

## **LUCRAREA A20**

### **VERIFICAREA STABILITĂȚII DIELECTRICE A APARATELOR DE COMUTAȚIE DE ÎNALTĂ TENSIUNE**

#### **1. Tematica lucrării**

- 1.1. Verificarea stabilității dielectrice a izolației la frecvență industrială;
- 1.2. Verificarea stabilității dielectrice a izolației la unde de impuls de tensiune normalizate;
- 1.3. Verificarea stabilității dielectrice a izolației la tensiune continuă.

#### **2. Schemele electrice de încercare sunt următoarele:**

Fig. 1.1. pentru încercarea la frecvență industrială;

Fig. 1.2. pentru încercarea la unde de impuls de tensiune;

Fig. 1.3. pentru încercarea la tensiune continuă.

#### **3. Modul de lucru**

Aparatele electrice de înaltă tensiune se încearcă conform specificațiilor din normele de aparate (SR EN 60060), respectând valorile specificate în SR CEI 60071 privind coordonarea izolației și procedând conform SR EN 60060 intitulat "Încercarea echipamentului electric de înaltă tensiune".

Principalele tipuri de încercări sunt cele indicate în tematica lucrării prezentate, dar se execută și alte verificări ale izolației, cum este verificarea nivelului descărcărilor parțiale, ș.a..

Prin efectuarea acestor încercări se urmărește a se determina limita nivelului de ținere a izolației echipamentelor electrice, precum și de a verifica izolația conform cerințelor de coordonare a acesteia, (aceasta efectuându-se asupra tuturor echipamentelor construite și ca încercare individuală).

Forma tensiunilor aplicate simulează diverse supratensiuni care apar în exploatare și care solicită izolația mai mult decât tensiunea nominală.

În timpul efectuării încercărilor, obiectele învecinate cu obiectul de încercat trebuie să nu fie mai apropiate decât  $1,5 \cdot s$ , unde "s" este distanța de conturare externă între electrozii obiectului de încercat.

Încercările se efectuează în stare uscată sau sub ploaie artificială. De asemenea se pot face încercări sub ceață, gheață, mediu poluat, mediu tropical, etc. Aceste încercări speciale se efectuează conform normelor de produs.

Ploaia artificială se realizează cu apă, având conductivitatea electrică controlată, care se pulverizează prin duze de formă specificată.

Condițiile atmosferice normale sunt:

- temperatura mediului ambiant:  $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  ;
- presiunea atmosferică:  $p = 1013 \text{ mbar}$ ;
- umiditate absolută:  $h_0 = 11 \text{ gr/m}^3$ .

**Notă:** *Presiunea de 1013 mbar este echivalentă cu presiunea de 760 mm Hg la  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ .*

Dacă înălțimea coloanei barometrice este H [mmHg] iar temperatura este de  $\theta \text{ }^\circ\text{C}$ , presiunea în mbar corectată se calculează cu relația:

$$p = \frac{1013 \cdot H}{760} \cdot \left(1 - 1.8 \cdot 10^{-4} \cdot \theta\right) \text{ [mbar]}$$

Umiditatea se poate măsura prin diferite metode cu diverse aparate. Un procedeu simplu este utilizarea diagramei din fig.4. și indicațiile a două termometre: unul cu rezervor uscat, altul cu rezervor înconjurat cu o pânză groasă de bumbac umezită dintr-un vas cu apă (aerul este suflat cu 2 m/s).

Tensiunea disruptivă măsurată în condițiile încercării  $U(\theta, p, h)$  se raportează la condițiile normale standard, aplicând corecții:

$$U_0(\theta_0, p_0, h_0) = U(\theta, p, h)$$

în care:  $\theta$  - temperatura în timpul încercării;

$p$  - presiunea atmosferică în timpul încercării;

$h$  - umiditatea în timpul încercării 0,289 - factor de corecție referitor la densitatea aerului calculat conform SR EN 60060;

$k_h$  - factor de corecție referitor la umiditate, cu ajutorul căruia se calculează factorul de corecție al umidității  $k_h$  (vezi SR EN 60060) .

Dacă  $p$  se exprimă în mbar și  $\theta$  în °C, se obține față de 20°C

$$p = 0,289 \cdot \frac{H}{273 + \theta} \text{ [mbar]}.$$

Factorul de corecție  $k_h$  se ia din diagrama din figura 5.

Prin **descărcarea disruptivă** se înțelege ansamblul de fenomene care au loc la ruperea (distrugerea) izolației sub efectul câmpului electric comportând un traseu ce leagă electrozii terminali ai obiectului de încercat, reducând diferența de tensiune la zero, sau la o valoare apropiată de zero și producând trecerea unui curent.

**Conturnarea** este o descărcare disruptivă care are loc de-a lungul unui dielectric solid plasat într-un dielectric gazos sau lichid (descărcare pe suprafața izolantului).

**Scânteierea** este o descărcare disruptivă care se produce între electrozi aflați într-un dielectric gazos sau lichid, pierderea rigidității dielectrice putând să fie temporară (izolație autoregenerativă).

**Străpungerea** este o descărcare disruptivă care se produce, într-un dielectric solid, conducând la pierderea permanentă a rigidității dielectrice a izolantului (izolație neautoregenerativă).

**Amorsarea** este fenomenul tranzitoriu al stabilirii unei descărcări disruptive.

**Probabilitatea de descărcare disruptivă** este probabilitatea ca la aplicarea unei tensiuni de o anumită valoare să se producă o descărcare disruptivă.

**Tensiunea disruptivă 50%** este tensiunea la care probabilitatea amorsării descărcărilor disruptive este de 50%.

În mod similar se poate defini **tensiunea disruptivă 100%** fiind cea mai mică valoare a tensiunii la care apar 100% amorsări.

### 3.1 Încercarea la tensiunea de frecvență industrială în stare uscată.

Ca sursă de încercare de înaltă tensiune la frecvență industrială se utilizează transformatoare în cascadă, ridicătoare de tensiune. Parametrii tensiunii sunt: frecvența, valoarea de vârf, valoarea eficace, forma undei de tensiune.

Condiții impuse tensiunii:

- frecvența va fi cuprinsă între 40 și 62 Hz, sau conform normei de produse (de exemplu, separatoarele se încearcă la o frecvență între 20 și 70 Hz, conform SR EN 60060).

- forma tensiunii este practic sinusoidală dacă raportul între valoarea de vârf și valoarea efectivă este  $\sqrt{2}$ , cu toleranță de +/-5%.

Schema circuitului de încercare este prezentată în fig. 1.

Pentru limitarea solicitărilor se introduce o rezistență de ordinul k $\Omega$ .

Pentru măsură se utilizează un divizor de tensiune și un voltmetru. Eroarea dispozitivului nu trebuie să depășească 3% la măsurarea amplitudinii sau valorii efective.

Tensiunea se aplică lent pornind de la valori mici astfel ca peste 75% din valoarea estimată finală, viteza de creștere nu trebuie să depășească 2% pe secundă, din această valoare, dacă viteza de creștere nu este automatizată.

Încercarea de ținere se face măbind tensiunea la valoarea prescrisă pentru obiectul de încercat și se menține timp de 1 minut, după care se scade lent.

Încercarea de descărcare disruptivă se face măbind tensiunea până apare o astfel de descărcare. Tensiunea atinsă în acel moment se va nota. Conturnarea se constată măsurând curentul de descărcare. Rezultatele se vor trece în tabelul 1.

**Tabelul 1:** Încercarea la frecvență industrială pe durata de 1 minut.

Obiectul de încercat	Tensiunea nominală		Tensiunea de încercare [kV]	OBSER- VAȚII
	SR EN 60060 [kV]	SR CEI 60071 [kV]		

### 3.2. Încercarea la undă de impuls de tensiune normalizată

În laboratoarele de încercări de înaltă tensiune se produc două tipuri de unde de impuls standard.

O undă de impuls (șoc) care modelează supratensiunile de origine atmosferică (externe), numită și undă de impuls "scurtă" și o undă de impuls care modelează supratensiunile de comutație (interne), numită și undă de impuls "lungă".

Prin supratensiuni de natură atmosferică se înțeleg supratensiunile care apar între fază și pământ, sau între faze, într-un anumit punct al rețelei și sunt generate de descărcări electrice atmosferice și a căror formă poate fi asimilată în ceea ce privește coordonarea izolației, cu cea a undei de impuls normalizate produsă în laborator, de regulă 1/50  $\mu$ s, 1,2/50  $\mu$ s, 1,5/50  $\mu$ s. În țara noastră s-a adoptat conform recomandărilor SR CEI 60071, unda 1,2/50  $\mu$ s. Aceste descărcări apar sub forma loviturilor directe de trăsnet asupra liniilor și stațiilor, deci și asupra aparatelor de comutație, descărcări în firul de gardă, descărcări în stâlpi, descărcări indirecte, reflexii ale undelor călătoare, ș.a.. Supratensiunile de acest tip sunt de obicei unidirecționale și de foarte scurtă durată numindu-se și supratensiuni externe.

Prin supratensiuni de comutație se înțeleg supratensiunile care apar între fază și pământ, sau între faze, într-un anumit punct al unei rețele, generate printr-o comutație sau un defect, și la care forma poate fi asimilată, în ceea ce privește coordonarea izolației, cu unda de impuls normalizată pentru supratensiuni de

comutație. Supratensiunile de acest tip sunt de obicei amortizate și de scurtă durată. În laboratoarele de încercări aceste supratensiuni sunt modelate prin unde de impuls lungi de regulă de tipul: 60/4000  $\mu\text{s}$ , 1700/800  $\mu\text{s}$  și 250/2500  $\mu\text{s}$ . În țara noastră s-a adoptat unda standard 250/2500  $\mu\text{s}$ .

Undele de impuls standard se caracterizează conform figurilor 6 a, b prin:

- a) polaritate;
- b) valoare de vârf sau valoare de vârf convențională;
- c) durata convențională a frontului  $T_1$ ;
- d) durata convențională a semiamplitudinii  $T_2$ ;
- e) durata convențională până la tăiere  $T_t$ ;
- f) durata convențională a căderii de tensiune în cursul tăierii.

Valoarea tensiunii de încercare este valoarea sa de vârf.

Toleranțe admise pentru parametrii tensiunii:

- la valoarea de vârf:  $\pm 3\%$  ;
- la durata frontului:  $\pm 30\%$  ;
- la durata semiamplitudinii:  $\pm 20\%$  .

Se admit mici oscilații ale tensiunii de impuls dacă în regiunea crestei ele nu depășesc 5% din valoarea de vârf. Pe partea ascendentă a frontului (sub 50% din valoarea de creastă) se pot admite oscilații cu o amplitudine de 10% din valoarea de vârf.

Tensiunea de impuls se produce cu un circuit (generatorul Marx) în care mai multe condensatoare se încarcă în paralel de la o sursă de curent continuu și se descarcă în serie într-un circuit care conține obiectul de încercat, așa cum rezultă din figura 2. Forma undei se ajustează cu rezistențele și condensatoarele din circuit, examinând oscilogramele ei. Măsurarea tensiunii se face cu un divizor de tensiune și un oscilograf. Valoarea de vârf mai poate fi măsurată și cu un eclator cu sfere (SR EN 60060) sau un voltmetru de vârf.

Tensiunea de impuls aplicată va fi de ambele polarități (negativă și pozitivă) și se aplică la obiectele nesusceptibile la degradare progresivă (aer, sticlă, porțelan, etc) astfel:

**a) Încercarea de ținere la impuls**

Se aplică 15 impulsuri de tensiune asupra obiectului de încercat, considerând rezultatul satisfăcător dacă numărul descărcărilor disruptive într-o izolație autoregeneratoare nu depășește doi.

**b) Încercarea la 100% amorsări**

Se aplică 5 impulsuri la valoarea de vârf prescrisă; dacă fiecare impuls provoacă o descărcare disruptivă, rezultatul este satisfăcător; dacă două sau mai multe impulsuri nu provoacă descărcări, se aplică încă 10 impulsuri și rezultatul este satisfăcător numai dacă toate provoacă descărcări disruptive.

Rezultatele încercărilor se trec în tabelul 2.

**Tabelul 2:** Încercarea la impuls de tensiune

Obiectul de încercat	Tensiunea nominală SR CEI 60071 [kV]	Tensiunea de încercare SR CEI 60071 [kV]	Tensiunea de ținere [kVmax]	Descărcarea disruptivă	
				Seria 1	Seria 2

**c) Caracteristica tensiune-timp (volt-secundă)**

O altă încercare care se face este aceea de a stabili caracteristica volt-secundă a obiectului de încercat. Această încercare poate fi efectuată în două variante; la durata constantă a frontului și amplitudine variabilă; la amplitudine constantă și durata frontului variabilă.

**Exemplu:** S-a determinat caracteristica volt-secundă folosindu-se ca obiect de încercat un izolator suport de 10 kV, menținându-se durata frontului constantă și variind amplitudinea așa cum rezultă din figura 7a. Ca undă de impuls s-a folosit unda lungă 250/2500  $\mu$ s, (pentru supratensiuni de comutație).

Rezultatele încercării s-au trecut în diagrama din fig. 7.b.

În figura 8.a, b, c, d, e, f sunt prezentate oscilogramele obținute după cum urmează:

În figura a, se prezintă oscilograma unei de impuls standard 250/2500  $\mu$ s (scara timpului 500  $\mu$ s/div).

În figura b, aceeași oscilogramă (scara timpului 100  $\mu$ s/div).

În figura c, încercarea izolatorului cu undă tăiată pe spate (timpul de tăiere 280 $\mu$ s).

În figura d, încercarea cu undă tăiată la 220  $\mu$ s.

În figura e, încercarea cu undă tăiată pe front la 120  $\mu$ s.

În figura f, încercarea cu undă tăiată pe front, la 60  $\mu$ s.

### **3.3. Încercarea la tensiune continuă**

Tensiunea continuă se caracterizează prin:

- a) polaritate;
- b) valoare medie aritmetică;
- c) valoare maximă;
- d) ondulație.

Ondulația este oscilația periodică suprapusă mediei aritmetice și are valoarea egală cu jumătatea diferenței dintre valoarea maximă și valoarea minimă a tensiunii. Factorul de ondulație este raportul între valoarea ondulației și media aritmetică a tensiunii și nu trebuie să depășească 5%.



Tensiunea se produce cu ajutorul redresoarelor prevăzute cu condensatoare de filtraj, așa cum rezultă din figura 3. Pentru măsurare se folosește un divizor de tensiune a cărui eroare nu trebuie să depășească 5%.

Tensiunea se aplică obiectului de încercat cu o valoare inițială redusă (chiar 0).

**a) Încercarea de ținere:**

Tensiunea se va mări la valoarea prescrisă de standard pentru obiectul de încercat, se va menține la valoarea respectivă timp de 1 minut (sau alt ciclu specificat) și se va reduce prin descărcarea condensatorului de filtrare, pe o rezistență aleasă corespunzător.

Rezultatul încercării este satisfăcător dacă nu se produce o descărcare disruptivă pe obiectul de încercat. Se va nota tensiunea atinsă în momentul descărcării disruptive. Rezultatele se vor trece în tabelul 3.

**b) Încercarea la descărcare disruptivă:**

Tensiunea de încercare se va mări pînă cînd se produce o descărcare disruptivă pe obiectul de încercat. Se va nota tensiunea în momentul descărcării.

Rezultatele se vor trece în tabelul 3.

**Tabelul 3:** Încercarea la tensiune continuă.

Obiectul încercat	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea de ținere [kV]	Tensiunea de descărcare disruptivă [kV]	Observații

**4. Întrebări**

1. Care sunt încercările prescrise de standarde pentru verificarea nivelului de izolație a aparatelor de comutație de înaltă tensiune ?
2. În ce constă utilitatea verificărilor la înaltă tensiune a izolației echipamentului electric?
3. Care sunt convertoarele utilizate la măsurarea tensiunilor înalte ?

4. Ce surse se utilizează în tehnica încercărilor de stabilitate dielectrică ?
5. Cum se execută încercarea la frecvență industrială ?
6. După ce principiu funcționează generatorul de impuls de tensiune (gen. Marx)?
7. Cum decurge încercarea la impuls de tensiune?
8. Care este importanța caracteristicii volt-secundă în coordonarea izolației?
9. Care sunt parametrii și formele undelor de impuls de tensiune normalizate?
10. Ce echipamente se încearcă la tensiune continuă?

## **5. Bibliografie**

1. Hortopan, G.: Aparate electrice de comutație, vol II, Editura tehnică, București 1996.
2. Hortopan, G.: Tehnica impulsului în laboratorul de înaltă tensiune. E.T. București 1966.
3. Trușcă, V.: Aparate electrice și TTI - Partea a II-a. Solicitățile dielectrice ale aparatelor de comutație, Ed. IPB 1978.
4. SR EN 60060: Încercarea echipamentului electric la înaltă tensiune.
5. SR EN 60060: Rețele electrice peste 1 kV. Coordonarea izolației. Nivele de izolație și protecție.
6. SR EN 60060: Întreruptoare pentru tensiuni alternative peste 1 kV. Metode de încercare a protecției.
7. SR EN 60060: Separatoare de curent alernativ pentru tensiuni de 1 kV și peste 1kV. Condiții generale.
8. SR EN 60060: Separatoare de sarcină de interior de înaltă tensiune. Condiții generale.
9. SR CEI - Publicația 60060. Încercări la înaltă tensiune.
10. SR CEI - Publicația 60071-1, Coordonarea izolației.
11. Hortopan, G., Hortopan V.: Șunturi și divizoare de tensiune. București, Ed. Tehnică 1978.

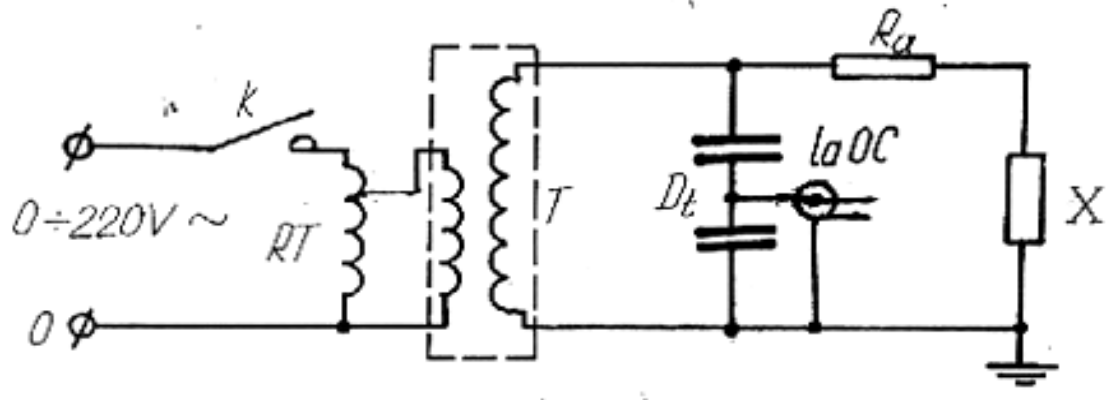


Fig.1. Schema de principiu 100 kV; 50 Hz.

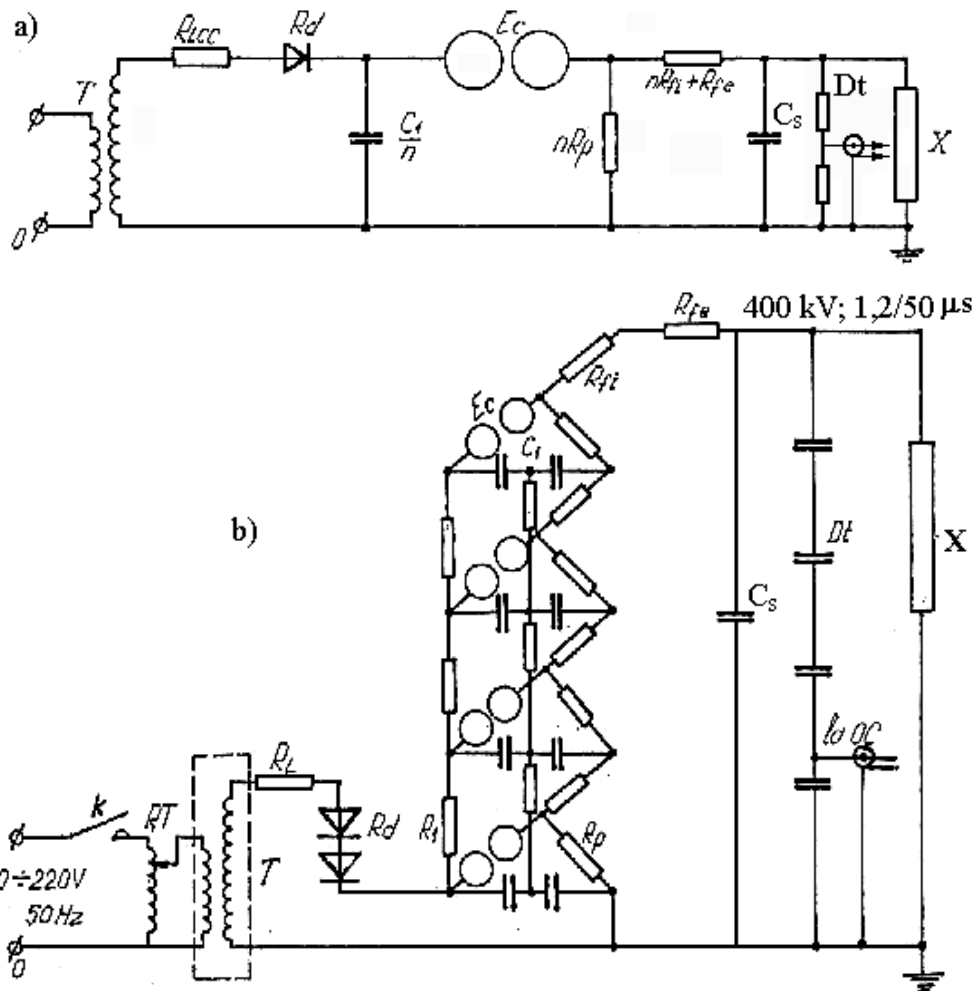


Fig.2. Generator de impuls de tensiune 400 kV; 5kJ.

a) schema de principiu; b) schema electrică cu module

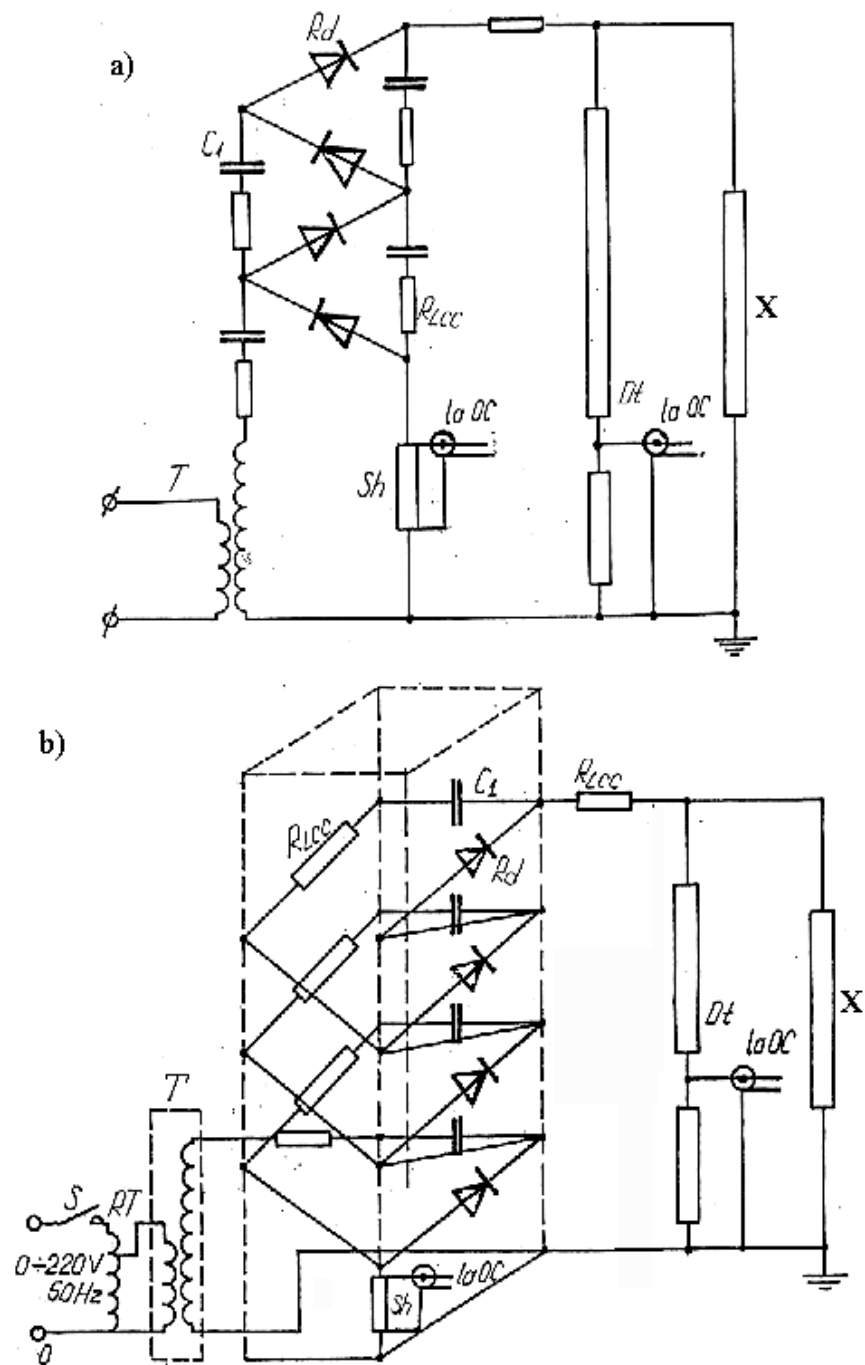


Fig.3. Schema electrică a instalației de încercare la tensiune continuă 200 kV.

a) schema de principiu; b) schema de montaj în cascadă

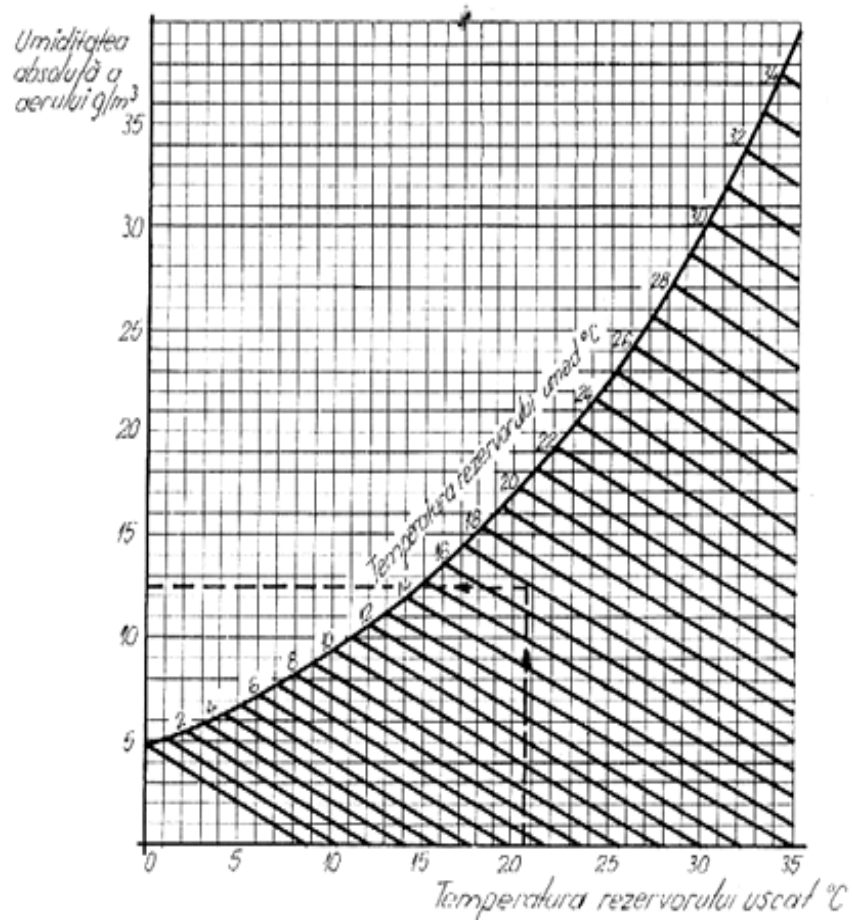


Fig.4. Umiditatea absolută a aerului în funcție de temperatura rezervorului uscat și umed.

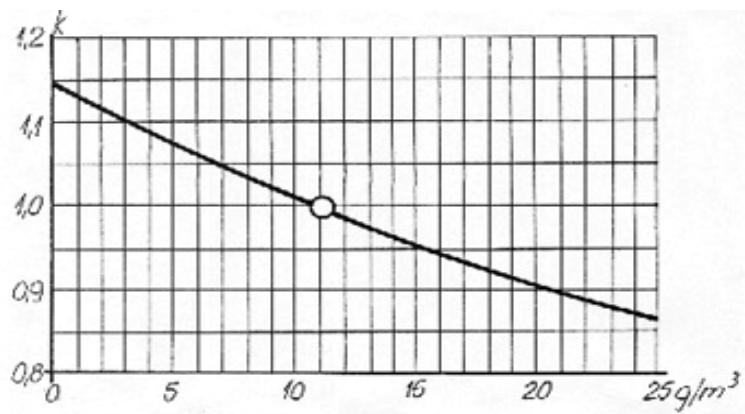


Fig. 5. Factorul de corecție al umidității  $k_h$ .

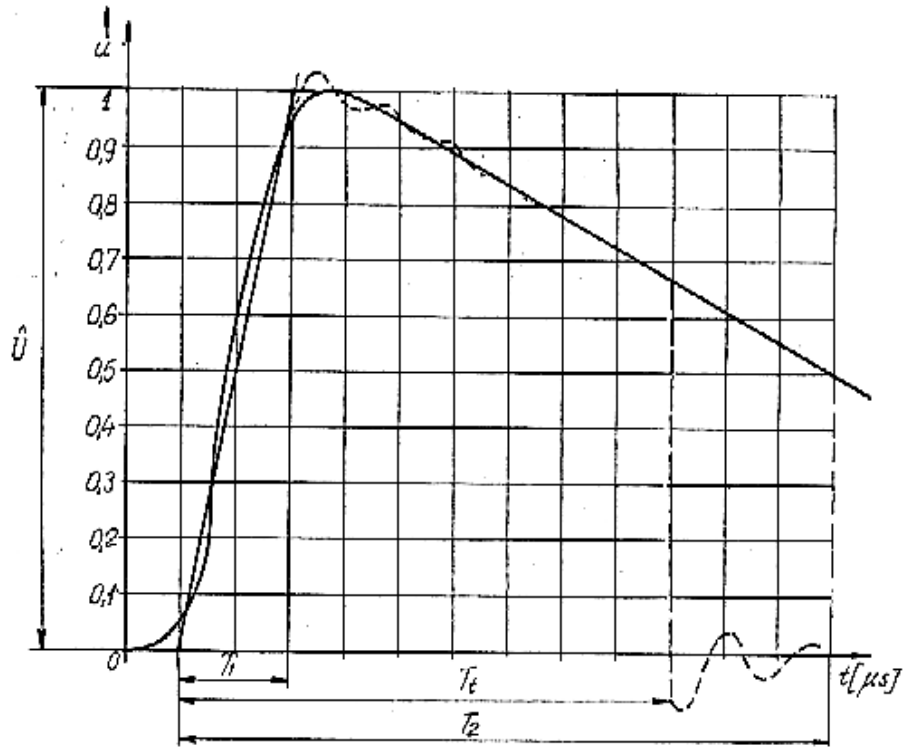


Fig.6a. Undă de impuls standard pentru supratensiuni atmosferice 1.2/50 $\mu s$

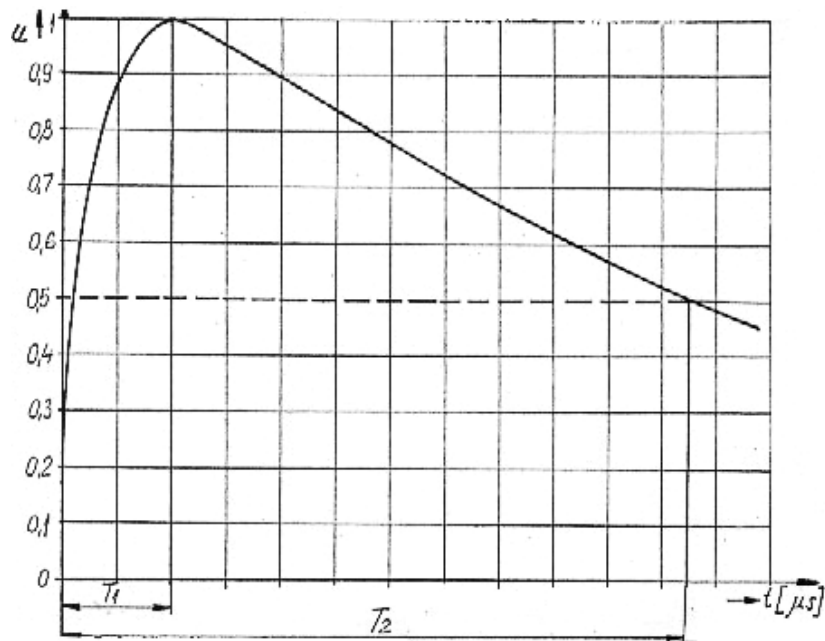


Fig.6.b Undă de impuls standard pentru supratensiuni de comutație; 250/2500  $\mu s$

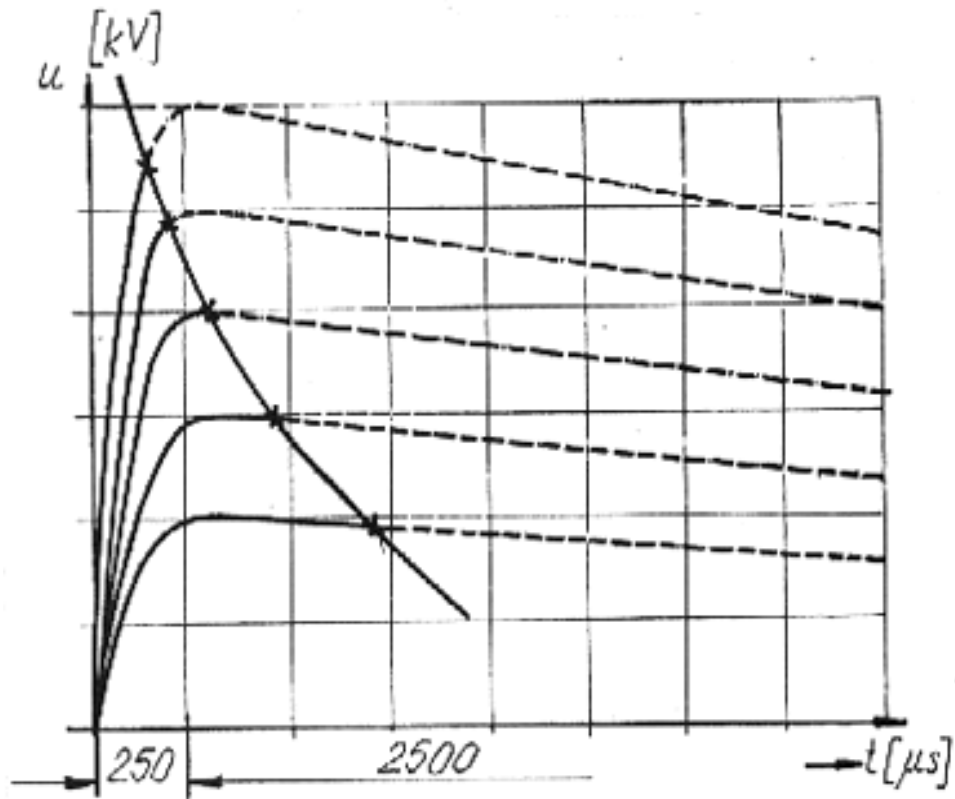


Fig. 7.a. Cu referire la caracteristica volt-secundă.

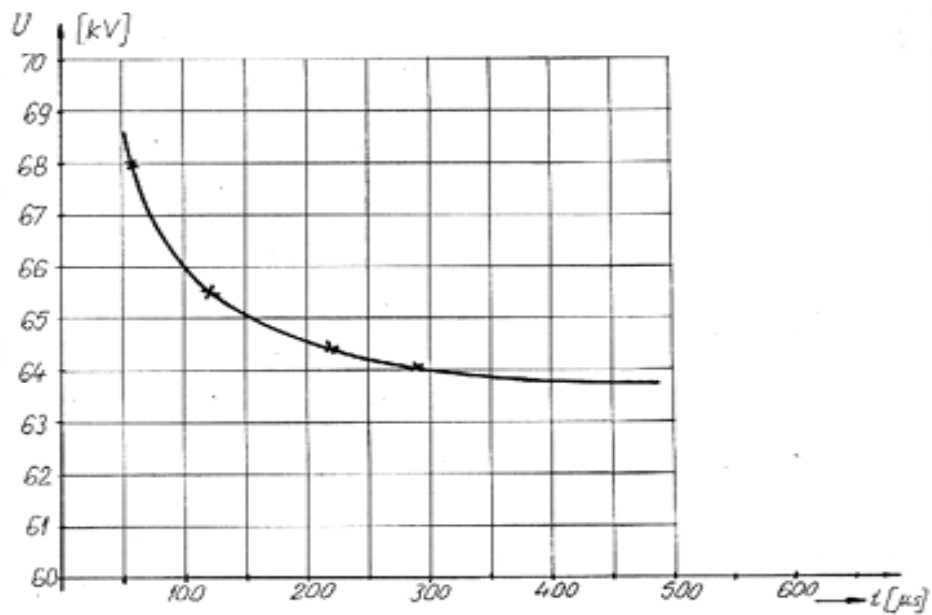
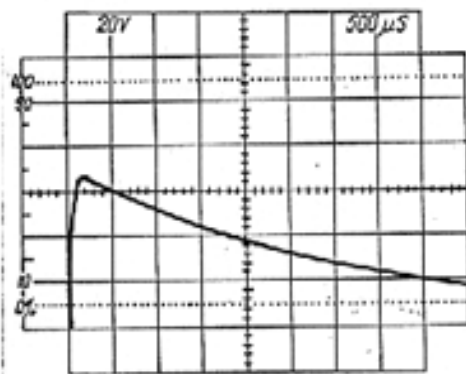
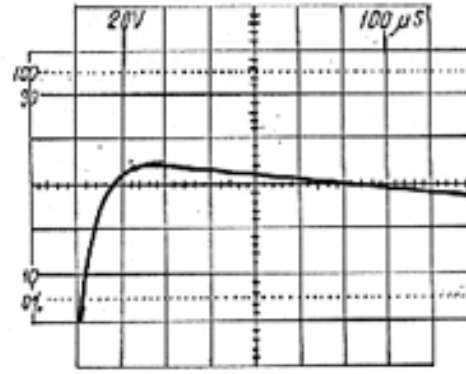


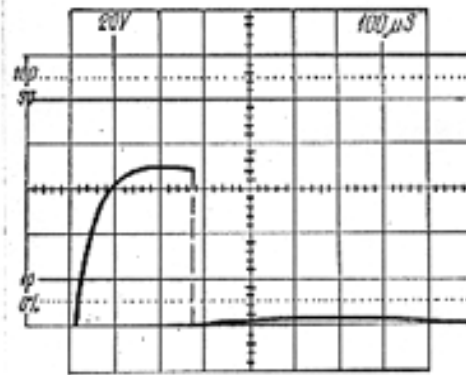
Fig.7.b. Caracteristica tensiune-timp (volt-secundă)  
pentru un izolator suport de 10kV.



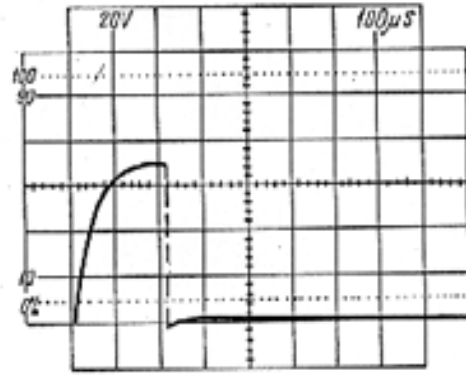
a)



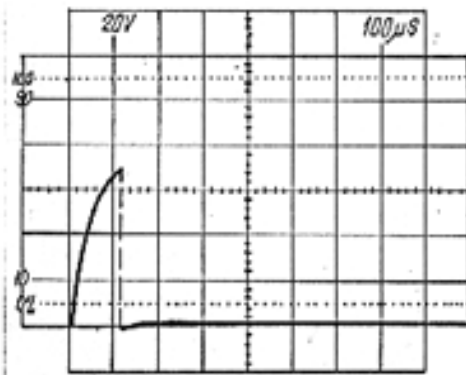
b)



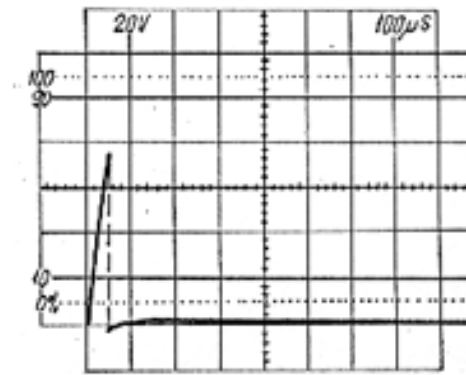
c)



d)



e)



f)

Fig.8. Încercare cu undă de impuls lungă 250 / 2500  $\mu$ s.