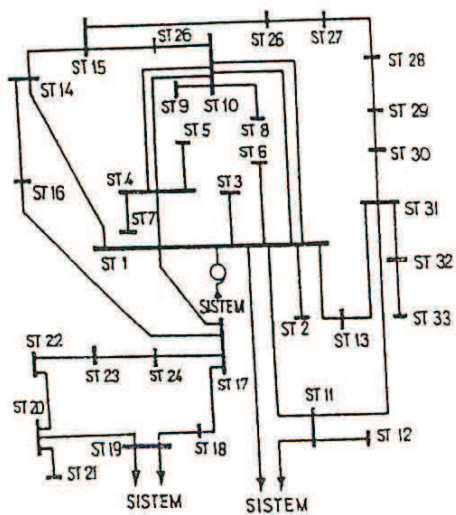


Fig. 5. Schema monofilară a rețelei F.E.

Redactor : Codrina Popa
 Tehnoredactor : Florica Niță

Tiparul executat la ICEMENERG - Atelierul de Ediție
 București, B-dul Energeticienilor nr.8, sect. 3
 Tiraj 1250 + 17 exemplare

ICEMENERG

INSTITUTUL DE CERCETĂRI ȘI MODERNIZĂRI ENERGETICE