

LUCRAREA A21

DESCĂRCĂTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE CU ȘI FĂRĂ SUFLAJ MAGNETIC

1. Tematica lucrării

- 1.1. Construcția și funcționarea descărcătorului de înaltă tensiune cu suflaj magnetic.
- 1.2. Verificarea tensiunii de amorsare la frecvență industrială.
- 1.3. Verificarea tensiunii de amorsare la impuls.
- 1.4. Verificarea tensiunii reziduale la curent nominal de descărcare.
- 1.5. Verificarea tensiunii la impulsuri de curent.
- 1.6. Verificarea funcționării.

2. Modul de lucru

2.1. Construcția și funcționarea descărcătorului de înaltă tensiune cu suflaj magnetic.

Descărcătorul este un aparat destinat protejării echipamentului electric, împotriva supratensiunilor tranzitorii ce depășesc un anumit nivel, numit nivel de protecție, (N_p). Adaptarea nivelului de protecție se face în funcție de nivelul de ținere (N_t) al echipamentului de protejat. Raportul dintre cele două nivele este $N_t / N_p \geq 1,15$. Aceasta depinde de natura supratensiunii, (atmosferică sau de comutație), de coeficientul de siguranță necesar, de distanța dintre descărcător și obiectul de protejat, de considerarea îmbătrânirii echipamentului, etc.

Nivelul de protecție la supratensiuni atmosferice este dat de cea mai mare valoare dintre tensiunea reziduală la curent nominal de descărcare, tensiunea de amorsare la impuls 1,2/50 μ s și respectiv tensiunea de amorsare pe frontul undei de impuls divizată prin 1,15. În figura 1 este prezentată construcția unui descărcător de înaltă tensiune de 124 kV. Descărcătoarele moderne se construiesc

pe principul modulului, înseriindu-se mai multe fracții corespunzător tensiunii nominale.

Fracția de descărcător reprezintă o parte a descărcătorului având eclatoare și rezistențe neliniare în raport cu necesitățile practice.

În figura 2 se prezintă elemente componente ale unei fracții de descărcătoare cu suflaj magnetic, precum și variația mărimilor electrice principale în timpul funcționării. În faza (a), înainte de apariția supratensiunii de impuls u_s , prin rezistența de repartiție a tensiunii pe eclatoare 7 (rezistența de șuntare) trece un curent mic i_s , numit curent de conducție (scurgere). Aceasta este starea de serviciu normal. Supratensiunea u_s , atingând valoarea u_a provoacă amorsarea eclatoarelor în punctele 1 din figură, faza (b) determinând un curent de descărcare i_A , a cărui valoare poate atinge zeci de kA și căruia îi corespunde tensiunea reziduală u_{RN} . Caracteristica acestei situații este că rezistoarele neliniare serie 9 au o rezistență mică. Totodată bobinele de suflaj 2, nu sunt parcurse de curent fiind șuntate de arcul electric din eclatoarele de șuntare 8. După trecerea spre pământ a curentului de descărcare i_A , datorită prezenței tensiunii alternative circuitul este parcurs de curentul de însoțire i_N , după cum se observă în faza c, din figura 2. Curentul de însoțire are la început o valoare determinată de tensiunea rețelei U și rezistența neliniară (care redevine de valoare ohmică mare). Scăzând viteza de variație a curentului prin descărcător (derivata curentului în raport cu timpul), bobinele de suflaj nu mai reprezintă o impedanță mare în raport cu eclatoarele de șuntare, astfel că arcul în ele se stinge, iar curentul se transferă în bobine. Apare astfel un câmp magnetic de suflaj 6, care se însumează cu cel creat de forma arcurilor electrice 5 din camerele de stingere formate de discurile 4.

Sub influența câmpului magnetic puternic (liniile de câmp magnetic fiind paralele cu axul descărcătorului, perpendicular pe camerele de stingere), arcurile electrice sunt refulate, suflate, spre marginea camerei de stingere, unde intră în fantă cu pereți reci. Prin efect de ion, arcul este răcit, deionizat și stins. Rezistența arcului crește continuu, limitând mult curentul de însoțire, care se întrerupe

înainte de trecerea prin zero a tensiunii rețelei U, fapt ilustrat în poziția (d) din figura 2. Se constată astfel restabilirea situației inițiale.

Descărcătorul este caracterizat de coeficientul de protecție care reprezintă raportul între nivelul de protecție și tensiunea nominală a descărcătorului (N_p/U).

Caracteristicile descărcătorului sunt:

- a) curba tensiune-timp de amorsare la supratensiuni atmosferice (1,2/50 μ s).
- b) curba tensiunii reziduale în funcție de curentul de descărcare (undă de impuls de curent 8/20 μ s).
- c) pentru descărcătoare de 10 kA, cu tensiunea nominală peste 84 kV, curba tensiune-timp de amorsare la supratensiunii de comutație.

Funcționarea defectuoasă a descărcătorului, urmată de o conturnare în interiorul anvelopei de protecție din porțelan, poate provoca suprapresiuni interioare mari, care să conducă la explozia aparatului. Pentru evitarea acestui fenomen se prevăd diverse sisteme de limitare a presiunii și deci de evitare a exploziei violente.

Menținerea constantă a nivelului de protecție este asigurată prin realizarea etanșă a aparatului și uneori prin introducerea în interior a unui mediu adecvat (de exemplu azot).

Notă: În cadrul lucrării se vor nota parametrii descărcătoarelor din laborator.

2.2. Verificarea tensiunii de amorsare la frecvența industrială

Tensiunea de amorsare la frecvență industrială, reprezintă valoarea de vârf divizată la $\sqrt{2}$ care, dacă este aplicată între bornele descărcătorului, provoacă amorsarea tuturor eclatoarelor serie.

Încercarea se efectuează pe un descărcător complet cu o instalație care să permită creșterea uniformă a tensiunii aplicate într-un interval de timp de 2 ÷ 5 s când tensiunea crește de la tensiunea nominală la tensiunea de amorsare. Această

condiție este necesară pentru a proteja rezistența de șuntare care se poate distruge în timpul probei, prin supraîncălzire.

Determinarea tensiunii de amorsare se face cu un voltmetru de vârf a cărui indicație se împarte la $\sqrt{2}$. Valoarea medie a minimum 5 măsurători reprezentând tensiunea de amorsare la frecvența industrială a descărcătorului.

2.3. Verificarea tensiunilor de amorsare la impuls.

Încercările se execută pe un descărcător complet și implică verificarea tensiunii de amorsare la impuls de tensiune de formă 1,2/50 μ s, a tensiunii de amorsare pe frontul undei, determinarea caracteristicii tensiune timp la supratensiuni atmosferice și la supratensiuni de comutație.

2.3.1. Verificarea tensiunii de amorsare la impuls normal.

Această încercare constă în determinarea valorii celei mai ridicate a tensiunii care este atinsă înaintea amorsării când un impuls de tensiune de formă și polaritate specificată este aplicată între bornele descărcătorului. Descărcătorul fiind în circuit se aplică 5 impulsuri de tensiune de forma 1,2/50 μ s și valoarea de vârf prezumată în funcție de tensiunea nominală a descărcătorului și nivelul său de protecție. Proba se repetă cu alte 5 impulsuri de polaritate inversă. Toate cele 10 impulsuri trebuie să provoace amorsarea. Dacă descărcătorul nu amorsează o singură dată se aplică din nou cele 10 impulsuri de aceeași polaritate. Toate trebuie să provoace amorsarea, în caz contrar descărcătorul nu satisface condițiile pentru care a fost construit.

În tabelul 1 sunt prezentate pentru exemplificare valorile maxime ale tensiunilor de amorsare la impuls admise de CEI în funcție de tensiunile nominale ale descărcătoarelor.

2.3.2. Verificarea tensiunii de amorsare pe frontul undei.

Această încercare revine la a determina tensiunea de amorsare la impuls obținută pe frontul unei unde care crește liniar cu timpul.

Încercarea se efectuează cu polaritatea care a dat valoarea cea mai mare la punctul 2.3.1., iar cea mai mare valoare din cele 10 impulsuri (măsurătorile efectuându-se pe oscilograma tensiune-timp ridicată la fiecare aplicare a impulsului), determină tensiunea de amorsare pe frontul undei.

Valorile trebuie să se încadreze în limitele precizate în tabelul 1 coloana 4 (conform SR CEI 60071).

2.3.3. Determinarea caracteristicii tensiune-timp la supratensiuni atmosferice.

Această caracteristică reprezintă variația tensiunii de amorsare la impuls în funcție de durata până la amorsare.

Încercarea se efectuează cu polaritatea undei care provoacă tensiunea de amorsare cea mai ridicată la undă plină. Se aplică impulsuri de formă prezumată 1,2/50 μ s cu amplitudini progresiv crescătoare începând cu o tensiune inferioară tensiunii de amorsare a descărcătorului. Se mărește amplitudinea virtuală a impulsului în paliere până când se depășește panta convențională a frontului dată în tabelul 1, în funcție de tensiunea nominală a descărcătorului. Se oscilografiază fiecare impuls aplicat și se măsoară tensiunea cea mai ridicată atinsă înainte de amorsare precum și timpul până la amorsare măsurat din originea convențională. Înfășurătoarea punctelor astfel determinate reprezintă caracteristica tensiune-timp la supratensiuni atmosferice.

În figura 3 este prezentată unda de impuls normală 1,2/50 μ s iar în figura 4 unda 1,2/50 μ s tăiată pe front de un descărcător cu rezistență variabilă și suflaj magnetic.

2.3.4. Determinarea caracteristicii tensiune-timp la supratensiuni de comutație.

Această încercare se efectuează numai pentru descărcătoarele de 10 kA, pentru regim intensiv (capabile să suporte descărcarea liniilor lungi), cu tensiuni nominale superioare valorii de 100 kV. Încercările se efectuează cu impulsuri de tensiune având durata convențională a frontului cuprinsă între:

a) $30 \mu\text{s} \div 60 \mu\text{s}$;

b) $150 \mu\text{s} \div 300 \mu\text{s}$;

c) $1000 \mu\text{s} \div 2000 \mu\text{s}$.

Durata semiamplitudinii pe spatele undei trebuie să fie sensibil mai mare decât dublul duratei frontului.

Tabelul 1.

Tensiunea nominală a descărcătorului	Panta frontului undei	Tensiunea de amorsare la impuls normal	Tensiunea de amorsare pe frontul undei	Observații
[kV _{ef}]	[kV _{ef} / μs]	[kV]	[kV]	
0,175	10	---	---	
0,280	10	---	---	
0,500	10	---	---	
0,660	10	---	---	
3	25	13	15	
4,5	37	17,5	20	
6	50	22,6	26	
7,5	62	27	31	
9	75	32,5	38	
10,5	87	38	44	
12	100	43	50	
15	125	54	62	
18	150	65	75	
21	175	76	88	
24	200	87	100	
27	225	87	112	
30	250	108	125	
33	275	119	137	
36	300	130	150	
39	325	141	162	
42	350	151	174	
51	425	184	212	
54	450	195	224	
60	500	216	250	
75	625	270	310	
84	700	302	347	
96	790	324	371	
102	830	343	394	

108	870	363	418	
120	940	400	463	
126	980	420	485	
138	1030	460	530	
150	1080	500	577	
174	1160	570	660	
186	1180	610	702	
198	1200	649	746	

2.4. Verificarea tensiunii reziduale la curent nominal de descărcare și determinarea caracteristicii tensiune-curent

Tensiunea reziduală a unui descărcător reprezintă tensiunea care apare între bornele sale în timpul trecerii curentului de descărcare. Încercarea constă în descărcarea unei baterii de condensatoare pe o sarcină (R, L), în serie cu descărcătorul (D), conform figurii 5. Valorile parametrilor schemei sunt alese astfel încât unda de impuls de curent să fie de forma 8/20 μ s, cu următoarele limite de reglaj :

- pentru valoarea de vârf a curentului: (0,9...1,11) \cdot I ;
- pentru durata convențională a frontului: 7...9 μ s ;
- pentru durata convențională a semiamplitudinii: 19...22 μ s.

Pe fiecare eșantion se aplică patru unde de impuls a căror valoare de vârf va fi aproximativ egală cu : 0,25; 0,5; 1 și 2 ori curentul nominal de descărcare I_n .

$$\text{Deci: } I = 0,25 \cdot I_n ; I = 0,5 \cdot I_n ; I = I_n ; I = 2 \cdot I_n .$$

Curenții nominali de descărcare pentru descărcătoarele de regim interior sunt: 10 kA, 15 kA, și 20 kA.

Intervalul de timp între descărcări trebuie să fie suficient pentru a permite aparatului încercat să revină la o temperatură aproximativ egală cu temperatura mediului ambiant.

Tabelul 2.

Tensiunea nominală de descărcare [kV]	Tens. nomin. fracție [kV]	Număr de fracții	Curent nomin. de desc. [kA]	Impuls de curent			Tens. rez. fracție [kV]	Tens. rez. desc. [kV]
				Ampl. [kA]	Front [μs]	Semi ampl [μs]		

Pe oscilogramă se determină tensiunea reziduală u_{RN} și curentul de descărcare i_A . Se trasează curba tensiunilor reziduale, în funcție de curentul de descărcare. Tensiunea reziduală de pe curba corespunzătoare curentului nominal de descărcare nu trebuie să fie mai mare decât cea precizată în tabelul 1, coloana 3.

În mod normal încercarea se efectuează pe fracții, caz în care tensiunea reziduală a descărcătorului complet este suma valorilor tensiunilor reziduale ale fracțiilor

sale, $\left(U_R = \sum_{i=1}^n u_{Ri} \right)$. Rezultatele măsurătorilor se trec în tabelul 2.

2.5 Verificarea ținerii la impulsuri de curent.

Aceste încercări se efectuează de regulă pe fracții de descărcător cu tensiuni nominale cuprinse între 3 kV și 6 kV.

2.5.1. Încercarea la impulsuri de curent de mare amplitudine.

Tabelul 3.

Timpul de descărcător	Tensiunea nominală a fracției [kV]	Tensiunea de amorsare a fracției la 50 Hz.				Variația tensiunii de amorsare [%]	Obs.
		Înainte		După			
		Valori indiv. [kV _{ef}]	Med. [kV _{ef}]	Val. indiv. [kV _{ef}]	Med. [kV _{ef}]		

Încercarea constă în aplicarea a două impulsuri de curent de formă 4/10 μ s cu valoarea de vârf de 100 kA.

Înainte și după aplicarea impulsurilor de curent se măsoară tensiunea de amorsare a fracției încercate, la frecvența industrială conform paragrafului 2.2.

Între valorile acestei tensiuni măsurate înainte și după aplicarea impulsurilor nu trebuie să existe o diferență mai mare de 10%. Între cele două impulsuri se lasă o pauză astfel ca temperatura eșantionului să ajungă la temperatura mediului ambiant. Rezultatele încercărilor se trec în tabelul 3.

După efectuarea măsurătorilor se examinează fracția și trebuie să se constate integritatea elementelor sale componente (eclatoare, bobine, rezistențe).

Circuitul de încercare este similar cu generatorul utilizat pentru obținerea impulsurilor 8/20 μ s, modificând numai valorile elementelor pasive ale circuitului, în funcție de caracteristicile fracției încercate.

2.5.2. Încercarea la impulsuri de curent de lungă durată.

Încercarea constă în aplicarea a 20 de impulsuri de curent de lungă durată, grupate în 4 serii de câte 5 descărcări. Intervalul dintre descărcări trebuie să fie de 50 ÷ 60 μ s, iar dintre serii de 25 ÷ 30 min.

Generatorul de impulsuri de curent de lungă durată este prezentat în figura 6, etalonarea sa făcându-se în condițiile înlocuirii fracției cu o rezistență etalon R_e [Ω] = 3,3 U_n [kV], U_n fiind tensiunea nominală a fracției și prin încărcarea condensatoarelor la tensiunea $U_{0e} = 0,5 \cdot 3 \cdot U_n$. Impulsul de curent trebuie să fie practic rectangular.

După efectuarea etalonării se înlocuiește rezistența etalon R_e cu fracția de încercat, se încarcă bateria de condensatoare la $U_0 = 3 \cdot U_n$ și se descarcă pe fracție.

Înainte și după aplicarea seriei de 20 de impulsuri de curent de lungă durată se măsoară tensiunea de amorsare la frecvența industrială și tensiunea reziduală a fracției, variația trebuind să rămână sub 10% pentru fiecare din mărimile

menționate. Rezultatele obținute pentru tensiunea reziduală se trec în tabelul 4, iar tensiunea de amorsare în tabelul 3.

Tabelul 4.

Tipul de descărcător	Tens. nominală a fracției [kV]	Tensiunea reziduală la 10 kA		Variația tensiunii reziduale [%]	Observații
		Înainte [kV]	După [kV]		

Efectuarea măsurătorilor asupra tensiunii de amorsare și reziduale se face după răcirea eșantionului, la temperatura mediului ambiant.

2.6. Verificarea funcționării.

În cadrul acestei încercări se reproduc condițiile de serviciu prin aplicarea simultană atât a tensiunii de frecvență industrială cât și a impulsului nominal de descărcare de forma 8/20 μ s.

Schema de principiu a instalației este prezentată în figura 7, și se compune în esență dintr-un generator de impuls de curent (conținând capacitățile C, rezistența R și inductanța L), conectat la fracția de descărcător D printr-un eclator multiplu E_1 , E_2 , curentul de impuls măsurându-se cu șuntul S_1 . Rolul eclatorului multiplu este de a separa partea de impuls de cea de frecvență industrială (R_1 este o rezistență de valoare mare având rolul aducerii potențialului pământului în punctul indicat pentru îmbunătățirea comenzilor de amorsare). Alimentarea cu tensiune industrială se face de la un transformator T de cca. 3 kVA.

Sincronizarea amorsării generatorului de impuls de curent la un anumit număr de grade electrice al tensiunii de frecvență industrială se face cu dispozitivul de sincronizare DS. Măsurarea curentului de însoțire se face cu

șuntul S_2 . Încercarea se face de obicei pe fracții de descărcător cu tensiunea nominală de $3 \div 12$ kV.

Fracția de încercat se conectează la sursa de tensiune a cărei frecvență poate avea valori cuprinse între 40 Hz și 62 Hz. Polaritatea impulsului de curent va fi aceeași cu a semialternanței tensiunii de 50 Hz pe care se amorsează generatorul.

Se fac înregistrări oscilografice ale tensiunii de frecvență industrială la bornele fracției și ale curentului de însoțire pentru cel puțin o fracțiune din fiecare serie.

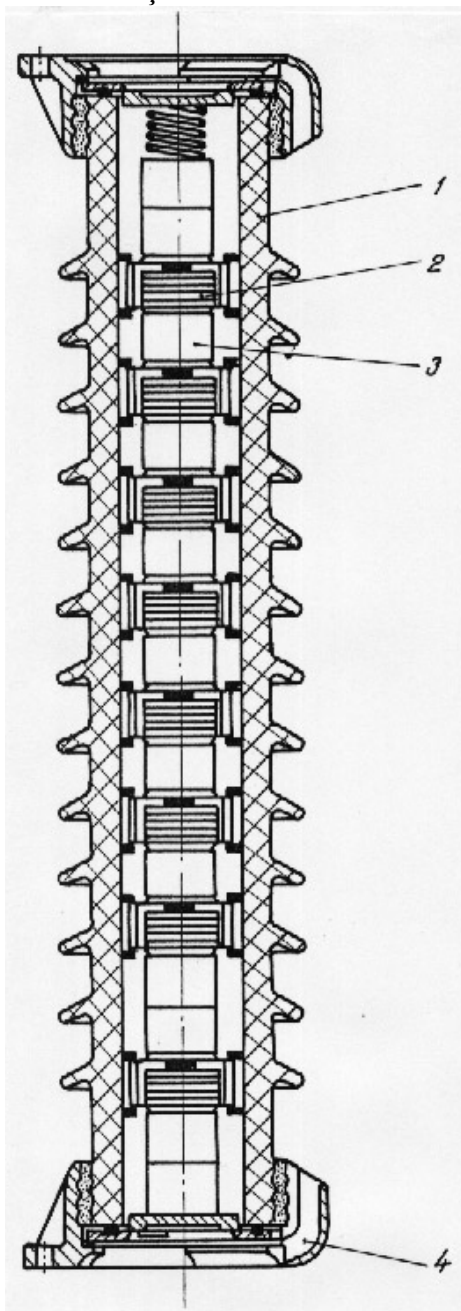
Înainte și după efectuarea celor 20 de funcționări se măsoară tensiunea de amorsare la frecvență industrială și tensiunea reziduală a fracției; variația trebuie să rămână sub 10% pentru fiecare din mărimile menționate.

3. Întrebări.

1. Care sunt elementele constructive ale descărcătorului cu rezistență neliniară și suflaj magnetic?
2. Care sunt fazele funcționării unui descărcător cu suflaj magnetic?
3. Care sunt deosebirile în privința funcționării între un descărcător cu suflaj magnetic și unul fără suflaj?
4. Cum se face alegerea unui descărcător pentru a proteja o instalație dată?
5. Care sunt schemele utilizate la obținerea impulsurilor de curenți vizând încercarea descărcătoarelor?
6. Care sunt și cum se determină experimental principalii parametri ai descărcătoarelor?
7. Cum se realizează verificarea funcționării unui descărcător?
8. Care este diferența funcțională dintre un descărcător și un eclator?

4. Bibliografie.

1. Hortopan,G.: Aparate electrice de comutație, vol II, Editura tehnică, București 1996.
2. Hortopan,G.: Tehnica impulsului în laboratorul de înaltă tensiune. Editura Tehnică București 1965.
3. Trușcă,V.: Aparate electrice și TTI, partea II-a. Solicitări dielectrice. Editura IPB. București 1978.
4. Publicația SR CEI 60071.



- 1 – izolator;
- 2 – cameră de stingere;
- 3 – rezistență nelineară serie;
- 4 – flanșă cu limitator de presiune

Fig.1. Construcția schematică a unui descărcător de înaltă tensiune, 123 kV

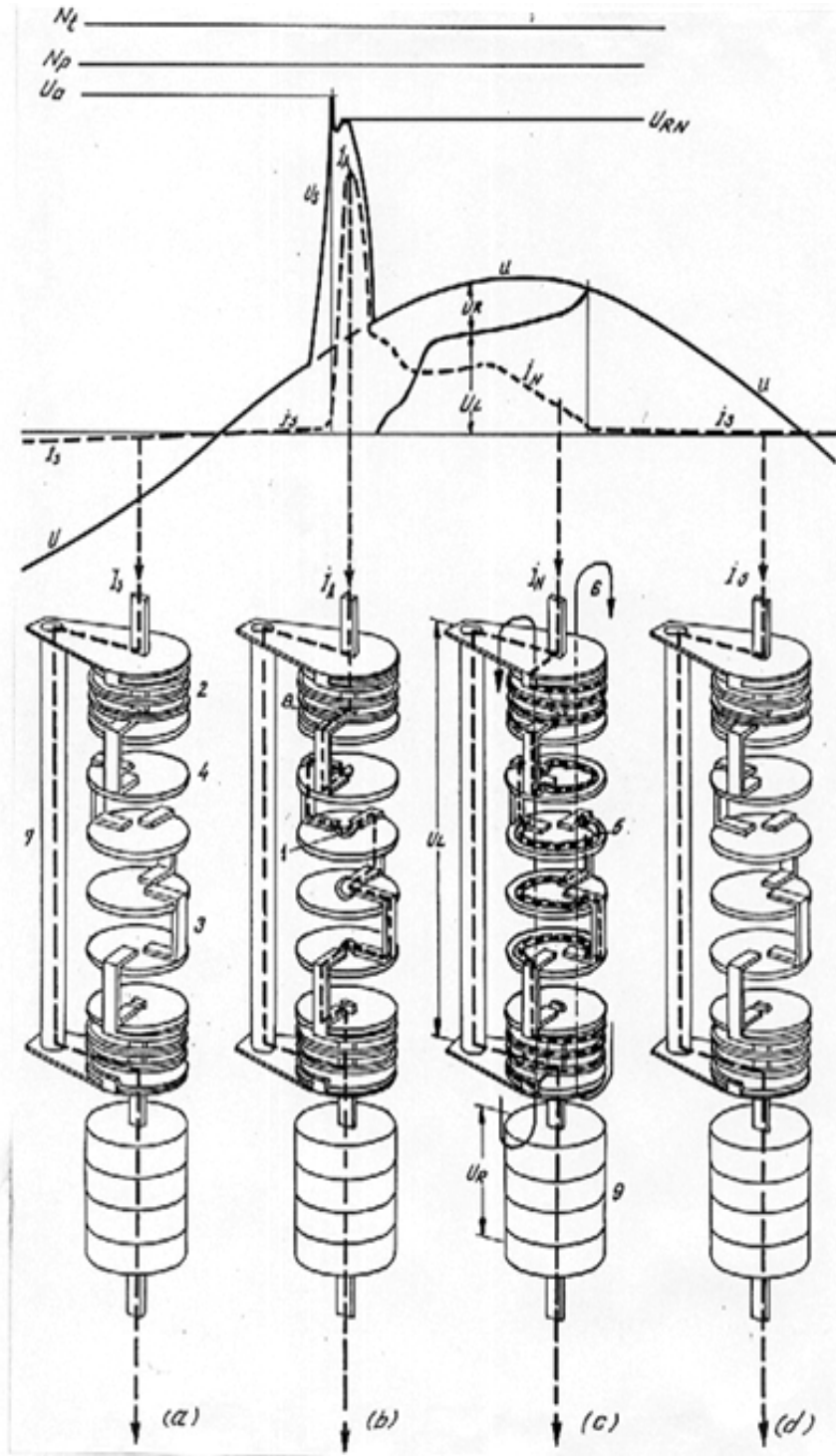


Fig.2. Funcționarea unei fracții de descărcător de înaltă tensiune cu suflaj magnetic.

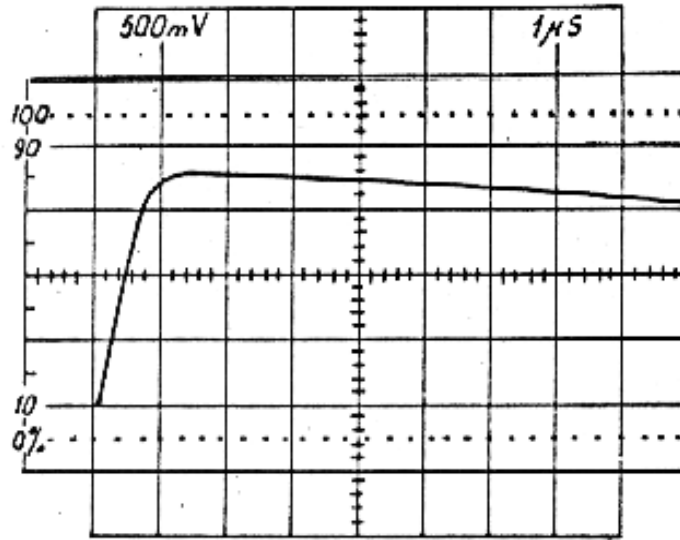


Fig.3. Undă normală de impuls 1,2/50 μ s

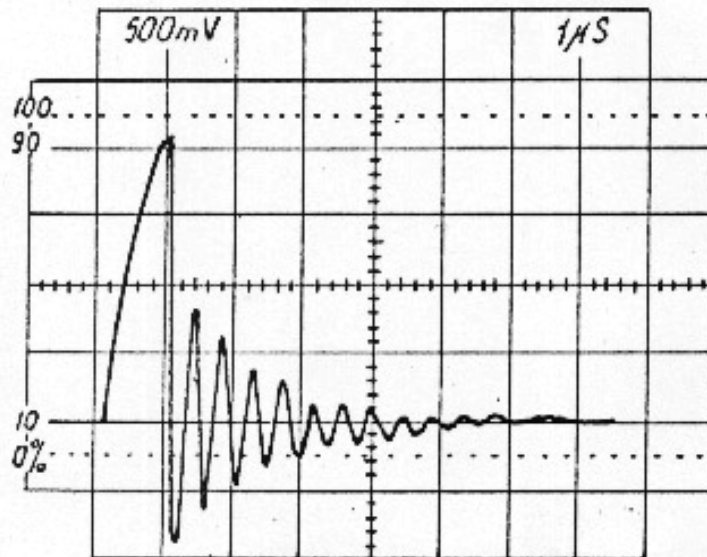


Fig.4. Undă 1.2/50 μ s tăiată pe front de un descărcător
cu rezistență variabilă și suflaj magnetic

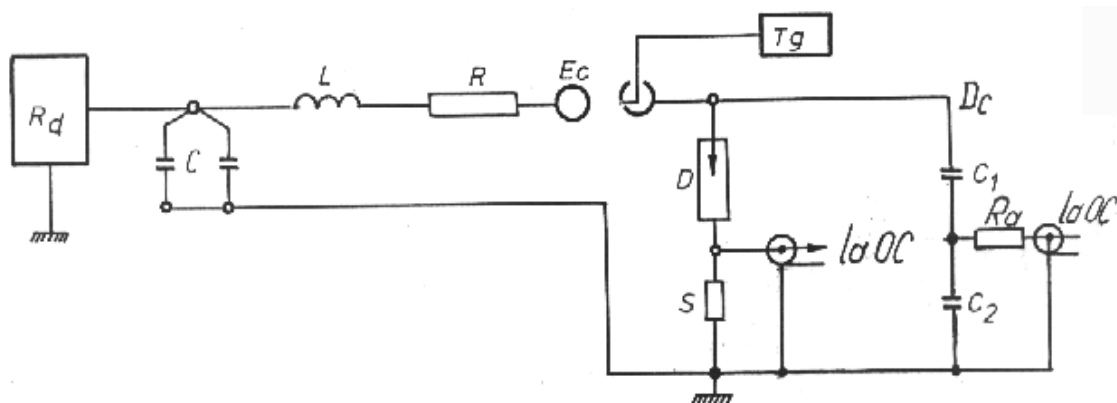


Fig.5. Schema de verificare a tensiunii reziduale
la curentul nominal de descărcare.

R_d – sursă redresor de încărcare a condensatoarelor

C – bateria de condensatoare, (2.4 μF; 70 kV)

L – bobină fără miez de fier, (5 μH)

R – rezistență lineară, (2 Ω)

E_c – eclator comandat

TG – trigger de comandă a eclatorului

D – descărcătorul de încercat

S – șunt, (0.0252 Ω; 20 kA)

R_a – rezistență de adaptare, (75 Ω)

D_c – divizor capacitiv de tensiune

C₁ – condensator de înaltă tensiune

C₂ – condensator de joasă tensiune

OC – osciloscop cu două spoturi

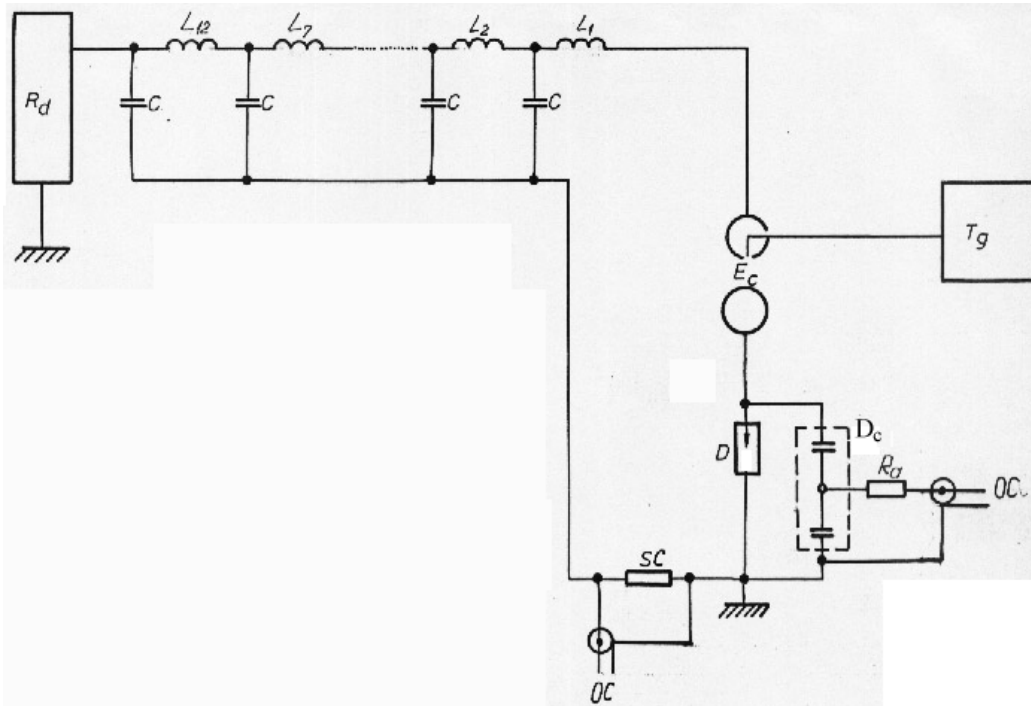


Fig. 6. Schema pentru verificarea solicitării la impulsuri de curent de mică amplitudine și lungă durată - regim intensiv

- Rd – sursă redresor de tensiune continuă
- $L_1 \dots L_{12}$ – bobine, (2 ... 5 μH)
- C – condensatoare, (10 μF ; 70 kV)
- SC – șunt coaxial, (0.504 Ω ; 600 A)
- D_v – divizor capacitiv de tensiune
- R_a – rezistență de adaptare, (75 Ω)
- E_c – eclator comandat
- TG – trigger de comandă a eclatorului
- D – fracție de descărcător supuse încercării
- OC – osciloscop cu două spoturi

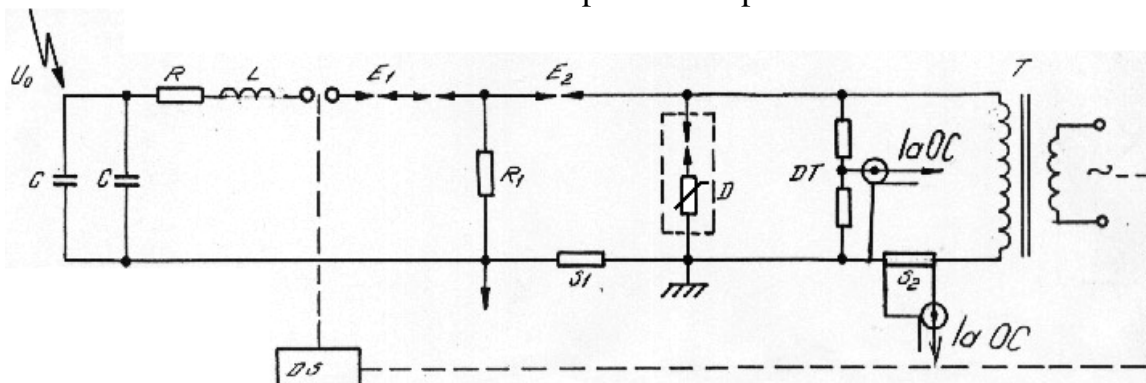


Fig. 7. Schema de principiu a instalației pentru verificarea funcționării