

Lucrarea 3 – GENERATORUL DE IMPULS DE TENSIUNE MONOETAJ

1. Noțiuni teoretice

1.1. Forma și parametrii impulsului de tensiune de trăsnet

Lucrarea are ca scop cunoașterea modului de producere, în laboratoarele de încercare, a tensiunilor înalte de impuls de trăsnet. Sunt vizate aspecte ce țin de construcția generatoarelor de impuls de tensiune de trăsnet monoetaj, folosirea acestora, precum și a modalităților de măsurare a acestui tip de tensiuni.

Studiul comportării construcțiilor electroizolante la acțiunea supratensiunilor provocate de descărcările de trăsnet necesită producerea în laborator a unei tensiuni a cărei formă să corespundă înregistrărilor obținute experimental, în timpul furtunilor cu astfel de descărcări. Forma acestor tensiuni este de impuls în general aperiodic, având inițial o creștere rapidă (front) până la valoarea de vârf, urmată de o descreștere mai lentă (spate), dar ale căror durate pot varia în limite relativ largi, după cum se poate observa și din reprezentarea din figura 1.

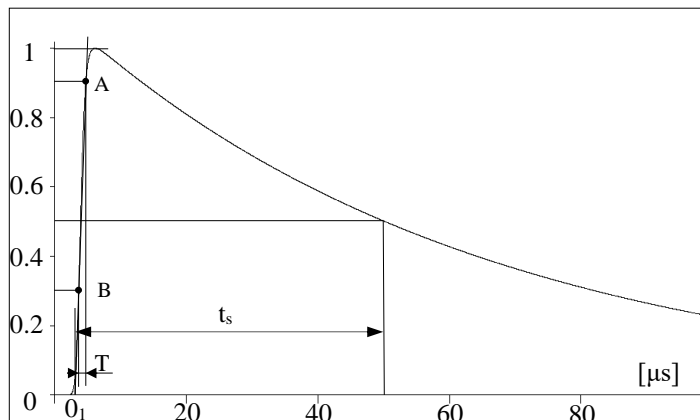


Fig. 1 – Măsurarea parametrilor impulsului de tensiune

În urma studiilor de laborator referitoare la comportarea izolației la astfel de solicitări, s-a ajuns la definirea unei forme standard de impuls de tensiune de trăsnet (ITT), caracterizată prin duratele convenționale ale frontului, $t_f = 1,2 \mu\text{s}$ și semi-amplitudinii, $t_s = 50 \mu\text{s}$.

Măsurarea duratelor frontului și semi-amplitudinii impulsului se realizează conform figurii 1, folosind o înregistrare oscilografică. Acest procedeu este standardizat și a fost ales astfel pentru a nu se folosi porțiunea inițială a impulsului, care poate fi denaturată de către sistemul de măsurare și înregistrare, dacă nu are un timp de răspuns suficient de mic. Durata convențională a frontului impulsului de tensiune, t_f , este durata egală cu de 1,67 ori intervalul de timp T , în care tensiunea crește între 30 și respectiv 90% din valoarea de vârf. Originea convențională, O_I , a unei de impuls este momentul precedent abscisei punctului A cu o durată egală cu $0,3 t_f$. Pentru oscilogramele cu baleiaj liniar, originea convențională este intersecția axei absciselor cu dreapta care trece prin punctele de referință A și B de pe frontul impulsului.

Durata convențională a semi-amplitudinii unei de impuls, t_s , este intervalul de timp cuprins între momentul care corespunde originii convenționale și momentul de pe spatele unde, în care tensiunea atinge valoarea de 50% din valoarea de vârf.

Impulsul de tensiune de trăsnet (ITT) este plin dacă nu este întrerupt printr-o descărcare disruptivă. Dacă impulsul aplicat unei izolații produce o descărcare electrică, tensiunea cade la zero în momentul descărcării, respectiv impulsul este tăiat. Tăierea poate surveni pe front, pe vârf, sau pe spatele impulsului.

1.2. Producerea tensiunilor de impuls de trăsnet

Pentru generarea unor unde de tensiune de forma arătată în figura 1, se folosesc generatoare de impuls de tensiune (GIT). Cea mai frecvent folosită schemă de principiu a unui asemenea generator are configurația din figura 2.

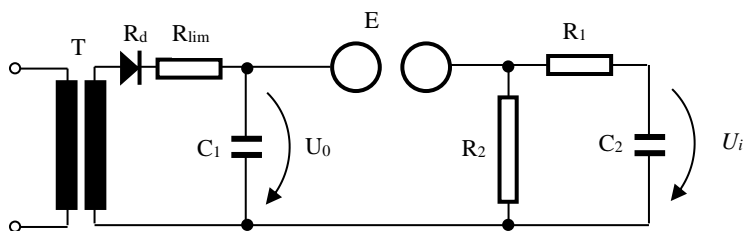


Fig. 2 – Schema de principiu pentru generarea impulsului de tensiune aperiodic

Modul de funcționare al generatorului este detaliat în continuare:

- condensatorul de impuls C_1 se încarcă de la o sursă de tensiune înaltă redresată, formată din transformatorul de alimentare T și redresorul R_d .
- atunci când tensiunea la bornele acestuia atinge valoarea U_0 , egală cu tensiunea de amorsare a eclatorului E , acesta amorsează și în continuare au loc următoarele procese:
 - ✓ încărcarea condensatorului de sarcină C_2 prin rezistența de front R_1 , ceea ce determină creșterea tensiunii la bornele condensatorului, respectiv formarea frontului undei;
 - ✓ descărcarea condensatoarelor C_1 și C_2 pe rezistența de spate R_2 , respectiv pe rezistențele de front și de spate, ceea ce determină scăderea tensiunii la bornele condensatorului C_2 , adică formarea spatelui impulsului.
- pe durata desfășurării celor două procese anterioare, contribuția transformatorului la încărcarea condensatoarelor este neglijabilă datorită rezistenței R_{lim} a cărei valoare trebuie să fie suficient de mare în acest scop. Astfel formarea impulsului are loc numai datorită energiei acumulate în condensatorul C_1 .

Tensiunea de impuls U_i de la bornele condensatorului de sarcină C_2 are o formă dublu exponențială, exprimată prin relația:

$$U_i(t) = \eta U_0 (e^{-t/T_1} - e^{-t/T_2}). \quad (1)$$

Parametrul adimensional η și constantele de timp T_1 și T_2 depind de structura schemei și de mărimile componentelor acesteia. Pentru ca impulsul de tensiune să aibă forma din figura 1 este necesar ca $T_1 \ll T_2$. În acest scop valorile elementelor C_2 și R_1 , care determină frontul undei rapid crescător, trebuie să fie mult mai mici decât valorile elementelor C_1 respectiv R_2 care determină spatele undei, lent descrescător.

Amplitudinea tensiunii $U_i(t)$ este mai mică decât tensiunea de încărcare U_0 din două motive: *căderea de tensiune pe rezistența de front și reducerea tensiunii la bornele condensatorului de impuls C_1 pe durata frontului impulsului datorită încărcării condensatorului de sarcină C_2* . Eficiența GIT se apreciază după mărimea raportului U_{imax}/U_0 , dintre amplitudinea tensiunii de impuls și tensiunea de încărcare a condensatorului de impuls, numit coeficient de utilizare. Cu cât coeficientul de utilizare este mai apropiat de valoarea 1, eficiența generatorului este mai bună.

În cazul schemei din figura 2, parametrii impulsului (duratele t_f și t_s) și coeficientul de utilizare se pot calcula cu formulele aproximative:

$$t_f = 2,96 R_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}; t_s = 0,73 R_2 (C_1 + C_2); c_u = \frac{C_1}{C_1 + C_2}. \quad (2)$$

1.3. Măsurarea tensiunilor de impuls de trăsnet

Pentru măsurarea tensiunilor înalte de impuls se pot folosi fie metode directe, precum utilizarea eclatorului cu sfere, fie metode indirecte, în acest caz fiind necesară utilizarea unui divizor de tensiune la care este racordat, în brațul de joasă tensiune, un oscilograf sau un voltmetru de vârf.

În cadrul acestei lucrări se va folosi numai măsurarea directă cu eclatorul cu sfere. Modul de folosire al eclatorului cu sfere este însă diferit față de cazul măsurării tensiunilor alternative sau continue, deoarece tensiunea de impuls are o durată foarte redusă, iar impulsul odată format nemaiputând fi modificat.

Astfel se impune o măsurare prin încercări, aplicând impulsuri identice succesive pe eclatorul cu distanță variabilă între sfere de la o încercare la alta sau aplicând impulsuri cu amplitudini diferite eclatorului cu distanță constantă între sfere. Ca urmare, este necesară o metodă statistică de măsură, cel mai frecvent utilizată fiind metoda celor 50 % amorsări. Aceasta înseamnă obținerea unei distanțe între sfere pentru care, dintr-un suficient de mare număr de impulsuri aplicate, numai jumătate provoacă amorsarea descărcării. Obținerea acestei distanțe între sferele eclatorului se poate face prin procedee rapide care necesită un număr mai redus de încercări. În acest sens pot fi utilizate următoarele metode:

a) *Metoda treptelor multiple*

Această metodă presupune reglarea distanței dintre sfere în trepte de cel mult 2% din distanța prezumată. Pentru fiecare treaptă se vor aplica serii de 6 impulsuri, intervalul de timp între două impulsuri succesive nefiind mai mic de 5 secunde. Distanța care corespunde tensiunii de 50% amorsări disruptive se obține prin ca medie aritmetică a două trepte consecutive ale distanței, pentru prima amorsările eclatorului fiind majoritare, iar pentru cealaltă amorsările fiind minoritare. O tehnică similară se poate folosi modificând amplitudinea impulsurilor și păstrând distanța între sfere constantă.

b) *Metoda „sus-jos”*

Altă metodă este cunoscută sub denumirea „sus-jos” și se aplică astfel: se pleacă de la estimarea distanței d între sferele eclatorului de măsură corespunzătoare mărimii tensiunii de încărcare, U_0 . Se alege o treaptă de variație a distanței Δd de cca. 3% din d . Se aplică eclatorului impulsul obținut pentru tensiunea de încărcare U_0 . Dacă se produce amorsarea, se reglează distanța dintre sfere la valoarea $d + \Delta d$ și se aplică eclatorului alt impuls identic. Dacă are loc o nouă amorsare, pentru următorul impuls distanța dintre sfere va fi $d + 2\Delta d$. Se continuă astfel cu mărirea distanței în trepte Δd până când eclatorul nu mai amorsează. Mai departe, după prima neamorsare, distanța se va reduce cu Δd , iar în continuare creșterea sau reducerea distanței vor fi impuse de răspunsul

eclatorului (amorsare, respectiv neamorsare). Se continuă astfel până la un număr de cca. 20 încercări. Se calculează distanța corespunzătoare tensiunii de 50% amorsări cu relația:

$$d_{50} = \frac{\sum n_x d_x}{\sum n_x}, \quad (3)$$

în care n_x reprezintă numărul de aplicări ale impulsului la distanța d_x între sfere. Se vor lua în considerare numai treptele d_x care s-au folosit de cel puțin două ori în seria de încercări. Această condiție elimină erorile datorate alegerii prea mari sau prea mici a distanței prezumate.

Și această metodă poate fi transpusă în trepte de tensiune, păstrând distanța între sfere neschimbată și modificând tensiunea de încărcare în trepte de 2 – 3% din valoarea inițială. Rezultatul obținut va fi tensiunea de încărcare a generatorului pentru care amplitudinea impulsului produs va fi egală cu tensiunea de 50% amorsări a eclatorului pentru distanța reglată între sfere.

Observație: Pentru ambele metode prezentate anterior este necesară corecția tensiunii măsurate în funcție de presiunea și temperatura aerului din laborator.

2. Determinări experimentale

2.1. Prezentarea instalației de încercare din laborator

Partea experimentală a lucrării are ca scop cunoașterea construcției și a funcționării generatorului de tensiune de impuls precum și măsurarea tensiunii de impuls cu eclatorul cu sfere. În acest scop se va folosi generatorul de tensiune de impuls de 30 kV, a cărui schemă de principiu este prezentată în figura 3.

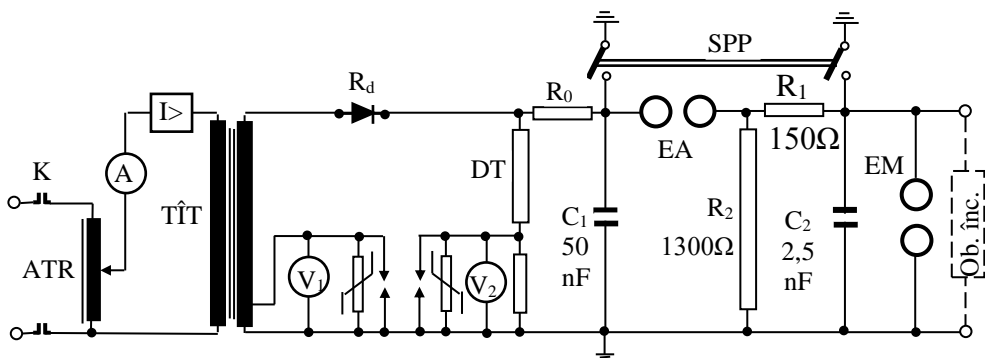


Fig. 3 – Schema de principiu a GIT-30kV

Elementele componente ale generatorului, așa cum rezultă ele din figura 3 sunt următoarele: ATR-autotransformator reglabil; TIT-transformator de înaltă tensiune; A, I >- ampermetru, respectiv releu maximal de curent; Rd-redresor; V1, V2-voltmetre

gradate în kV; DT-divizor de tensiune; R_0 - rezistor de protecție; EA-eclator de amorsare; C_1, C_2 -condensatoare de impuls, respectiv de descărcare; R_1, R_2 -rezistoare de front, respectiv de spate; EM-eclator de măsură; Ob-obiect de încercat; SPP-separator de punere la pământ; K-contactor.

În figura 4 este prezentat generatorul propriu-zis, aflat în dotarea laboratorului.



Fig. 4 – Generatorul de impuls de tensiune monoetaj de 30 kV din dotarea laboratorului: vedere de ansamblu, respectiv în detaliu din interiorul acestuia

Generatorul poate produce unde de impuls de ambele polarități, redresorul din circuitul de încărcare al condensatorului de impuls fiind debroșabil și putând fi montat astfel încât să se obțină polaritatea dorită.

Tensiunea înaltă alternativă se obține cu un transformator de înaltă tensiune TIT (în construcție uscată, având izolația înfășurării de înaltă tensiune din rășină epoxidică), alimentat de la un autotransformator reglabil ATR. Pentru măsurarea tensiunii înalte alternative există voltmetrul V_1 (gradat în kV) conectat la o priză a înfășurării de înaltă tensiune a TIT. Măsurarea tensiunii continue de încărcare a condensatorului de impuls se realizează cu voltmetrul V_2 (gradat în kV) conectat în brațul de joasă tensiune al divizorului rezistiv DT. Cele două voltmetre sunt protejate împotriva tensiunilor înalte accidentale cu eclatoare cu electrozi tijă în paralel cu varistoare. Protecția generatorului la suprasarcină este asigurată de un releu maximal de curent și cu siguranțe fuzibile.

În afara eclatorului de amorsare – EA, din circuitul de formare al impulsului, generatorul mai este dotat cu un al doilea eclator ale cărui sfere au diametrul de 2 cm, acest eclator fiind folosit pentru măsurarea impulsului de tensiune generat. Acest eclator are o construcție specială, fiind iradiat de la o sursă radioactivă (izotopul Kr-85) pentru reducerea dispersiei tensiunii de amorsare prin crearea unei stări de ionizare

uniformă a aerului dintre sfere. Acest fapt este necesar deoarece eclatorul se află amplasat în carcasa metalică a generatorului.

De asemenea, pentru descărcarea sarcinii reziduale a condensatoarelor C_1 și C_2 generatorul este echipat și cu un separator de punere la pământ, SPP, vizibil în detaliul prezentat în figura 4. Din motive de electrosecuritate, capacul incintei de încercare este prevăzut cu inter-blocaje mecanice, care nu permit a fi deschis decât dacă SPP se află în poziția închis.

Amplasarea butoanelor de comandă este dată în figura 5, în reprezentare schematică, dar și în detaliul grafic.

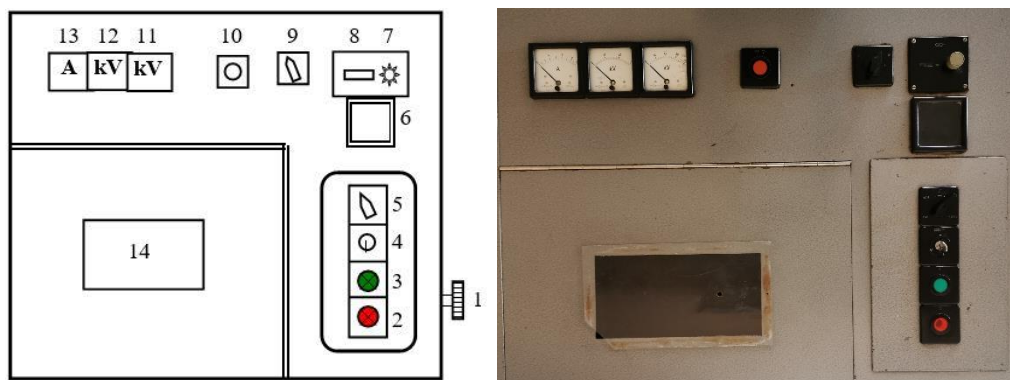


Fig. 5 – Amplasarea elementelor de comandă, semnalizare și măsură pe pupitrul GIT-30 kV

Semnificația notațiilor din reprezentarea schematică, din figura 5, a panoului de comandă al generatorului monoetaj este următoarea: 1-buton de acționare a cursorului ATR; 2-buton de comandă a declanșării contactorului K; 3-buton de comandă a anclanșării contactorului K; 4-cheie de contact; 5-comutatorul gamei de măsurare ($x1, x0,5$) și a polarității instrumentului de măsurare a tensiunii înalte continue; 6-fereastră de observare a eclatorului de măsură; 7-buton pentru reglarea distanței între sferele eclatorului de măsură; 8- contor de afișare a distanței dintre sferele eclatorului de măsură; 9-buton pentru acționarea SPP; 10- buton de acționare a eclatorului de amorsare; 11-voltmetru (gradat în kV) pentru tensiunea înaltă continuă de încărcare a condensatorului de impuls; 12-voltmetru (gradat în kV) pentru tensiunea înaltă alternativă; 13-ampermetru pentru curentul primar; 14-fereastră de observare a incintei de încercare.

Punerea în funcțiune și utilizarea generatorului presupun executarea următoarei secvențe de operații:

- a. se verifică dacă carcasa GIT este legată la pământ;

- b. se aduce cheia de contact în poziția « conectat » prin apăsare urmată de răsucire la dreapta ; ca urmare se va aprinde lampa roșie din butonul 2 ;
- c. se deschide SPP;
- d. se închide contactorul K prin apăsarea butonului 3, marcat cu semnul « I » ;
- e. se reglează tensiunea de încărcare a condensatorului de impuls la valoarea dorită prin acționarea cursorului ATR;
- f. se amorsează GIT apăsând lent pe butonul 10 până la perceperea zgomotului produs de amorsare a eclatorului EA;
- g. se recomandă a nu se amorsa din nou generatorul până ce indicația voltmetrului 11 nu se stabilizează la valoarea anterioară (aceasta este echivalent cu încărcarea completă a condensatorului de impuls, astfel încât amplitudinea impulsului produs să fie aceeași cu a impulsului precedent, dacă nu a fost modificată poziția cursorului ATR);

Pe durata utilizării generatorului, accesul în incinta de încercare este posibilă numai dacă separatorul de punere la pământ, SPP, este închis. Nu se recomandă închiderea acestuia înainte de scăderea aproape la zero a tensiunii înalte continue.

Pentru scoaterea din funcțiune a generatorului se procedează astfel:

- se aduce cursorul ATR pe poziție de tensiune nulă;
- se întrerupe alimentarea ATR, acționând butonul 2, marcat cu semnul «0»;
- se întrerupe alimentarea de la rețea, acționând cheia de contact;
- se aduce SPP în poziția închis, după care se poate deschide incinta de încercare.

2.2. Modul de lucru

Partea experimentală a acestei lucrări are în vedere următoarele obiective: determinarea analitică a parametrilor undei de impuls de tensiune și a coeficientului de utilizare al generatorului, și, determinarea pe cale experimentală a coeficientului de utilizare.

a. Determinarea analitică a parametrilor undei de impuls și a coeficientului de utilizare

Parametrii undei de impuls, timpul de front și timpul de semi-amplitudine, respectiv coeficientul de utilizare al generatorului se vor determina utilizând setul de relații (2), prezentate anterior în paragraful 1.2 al lucrării. Valorile rezistențelor și capacităților care apar în expresiile (2) vor fi identificate din schema generatorului monoetaj, prezentată în figura 3.

b. Determinarea experimentală a coeficientului de utilizare

Coeficientul de utilizare este un parametru ce apreciază eficiența generatorului de impuls, fiind definit, așa cum am văzut anterior, ca raportul dintre valoarea maximă a tensiunii de impuls produse, U_{imax} , și valoarea tensiunii de încărcare, U_0 . Așadar, conform definiției de mai sus, pentru determinarea coeficientului de utilizare trebuie măsurate tensiunea de încărcare U_0 și amplitudinea impulsului de tensiune.

Pentru realizarea determinărilor vor fi considerate patru valori ale tensiunii de încărcare a generatorului, și anume, $U_0 = 25 \text{ kV}$, 20 kV , 15 kV și 10 kV .

Etapile care trebuie parcurse pentru încărcarea generatorului sunt prezentate în continuare:

- se va asigura încărcarea condensatorului de impuls, C_1 , la fiecare din tensiunile la fiecare din tensiunile de încărcare prezentate mai sus, urmând secvența de pași *a. ÷ e.*, descrisă în paragraful anterior la punerea în funcțiune și utilizarea generatorului;
- tensiunea continuă de încărcare se măsoară cu ajutorul divizorului de tensiune rezistiv inclus în construcția generatorului, observând valoarea măsurată la voltmetrul de pe generator.

Amplitudinea tensiunii de impuls se va obține ca tensiune de 50% amorsări a eclatorului de măsură inclus, de asemenea, în generator și având diametrul sferelor de 2 cm. În acest scop se va folosi metoda „treptelor multiple”, prezentată anterior în paragraful 1.2 al lucrării.

Metoda presupune determinarea distanței care corespunde tensiunii de 50% amorsări disruptive, aceasta fiind, de fapt, media aritmetică a două trepte consecutive ale distanței, pentru prima amorsările eclatorului fiind majoritare, iar pentru cealaltă amorsările fiind minoritare.

Pentru determinarea amplitudinii tensiunii de impuls se va proceda după cum urmează:

- pentru valoarea tensiunii de încărcare, U_0 , aplicate generatorului, se va determina distanța orientativă dintre sferele eclatorului de măsură folosind tabelul de tensiuni disruptive prezentat mai jos:

Tabelul 1. Tensiuni disruptive specifice eclatorului cu sfere cu diametru de 2 cm

d (cm)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
<i>U (kV)</i>	2,8	4,7	6,4	8,0	9,6	11,2	14,4	17,4
d (cm)	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,5
<i>U (kV)</i>	20,4	23,2	25,8	28,3	30,7	(35,1)	(38,5)	(40)

- pentru distanța aleasă se vor aplica serii de 6 impulsuri, intervalul de timp între două impulsuri succesive nefiind mai mic de 5 secunde, ținând cont de indicațiile f și g , prezentate în paragraful anterior;
- dacă 50% dintre impulsurile generate conduc la amorsarea eclatorului atunci distanța dintre sfere se va mări cu un pas ce ține seama de posibilitățile de reglaj de care dispune generatorul, în cazul de față treapta minimă de reglaj fiind de 0,02 mm;
- dacă în urma aplicării seriei de impulsuri rezultă ne-amorsarea eclatorului în mai mult de 50% din cazuri, atunci distanța dintre sferile eclatorului trebuie redusă;
- determinările continuă în această manieră până la identificarea a două distanțe consecutive, separate de pasul minim de reglaj posibil pentru o precizie cât mai bună, pentru prima distanță amorsările eclatorului fiind majoritare, iar pentru cealaltă amorsările fiind minoritare;
- media aritmetică a celor două distanțe consecutive identificate anterior reprezintă distanța de 50% amorsări, iar pentru determinarea tensiunii de 50% amorsări, deci a amplitudinii impulsului de trăsnet generat, se va utiliza procedeul interpolării liniare, considerând valorile tensiunii prezentate în tabelul 1;
- întreaga secvență descrisă anterior se va relua pentru toate tensiunile de încărcare a generatorului;
- valorile tensiunii de impuls astfel determinate vor trebuie recalulate, ținând cont de valorile temperaturii și presiunii atmosferice, măsurate la momentul efectuării încercărilor laborator; în acest sens se vor folosi expresiile:

$$U_{imax} = U_{50\%} \cdot \delta \quad (4)$$

$$\delta = 0,386 \frac{p}{273 + t} \quad (5)$$

- rezultatele finale se vor trece într-un tabel de genul celui prezentat mai jos:

Tabelul 2. Rezultatele determinărilor experimentale

U_0 (kV)	d (cm)	$U_{50\%}$ (kV)	U_{imax} (kV)	$c_u = U_{imax}/U_0$	Metoda de măsurare
25					
20					
15					
10					