

Invenția se referă la electrotehnică, în special la construcția de transformare și își poate găsi aplicarea la încercările transformatoarelor de înaltă tensiune monofazate în cadrul asigurării metrologice a producției și exploatarea transformatoarelor.

Este cunoscut procedeul de verificare a transformatoarelor de tensiune monofazate prin compararea tensiunilor mijlocului de măsurare etalon (transformatorului sau divizorului de tensiune) și ale transformatorului verificat, la care pe transformatorul verificat și mijlocul de măsurare etalon se aplică tensiunea de încercare egală, iar verificarea se realizează prin metoda diferențială de zero [1].

Este cunoscută de asemenea instalația pentru verificarea transformatoarelor de tensiune monofazate, care conține transformatorul de verificat, mijlocul de măsurare etalon (un transformator, un divizor de tensiune capacitiv, rezistiv sau inductiv), destinarea pentru conectare la tensiunea de încercare, precum și blocul de comparație (aparatură de comparație) a tensiunii verificate cu cea etalon [1].

Totuși procedeul descris de verificare a transformatoarelor de tensiune și instalație destinată pentru verificarea transformatorilor de tensiune monofazate se caracterizează prin posibilități funcționale limitate, în special verificarea transformatoarelor de tensiune se poate realiza numai în cazul existenței mijlocului de măsurare etalon – unui transformator calculat pentru tensiunea de regim similară și dotat cu tensiunea de ieșire etalon egală sau apropiată ca valoare cu tensiunea secundară a transformatorului de verificat, adică procedeul este neutilizabil pentru verificarea transformatoarelor, calculate pentru tensiunea, pentru care lipsește un transformator etalon atestat, precum și pentru cazurile în care coeficienții de transformare ai transformatoarelor de verificat și celui etalon nu coincid sau au gama de încercări la frecvență limitată. În afară de aceasta, transformatoarele etalon de înaltă tensiune (divizoarele de tensiune capacitive sau inductive) au o masă considerabilă, nu sunt transportabile de efectuare a verificării transformatoarelor la locul de exploatare.

De asemenea este cunoscut procedeul și instalația pentru verificarea transformatoarelor de tensiune monofazate, în care pentru verificare se utilizează două transformatoare etalon, calculate pentru tensiunea de regim de două ori mai mică, decât cea a transformatorului de verificat [2], precum și instalația pentru verificarea transformatoarelor de tensiune de măsurare, care conține un divizor de tensiune capacitiv, un divizor de tensiune inductiv, un comparator electromagnetic de curent și un indicator de nul, în care pentru extinderea gamei de încercări de frecvență sunt introduse suplimentar potențioetre, blocuri de măsurare pentru compensare și divizoare de tensiune continuă [3]. Neajunsul procedeele și instalațiilor menționate se reduce la faptul, că ele nu sunt pe deplin utilizabile pentru verificarea transformatoarelor, care prezintă tensiuni de regim normale și secundare, deosebite de tensiunea de regim și de tensiunea de ieșire a mijlocului de măsurare etalon, precum și în complexitatea realizării etalonării independente (autonome) înainte de demararea realizării verificării transformatoarelor de tensiune din cauza unor numeroase elemente componente ale instalației, ceea ce se resimte asupra preciziei rezultante a verificării și nu rezolvă problema transportabilității instalațiilor.

Scopul invenției este sporirea preciziei verificării transformatoarelor de tensiune, simplificarea executării etalonării etalonării elementelor componente ale instalațiilor în gama extinsă de frecvență a încercărilor, extinderea posibilității funcționale pentru verificarea transformatoarelor de tensiune, care prezintă tensiunea de regim nominale și secundare, diferite de tensiune de regim și de tensiune de care prezintă tensiuni de regim nominale și secundare, diferite de tensiune de regim și de tensiune de ieșire ale mijlocului de măsurare etalon, precum și sporirea transportabilității.

Scopul menționat se soluționează prin faptul, că procedeul de verificare a transformatoarelor se compară tensiunile, care sunt o parte din tensiunea etalon și o parte din tensiunea secundară ale transformatorului de tensiune verificat, iar înainte se realizează verificarea (etalonarea) preciziei coeficientului de divizare al mijlocului de măsurare etalon de modul, de fază și în gama de frecvențe necesară, iar în calitate de tensiune de încercare la etalonare este tensiunea secundară a transformatorului de verificat, precum și la verificarea transformatoarelor, care prezintă tensiunea de regim normale și secundare, deosebite de tensiunea de regim și de tensiunea de ieșire a mijlocului de măsurare etalon, iar coeficientul de divizare suplimentară al tensiunii secundare a transformatorului de verificat se stabilește în funcție de valoarea nominală a transformatorului de verificat.

Pentru soluționarea scopului propus în instalația pentru verificarea transformatorilor de tensiune, care conține transformatorul de verificat și aparatul de comparație, sunt introduse un bloc de divizare, două divizoare de joasă tensiune rezistive nereactive identice cu coeficientul de divizare reglabil, dintre care primul este inclus în calitate de braț de joasă tensiune al blocului de divizare, cel de-al doilea este conectat la înfășurarea de ieșire a transformatorului de verificat, iar aparatul de comparație este conectat între ieșirile divizoarelor de joasă tensiune rezistive nereactive.

Invenția se lămurește cu ajutorul desenului prezentat în fig. 1, care este redată:

Fig. 1. Schema funcțională a instalației pentru verificarea transformatoarelor.

Instalația pentru verificarea transformatoarelor monofazate conține difuzorul de înaltă tensiune rezistiv 1 și transformatorul de tensiune pentru verificare 2, care sunt destinate pentru cuplare la tensiunea de încercare. În calitate de sursă a tensiunii de încercare servește transformatorul de încercare 3 și regulatorul de tensiune 4.

Blocul de divizare 1 constă din brațul de înaltă tensiune 5 și brațul de joasă tensiune, format din primul divizor de joasă tensiune nereactiv, ale cărui brațe sunt constituite din rezistoarele 6 și 7. Al doilea divizor de joasă tensiune nereactiv este identic cu primul divizor și este format din rezistoarele 8 și 9. În calitate de divizor este punctul 10, locul de conexiune a rezistoarelor 6 și 7.

Ieșirea primului divizor de joasă tensiune 11 (punctul de conexiune a rezistoarelor 6 și 7) este conectată la ieșirea aparatului de comparație 12 destinat pentru conectare la tensiunea etalon, iar ieșirea celui de-al doilea divizor de joasă tensiune 13 (punctul de conexiune a rezistoarelor 8 și 9) este conectată la intrarea aparatului de comparație 12, destinat pentru conectarea la tensiunea verificată.

Instalația funcționează în felul următor. Tensiunea înaltă de încercare  $U_H$  în punctul 10 se divizează cu coeficientul de divizare  $K_1$  al divizorului de înaltă tensiune 1.

$$\dot{U}_1 = \frac{\dot{U}_H}{K_1} \quad (1)$$

La ieșirea 11a primului divizor de joasă tensiune și la intrarea aparatului de comparație 12 va fi tensiunea  $U_2$ :

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{K_2} = \frac{\dot{U}_H}{K_1 \cdot K_2} \quad (2)$$

În vederea posibilității etalonării și comparării erorilor divizoarelor de tensiune se stabilește egalitatea coeficienților de divizare nominali  $K_1=K_2$ .

La verificarea transformatoarelor, al căror coeficient de divizare nominal este egal cu valoarea nominală a coeficientului de divizare al blocului de divizare, eroarea tensiunii se va determina prin compararea tensiunilor, aplicate la intrarea aparatului de comparație 12, deoarece în acest caz coeficientul de divizare al celui de-al doilea divizor de joasă tensiune va fi  $K_3=K_2$ . În cazul în care valoarea coeficientului de divizare al transformatorului de verificat nu este egală cu coeficientul de divizare al blocului de divizare, se stabilește valoarea nominală a coeficientului de divizare  $K_3$  egală cu:

$$K_3 = \frac{K_2^2}{K_T} \quad (3)$$

în care  $K_T$  – este coeficientul de divizare nominal al transformatorului de verificat.

În felul acesta, indicațiile aparatului de comparație pentru eroarea tensiunii transformatorului de verificat de modul va fi:

$$\Delta f = \frac{\left| \frac{\dot{U}_1}{K_T \cdot K_3} \right| - \left| \frac{\dot{U}_1}{K_2^2} \right|}{\left| \frac{\dot{U}_1}{K_2^2} \right|} \quad (4)$$

Indicațiile aparatului de comparație referitoare la eroarea transformatului de verificare de bază:

$$\Delta \delta = (\varphi_T - \varphi_3) - (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (5)$$

în care  $\varphi_T$  - este eroarea transformatorului de verificat de fază,

$\varphi_1$  - eroare de fază a blocului de divizare ,

$\varphi_2$  - eroare de fază a primului divizor de joasă tensiune,

$\varphi_3$  - eroare de fază a celui de-al doilea divizor de joasă tensiune.

Asigurarea preciziei de verificare necesare se determină prin realizarea etalonării autonome a instalației înainte de efectuarea verificării și cu ajutorul următorilor factori:

- Eroarea de frecvență a divizorilor de joasă tensiune în raport cu blocul de divizare este neglijabil de mică. Acest lucru se explică prin faptul, că eroarea atât de modul, cât și cea de fază se determină prin constanta de timp a circuitului rezistiv – prin produsul RC, în care R este rezistența circuitului, C – capacitatea lui. Deoarece rezistența divizoarelor de joasă tensiune este de  $K_1$  ori mai mică decât rezistența brațului de înaltă tensiune 5 al blocului de divizare, iar  $K_1=350\dots3300$  (pentru transformatoare de înaltă tensiune de 35...330 kV), atunci eroarea de frecvență a divizoarelor de joasă tensiune este de  $K_1=350\dots3300$  mai mică decât eroarea blocului de divizare .

- Eroarea divizoarelor de joasă tensiune la curent alternativ nu se deosebește în mod practic de eroare la curent continuu. Acest fapt este condiționat de constanta mică de timp a circuitului rezistiv al brațelor 6 și 7, precum și brațelor 8 și 9 ale divizoarelor de joasă tensiune. De exemplu, pentru rezistența  $R=300 \text{ k}\Omega$  și capacitatea  $C=2\text{pF}$ , eroarea relativă de modul va fi

$$\delta_M = \frac{1}{2} (\omega RC)^2 = 1,8 \cdot 10^{-8} \quad (6)$$

iar eroarea de fază

$$\varphi_R = \omega RC = 0,00018 \text{ rad sau } 0,6 \text{ min.} \quad (7)$$

Din această cauză verificarea și etalonarea coeficientului de divizare al divizoarelor de joasă tensiune se poate realiza la curent continuu cu foarte înaltă precizie, și aceasta se va menține la curent alternativ. Ținând cont de cele menționate coeficienții  $K_2$  și  $K_3$  în relațiile (1)-(4) se pot considera mărimi reale (și nu complexe).

Deoarece primul și cel de-al doilea divizor de joasă tensiune sunt identice, prin urmare  $\varphi_2 = \varphi_3$  sunt mărimi mici, atunci în relația (5) ele pot fi neglijate.

Pentru micșorarea erorii de frecvență a blocului de divizare modulul și de fază se efectuează verificarea lui și în caz de necesitate etalonarea, folosind metoda comparației cu al doilea divizor de joasă tensiune. Pentru realizarea acestui lucru în schema din fig.1 aparatul de comparație 12 se conectează între ieșirea blocului de divizare (punctul 10) și ieșirea celui de-al doilea divizor de joasă tensiune (punctul 13). Tensiunea de încercare la înaltă tensiune se deconectează de la blocului de divizare. La blocului de divizare 1 și la intrarea celui de-al doilea divizor de joasă tensiune (la punctul 14) se aplică o tensiune nouă de încercare, având mărimea egală cu tensiunea de ieșire a blocului de divizare. Această tensiune poate fi tensiunea de ieșire a transformatorului de verificat. După indicațiile aparatului de comparație se determină eroarea blocului de divizare în raport cu cel de-al doilea divizor de joasă tensiune. În acest caz pot fi unele anumite rectificări pentru coeficientul de divizare  $K_1$  pentru modul  $\Delta f_0$  și pentru fază  $\Delta \delta_0$ . De asemenea poate fi executată etalonarea coeficientului de divizare  $K_1$  în scopul stabilirii egalității  $K_1=K_3$  de modul și  $\varphi_1=\varphi_3$  de fază. În acest caz blocul de divizare va deveni divizorul etalon, care formează tensiunea etalon pentru aparatul de comparație. În felul acesta, la verificarea transformatorului indicațiile aparatului de comparație 12 în conformitate cu relațiile (4) și (5) vor determina în totalitate eroarea transformatorului verificat de modul și de fază.

- Pentru extinderea gamei de frecvențe a încercărilor în calitate de sursă a tensiunii de încercare poate fi utilizat un generator de tensiune alternativă relativ joasă (până la 100 V) și execută verificarea și etalonarea, după cum s-a menționat anterior.

Avantajul acestui procedeu de verificare a transformatoarelor este sporirea preciziei de verificare, posibilitatea verificării transformatoarelor cu tensiunea de regim diferită de tensiunea de regim a divizorului etalon de înaltă tensiune – blocului de divizare, sau cu coeficientul de divizare diferit de coeficientul de divizare al divizorului etalon de înaltă tensiune, precum și posibilitatea extinderii gamei de frecvențe cu ajutorul verificării și etalonării blocului de divizare la tensiune scăzută.

Avantajul instalației pentru verificarea transformatoarelor se reduce la un număr considerabil mai mic de elemente componente, o masă cu mult mai mică a blocului de divizare (divizorului de înaltă tensiune) rezistiv în raport cu transformatoarele etalon, posibilitatea utilizării aceleiași instalații pentru verificarea transformatoarelor la diferite tensiuni de regim, posibilitatea executării verificării și etalonării autonome a elementelor componente ale instalației și posibilitatea efectuării etalonării de divizare (divizorului de înaltă tensiune) pentru utilizarea tensiunii secundare a transformatorului verificat.

Procedeu indicat a fost realizat în calitate de model experimental al instalației pentru verificarea metrologică a transformatorului la tensiunea de 35 și 110  $\sqrt{3}$  kV. În special, model experimental al blocului de divizare pentru tensiunea de 35 kV cu coeficientul de divizare etalon  $k'350$  consta din brațul de înaltă tensiune 5 cu rezistența 100 M $\Omega$  (pentru rezistoare de înaltă tensiune fiecare câte 25 M $\Omega$  legate în serie), din două divizoare de tensiune nereactive identice, brațele 6 și 8 sunt formate din rezistoare cu rezistență reglabilă fiecare câte 285714 $\Omega$ , brațele 7 și 9 sunt formate din rezistoare cu rezistență reglabilă fiecare câte 821,01 $\Omega$ . În calitate de aparat de comparație a fost utilizat un convertor analogic-numeric de ordinul 14 cu două canale, reglarea erorii coeficientului de divizare al blocului de divizare realizează prin reglarea rezistenței brațelor 6 și 7, precum și prin reglarea reacției brațului 5.

Încercările instalației au demonstrat, că cu ajutorul acestui procedeu se poate realiza verificarea metrologică a transformatoarelor de înaltă tensiune cu o eroare de cel mult 0,05% în tensiune și min. 3 în faza.

Noi vă explicăm materialele corectate pe adresa Dv., prin anexă la scrisoare.

În caz de necesitate, vă putem prezenta fișierele materialelor.