Invenţia se referă la energetică, şi anume la echipamentele de reglare a unghiului de fază a tensiunilor de intrare şi ieşire în sistemele de transfer de energie electrică trifazată.

Varianta clasică a instalaţiei de reglare a decalajului de faza cu două transformatoare, ce asigură independenţa valorii tensiunii la ieşire la modificarea decalajului de fază (în lipsa sarcinii) constă din două elemente. Unul din aceste elemente este cel de reglare (Regulating Transformer), iar al doilea element (Series Transformer), care îndeplineşte funcţia transformatorului suplimentar.

Este cunoscută o instalaţie de reglare a decalajului de fază care conţine un transformator de excitaţie, un transformator suplimentar şi elemente de comutaţie la reglarea în trepte a tensiunii de alimentare a transformatorului suplimentar [1].

Dezavantajul acestei soluţii constă în faptul că instalaţia este realizată în baza transformatoarelor cu două înfăşurări, fiind , fiind amplasată fiecare în cuva sa, ca urmare creşte consumul de fier şi materialul conductor la confecţionarea instalaţiei, ceea ce conduce la majorarea greutăţii şi a costului instalaţiei.

Se cunoaşte de asemenea o instalaţie care conţine un sistem trifazat de înfăşurări de înaltă tensiune, precum şi un sistem trifazat de înfăşurări de joasă tensiune (de reglare), ce conţin puncte de conexiune intermediare pentru reglare şi un şunt − înzestrate cu mecanisme de selectare a conexiunilor respective sub sarcină. Al doilea element (Series Transformer) îndeplineşte funcţia transformatorului suplimentar. El include sistemul trifazat de înfăşurări de joasă tensiune alimentate de la ramificările reglabile ale înfăşurărilor de joasă tensiune ale primului element, precum şi sistemul trifazat de înfăşurări de tensiune înaltă, fiecare având o ieşire intermediară de conexiune de la mijlocul ei. La punctele de mijloc ale înfăşurărilor de înaltă tensiune ale elementului doi se conectează înfăşurările de înaltă tensiune ale primului element (de reglare). Celelalte capete libere ale înfăşurărilor de înaltă tensiune se cuplează împreună într-un punct neutru. Unul din capetele fiecărei înfăşurări de înaltă tensiune ale elementului doi se alimentează cu tensiune (tensiunile de intrare), iar celelalte capete libere ale înfăşurărilor respective ale acestui element formează sistemul trifazat al tensiunilor de ieşire a instalaţiei cu reglarea unghiului de fază prin intermediul comutărilor ieşirilor de reglare ale primului element [2].

Dezavantajele acestei instalaţii constau în valoarea ridicată a tensiunii înfăşurării transformatorului suplimentar, diapazonul limitat de reglare a decalajului de fază, indicii de calitate ai tensiunii de ieşire diminuaţi, costul şi greutatea instalaţiei majorate.

Pentru orice instalaţie destinată transmiterii energiei electrice, unul din cei mai importanţi indici tehnici este puterea calculată (tipică), care determină dimensiunile, masa şi, ca urmare, costul acestei instalaţii. Cu cât mai mare este puterea calculată a instalaţiei, cu atât mai mare este costul ei. Pentru instalaţiile de reglare a decalajului de fază este caracteristică dependenţa puterii calculate de valoarea limită prescrisă a decalajului de fază, care este determinată la etapă de proiectare a instalaţiei, reieşind din condiţiile concrete de funcţionare a ei la staţia de transformare. Odată cu majorarea decalajului de fază limită prescris, puterea calculată a regulatorului creşte. Reducerea puterii calculate a instalaţiei electrotehnice, păstrându-i capacitatea de transmitere, urmează a fi considerată raţională.

Puterea calculată a transformatorului de bază (de reglare) în funcţie de valoarea maximă de reglare a decalajului de fază limită (Ψ_{max}), ţinând cont de variaţia inducţiei magnetice în coloane, în procesul de reglare, este determinată de relaţia:

$$S_{RT} = 2 \cdot tg \frac{\psi_{max}}{2} \cdot S_R .$$

Puterea calculată a transformatorului suplimentar este determinată de relaţia:

$$S_{ST} = 2 \cdot \sin \frac{\psi_{max}}{2} \cdot S_r .$$

Puterile calculate ale transformatoarelor de bază (S_{RT}) şi suplimentar (S_{ST}) sunt exprimate prin puterea maximă de ieşire a instalaţiei (S_r). Pentru simplificarea analizei ulterioare se admite puterea maximă de ieşire a instalaţiei egală $S_r = 1$.

Puterea calculată sumară a instalaţiei de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare, compusă din transformatoarele de bază şi suplimentar care au fost alese în calitate de soluţia cea mai apropiată a invenţiei propuse, se determină ca suma puterilor calculate ale acestor două elemente:

$$S_{\Sigma 1} = S_{RT} + S_{ST} .$$

Diapazonul de variere a valorii decalajul de fază Ψ_{max} s-a limitat la nivelul $\Psi_{max} = 60°$, deoarece în majoritatea cazurilor reale este valabilă inegalitatea $\Psi_{max} < 60°$.

Problema pe care o rezolvă invenţia este reducerea gabaritului, masei şi a costului instalaţiei. Reducerea gabaritelor şi masei contribuie la soluţionarea problemei de transportare şi montare a instalaţiei în staţia de transformare.

Instalaţia, conform invenţiei, înlătură dezavantajele sus-menţionate prin introducerea unui sistem trifazat suplimentar de înfăşurări de tensiune înaltă la transformatorul de reglare, ceea ce asigură decalajul de fază iniţial al tensiunii de ieşire în regim de autotransformator. Aceasta permite reducerea de 2 ori a valorii maxime a tensiunii înfăşurării de tensiune înaltă a transformatorului suplimentar şi, ca urmare, a puterii lui calculate. Totodată, se creează condiţii favorabile pentru amplasarea transformatoarelor de reglare şi suplimentar într-o singură cuvă.

Rezultatul invenţiei constă în îmbunătăţirea indicilor tehnici privind masa, gabaritul, reducerea costului instalaţiei, precum şi în majorarea diapazonului de reglare a decalajului de fază, a calităţii tensiunii de ieşire.

Invenţia se explică prin desenele din figurile 1…6, care reprezintă:

-fig. 1, schema de principiu a instalaţiei;

-fig. 2, schema echivalentă a instalaţiei;
-fig. 3, diagrama vectorială ce corespunde condiţiei $U_{2\square}=-U_{2\square}$;
-fig. 4, diagrama vectorială ce corespunde condiţiei $U_{2\square}=0$,
-fig. 5, diagrama vectorială ce corespunde condiţiei $U_{2\square}=U_{2\square}$,
-fig. 6, diagrama dependenţei puterii calculate a instalaţiei în comparaţie cu soluţia cea mai apropiată $S_{\Sigma 2}/S_{\Sigma 1}$.
Instalaţia de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare conţine un transformator α trifazat de reglare, ce include înfăşurări 1, 4, 7 de înaltă tensiune de excitare, conectate la linia trifazată de înaltă tensiune şi înfăşurări 3, 6, 9 de joasă tensiune de reglare cu un mecanism de comutare S1 şi S2, $S_{3\square 3}$, $S_{3\square 6}$, $S_{3\square 9}$ sub sarcină şi un transformator β trifazat suplimentar ce include înfăşurări 10, 12, 14 de înaltă tensiune de decalare a fazei şi înfăşurări 11, 13, 15 de joasă tensiune, conectate la ramificările înfăşurărilor 3, 6, 9 de joasă tensiune de reglare ale transformatorului trifazat α de reglare. Transformatorul α trifazat de reglare este dotat suplimentar cu înfăşurări 2, 5, 8 de înaltă tensiune de decalare a fazei, cu un număr fix de spire, conectate la linia trifazată de înaltă tensiune, bornele de ieşire ale cărora sunt unite galvanic cu bornele de intrare ale înfăşurărilor 10, 12, 14 de înaltă tensiune ale transformatorului β trifazat suplimentar. Bornele de ieşire ale înfăşurărilor 10, 12, 14 de înaltă tensiune ale transformatorului β trifazat sunt unite suplimentar cu începutul următoarei înfăşurări 1, 4, 7 de înaltă tensiune de excitaţie a transformatorului α trifazat de reglare în corespundere cu consecutivitatea alternanţei fazelor sistemului de curent alternativ.
Instalaţia funcţionează în modul următor.
La reglarea unghiului de fază, contactele $S_{3\square 3}$, $S_{3\square 6}$, $S_{3\square 9}$ se mişcă unul spre altul şi procesul de reglare se efectuează prin conectarea consecutivă a bornelor de ieşire a ramurilor înfăşurărilor 3, 6, 9. Tensiunea rezultantă de pe înfăşurarea 3, 6, 9 este aplicată la înfăşurările 11, 13, 15 de joasă tensiune a transformatorului β trifazat suplimentar.
Condiţia de bază pentru funcţionarea normală a instalaţiei este asigurarea raportului numărului de spire $\left(\frac{W_{2\alpha}}{W_{1\alpha}}\right)$ a înfăşurărilor 2, 5, 8 de înaltă tensiune ale transformatorului trifazat de reglare α, care este determinat de relaţia:

$$\frac{W_{2\alpha}}{W_{1\alpha}}=\frac{\cos\psi_{\max}+\sqrt{3}\cdot\sin\psi_{\max}-1}{2\cdot(1+2\cdot\cos\psi_{\max})},$$

unde
$W_{1\square}$ numărul de spire al înfăşurării 1, 4, 7 de înaltă tensiune de excitare a transformatorului α trifazat de reglare;
$W_{2\square}$ numărul de spire al înfăşurării 2, 5, 8 de înaltă tensiune de decalare a fazei transformatorului α trifazat de reglare.
Tensiunea de lucru şi, respectiv, numărul de spire al înfăşurării 3, 6, 9 transformatorului trifazat de reglare α se determină, reieşind din clasa de tensiune şi numărul de trepte de reglare a mecanismului de comutaţie selectat. Racordarea totală a elementelor ce formează instalaţia este asigurată în cazul satisfacerii suplimentare a condiţiei obligatorii:

$$\frac{W_{2\alpha}}{W_{3\alpha}}=\frac{W_{2\beta}}{W_{1\beta}},$$

unde
$W_{3\square}$ numărul de spire al înfăşurării 3, 6, 9 de joasă tensiune de reglare ale transformatorului trifazat α de reglare;
$W_{1\square}$ - numărul de spire al înfăşurării 11, 13, 15 de joasă tensiune ale transformatorului β trifazat suplimentar ;
$W_{2\square}$ - numărul de spire al înfăşurării 10, 12, 14 de înaltă tensiune ale transformatorului β trifazat.
Comutatoarele S1 şi S2 (fig. 1) sunt destinate pentru a schimba semnul unghiului reglat Ψ (depăşirea sau întârzierea fazei tensiunii de ieşire faţă de cea aplicată). Punctele de conexiune ale contactelor mobile ale comutatorului S1 sunt cuplate cu sistemul trifazat al tensiunilor de alimentare U_s, iar punctele de conexiune ale contactelor mobile ale comutatorului S2 sunt cuplate cu sistemul trifazat al tensiunilor de ieşire U_r. Unghiul reglat Ψ se determină dintre doi vectori ai tensiunilor U_s şi U_r. În dependenţă de semnul unghiului Ψ, ambele comutatoare S1 şi S2 trebuie să se poziţioneze identic (ambele în poziţia 1 sau ambele în poziţia 2). Schimbarea poziţiei comutatoarelor S1 şi S2 (inversarea semnului unghiului Ψ) se poate realiza numai la îndeplinirea condiţiei Ψ=0°. În acest caz, operaţiile de comutaţie vor fi absolut nepericuloase atât pentru instalaţie, cât şi pentru reţeaua electrică.
În scopul ilustrării evidente a principiului de funcţionare a instalaţiei este prezentată schema ei echivalentă (fig. 2) pentru fiecare fază. În fig. 2 nu sunt indicate comutatoarele S1 şi S2, care în cazul dat nu au o semnificaţie principială.
Conform schemei echivalente (fig. 2), decalajul de fază reglat Ψ dintre tensiunile U_r şi U_s se formează prin sumarea tensiunilor celor două înfăşurări de decalare ale fazei conectate consecutiv $W_{2\square}$ .. şi $W_{2\square}$ 12, 14. Una dintre înfăşurări aparţine transformatorului α trifazat de reglare, iar alta − transformatorului β trifazat suplimentar. Deplasarea contactelor de reglare unul spre altul a înfăşurărilor sistemului trifazat $W_{3\square}$ .. asigură reglarea directă a tensiunii $U_{2\square}$ a înfăşurării de înaltă tensiune $W_{2\square}$ .. a transformatorului β trifazat suplimentar. Totodată, are loc şi o anumită deviere a tensiunilor $U_{1\square}$ (a înfăşurării de înaltă tensiune $W_{1\square}$ .. şi $U_{2\square}$ (a înfăşurării de înaltă tensiune

$W_{2\square}$ ..în dependență de valoarea reglată a tensiunii $U_{2\square}$.Devierile valorilor tensiunilor $U_{1\square}$ și $U_{2\square}$ sunt o funcție a variabilei Ψ, deci a decalajului de fază între tensiunile de intrare şi ieşire a instalației. Devierea valorilor absolute ale acestor tensiuni se determină din relațiile:

$$U_{1\alpha} = \frac{1+2\cos\psi}{\sqrt{2+\cos\psi-\sqrt{3}\cdot\sin\psi}}\cdot U_s \quad U_{2\alpha} = \frac{W_{2\alpha}}{W_{1\alpha}}\cdot\frac{1+2\cos\psi}{\sqrt{2+\cos\psi-\sqrt{3}\cdot\sin\psi}}\cdot U_s$$

;

,

unde

U_s – modulul tensiunii sistemului de alimentare. Menționăm de asemenea că în procesul de reglare se satisface permanent condiția $U_r = U_s$ în lipsa sarcinii la ieşirea instalației;

$W_{1\square}$ numărul de spire al înfăşurării 1, 4, 7 de înaltă tensiune de excitare ale transformatorului trifazat α de reglare.

Legea de reglare a tensiunii înfăşurării de înaltă tensiune a transformatorului β trifazat suplimentar în funcție de valoarea unghiului prescris Ψ poate fi prezentată în modul următor.

$$U_{2\beta} = 2\cdot\sin\frac{\psi}{2}\cdot U_S - U_{2\alpha} = \left(2\sin\frac{\psi}{2} - \frac{W_{2\alpha}}{W_{1\alpha}}\cdot\frac{1+2\cos\psi}{\sqrt{2+\cos\psi-\sqrt{3}\cdot\sin\psi}}\right)\cdot U_S$$

.

În varianta clasică a instalației de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare, inducția magnetică în coloanele fierului transformatorului de reglare (TR) la reglarea unghiului Ψ, se modifică direct proporțional cu valoarea $\cos\frac{\psi}{2}$. Aceasta înseamnă că cu majorarea unghiului Ψ, inducția magnetică în barele transformatorului (TR) se micşorează. Astfel, are loc micşorarea tensiunii treptelor de reglare a înfăşurării lui de reglare, ceea ce conduce la necesitatea unei majorări a numărului de spire ale acestei înfăşurări.

Pe când în varianta invenției propuse, inducția magnetică în barele conductorului magnetic a transformatorului □de reglare, la reglarea unghiului Ψ, creşte în corespundere cu relația:

$$k = \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{1+2\cos\psi}{\sqrt{2+\cos\psi-\sqrt{3}\cdot\sin\psi}}$$

.

Particularitatea dată a invenției propuse trebuie să fie luată în considerație la etapa de proiectare a instalațiilor în ceea ce priveşte coordonarea amplasării ramificărilor de reglare ale înfăşurărilor $W_{3\square}$ale transformatorului de reglare.

Principiul de funcționare a instalației este redat de diagramele vectoriale (fig. 3, 4, 5), unde sunt prezentate trei stări fixate ale ei:

- diagrama vectorială (fig. 3) corespunde condiției $U_{2\square}$=-$U_{2\square}$,
- diagrama vectorială (fig. 4) corespunde condiției $U_{2\square}$=0,
- diagrama vectorială (fig. 5) corespunde condiției $U_{2\square}$=$U_{2\square}$.

Pentru fiecare din condițiile indicate sunt date pozițiile respective ale contactelor de comutare ale înfăşurării de reglare $W_{3\square}$.

Reglarea în trepte a tensiunii $U_{2\square}$ în intervalul valorilor de la $U_{2\square}$=-$U_{2\square}$ până la $U_{2\square}$=$U_{2\square}$va fi însoțită de schimbarea în trepte a decalajului de fază a tensiunii de ieşire U_r față de tensiunea de la intrare U_s a instalației în limitele de la Ψ = 0° până $\Psi = \Psi_{max}$.

Puterea calculată a transformatorului □ trifazat de reglare, constituie elementul rațional al instalației de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare, va fi determinată de următoarea relație matematică:

$$S_\alpha = 2\sin\frac{\psi_{\max}}{2}\left(\frac{\sin\frac{\psi_{\max}}{2}}{\sqrt{3}} + \cos\frac{\psi_{\max}}{2}\right)\cdot S$$

Puterea calculată a transformatorului □ trifazat secundar se va caracteriza în acest caz prin relația:

$$S_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{1+2\cdot\cos\psi_{\max}}{\sqrt{2+\cos\psi_{\max}-\sqrt{3}\sin\psi_{\max}}}\cdot\sin\frac{\psi_{\max}}{2}\cdot S_r$$

.

Caracterul varierii puterii calculate sumare a elementelor ce constituie instalația rațională de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare $S_{\Sigma 2}$=$S_{\square}$+$S_{\square}$,în funcție de valoarea limită $\Psi_{\max}$ întotdeauna este mai mic decât $S_{\Sigma 1}$. Micşorarea relativă a puterii calculate a invenției, în comparație cu soluția cea mai apropiată $S_{\Sigma 2}/S_{\Sigma 1}$ o ilustrează dependența din fig.6. Din figura dată rezultă că instalația propusă de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare asigură micşorarea puterii calculate nu mai puțin de 17% față de soluția cea mai apropiată.

Cum s-a menționat anterior, ca valoare de bază pentru determinarea puterii calculate a instalației serveşte puterea sarcinii preconizate S_r în ramura respectivă a rețelei de transfer de energie electrică. Până la o anumită valoare a puterii S_r, transformatoarele de reglare şi secundar, ce constituie instalația, pot fi amplasate constructiv într-o singură cuvă, comună pentru ambele. Utilizarea variantei propuse a instalației de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare va permite asigurarea realizării soluției constructive la o valoarea majorată a S_r (aproximativ cu 25%) în comparație cu soluția cea mai apropiată. Iar dacă valoarea S_r este destul de mare, atunci se trece la soluția

constructivă, pentru care fiecare transformator este amplasat în cuvă separată. Sluția tehnică propusă va permite deplasarea acestei limite într-o regiune a valorilor S_r mai mari, ce înseamnă extinderea posibilității de utilizare a soluției constructive bazate pe o singură cuvă comună pentru ambele elemente.

Înfăşurările de înaltă tensiune de decalare a fazei transformatorului secundar la soluția cea mai apropiată sunt înzestrate cu ramificări de la punctele neutre. De aceea pe capacul cuvei sale (când transformatoarele sunt amplasate în cuve separate) este necesar de montat nouă izolatoare de înaltă tensiune (trei de intrare, trei neutre şi trei de ieşire) fiecare dintre care reprezintă o construcție destul de masivă. Înfăşurările de tensiune înaltă de decalare a fazei transformatorului secundar al instalației propuse de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare nu au ieşiri de la punctele neutre. De aceea, pe capacul cuvei sale (la amplasarea transformatoarelor în cuve separate) este necesar de montat numai şase izolatoare de înaltă tensiune (trei de intrare şi trei de ieşire), ce simplifică considerabil construcția şi dimensiunile cuvei transformatorului secundar.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- înfăşurările de înaltă tensiune de decalare a fazei transformatorului secundar se calculează la o tensiune de două ori mai mică ca a celei mai apropiate soluții, deci şi numărul spirelor fiecărei din aceste înfăşurări va fi de două ori mai mic;
- luând în considerație că decalajul de fază inițial se realizează cu ajutorul înfăşurărilor de înaltă tensiune suplimentare ale transformatorului trifazat de reglare în regim de autotransformator, atunci rezistența de disipare rezultantă (sumară) a înfăşurărilor transformatoarelor instalației va fi mai mică. Aceasta înseamnă, că oscilarea tensiunii de ieşire a instalației raționale de reglare a decalajului de fază cu două transformatoare, condiționată de varierea sarcinii, va fi mai mică .