

GENERATORUL DE TENSIUNE DE IMPULS MULTIETAJ

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.

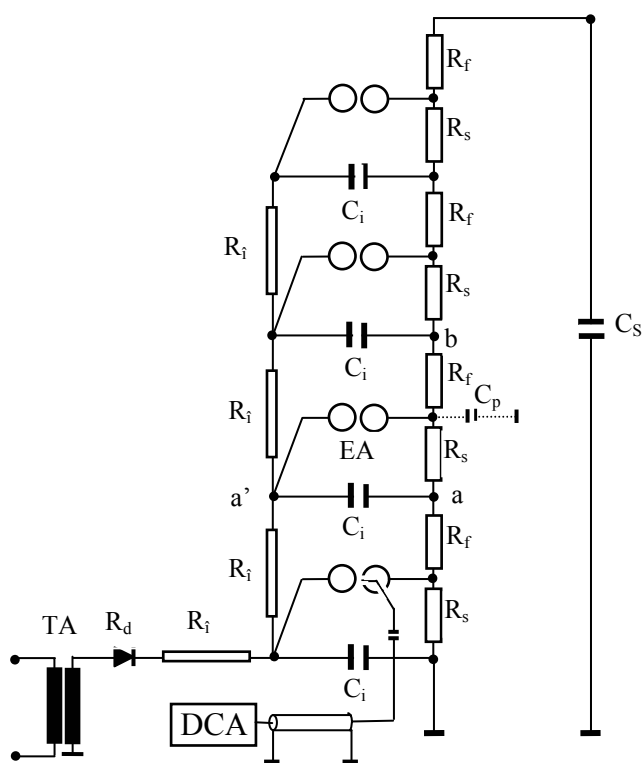


Fig.1 – Generator de impuls cu 4 etaje

Schema de principiu a unui generator multietaj din fig.1 cuprinde:

- O sursă de tensiune înaltă continuă, formată din transformatorul de alimentare TA și redresorul R_d .
- Circuitele identice ale etajelor generatorului cuprinzând 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 , 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.

2. Funcționarea generatorului multietaj

Funcționarea unui astfel de generator este, în principiu, asemănătoare cu a unui GIT monoetaj, cu unele particularități datorate schemei de multiplicare a tensiunii. Se pot deosebi două etape în funcționare:

- *încărcarea condensatoarelor de impuls*
- *formarea impulsului de tensiune.*

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 amplitudine mai mică decât s-a intenționat. Este posibil, în această situație, să nu amorseze eclatoarele tuturor etajelor.

Formarea impulsului de tensiune

Atunci când tensiunea de încărcare a condensatoarelor de impuls a atins nivelul de amorsoare 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 amorsoarea 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.

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 cum are loc amorsarea acestui eclator, se deosebesc două posibilități de funcționare a generatorului: *cu amorsare naturală* (autoamorsare) și *cu amorsare comandată* (triggerare).

3.1. 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 schemă 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_0 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.

3.2. 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 (fig.2).

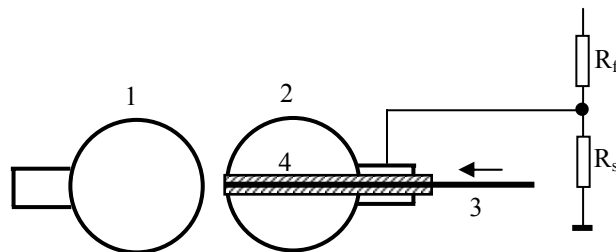


Fig.2- Construcția eclatorului comandat

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 potențial nul până la amorsarea eclatorului.

Datorită scânteiei electrice apărute, rigiditatea dielectrică a intervalului între sfere scade, amorsarea eclatorului având loc la o tensiune de încărcare U_0' mai mică decât tensiunea disruptivă în condiții normale, U_0 . 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_0' . Perechile de valori (U_{omin}' , d), pentru care mai poate avea loc amorsarea comandată determină caracteristica 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_0 , d) cuprinse în acest domeniu, generatorul amorsează comandat.

4. Măsurarea indirectă a tensiunilor de impuls de trăsnet

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 acelor față de pământ, care determină o repartiție neliniară a tensiunii de-alungul 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 măsură cu divizor de tensiune cuprinde, în afara divizorului, linia de racord pe partea de înaltă tensiune către generatorul de tensiune de impuls 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 20-30m.

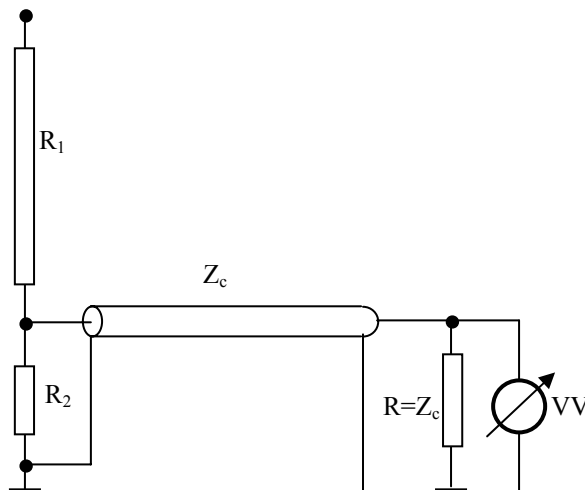


Fig.3. Adaptarea cablului de joasă tensiune

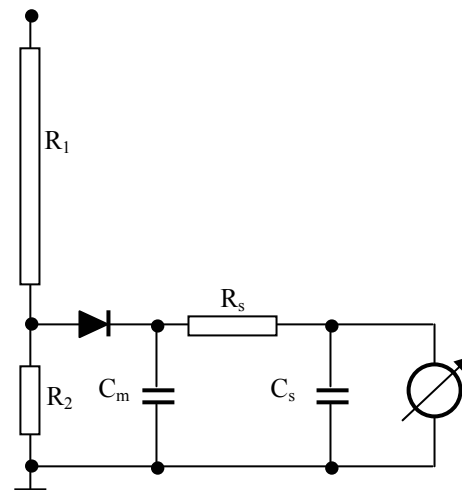


Fig.4 – Schema de principiu a voltmetrului

de vârf pentru tensiune de impuls

Impedanța caracteristică a cablului coaxial este de 75Ω 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 (fig.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 fig.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 undeii de 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 ca 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 ca C_s să nu se încarce simultan cu C_M .

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

5. Indicații metodice și prelucrarea rezultatelor experimentale

Lucrarea are ca scop cunoașterea problemelor practice referitoare la producerea și măsurarea tensiunilor înalte de impuls, însușirea normelor de protecția muncii specifice încercărilor de izolație cu tensiune înaltă de impuls, precum și studierea unor probleme legate de funcționarea 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) și se vor recapitula normele de protecția muncii specifice lucrului cu aceste instalații.

În continuare se vor efectua câteva determinări experimentale.

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

$$c_u = \frac{U_{i\max}}{nU_o}, \quad (1)$$

unde: U_{imax} – amplitudinea tensiunii de impuls U_o - tensiunea de încărcare pe etaj; n - numărul de etaje.

Amplitudinea tensiunii de impuls se va măsura cu un eclator cu sfere orizontal, având diametrul sferelor de 10 cm. Se va folosi unul dintre procedeele de determinare a tensiunii de 50% amorsări, U_{50} prezentate la generatorul monoetaj.

Determinările se vor face pentru câteva valori ale tensiunilor de încărcare U_o , iar rezultatele se vor trece în tabelul 1. Se va aplica corecția relativă la densitatea aerului.

Tabelul 1

U_o [kV]	d [cm]	U_{ES} [kV]	$U_{i\ max} = U_{ES} \cdot \delta$ [kV]	c_u

b) *Determinarea domeniului de amorsare comandată*

Se va folosi GIT-160 kV. După punerea în funcțiune a GIT, pentru diferite distanțe d între sferele eclatoarelor de amorsare se va determina tensiunea de încărcare U_o pentru care are loc amorsarea naturală.

Apoi, pentru fiecare din distanțele folosite se reduce în trepte tensiunea de încărcare U'_o , încercând amorsarea prin comandă, până la atingerea valorii limită inferioară $U'_o\ min$, pentru care se mai poate obține amorsarea comandată a GIT.

Domeniul de amorsare comandată s-a definit ca fiind sectorul cuprins între cele două curbe. Pentru o anumită distanță între sfere, se poate determina, în unități relative, mărimea domeniului de amorsare comandată cu relația:

$$p = \frac{U_o - U'_{o\ min}}{U_o} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2)$$

Rezultatele se trec în tabelul 2.

Tabelul 2

U_o [kV]	$U'_{o\ min}$ [kV]	p

