

## Lucrarea 5 – GENERATORUL DE TENSIUNE DE IMPULS MULTIETAJ

### 1. Noțiuni teoretice

#### 1.1. Construcția generatorului multietaj

Generatorul de impuls de tensiune monoetaj se construiește pentru tensiuni de încărcare de cel mult 150-200 kV. Această limită este impusă, în primul rând de condensatoarele de impuls care, pentru tensiuni mai mari devin prea voluminoase, grele și costisitoare. Pentru obținerea unor impulsuri de mare amplitudine (mergând până la 10 MV) se folosesc generatoare cu mai multe etaje. Principiul multiplicării tensiunii se folosește și la sursele de tensiune alternativă și continuă, din motive asemănătoare.

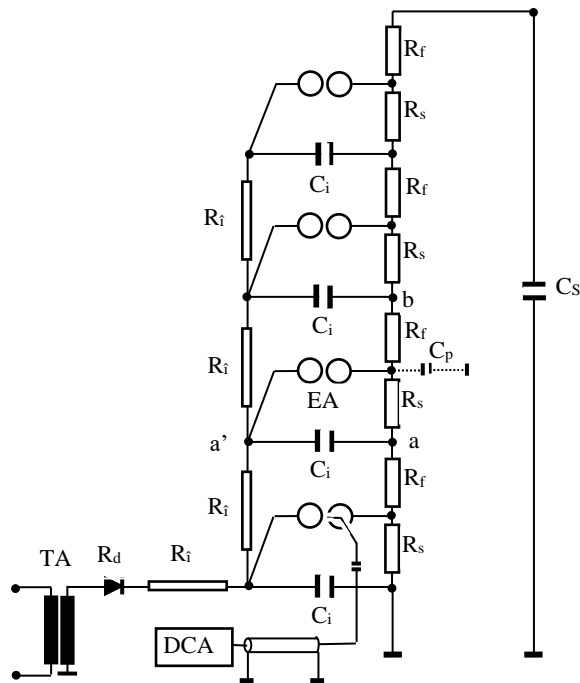


Fig. 1 – Generator de impuls cu 4 etaje

Schema de principiu a unui generator multietaj din figura 1 cuprinde:

- sursă de tensiune înaltă continuă, formată din transformatorul de alimentare TA și redresorul  $R_d$ ;
- circuitele identice ale etajelor generatorului cuprinzând câte un condensator de impuls (sau de încărcare)  $C_i$ , o rezistență de încărcare  $R_i$ , rezistențele pentru formarea impulsului  $R_f$  și  $R_s$  și un eclator pentru amorsarea generatorului EA.
- condensatorul de sarcină (sau de descărcare)  $C_s$ , este de obicei unul singur pentru toate etajele generatorului. Întrucât acest condensator trebuie să suporte amplitudinea impulsului produs de întreg generatorul, el poate fi format din mai multe unități înseriate, având fiecare o tensiune nominală corespunzător mai mică.

## 1.2. Funcționarea generatorului multietaj

Funcționarea unui astfel de generator este, în principiu, asemănătoare cu a unui generator monoetaj, cu unele particularități datorate schemei de multiplicare a tensiunii. Astfel, se pot deosebi două etape în funcționare, și anume *încărcarea condensatoarelor de impuls*, respectiv *formarea impulsului de tensiune*.

### a. Încărcarea generatorului

La aplicarea tensiunii de încărcare continuă, condensatoarele  $C_i$  ale tuturor etajelor se încarcă în paralel de la sursa de alimentare, prin intermediul rezistențelor  $R_i$ ,  $R_f$ , și  $R_s$ . Condensatorul primului etaj se încarcă numai prin rezistența de încărcare a primului etaj.

Condensatoarele celorlalte etaje se încarcă prin intermediul rezistențelor de încărcare ale etajelor inferioare și a rezistențelor de front și de spate ale acestora. Din acest motiv, constanta de timp a procesului de încărcare este cu atât mai mare cu cât condensatorul se află într-un etaj mai depărtat de sursă. Ca urmare, încărcarea completă a generatorului durează cu atât mai mult cu cât numărul de etaje este mai mare. La sfârșitul perioadei de încărcare, curentul absorbit de la sursă devine nul, iar toate condensatoarele au la borne tensiunea sursei.

Dacă perioada de încărcare nu este parcursă integral, etajele vor cu atât mai puțin încărcate cu cât sunt mai departe de sursă, iar impulsul produs va avea amplitudinea mai mică decât s-a intenționat. În această situație este posibil să nu amorseze eclatoarele tuturor etajelor.

### b. Formarea impulsului de tensiune

Atunci când tensiunea de încărcare a condensatoarelor de impuls a atins nivelul

de amorsare a eclatoarelor EA, acestea amorsează. Prin aceasta condensatoarele  $C_i$  se conectează în serie prin intermediul rezistențelor de front, iar tensiunile la bornele lor se însumează. Prezența în paralel cu  $C_i$  a rezistențelor de încărcare poate fi neglijată, datorită valorilor mari a acestora comparativ cu rezistențele de formare a impulsului. Rezistențele de spate  $R_s$ , conectate și ele în paralel cu condensatoarele de impuls, după amorsarea eclatoarelor, realizează procesul de descărcare a condensatoarelor de impuls și de sarcină astfel încât să rezulte un impuls de forma dorită. La bornele condensatorului de sarcină  $C_s$  se aplică suma tensiunilor de încărcare a condensatoarelor de impuls. Acest condensator se încarcă prin intermediul tuturor rezistențelor de front ale etajelor și se descarcă prin intermediul tuturor rezistențelor de front și de spate.

Din punctul de vedere al dimensionării componentelor unui generator multietaj, condensatoarele  $C_i$ , transformatorul TA, redresorul  $R_d$  și eclatoarele EA sunt dimensionate pentru tensiunea de încărcare  $U_0$ , iar condensatorul de descărcare  $C_s$  se dimensionează pentru tensiunea  $nU_0$ , unde  $n$  este numărul de etaje al generatorului.

### 1.3. Amorsarea generatorului multietaj

Funcționarea corectă a GIT cu mai multe etaje este condiționată de amorsarea simultană a eclatoarelor tuturor etajelor. Acest fapt are loc în mod spontan în urma amorsării eclatorului primului etaj. În funcție de modul în care loc amorsarea acestui eclator, se deosebesc două posibilități de funcționare a generatorului: *cu amorsare naturală* (auto-amorsare) și *cu amorsare comandată* (triggerare).

#### a. Amorsarea naturală

Acest regim are loc atunci când pentru o distanță  $d$  între sferele eclatoarelor, are loc amorsarea la atingerea unei tensiuni de încărcare corespunzătoare,  $U_0$ . Perechile de valori ( $U_0, d$ ) determină *caracteristica de amorsare naturală* (sau curba de relaxare a generatorului).

Pentru asigurarea amorsării corecte se obișnuiește ca distanța între sferele eclatorului primului etaj să fie cu câteva procente mai mică ca distanța reglată la eclatoarele celorlalte etaje. În acest fel eclatorul primului etaj va amorsa sigur primul. Ca urmare punctul  $a$  din schema prezentată în figura 1 va căpăta instantaneu potențialul  $U_0$  față de pământ, iar punctul  $a'$ , deci sfera inferioară a eclatorului celui de-al doilea etaj, potențialul  $2U_0$ . Punctul  $b$  din schemă, deci sfera superioară a aceluiași eclator, va căpăta potențialul  $U_0$ , dar cu o mică întârziere, determinată de încărcarea capacității parazite  $C_p$ , prin rezistența  $R_s$ . În consecință, pentru un scurt interval de timp (de ordinul zecilor de nanosecunde) diferența de potențial între sferele eclatorului celui de-al doilea

etaj va fi mai mare ca  $U_o$  și, ca urmare, eclatorul va fi forțat să amorseze. În mod similar se asigură amorsarea celorlalte eclatoare.

Amorsarea naturală prezintă dezavantajul că momentul amorsării nu este controlabil, iar amplitudinea dorită a tensiunii de impuls se poate regla numai modificând distanța între sferele eclatoarelor. Un reglaj fin al acestei distanțe este dificil de realizat la generatoarele cu multe etaje din cauza maselor mari în mișcare.

#### b. Amorsarea comandată

Acest procedeu constă în forțarea amorsării, generatorul fiind încărcat la o tensiune mai mică decât tensiunea de amorsare naturală. Pentru a realiza această forțare, eclatorul primului etaj care are o construcție specială la una sau ambele sfere, așa cum reiese și din figura 2, prezentată mai jos.

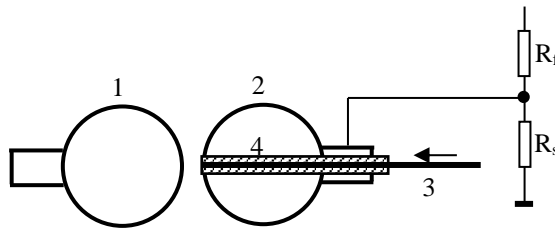


Fig. 2 – Construcția eclatorului comandat

De la un circuit electronic de formare se trimite pe tija 3 un impuls de tensiune (cu amplitudinea egală cu cca. 10% din tensiunea maximă de încărcare pe etaj), care va produce conturnarea izolației între tijă și suprafața sferei 2, deoarece aceasta se află la potențialul până la amorsarea eclatorului.

Datorită scântei electrice apărute rigiditatea dielectrică a intervalului între sfere scade, amorsarea eclatorului având loc la o tensiune de încărcare  $U_o'$  mai mică decât tensiunea disruptivă în condiții normale,  $U_o$ . În continuare, amorsarea eclatoarelor celorlalte etaje, deci a GIT în ansamblu, are loc ca și în cazul amorsării naturale.

Amorsarea comandată a GIT nu poate avea loc pentru valori oricât de mici ale tensiunii de încărcare  $U_o'$ . Perechile de valori ( $U_o'_{min}, d$ ), pentru care mai poate avea loc amorsarea comandată determină *curba de amorsare comandată*. Zona cuprinsă între caracteristica de amorsare naturală și caracteristica limită de amorsare naturală reprezintă domeniul de reglaj fin al amplitudinii impulsului produs de GIT. Pentru toate perechile de valori ( $U_o, d$ ) cuprinse în acest domeniu, generatorul poate amorsa în modul comandat.

#### 1.4. 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 continuare vor fi detaliate aspecte referitoare la ambele tipuri de metode

##### *a. Măsurarea tensiunilor de impuls cu ajutorul eclatorului cu sfere*

Tensiunile de impuls pot fi măsurate cu ajutorul eclatorului cu sfere, numai că este necesară utilizarea unei metode statistice de măsură, datorită variației mult mai rapide a tensiunii de impuls, față de cazul tensiunilor alternative.

Astfel, cel mai frecvent utilizată este metoda celor 50 % amorsări, care presupune 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 sferile eclatorului se poate face prin procedee rapide care necesită un număr mai redus de încercări, procedeul folosit anterior și în cazul lucrării 3 de laborator fiind *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.

După determinarea tensiunii de 50% amorsări, corespunzătoare distanței identificate anterior, este necesară corecția tensiunii rezultate ținând cont de presiunea și temperatura aerului din laborator la momentul efectuării încercărilor.

##### *b. Măsurarea indirectă a tensiunilor de impuls*

Măsurarea indirectă se realizează atunci când între aparatul de măsură și tensiunea înaltă de măsurat se intercalează un transformator de măsură sau un divizor de tensiune. Pentru măsurarea tensiunilor rapid variabile, transformatoarele de măsură nu sunt potrivite datorită componentelor inductive care nu permit trecerea frecvențelor înalte.

Dintre tipurile de divizoare de tensiune cunoscute, cele mai bune performanțe la măsurarea tensiunilor de impuls le au divizorul rezistiv ecranat și divizorul capacitiv. Divizorul rezistiv este preferat în laboratoarele de încercări la înaltă tensiune pentru măsurarea tensiunilor de impuls rapide. Cu cât tensiunea de măsurat este mai înaltă,

Înălțimea divizorului trebuie să fie mai mare pentru a împiedeca apariția fenomenelor de conturare a rezistenței sau de străpungere către pământ. Cu cât divizorul este mai înalt, cu atât mai importantă este influența capacităților parazite, mai ales acolo față de pământ, care determină o repartiție neliniară a tensiunii de-a lungul divizorului, iar raportul de divizare este variabil și în timp. Pentru diminuarea acestei influențe, se montează ecrane metalice de formă inelară la extremitățile divizorului. Acestea compensează influența capacităților parazite față de pământ prin mărirea valorii capacităților parazite față de borna de înaltă tensiune.

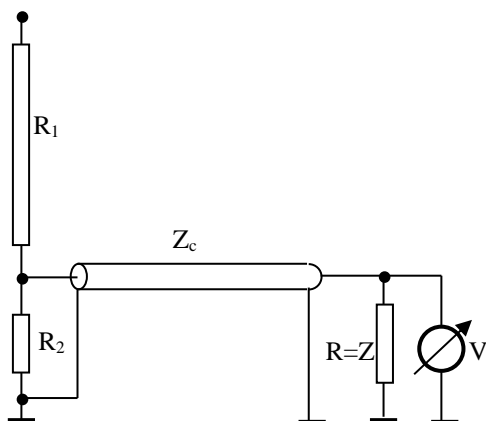
Sistemul de măsurare cu divizor de tensiune cuprinde, în afara divizorului, linia de racord pe partea de înaltă tensiune către generatorul de tensiune de impuls și cablul de măsură pe partea de joasă tensiune. Pentru a nu se deforma semnalul, linia de racord trebuie să aibă o inductivitate proprie cât mai mică, motiv pentru care trebuie realizată din bandă metalică de lățime suficient de mare sau din conductor tubular, evitându-se în acest fel și apariția descărcării corona.

Cablul de măsură pe partea de joasă tensiune, care asigură legătura între brațul de joasă tensiune a divizorului și dispozitivul de măsură, trebuie să fie de tip coaxial. Ecranul cablului fiind legat la pământ se elimină influențele câmpurilor electromagnetice exterioare asupra semnalului transmis. Deoarece rezistența cablului are efect de atenuare a semnalului transmis, lungimea cablului nu trebuie să depășească 20-30 m.

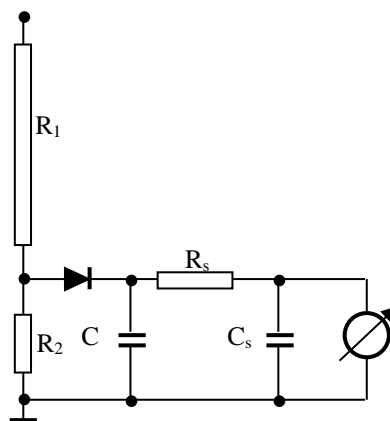
Impedanța caracteristică a cablului coaxial este de  $75 \Omega$  și, cum impedanța de intrare a aparatului de măsură este mult mai mare, extremitatea cablului către aparatul de măsură poate fi considerată ca o linie deschisă. Ca urmare se pot produce aici fenomene de reflexie care denaturează rezultatul măsurării. Aceste erori se înlătură prin introducerea unor elemente suplimentare la extremitățile cablului, așa cum reiese și din figura 3. Aceste elemente se iau în considerare la calculul raportului de divizare a ansamblului divizor - linie de racord.

*Voltmetrul de vârf* pentru măsurarea tensiunilor de impuls funcționează după schema de principiu din figura 4. Condensatorul de măsură  $C_M$  se încarcă prin diodă de la brațul de joasă tensiune al divizorului rezistiv până la valoarea de vârf a tensiunii. Pentru a se realiza încărcarea rapidă a condensatorului  $C_M$  pe frontul unei impuls (cu o durată de sub  $2 \mu s$ ), constanta de timp a încărcării trebuie să fie foarte mică, deci capacitatea condensatorului  $C_M$  trebuie să fie de valoare mică. Pentru ca operatorul să poată executa corect citirea la voltmetru, constanta de timp a descărcării condensatorului  $C_s$  trebuie să fie suficient de mare, de unde rezultă pentru  $C_s$  valori mari. Dacă se folosește o schemă în care  $C_s$  are capacitatea de cca. 10 ori mai mare decât  $C_M$ , încărcarea și descărcarea lui au loc destul de lent, pentru ca indicația instrumentului de măsurat să

poată fi citită. Rezistența  $R_s$  are valoare mare, astfel încât  $C_s$  să nu se încarce simultan cu  $C_M$ .



**Fig. 3** – Adaptarea cablului de joasă tensiune



**Fig. 4** – Schema de principiu a voltmetrului de vârf pentru

Aparatul de măsură din figura 4 este de fapt un voltmetru electronic cu impedanță de intrare mare, iar circuitul său de intrare cuprinde schema cu condensatoare pentru sesizarea amplitudinii impulsului de tensiune.

## 2. Determinări experimentale

Lucrarea are ca scop cunoașterea problemelor practice referitoare la producerea și măsurarea tensiunilor înalte de impuls, însușirea normelor de protecția muncii specifice încercărilor izolației cu tensiune înaltă de impuls, precum și studierea unor problemele funcționării generatoarelor de impuls de tensiune cu mai multe etaje.

În prima parte a lucrării se vor studia construcția și modul de utilizare al generatoarelor de impuls de tensiune de 160 kV (cu 4 etaje) și de 1000 kV (cu 10 etaje) din dotarea laboratorului de înaltă tensiune al facultății și se vor recapitula normele de protecția muncii specifice lucrului cu aceste instalații.

### 2.1. Prezentarea generatoarelor de impuls de tensiune multietaj din laborator

Laboratorul de înaltă tensiune al facultății are în dotare două generatoare de impuls de tensiune, unul cu 4 etaje și o tensiune maximă de încărcare de 160 kV, al doilea având un număr de 10 etaje în timp ce tensiunea de încărcare maximă este 1000 kV. Cele două generatoare multietaj sunt prezentate în figura 5.



a – GIT 160 kV

b – GIT 1 MV

**Fig. 5** – Generatoare de impuls de tensiune din laboratorul de înaltă tensiune al facultății

În continuare va fi prezentat în detaliu generatorul multietaj de 160 kV, întrucât acesta urmează a fi folosit și pentru prelevarea datelor experimentale. Astfel, schema electrică de principiu a acestuia este reprezentată în figura 6.

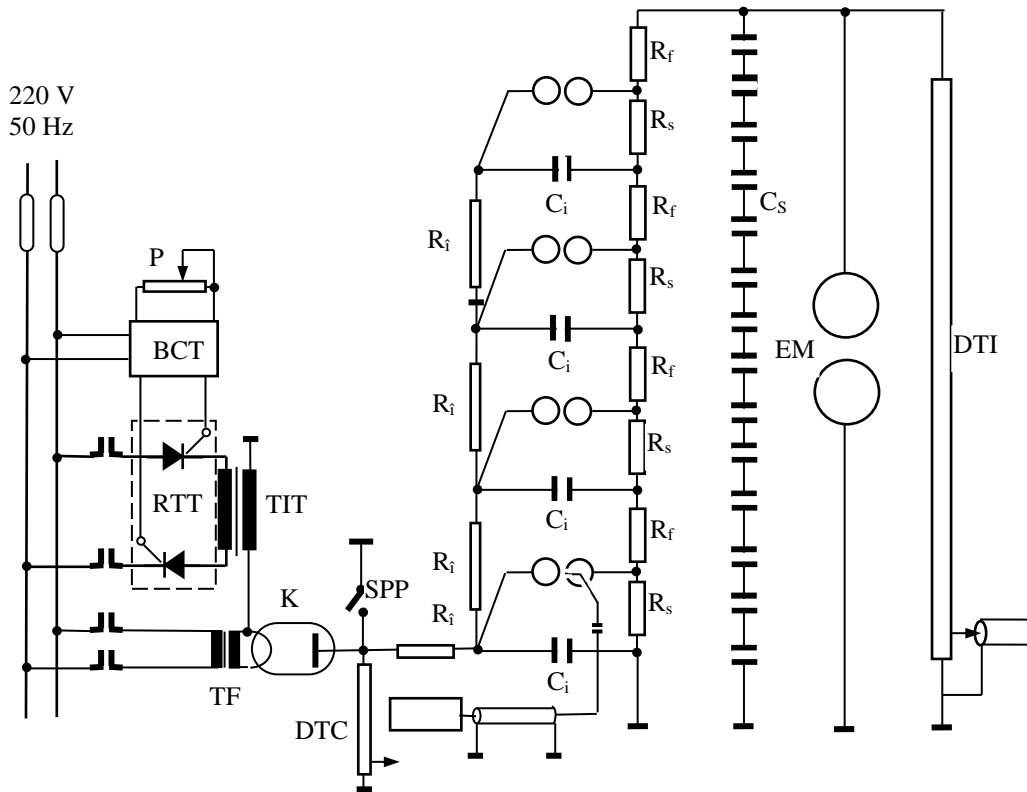
Elementele componente ale generatorului, așa cum rezultă ele din figura 6 sunt următoarele: *TIT*-transformator de înaltă tensiune; *TF*-transformator de filament; *K*-tub redresor (kenotron); *RTT*- regulator de tensiune cu tiristoare; *BCT*-blocul de comandă a tiristoarelor; *P*-potențiomtru pentru reglarea tensiunii de încărcare; *DTC*-divizor de tensiune rezistiv pentru măsurarea tensiunii continue de încărcare; *DTI*-divizor de tensiune rezistiv ecranat pentru măsurarea tensiunii de impuls; *R<sub>i</sub>*- rezistențe de încărcare; *R<sub>f</sub>*- rezistențe de front; *R<sub>S</sub>* rezistențe de spate; *C<sub>i</sub>* -condensatoare de impuls; *C<sub>S</sub>*-condensatoare de sarcină; *EM*-eclator de măsură; *DCA*-dispozitiv de comandă a amorsării.

Generatorul de tensiune de impuls servește pentru producerea unor impulsuri de tensiune de forma standard,  $1,2/50 \mu s$ , acesta fiind alcătuit din 4 etaje pentru formarea impulsului de înaltă tensiune și circuitele de alimentare. Principalele caracteristici tehnice ale generatorului sunt:

- tensiunea maximă de încărcare pe etaj: 40 kV;
- energia maximă acumulată în condensatoare: 800 Ws;



- forma undei de impuls:  $1,2/50 \mu\text{s}$ ;
- frecvența maximă a impulsurilor: 3 imp./min.



ig. 6 – Schema electrică de principiu a generatorului de impuls de tensiune de 160 kV

Tensiunea înaltă continuă reglabilă, necesară încărcării generatorului, se obține folosind un transformator de înaltă tensiune TIT și lampa redsoare K. Filamentul kenotronului este alimentat prin transformatorul de filament TF. Tensiunea aplicată înfășurării primare a TIT este reglată folosind comanda în fază a conducției tiristoarelor din blocul RTT. Generarea semnalelor de comandă pentru tiristoare este realizată de către blocul electronic BCT. Pe pupitrul de comandă se află butonul de acționare a potențiometrului P cu ajutorul căruia se reglează tensiunea de alimentare a TIT.

Reglarea distanței între sferele eclatoarelor de amorsare se realizează prin translarea simultană a sferelor din stânga cu ajutorul unui motor de curent continuu cu sens de rotație reversibil.

Condensatoarele de impuls,  $C_i$ , sunt formate din câte două unități a câte  $0,5 \mu\text{F}/20 \text{ kV}$  înseriate, pe fiecare etaj, astfel încât tensiunea de încărcare nominală pe etaj

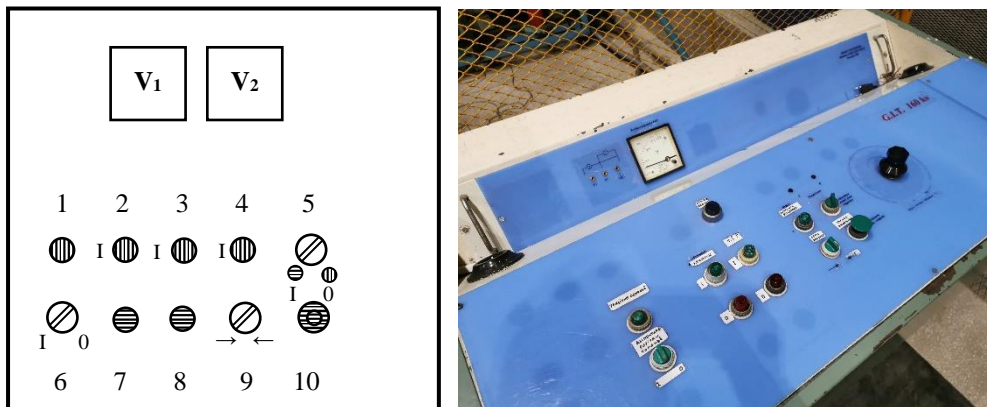
este de 40 kV. Condensatorul de sarcină,  $C_s$ , este realizat prin înserierea a 14 unități a 50 nF/15 kV, cu carcasă ceramică și izolație din mică.

Rezistențele de formare a impulsului de tensiune (de front și de spate) sunt realizate prin bobinarea anti-inductivă, pe suport izolant, a unui conductor de crom-nichel  $\Phi$  0,3 mm. Rezistențele de încărcare,  $R_i$ , având valoare mult mai mare decât rezistențele de formare a impulsului sunt construite tot prin bobinare pe suport izolant, dar de tip solenoid obișnuit.

Generatorul este prevăzut cu amorsare comandată: de la dispozitivul de formare a impulsului de comandă, DCA, se trimite impulsul de comandă la sfera din dreapta a eclatorului primului etaj, printr-un cablu coaxial și un condensator de cuplaj.

Construcția generatorului cuprinde și un separator monopolar, acționat cu electromagnet și al cărui contact se închide automat la întreruperea alimentării TIT.

Amplasarea elementelor de comandă, semnalizare și măsură pe pupitrul GIT este dată în figura 7.



**Fig. 7** – Amplasarea elementelor de comandă, semnalizare și măsură pe pupitrul GIT-160 kV

Semnificația notațiilor din reprezentarea panoului de comandă al generatorului multietaj este următoarea:  $V_1$ —tensiunea continuă de încărcare a condensatoarelor de impuls (borne pentru conectarea unui voltmetru în brațul de joasă tensiune al DTC);  $V_2$ —tensiunea de alimentare a TIT; 1—semnalizarea prezenței tensiunii în pupitrul de comandă; 2—buton cu lampă (verde) pentru conectarea transformatorului de filament; 3—buton cu lampă (verde) pentru conectarea transformatorului de înaltă tensiune; 4—buton cu lampă (verde) pentru comanda modificării distanței dintre sferile eclatoarelor de amorsare; 5—comutator pentru alimentarea dispozitivului de comandă a amorsării; 6—comutator pentru alimentarea circuitelor pupitrului de comandă; 7—buton cu lampă (roșie) pentru deconectarea transformatorului de filament; 8—buton cu lampă (roșie)

*pentru deconectarea transformatorului de înaltă tensiune; 9-comutator pentru alegerea sensului de variație a distanței dintre sferele eclatoarelor de amorsare; 10-buton ciupercă pentru comanda amorsării generatorului;*

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

- se realizează montajul în zona de înaltă tensiune și se verifică legăturile la pământ ale carcasei generatorului, eclatorului de măsură, divizorului de tensiune de impuls, pupitrului de comandă și scurtcircuitorului mobil;
- se închide bariera de acces în zona de înaltă tensiune;
- se conectează alimentarea generală, acționând butonul 6;
- se conectează alimentarea filamentului kenotronului, acționând butonul 2;
- se reglează distanța între sfere la valoarea dorită, acționând comutatorul 9 și butonul 4;
- se alimentează TIT, acționând butonul 3;
- se alimentează blocul de amorsare comandată apăsând din butonul 5. După cca. 1 minut se aprinde led-ul roșu, semnalizând starea gata de funcționare a comenzii amorsării;
- se încarcă condensatoarele de impuls la tensiunea dorită rotind butonul P, urmărirea valorii tensiunii de încărcare pe etaj realizându-se cu ajutorul unui voltmetru digital ce este conectat în brațul de joasă tensiune al DTC, prin bornele notate cu  $V_1$ , de pe pupitrul de comandă al generatorului;
- tensiunea de încărcare pe etaj rezultă conform expresiei:

$$U_{et} = k_d \cdot U_{cvd} \quad (2)$$

în care:  $k_d$  este raportul de divizare al DTC ( $k_d = 1200$ ), iar  $U_{cvd}$  este tensiunea continuă care se citește de pe ecranul voltmetrului digital conectat în brațul de joasă tensiune al DTC;

- se comandă amorsarea eclatoarelor generatorului apăsând butonul ciupercă, 10.

Scoaterea din funcțiune a generatorului se recomandă a se face imediat după o amorsare, pentru a avea condensatoarele de impuls cât mai mult descărcate. Se procedează în felul următor:

- se aduce potențiometrul P în poziția de tensiune nulă;
- se deconectează alimentarea TIT, acționând butonul 8;
- se întrerupe alimentarea filamentului kenotronului, acționând butonul 7;
- se întrerupe alimentarea blocului de comandă a amorsării și, în final, alimentarea circuitelor pupitrului de comandă.

## 2.2. Modul de lucru

Studiul de caz al lucrării de laborator are ca scop determinarea experimentală a coeficientului de utilizare al generatorului, respectiv a domeniului de amorsare comandată al acestuia.

### a. Determinarea coeficientului de utilizare

Se va folosi generatorul cu 4 etaje, care are tensiunea de încărcare pe etaj de maximum 40 kV.

Pentru un generator cu mai multe etaje, coeficientul de utilizare are expresia

$$c_u = \frac{U_{i\max}}{U_0} = \frac{U_{i\max}}{n \cdot U_{et}}, \quad (3)$$

unde:  $U_{i\max}$  – amplitudinea tensiunii de impuls,  $U_0$  – tensiunea de încărcare a generatorului,  $U_{et}$  – tensiunea de încărcare pe etaj (relația 2);  $n$  – numărul de etaje.

Amplitudinea tensiunii de impuls se va măsura cu un eclator cu sfere orizontal, având diametrul sferelor de 10 cm, prezentat în detaliu din figura 8.



**Fig. 8** – Eclatorul de măsură utilizat pentru măsurarea tensiunilor de impuls generate de GIT 160 kV

Determinările se vor realiza pentru trei valori ale tensiunii de încărcare a generatorului,  $U_o$ , și anume: 120 kV, 100 kV, respectiv 80 kV. Pentru încărcarea condensatoarelor de impuls se vor urma instrucțiunile prezentate anterior, în paragraful 2.1, la descrierea generatorului de 160 kV.

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 1.4 al lucrării.

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 10 cm

<b>d (cm)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>
<i>U (kV)</i>	16,8	19,9	23	26	28,9	31,7	37,4	42,9
<b>d (cm)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>	<b>2</b>	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>	<b>2,6</b>	<b>2,8</b>
<i>U (kV)</i>	45,5	48,1	53,5	59	64,5	69,5	74,5	79,5
<b>d (cm)</b>	<b>3</b>	<b>3,5</b>	<b>4</b>	<b>4,5</b>	<b>5</b>	<b>5,5</b>	<b>6</b>	<b>6,5</b>
<i>U (kV)</i>	84	95	105	115	123	(131)	(138)	(144)

- pentru distanța aleasă se vor aplica serii de 6 impulsuri, intervalul de timp între două impulsuri succesive nefiind mai mic de 5 secunde;
- 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 0,2 mm;
- dacă în urma aplicării seriei de impulsuri rezultă ne-amorsarea eclatorului în mai mult de 50% din cazuri, atunci distanța dintre sferele eclatorului trebuie redusă;
- determinările continuă în această manieră până la identificarea a două distanțe consecutive, separate de pasul minim de reglaj posibil (în cazul de față 0,01 mm) pentru o precizie cât mai bună, pentru prima distanță amorsările eclatorului fiind majoritatea, 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.** Valorile tensiunii de impuls și ale coeficientului de utilizare

$U_0$ (kV)	$d$ (cm)	$U_{50\%}$ (kV)	$U_{imax}$ (kV)	$c_u = U_{imax}/U_0$

*b. Determinarea domeniului de amorsare comandată*

Pentru determinarea domeniului de amorsare comandată a generatorului se vor considera următoarele distanțe între sferele eclatoarelor de amorsare,  $d_{EA}$ , și anume: 1 cm, 0,8 cm, 0,6 cm, 0,4 cm, respectiv 0,2 cm.

Pentru fiecare din distanțele menționate se va determina tensiunea de încărcare minimă  $U_o$  pentru care are loc amorsarea naturală, respectiv tensiunea minimă  $U_o'_{min}$ , pentru care se poate obține amorsarea comandată a generatorului.

În acest scop se vor efectua următorii pași:

- pentru distanța considerată între sferele eclatorului de amorsare se încarcă condensatoarele de impuls ale generatorului până la producerea amorsării naturale a generatorului;
- se citește indicația voltmetrului digital,  $U_{cvd}$ , urmărind depistarea valorii minime a tensiunii pentru care se produce amorsarea naturală;
- se va determina tensiunea de încărcare minimă a generatorului pentru care are loc amorsarea naturală a acestuia, conform expresiei:

$$U_o = n \cdot k_d \cdot U_{cvd} \quad (6)$$

- în continuare se va reduce în trepte tensiunea de încărcare a generatorului, încercând amorsarea prin comandă, până la atingerea valorii limită inferioară pentru care se mai poate obține amorsarea comandată a GIT;
- se citește din nou indicația voltmetrului digital,  $U_{cvd}$ , iar tensiunea minimă de încărcare a generatorului,  $U_o'_{min}$ , se determină utilizând tot relația (6);
- domeniul de amorsare comandată este definit ca fiind sectorul cuprins între curba amorsării naturale, respectiv cea a amorsării comandate. Pentru fiecare distanță între sfere, se poate determina, în unități relative, mărimea domeniului de amorsare comandată cu relația:

$$p = \frac{U_o - U_o'_{min}}{U_o} \cdot 100 \quad (\%) \quad (7)$$

- rezultatele obținute se trec în tabelul 3.

**Tabelul 3.** Domeniul de amorsare comandată

$d_{EA}$ (cm)	$U_0$ (kV)	$U_0'_{min}$ (kV)	$p$
1			
0,8			
0,6			
0,4			
0,2			

- se vor trasa grafic curbele tensiunilor  $U_0$  și  $U_0'_{min}$ , în funcție de distanța  $d_{EA}$ , punând astfel în evidență domeniul de amorsare comandă al generatorului.