

## LUCRAREA NR. 10

# VERIFICAREA TRANSFORMATOARELOR DE MĂSURĂ DE TENSIUNE

### 10.1. Generalități

Transformatoarele de măsură de tensiune sunt utilizate în instalațiile de curent alternativ de medie (6÷35 kV) și înaltă tensiune (110÷750 kV) și mai rar în instalațiile de joasă tensiune. Ele primesc la bornele primare tensiunea rețelei (de fază sau de line) și dau la bornele secundare o tensiune redusă, proporțională cu cea aplicată la bornele primare. Tensiunea secundară se aplică la înfășurările de tensiune ale aparatelor de măsură precum și la înfășurările de tensiune ale releelor de protecție. În figurile 10.1 și 10.2 se dau două scheme tip pentru transformatoare de tensiune, un transformator de tensiune inductiv și un transformator de tensiune capacitiv.

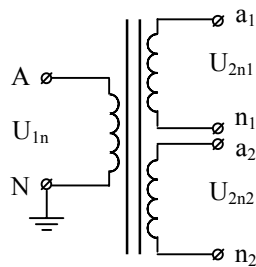


Fig. 10.1: Transformator de tensiune inductiv.

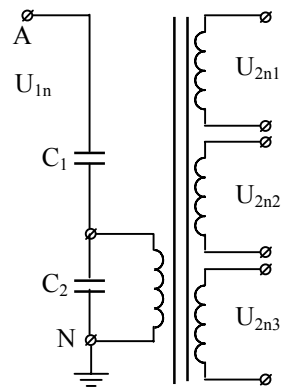


Fig. 10.2: Transformator de tensiune capacitiv.

#### 10.1.1. Clasificarea transformatoarelor de tensiune

1. Din punct de vedere al izolării sau nu față de pământ avem:
  - transformatoare de tensiune nepuse la pământ – la care toate părțile înfășurării primare sunt izolate față de pământ, la un nivel corespunzător izolației nominale;
  - transformatoare de tensiune legate la pământ - la care una din extremitățile înfășurării primare este legată la pământ; acestea mai sunt numite și transformatoare cu izolație degresivă.
2. După principiul de funcționare :
  - transformatoare de tensiune electromagnetice - care utilizează principiul transformării parametrilor semnalului electric pe cale electromagnetică, având în componență înfășurări pe miez feromagnetic;
  - transformatoare de tensiune capacitive - care utilizează divizoare capacitive.
3. După natura izolației utilizate:
  - transformatoare cu izolație în aer;
  - transformatoare cu izolație în ulei;
  - transformatoare cu izolație în rășină;
4. După numărul de poli:
  - transformatoare monofazate - cu înfășurarea primara legată între o fază și pământ;

- transformatoare bipolare - cu înfășurarea primară legată între două faze;
5. După numărul de înfășurări secundare:
- cu o înfășurare secundară (de măsură);
  - cu mai multe înfășurări secundare (măsură și protecție);

### 10.1.2. Parametrii nominali ai transformatoarelor de tensiune

1.  $U_{1n}$  - tensiunea nominală primară, în kV, având o valoare standardizată (valori uzuale: 0,4; 6; 10; 20; 110/1,73; 220/1,73; 400/1,73;
2.  $U_{2n}$  - tensiunea secundară nominală, în V, având valorile:
  - 100 sau 100/1,73 pentru înfășurarea secundară auxiliară;
  - 100/3 sau 100, pentru înfășurarea secundară;
3.  $k_n$  - raportul de transformare nominal:  $k_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$ ;
4.  $S_{2n}$  - puterea secundară nominală, în VA:  $S_{2n} = \frac{U_{2n}}{Z_{sn}}$ ,

unde  $Z_{sn}$  este impedanța contactată în secundar;  $S_{2n} = 10 \div 1000$  VA

5.  $S_{2max}$  - puterea secundară maximă, în VA - reprezintă puterea secundară la factor de putere 0,8;  $U_1 = U_{max}$  (tensiunea maximă între faze), la care încălzirea transformatorului nu depășește limitele admisibile, iar eroarea de tensiune nu depășește 10%. Se stabilește numai pentru înfășurările secundare de măsură;
6.  $\epsilon_u$  - eroarea de tensiune:  $\epsilon_u = \frac{k_n (U_2 - U_1)}{U_1} \cdot 100 [\%]$ ;
7.  $\delta_u$  - eroarea de unghi [min.] – reprezintă defazajul dintre tensiunea primară și opusă tensiunii secundare; valori uzuale de 5÷40 min. la înfășurările de măsură și de 120÷240 min. la cele de protecție;
8.  $c$  – clasa de precizie – reprezintă eroarea maximă admisă, în procente, în condiții prescrise ( $S_2 \leq S_{2n}$ , factoru putere 0,8;  $U_1 = U_{1n}$ ); valori uzuale: 0,1; 0,2; 0,5; 1,3; 3p; 6p (p-înfășurare de protecție);
9. numărul de înfășurări secundare - 1, 2, 3 sau 4;

## 10.2. Încercarea și verificarea transformatoarelor de tensiune

### 10.2.1. Încercarea uleiului din cuvă

Se execută numai la transformatoarele inductive de 110÷400 kV. La cele de tensiuni mai mici proba este facultativă.

Se recomandă ca transformatorul să fie în stare caldă.

Principalele încercări sunt verificarea rigidității dielectrice și a unghiului de pierderi, lista completă a încercărilor este data în normativul PE 116/84. Valorile limită a rigidității dielectrice în kV/cm sunt date în tabelul 10.1.:

Tabelul 10.1.

Valorile limită a rigidității dielectrice [kV/cm]				
Cond. de măsurare	Tensiunea	6÷35 kV	60÷110 kV	220÷400 kV
		Ulei nou	200	220
După umplere		180	200	200
La PIF		140	160	180
În exploatare		120	140	160

Valorile limită pentru tangenta unghiului de pierderi, la 90 °C sunt date în tabelul 10.2.:

Tabelul 10.2.

Valorile limită pentru tangenta unghiului de pierderi [min]				
Cond. de măsurare \ Tensiunea	6÷35 kV	60÷110 kV	220÷400 kV	
Ulei nou	0,005	0,005	0,005	
După umplere	0,03	0,025	0,02	
La PIF	0,035	0,035	0,025	
În exploatare	0,15	0,1	0,1	

### 10.2.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor

Se execută cu megohmetrul de 2500 V la temperaturi ale mediului cuprinse între 10÷30°C.

Se verifică rezistența izolației,  $R_{iz}$ , între fiecare înfășurare și masă precum și între înfășurări luate câte două.

Rezultatele măsurărilor se compară cu cele de la PIF și trebuie să nu fie mai mici decât:

- 50% la  $U_n \leq 110$  kV;
- 70% la  $U_n > 110$  kV;

Dacă nu se cunosc datele de la PIF atunci:

- $R_{iz} > 2000$  M $\Omega$  pentru înfășurarea de IT;
- $R_{iz} > 50$  M $\Omega$  pentru înfășurările de JT;

### 10.2.3. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice la izolația principală

Se execută cu puntea Shering la transformatoarele de 110 kV inductive. Rezultatele se compară cu cele de referință față de care se admite o dublare a valorilor. Când datele de referință lipsesc se pot lua următoarele valori (TEMU-110 kV, la tensiunea de încercare 10 kV):

- PIF – 0,018;
- exploatare – 0,03.

### 10.2.4. Încercarea izolației înfășurărilor secundare cu tensiune alternativă mărită

Se execută timp de 1 min. cu 2 kV, succesiv între fiecare înfășurare secundară și celelalte legate la masă.

În timpul încercării nu trebuie să apară străpungeri sau conturnări.

### 10.2.5. Încercarea izolației înfășurărilor primare cu tensiune alternativă mărită

Valorile tensiunilor de încercare sunt date în tabelul 10.3:

Tabelul 10.3.

Tensiunea de încercare $U_{inc}$ funcție de tensiunea nominală $U_n$										
$U_n$ [kV]	0,5	6	10	15	20	35	60	110	220	400
$U_{inc}$ [kV]	2,5	19,8	25,2	34,2	45	54	126	207	414	610

Încercările se efectuează diferit după cum transformatorul are izolația plină (toate bornele primare izolate față de pământ), degresivă (o bornă a înfășurării primare la pământ) sau dacă transformatorul este capacitiv.

### 10.2.5.1. Transformatorul cu izolație plină

a) încercarea izolației exterioare se face aplicând tensiunea de încercare între bornele primare scurtcircuitate și cele secundare scurtcircuitate și legate la masă. Durata încercării este de 1 min;

b) încercarea izolației între spire se face fie aplicând direct tensiunea de încercare înfășurării primare fie aplicând înfășurării secundare o tensiune care să inducă în înfășurarea primară tensiunea de încercare prevăzută. În timpul încercării o bornă a înfășurării primare și câte o bornă a înfășurării secundare se leagă la pământ. Frecvența tensiunii de încercare trebuie mărită la 100÷200 Hz pentru a evita creșterea curentului de mers în gol, iar durata de încercare se determina cu relația:

$$t_i = 60 \cdot \frac{2f_n}{f_i} [s]$$

în care  $f_n = 50$  Hz, iar  $f_i = (100\div 200)$  Hz.

### 10.2.5.2. Transformatorul cu izolație degresivă

a) încercarea izolației exterioare și a celei între spire se face ca la punctul.b) de mai sus;

b) dacă înfășurarea primară este prevăzută cu bornă de legare la pământ accesibilă, verificarea izolației acesteia se face aplicându-i timp de un minut o tensiune de 2 kV după ce în prealabil a fost desfăcută legătura de la pământ;

### 10.2.5.3. Transformatorul de tensiune capacitiv

a) încercarea pe elemente componente. Se încearcă partea capacitivă timp de un minut cu tensiunea de încercare din tabelul 10.3. Partea inductivă se încearcă cu tensiune de frecvență mărită de 45 kV;

b) încercarea per ansamblu se face ca la transformatoarele cu izolație degresivă;

**OBS:** La toate încercările de mai sus nu este permis să apară străpungeri, conturnări sau zgomote neobișnuite în interiorul transformatorului.

### 10.2.6. Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor

Se face la transformatoarele inductive (sau la partea inductivă a celor capacitive), pentru fiecare înfășurare în parte, cu puntea Wheatstone sau cu metoda V–A .Rezultatul măsurării nu trebuie să difere cu 2% față de valoarea de referință.

### 10.2.7. Verificarea polarității înfășurării

Verificarea se face în curent continuu pe baza legii inducției electromagnetice. Polaritatea trebuie să corespundă cu notația bornelor.

### 10.2.8. Verificarea raportului de transformare

Se face la tensiunea nominală (eventual și la  $0,8 \cdot U_n$  și  $1,2 \cdot U_n$ ) utilizând aparate de măsură și transformatoare etalon de clasa 0,5 sau 0,2 .Verificarea se face pentru toate înfășurările secundare. Rezultatele se compară cu clasa de precizie înscrisă pe eticheta transformatorului.

### 10.2.9. Determinarea erorilor de unghi

Verificarea se face utilizând metode de compensare sau metode diferențiale. Erorile tolerate sunt date în tabelul 10.4:

Tabelul 10.4.

<b>Erorile tolerate pentru transformatoarele de tensiune</b>		
Clasa de precizie	Eroarea de tensiune [%]	Eroarea de unghi [min.]
0,1	0,1	0,5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1,0	1,0	40
3,0	3,0	–

în condițiile:  $U_1=(0,8\div 1,2)\cdot U_n$ , 50 Hz,  $S_2 = (0,25\div 1)\cdot S_n$ , factor de putere 0,8.

### 10.2.10. Ridicarea caracteristicii de mers în gol

Se execută la transformatoarele inductive, pentru fiecare înfășurare secundară prin alimentarea lor cu o tensiune de pana la  $1,3\cdot U_n$ , cu celelalte înfășurări în gol.

Curentul de mers în gol la tensiunea nominală nu trebuie să depășească valoarea de referință.

### 10.2.11. Măsurarea sarcinii secundare

Măsurarea se execută după montajul definitiv al aparatelor alimentate din secundar. Sarcina măsurată nu trebuie să depășească sarcina nominală secundara. Măsurarea se face prin alimentarea circuitelor secundare trifazate de la un transformator de încercare  $3\times 380\text{ V}/3\times 100\text{ V}$ , măsurând curentul și tensiunea pe fiecare fază.

$$S_{\text{fază}} = U_{\text{fază}} \cdot I_{\text{fază}} \text{ [VA]}$$

## 10.3. Programul lucrării

În laborator se vor executa încercări utilizând două transformatoare tip TIRMo –10 kV cu următoarele caracteristici:

- $U_{1n} = 10/1,73\text{ kV}$ ;
- $U_{2n} = 100/1,73 / 100/3\text{ V}$ ;
- clasa de precizie 0,5/6P;
- $S_{2n} = 30/60\text{ VA}$ ;

Se vor efectua următoarele încercări:

### 10.3.1. Încercarea înfășurărilor secundare cu tensiune alternativă mărită

Se realizează schema din figura 10.3 utilizând unul din transformatoare drept transformator etalon iar celalalt transformator de verificat.

Pentru a obține 2 kV se aplică la secundarul de măsură al transformatorului de etalon 20 V. Încercarea se face în condițiile precizate la punctul 10.2.4.

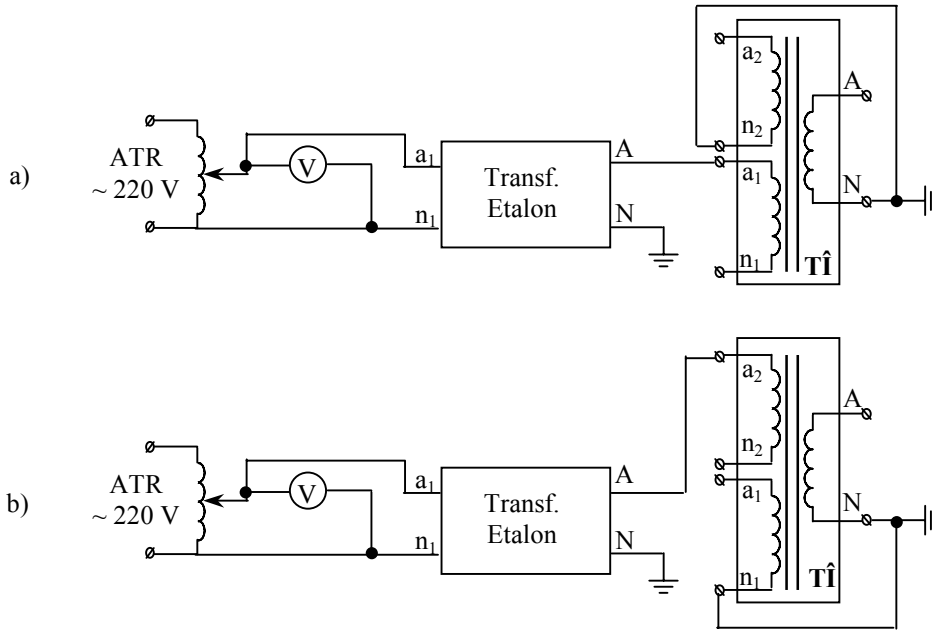


Fig. 10.3: Încercarea înfășurării secundare.

### 10.3.2. Măsurarea rezistențelor ohmice ale înfășurărilor

Se realizează schema din figura 10.4, utilizând ca mA sau A un MAVO-35. Pentru măsurarea rezistenței înfășurării primare se va aplica o tensiune de 10 Vcc, iar pentru cele secundare 1,5 Vcc. Se măsoară curentul absorbit și se calculează rezistența înfășurării.

Se consideră ca valori de referință:

$$R_p = 5,4 \text{ k}\Omega$$

$$R_{s1} = 0,4 \text{ k}\Omega$$

$$R_{s2} = 0,63 \text{ k}\Omega$$

Se va face verificarea prevăzută la punctul 10.2.6.

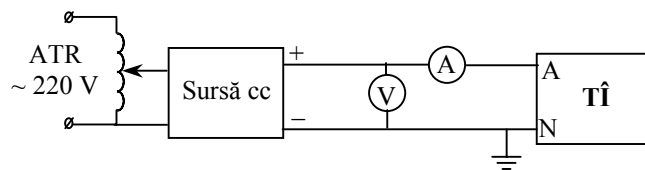


Fig. 10.4: Măsurarea rezistențelor ohmice ale înfășurărilor transformatorului.

### 10.3.3. Verificarea polarității înfășurării transformatorului

Se realizează schema din figura 10.5 utilizând ca mV un MAVO-35. Se reglează tensiunea sursei de c.c. la 5 V și se face conectarea urmărind sensul deviației acului mV. Pentru fiecare înfășurare notarea bornelor este bună dacă la conectare, acului mV deviază mai întâi spre dreapta și apoi revine la 0, iar la deconectare sensul este invers.

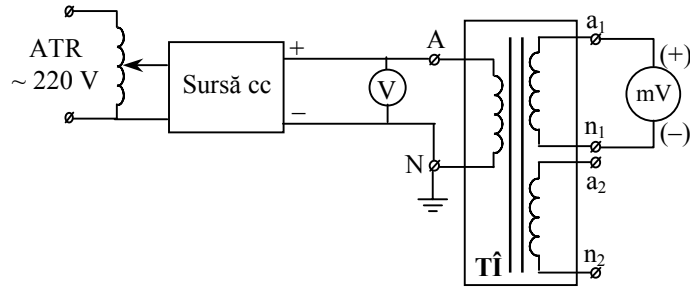


Fig. 10.5: Montaj pentru verificarea polarității înfășurărilor.

### 10.3.4. Verificarea raportului de transformare

Se realizează schema din figura 10.6a, utilizând unul din transformatoare ca transformator etalon și celălalt ca transformator de verificat. Verificarea se face pentru tensiunea primară de  $8.000/\sqrt{3}$ ,  $10.000/\sqrt{3}$  și  $12.000/\sqrt{3}$ , reglându-se tensiunea autotransformatorului la  $80/\sqrt{3}$ ,  $100/\sqrt{3}$ , respectiv la  $120/\sqrt{3}$  V. Se măsoară în fiecare caz tensiunile secundare și se calculează valoarea erorii de tensiune pentru fiecare înfășurare verificându-se încadrarea acestuia în limitele admise de clasa de precizie.

Pentru a se evita folosirea tensiunii primare de valoare mare, verificarea raportului de transformare se poate face și cu montajul din figura 10.6b, în care în loc de transformatorul etalon se folosește autotransformatorul ATR-8, aplicându-se înfășurării primare o tensiune redusă (maxim 220 V). În secundar, tensiunea de va măsura cu un milivoltmetru.

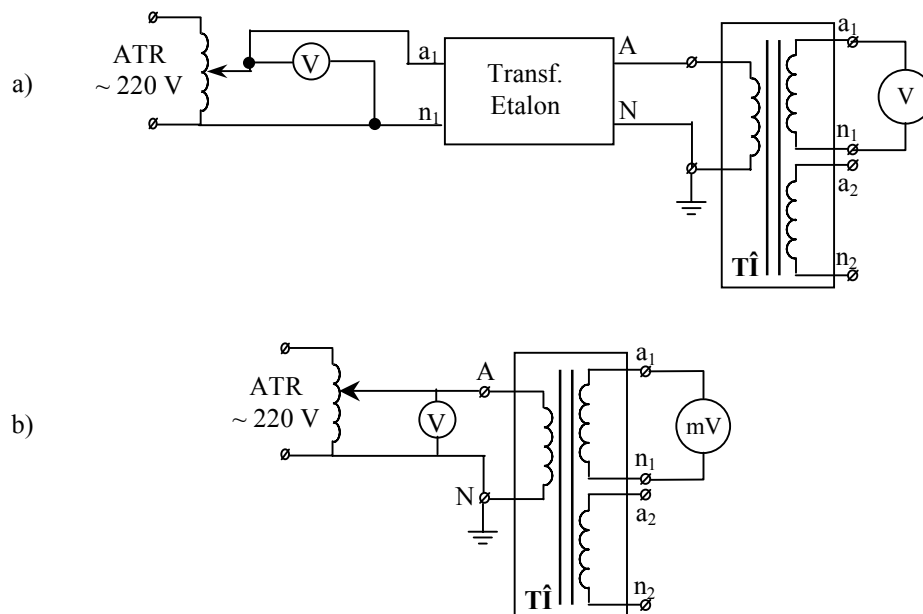
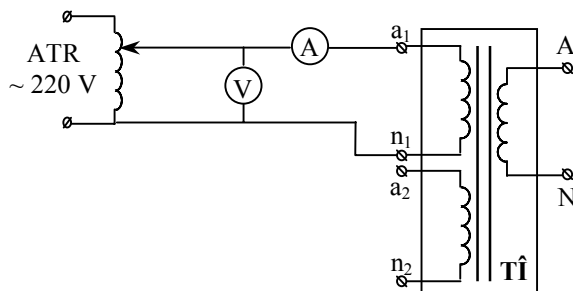


Fig. 10.6: Montaj pentru verificarea raportului de transformare; a- verificarea la tensiune nominală, b- verificarea cu tensiune redusă.

### 10.3.5. Ridicarea caracteristicii de mers în gol

Se realizează montajul din figura 10.7, utilizând voltmetrul de 150 V și un MAVO-35 ca mA. Se crește tensiunea din 5 în 5 V și se măsoară de fiecare dată curentul absorbit. Tensiunea se crește pentru fiecare înfășurare până la  $1,3 \cdot U_n$ .

Pentru înfășurarea de 100/1,73 V se consideră ca valoare de referință la 57,7 V curentul de 260 mA.



**Fig. 10.7:** Montaj pentru ridicarea caracteristicii de mers în gol.

Rezultatele experimentale se trec în tabelul 10.5, și se va trasa pe hârtie milimetrică graficul caracteristicii de mers în gol.

*Tabelul 10.5.*

Caracteristica de mers în gol										
U [V]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
I [A]										

La sfârșitul lucrării se vor trage concluzii cu privire la rezultatul verificării transformatorului de tensiune.

**AVÂND ÎN VEDRE CĂ SE LUCREAZĂ CU TENSIUNE MĂRITĂ SE VA ASIGURA LEGAREA LA PĂMÂNT A CARCASELOR METALICE DE PROTECȚIE ATUNCI CÂND SE LUCREAZĂ CU ÎNALTĂ TENSIUNE.**

#### 10.4. Conținutul referatului

- 1) Schemele electrice ale montajelor utilizate pentru încercări;
- 2) Tabelul de date 10.1, completat;
- 3) Observații și concluzii privind studiul întrerupătoarelor de medie tensiune cu ulei puțin.

#### 10.5. Bibliografie

- /1/ Gheorghiu Ioan, Popa Sorin Eugen, Puiu-Berizintu Mihai, "Echipamente electrice pentru centrale, stații și posturi de transformare", Ed. Tehnica-Info Chișinău, 2003.