

Invenția se referă la domeniul energiei, și anume la instalațiile de reglare rapidă a defazăzului dintre tensiunea la ieșirea dispozitivului și tensiunea la bornele de intrare.

Se cunoaște instalația UPFC (United Power Flow Controller) utilizată pentru reglarea rapidă a defazăzului tensiunilor în rețelele electrice [1]. Instalația dată prevede conversia în două trepte a energiei (redresarea și inversarea). La fiecare din aceste trepte de conversie au loc pierderi de energie. Diminuarea pierderilor de energie electrică poate fi obținută prin utilizarea instalației de conversie directă (cu o singură treaptă) [2], care necesită pentru reversarea unghiului defazăzului să se folosească comutatoare mecanice suplimentare, posibilitățile de funcționare ale cărora nu întotdeauna corespund cerințelor de exploatare, ceea ce este un neajuns al acestei instalații.

În calitate de cea mai apropiată soluție servește instalația alcătuită din transformator de excitare (sau paralel), și transformator defazor (sau în serie), unite într-un singur agregat [3]. Înfășurările de înaltă tensiune ale transformatorului de excitare sunt unite în triunghi, la vârfurile căruia sunt conectate punctele medii ale înfășurărilor transformatorului defazor. Instalația formează un tot întreg prin conectarea electrică a înfășurărilor de tensiune joasă a celor două transformatoare indicate prin comutatoare electronice de putere, cu ajutorul cărora se realizează modulația prin impulsuri a tensiunii în înfășurările de înaltă tensiune ale transformatorului defazor. Respectarea legii respective a modulației, expusă detaliat în [3], asigură reglarea lentă a fazelor tensiunii de ieșire a instalației.

Însă această instalație acționează orientat într-o singură direcție, adică asigură reglarea fazei doar într-o direcție (depășirea sau întârzierea). Pentru asigurarea reglării în ambele direcții este utilizat un al treilea transformator, care creează decalajul inițial (fixat). În acest caz, partea reglabilă a puterii sumare de transformare, care este constituită din transformator de excitare și transformator cu reglaj de fază, trebuie să asigure acoperirea dublă a defazăzului inițial (fixat) în direcția inversă. Un neajuns al acestei soluții este necesitatea majorării considerabile a puterii de transformare a părții reglabile a agregatului și a puterii de transformare a agregatului în întregime.

Estimarea orientativă a consumului de putere de transformare poate fi evaluată în baza următoarelor argumente.

În calitate de valoare de bază pentru comparație vom lua puterea de transformare (S') a instalației cu reglaj de fază cu două transformatoare, orientată într-o singură direcție [3], exprimată prin puterea sarcinii (S).

În dependență de unghiul limită al defazăzului (θ), puterea de transformare dată se va caracteriza prin relația:

$$S' = 4 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \cdot S \quad (1)$$

Pentru $\theta=28^\circ$ obținem $S'=S$, adică puterea proprie (de calcul) a regulatorului de fază cu două transformatoare este egală cu puterea sarcinii sau cu puterea transformatorului de putere obișnuit.

Valoarea indicată θ se va considera valoarea limită pentru schema dată a unghiului de defazăj, majorarea căruia în continuare este irațională din cauza consumului sporit a puterii de transformare.

Presupunând în continuare că transformatorul suplimentar (al 3-lea) cu defazăj fixat este executat sub aspect de instalație simplă cu un transformator [2], vom determina puterea lui (S''_1) din relația:

$$S''_1 = 2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot S,$$

iar puterea de transformare a părții reglabile (S''_2), care asigură acoperirea dublă a defazăzului inițial (fixat), se va caracteriza prin relația:

$$S''_2 = 4 \operatorname{tg} \frac{2\theta}{2} \cdot S = 4 \operatorname{tg} \theta \cdot S.$$

În acest caz puterea totală de transformare a instalației de reglare în ambele direcții (S''), (alcătuită din trei transformatoare) se va determina din expresia:

$$S'' = S''_1 + S''_2 = \left(2 \sin \frac{\theta}{2} + 4 \operatorname{tg} \theta\right) S = 2 \left(\sin \frac{\theta}{2} + 2 \operatorname{tg} \theta\right) S \quad (2)$$

Pentru $\theta=20^\circ$, ca și în [3], vom obține:

$$S' = 0,705 S$$

$$S'' = 1,803 S$$

Astfel, neajunsul instalației cu reglaj de fază cu acțiune în ambele direcții, executat conform [3], este majorarea puterii

de transformare în corespundere cu relația $\frac{S''}{S'}$ (pentru $\theta=20^\circ$ vom obține $\frac{1,803}{0,705} = 2,56$, adică de 2,56 ori).

Reversarea unghiului defazăzului conform [3] este de asemenea legată de majorarea practic de 2 ori (1,97 ori) a puterii sumare stabilite a comutatoarelor electronice de putere.

Problema pe care o rezolvă invenția propusă este crearea unui transformator reversiv cu reglaj de fază fără a majora puterea de transformare a agregatului.

Esența invenției constă în aceea că în dispozitivul reversiv de reglare a fazei ce include un transformator de excitație, ale cărui înfășurări de înaltă tensiune sunt unite în triunghi, și un transformator defazor, punctele medii ale înfășurărilor de înaltă tensiune sunt unite cu punctele de conexiune a înfășurărilor de înaltă tensiune ale transformatorului de excitație, înfășurările de joasă tensiune ale celor două transformatoare sunt unite prin intermediul unor chei electronice de putere, înfășurările de joasă tensiune ale transformatoarelor de excitație și a celui defazor sunt divizate în două părți egale, prima parte a înfășurărilor de joasă tensiune ale transformatorului de excitație este unită în serie cu partea a doua a înfășurărilor de joasă tensiune ale transformatorului defazor, prima parte a înfășurărilor de joasă tensiune ale cărui este unită în serie cu partea a doua a înfășurărilor de joasă tensiune ale transformatorului de excitație, iar ramificațiile rezultante sunt unite în paralel, totodată cheile electronice de putere sunt conectate la punctele comune de unire a înfășurărilor de joasă tensiune.

Rezultatul invenției date constă în extinderea posibilităților funcționale ale instalației [3] prin reglarea reversivă a fazei fără a majora puterea sumară de transformare. În acest caz, ca și la reversia fazei conform [3], are loc majorarea practic de 2 ori a puterii sumare stabilite a comutatoarelor electronice de putere.

Schema principială integră de unire a înfășurărilor transformatorului reversiv cu reglaj de fază dirijat prin tiristoare este prezentată în fig. 1.

Transformatorul de excitație α conține un sistem trifazat de înfășurări primare de înaltă tensiune $W_{1\alpha}$ și două sisteme trifazate similare de înfășurări secundare (de tensiune joasă) $W'_{2\alpha}$ și $W''_{2\alpha}$.

Transformatorul cu reglaj de fază β conține un sistem trifazat de înfășurări primare (de înaltă tensiune) $W_{1\beta}$ cu ramificații de la punctul mediu (center taps) și 2 sisteme trifazate de înfășurări secundare (de tensiune joasă) $W'_{2\beta}$ și $W''_{2\beta}$.

Puterea transformatoarelor α și β este egală, iar înfășurările lor secundare au aceeași secțiune și sunt executate având același număr de spire, adică $W'_{2\alpha} = W''_{2\alpha} = W'_{2\beta} = W''_{2\beta}$.

Înfășurările de înaltă tensiune ale transformatorului cu excitație α sunt unite în triunghi (delta connection). La vârfurile triunghiului sunt conectate punctele medii ale înfășurărilor respective de înaltă tensiune ale transformatorului β . Fazele înfășurărilor de joasă tensiune $W'_{2\alpha}$ sunt unite în serie cu fazele respective ale înfășurărilor de joasă tensiune $W''_{2\beta}$, iar fazele înfășurărilor de joasă tensiune $W'_{2\beta}$ de asemenea sunt unite în serie cu fazele respective ale înfășurărilor de joasă tensiune $W''_{2\alpha}$. Ambele ramificații sunt unite între ele în paralel, în rezultatul cărui fapt se formează patru borne trifazate, marcate pe fig. 1 prin simbolurile a, b, c și d. Sistemele de borne trifazate indicate sunt conectate la 4 punți, formate din chei dirijate de tiristoarele respective cu blocarea prin grilă (tiristoare GTO) T1, T2, T3 și T4.

La conectarea tiristoarelor T1 și T2 se unesc la nul bornele a și b. În acest caz înfășurarea $W'_{2\beta}$ se alimentează de la înfășurarea $W'_{2\alpha}$, iar înfășurarea $W''_{2\beta}$ se alimentează de la înfășurarea $W''_{2\alpha}$. Înfășurările care alimentează și care sunt alimentate sunt unite cu aceleași capete, ceea ce corespunde unui simbol (de exemplu pozitiv) al defazajului tensiunilor la ieșirea instalației.

La conectarea tiristoarelor T3 și T4 se unesc la nul bornele c și d. În acest caz înfășurarea $W'_{2\beta}$ se alimentează de la înfășurarea $W'_{2\alpha}$, iar înfășurarea $W''_{2\beta}$ se alimentează de la înfășurarea $W''_{2\alpha}$. Înfășurările care alimentează și care sunt alimentate sunt unite cu capetele opuse, ceea ce corespunde altui simbol (negativ) al defazajului tensiunilor la ieșirea instalației.

La conectarea tiristoarelor T1 și T4 (sau T2 și T3) se unesc la nul bornele a și d (sau b și c). În acest caz scurtcircuitează înfășurarea $W'_{2\beta}$ (sau $W''_{2\beta}$), ce corespunde valorii zero a tensiunii la înfășurarea de înaltă tensiune $W_{1\beta}$, ceea ce dovedește lipsa defazajului între tensiunile de intrare și ieșire.

S-a menționat anterior că varianta instalației cu reglaj de fază formată din două transformatoare este irațional de utilizat dacă valoarea solicitată a unghiului maxim al decalajului (θ_{\max}) depășește 28°C . În acest caz nu se permite conectarea concomitentă a tiristoarelor T2 și T4 (sau tiristoarelor T1 și T3), deoarece transformatorul α devine conductor de

scurtcircuit, iar tensiunea de fază a rețelei va fi aplicată doar la jumătatea înfășurării $W_{1\beta}$. Sistemul de comandă cu comutatoarele pe tiristoare trebuie să prevadă interzicerea operațiilor indicate.

Principiile modulării duratei impulsului (PWM), expuse în [3] referitoare la instalația la care transformatorul cu reglaj de fază (consecutiv) este executat sub aspect de modul, se extind pe deplin și în ce privește instalația prezentată în fig. 1. În cazul în care θ este convențional pozitiv, trebuie să fie conectat permanent tiristorul T1 (sau T2), iar intervalele de timp, care determină valoarea medie a unghiului, se stabilesc prin conectarea pe rând a tiristoarelor T2 și T4 (sau, în caz de conectare permanentă a T2 – prin conectarea tiristoarelor T1 și T3). În cazul în care θ este convențional negativ,

trebuie să fie conectat permanent tiristorul T3 (sau T4), iar intervalele de timp, care determină valoarea medie a unghiului, se stabilesc pe rând prin conectarea tiristoarelor T2 și T4 (sau, când T4 este permanent conectat – prin conectarea tiristoarelor T1 și T3).

Schema propusă de unire a înfășurărilor de joasă tensiune ale transformatoarelor α și β permite de a reduce la minimum numărul de tiristoare cu blocarea prin grilă (tiristoare GTO) comutate, care sunt niște elemente destul de costisitoare. În fig. 2 este prezentată schema comutatoarelor electronice de putere ale transformatorului reversiv cu reglaj de fază cu trei tiristoare cu blocarea prin grilă (tiristoare GTO) T1, T2, T3. În acest caz trebuie să fie conectat doar unul din aceste tiristoare. La conectarea tiristorului T1 la ieșirea instalației se formează un defazaj pozitiv. La conectarea tiristorului T2 defazajul este egal cu zero, iar la conectarea tiristorului T3 defazajul este negativ. Prin comutarea alternativă a tiristoarelor T1 și T2 se asigură reglarea lentă a fazei într-o singură direcție, iar a tiristoarelor T2 și T3 – în direcție inversă. Nu se permite să se conecteze concomitent două tiristoare din schema fig. 2.

Puterea deplină de transformare a transformatorului reversiv cu reglaj de fază (fig. 1), care este obiectul prezentei invenții, se determină prin relația (1), ceea ce înseamnă că este egală cu puterea de transformare a regulatorului de fază monodirecțional [3].