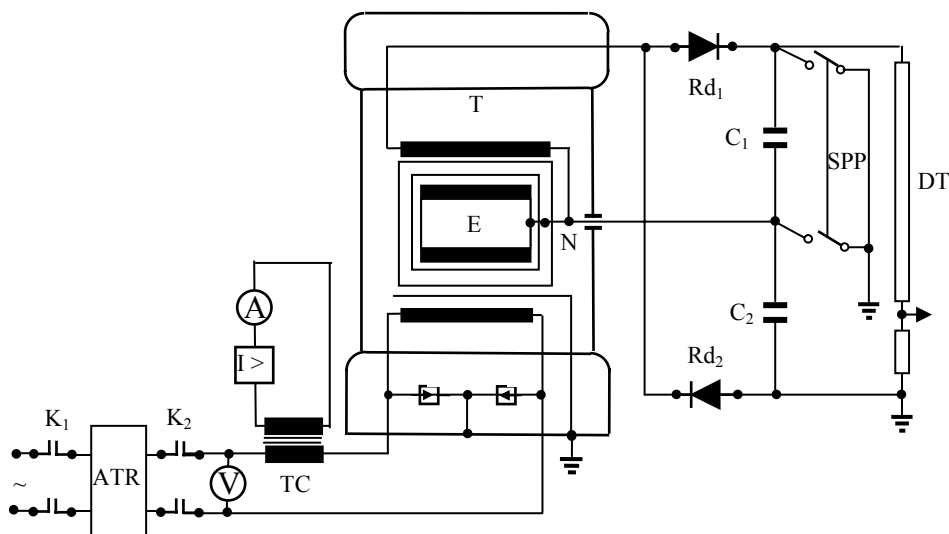


## INSTALAȚIE DE ÎNCERCARE CU TENSIUNE ÎNALTĂ CONTINUĂ 300 kV, 50mA

Instalația, de fabricație germană (TuR Dresden), produce tensiune înaltă continuă folosind o schemă de redresare cu dublare de tensiune (fig.1), care cuprinde un transformator de înaltă tensiune TIT, condensatoarele schemei de dublare  $C_1$  și  $C_2$  și redresoarele  $R_{d1}$  și  $R_{d2}$ .

Transformatorul de înaltă tensiune are o carcasă cilindrică din material izolant (pertonax), închisă cu două plăci metalice, acoperite cu carcasa metalice cu rază mare de curbură pentru evitarea descărcării corona. Ambele borne ale înfășurării de înaltă tensiune sunt izolate față de pământ. Miezul transformatorului se află la potentialul bornei N a înfășurării, scoasă pe carcasă la un inel metallic. Înfășurarea în scurtcircuit E mărește cuplajul magnetic al celor două coloane ale circuitului magnetic, în scopul reducerii fluxului de dispersie.



**Fig.1.-** Schema electrică de principiu a instalației de încercare cu tensiune înaltă continuă de 300 kV/50 mA:

TIT-transformator de înaltă tensiune;  $R_{d1}$ ,  $R_{d2}$ -redresoare cu seleniu;  $C_1$ ,  $C_2$ -condensatoare de filtrare; SPP-separator de punere la pământ; DT-divizor de tensiune rezistiv;  $K_1$ ,  $K_2$ -contactoare; ATR- auto-transformator reglabil; TC-transformator de curent; A-ampermetru; V-voltmetru;  $I >$ -releu maximal de curent.

Redresoarele sunt realizate prin inserierea numărului necesar de elemente semiconductoare cu seleniu, luând în considerare tensiunea inversă aplicată redresoarelor în stare de blocare și tensiunea inversă admisă pentru un element (placă) de seleniu. Terminalele redresoarelor au forme diferite pentru a împiedeca montarea incorectă în schemă. Pentru schimbarea polarității tensiunii continue furnizate de instalație, cele două redresoare se montează unul în locul celuilalt, ceea ce obligă și la rotirea lor cu  $180^\circ$ .

Condensatoarele  $C_1$  și  $C_2$  se află într-o unică coloană cilindrică din material electroizolant, având drept borne carcasa metalice de la extremități protejate cu învelișuri anti-corona și piesa metalică scoasă la jumătatea înălțimii coloanei.

Având în vedere că, după deconectarea alimentării instalației de la rețea, condensatoarele pot să rămână încărcate mult timp, s-a prevăzut separatorul de punere la pământ, SPP, cu acționare electrohidraulică, care se închide automat după deschiderea contactorului  $K_2$  și se deschide simultan cu închiderea aceluiași contactor (la punerea sub tensiune a transformatorului TIT).

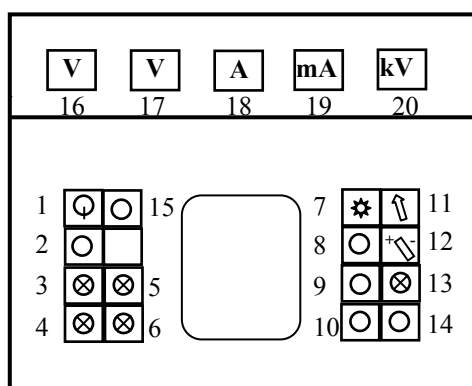
Pentru a se obține o tensiune redresată variabilă, primarul transformatorului TIT este alimentat printr-un autotransformator reglabil ATR, care se află amplasat, împreună cu dula-pul de comutație, care conține contactoarele  $C_1$  și  $C_2$ , în sala surselor de alimentare.

Pentru măsurarea tensiunii înalte continue, se folosește un divizor de tensiune rezistiv DT, care este realizat prin înserierea unui număr mare de rezistențe de tip pelicular imersate în ulei într-un cilindru electroizolant din pertinax. Brațul de joasă tensiune este prevăzut cu un comutator al domeniilor de măsurare cu patru poziții. Sunt de asemenea prevăzute instrumente de măsurare a tensiunilor din circuitele primar și secundar ale ATR, a curentului din circuitul primar al TIT și a curentului furnizat prin borna de înaltă tensiune.

Protecția la supracurenți de scurtă durată este asigurată de un releu maximal de curent montat în primarul TIT și prin siguranțe fuzibile.

Protecția la suprasarcini de durată se realizează cu releu termice atașate contactoarelor  $C_1$  și  $C_2$ .

Comanda instalației se face de la un pupitru de comandă (aflat în sala de înaltă tensiune) (fig.2.).



**Fig2-** Dispunerea elementelor de comandă, măsură și semnalizare pe pupitrul de comandă:

1-cheie de contact; 2-buton de întrerupere a alimentării circuitelor de comandă; 3-buton conectare contactor  $C_1$ ; 4-buton deconectare contactor  $C_1$ ; 5-buton conectare contactor  $C_2$ ; 6-buton deconectare contactor  $C_2$ ; 7-butonul reostatului pentru reglarea iluminării instrumentelor de măsură de pe pupitru; 8-buton comandă creștere tensiune; 9-buton comandă oprire a descreșterii tensiunii; 10-buton comandă descreștere tensiune; 11-comutator domeniu măsură a tensiunii înalte; 12-comutator de corelare a polarității tensiunii de măsurat cu cea a instrumentului din pupitru; 13-lampa de semnalizare a continuității circuitelor de securitate; 14-buton de verificare a continuității circuitelor de securitate; 15-buton ciupercă deconectare de avarie; 16-voltmetru tensiune rețea; 17-voltmetru tensiune primară; 18-ampermetru curent primar; 19-miliampermetru curent continuu; 20-voltmetru conectat în brațul de joasă tensiune al divizorului (gradat în kV)

Operațiile care se execută pentru efectuarea unei încercări cu această instalație sunt următoarele:

- se montează redresoarele  $R_{d1}$  și  $R_{d2}$  astfel încât să se obțină polaritatea dorită;
  - se evacuează zona de lucru și se închide ușa (bariera) de acces;
  - se conectează cheia de contact;
  - comutatorul 12 se aduce în poziția corespunzătoare polarității tensiunii înalte continue;
  - se apasă butonul 14 pentru verificarea continuității circuitelor de electrosecuritate (continuitatea împrejmuirii, închiderea contactului la trecerea pentru acces în zona de lucru); lampa 13 trebuie să se aprindă;
    - se acționează butoanele 3 și 5 care comandă închiderea contactoarelor  $C_1$ , respectiv  $C_2$ .
- Dacă cursorul ATR nu se află pe poziția de tensiune nulă, atunci, la închiderea contactorului  $C_1$ , se pornește automat acțiunea de a-l aduce în această poziție;
- se apasă butonul 8 (fără autoreținere) pentru comanda creșterii tensiunii;

- pentru descreșterea tensiunii se acționează butonul 10 (cu autoreținere) ; oprirea descreșterii tensiunii se realizează prin acționarea butonului 9;
- dacă se produce străpungerea izolației încercate, funcționează protecția maximală de curent și este deconectat contactorul  $C_2$ ;  $C_1$  rămâne conectat, iar cursorul ATR revine automat pe poziția de tensiune nulă;
- deconectarea instalației se face prin acționarea butoanelor 6, 4 și 2, apoi deschizând cheia de contact ;
- în caz de urgență, pentru deconectarea alimentării instalației se acționează butonul ciupercă 15.

## MĂSURAREA TENSIUNILOR ÎNALTE CU ECLATORUL CU SFERE.

Principiul de măsurare al tensiunilor înalte cu ajutorul eclatorului cu sfere se bazează pe legea similitudinii descărcărilor conform căreia tensiunea disruptivă în câmp electric slab neuniform este funcție de produsul  $\delta s$  dintre densitatea relativă a gazului și distanța dintre electrozi ca și de raportul  $s/D$  între distanța între sfere și diametrul lor. Având o caracteristică tensiune-timp aproape orizontală, indiferent de durata descărcării, tensiunea disruptivă a intervalului nu depinde de durata aplicării tensiunii și de legea de variație a acesteia în timp astfel că eclatorul cu sfere poate fi utilizat ca dispozitiv de măsură a valorilor de vârf a tensiunilor alternative, continue și de impuls.

Măsurarea tensiunii cu eclatorul cu sfere se poate face fie aplicând sferelor, inițial suficient de depărtate, tensiunea de măsurat și apropiindu-le lent până la producerea descărcării, fie fixând mai întâi distanța dintre sfere și crescând tensiunea aplicată până la producerea descărcării. Tensiunea disruptivă depinde de diametrul sferelor și de distanța dintre acestea, fiind indicată, pentru condiții atmosferice normale, în tabelele 1 și 2.

Constructiv, un eclator este format din două sfere cu același diametru, din cupru, montate pe doi suporturi dintre care cel puțin unul este izolant. Axul comun al sferelor poate fi orizontal (pentru diametre până la 15-25 cm) sau vertical (pentru diametre mai mari). În cea mai mare parte a cazurilor, eclatorul se folosește cu una dintre sfere legată la pământ. Această sferă este, de obicei mobilă, manual sau acționată cu un motor, permițând reglarea distanței și, respectiv, a tensiunii de amorsare.

Eclatorul cu sfere se conectează la circuitul de înaltă tensiune prin intermediul unei rezistențe, care are un dublu rol: limitează curentul prin arcul electric între sfere în scopul prevenirii deteriorării suprafețelor acestora și amortizează oscilațiile de înaltă frecvență datorate tăierii buște a tensiunii de către eclator. Rezistența se dimensionează la 0,5-1  $\Omega/V$  pentru tensiuni de durată și la valori mai reduse în cazul tensiunii de impuls.

Asigurarea preciziei măsurării cu eclatorul cu sfere (eroare de maximum  $\pm 3\%$ ) se obține atât prin modul de construcție și instalare, cât și prin modul de folosire al acestuia.

În privința construcției și instalării, este esențial să se asigure menținerea caracterului slab neuniform al câmpului electric dintre sfere. Pentru aceasta este necesar ca obiectele metalice, aflate sub tensiune sau legate la pământ, să nu se afle prea aproape de axul sistemului de electrozi (minim  $9D$  pentru  $D = 2$  cm, respectiv minim  $3D$  în cazul  $D = 1$  m). De asemenea, distanța dintre sfere nu trebuie să depășească mărimea razei acestora. Pe suprafața sferelor nu trebuie să se afle praf sau alte depuneri, care pot crea intensificare locală a câmpului electric, determinând amorsarea prematură a descărcării.

În privința modului de utilizare, principala influență are luarea în considerare a dispersiei statistice a rezultatelor datorită multitudinii de factori aleatori de care depinde formarea descărcării. Obținerea preciziei maxime necesită efectuarea unui număr foarte de mare de încercări în condiții identice, ceea ce cere mult timp. Este importantă asigurarea acelorași condiții inițiale la repetarea încercării, prin păstrarea unui interval de minimum 1 minut între două încercări astfel ca să se poată produce deionizarea completă a traseului descărcării precedente. Practic se vor executa serii de 3-5 încercări, eliminând dintre rezultatele obținute pe acelea care se abat cel mai mult de celelalte.

Precizia măsurării se poate mări la eclatoarele având  $D < 12,5$  cm, pe calea iradierii punctului de scânteiere cu radiații ultraviolete sau radioactive. Prin acest procedeu starea inițială de ionizare a aerului va fi aceeași la toate încercările, iar dispersia valorilor tensiunilor disruptive se reduce.

Densitatea gazului (aerului) influențează direct mărimea tensiunii disruptive. Dacă măsurarea se face în condiții diferite de cele normale ( $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1013$  mbar = 760 mmHg),

tensiunea disruptivă reală,  $U_{d,real}$ , se obține cu relația:

$$U_{d,real} = kU_{d,norm} \quad (1)$$

în care  $U_{d,norm}$  este valoarea pentru condiții atmosferice normale.

Pentru variații reduse ale densității relative a aerului,  $0,95 < \delta < 1,05$ , coeficientul de corecție  $k = \delta$ , densitatea relativă a aerului, care se poate calcula cu una dintre relațiile:

$$\delta = 0,289 \frac{p}{273 + t}, \text{ dacă } p \text{ se măsoară în mbar, respectiv}$$

$$\delta = 0,386 \frac{p}{273 + t}, \text{ dacă } p \text{ se măsoară în mmHg (torr).}$$

Influența umidității atmosferice poate fi neglijată în cazul distanțelor mici între electrozi (sub 1m) așa cum este cazul la încercările efectuate în laborator (nu există surse de tensiune atât de mare).

Pentru măsurarea tensiunilor continue sau alternative chiar de frecvență mare, eclatorul poate fi folosit fie menținând constantă distanța între sfere și crescând tensiunea aplicată fie menținând tensiunea constantă și reducând distanța între sfere până la amorsoarea descărcării.

Tensiunile de impuls nu se pot măsura prin aceleași metode deoarece impulsurile au durate prea reduse pentru a putea regla distanța între sfere pe durata aplicării acestora, iar pe de altă parte amplitudinea lor nu poate fi modificată decât de la un impuls la altul. Ca urmare, este necesară o metodă statistică de măsură, cel mai frecvent utilizată fiind metoda celor 50 % amorșări. Aceasta înseamnă obținerea unei distanțe între sfere pentru care, numai 50% dintre impulsurile identice aplicate provoacă amorsoarea descărcării. Obținerea acestei distanțe între sferele eclatorului se poate face prin procedee practice care necesită un număr mai redus de încercări decât ar necesita metoda statistică completă.

Una dintre aceste metode, a „*treptelor multiple*”, presupune reglarea distanței dintre sfere în trepte de cel mult 2% din distanța disruptivă 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% amorșări disruptive se obține prin interpolare liniară între două trepte consecutive ale distanței, pentru prima amorșările eclatorului fiind majoritare, iar pentru cealaltă amorșările fiind minoritare. Distanța inițială, prezumată, se poate stabili în funcție diametrul sferelor eclatorului folosit și de amplitudinea estimată a impulsului aplicat cunoscând tensiunea de încărcare a generatorului de impuls și mărimea coeficientului de utilizare al acestuia. O tehnică similară se poate folosi modificând amplitudinea impulsurilor și păstrând distanța între sfere constantă.

Altă metodă este cunoscută sub denumirea „*sus-jos*” și se aplică astfel: se pleacă de la estimarea tensiunii de 50% amorșări,  $U_{50}$  și se alege o treaptă de variație a acesteia,  $\Delta U$  de cca. 3% din  $U_{50}$ . Se aplică eclatorului impulsul cu amplitudinea  $U_{50}$ . Dacă se produce amorsoarea, următorul impuls aplicat va avea amplitudinea  $U_{50} - \Delta U$ . Dacă are loc o nouă amorsoare, următorul impuls va avea amplitudinea  $U_{50} - 2\Delta U$ . Se continuă astfel cu reducerea tensiunii în trepte  $\Delta U$  până când eclatorul nu mai amorează. Mai departe, tensiunea se va mări cu  $\Delta U$ , iar în continuare creșterea sau reducerea tensiunii vor fi impuse de răspunsul eclatorului (neamorsoare, respectiv amorsoare). Se continuă astfel până la un număr de cca. 20 încercări. Tensiunea de 50% amorșări se calculează cu relația

$$U_{50} = \frac{\sum n_x U_x}{\sum n_x}, \quad (2)$$

în care  $n_x$  reprezintă numărul de aplicări ale impulsului cu amplitudinea  $U_x$ . Se vor lua în considerare numai treptele  $U_x$  care s-au aplicat de cel puțin două ori în seria de încercări. Această condiție elimină erorile datorate alegerii prea mari sau prea mici a tensiunii disruptive prezumate. Și această metodă poate fi transpusă în trepte de distanță, păstrând amplitudinea

impulsului neschimbată.

**Tabelul 1 - Valorile de vârf ale tensiunilor disruptive ale eclatorului cu sferă ,cu o sferă legată la pământ în kV (valori disruptive de 50% amorsări în cazul tensiunilor de impuls).**

Valabile pentru:

-tensiuni alternative,

-tensiuni de impuls negative pline, standardizate sau cu o durată de semiamplitudine mai mare ,

-tensiuni continue de ambele polarități.

Condiții atmosferice de referință: 20<sup>0</sup> C și 1013 milibari (760 mmHg).

Distanța între sfere (cm)	Diametrul sferelor (cm)							
	2	5	10	15	25	50	75	100
0,05	2,8							
0,1	4,7							
0,15	6,4							
0,2	8,0	8						
0,25	9,6	9,6						
0,3	11,2	11,2						
0,4	14,4	14,3						
0,5	17,4	17,4	16,8	16,8				
0,6	20,4	20,4	19,9	19,9				
0,7	23,2	23,4	23	23				
0,8	25,8	26,3	26	26				
0,9	28,3	29,2	28,9	28,9				
1	30,7	32	31,7	31,7	31,7			
1,2	(35,1)	37,6	37,4	37,4	37,4			
1,4	(38,5)	42,9	42,9	42,9	42,9			
1,5	(40)	45,5	45,5	45,5	45,5			
1,6		48,1	48,1	48,1	48,1			
1,8		53	53,5	53,5	53,5			
2		57,5	59	59	59	59	59	
2,20		61,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	
2,40		65,5	69,5	70	70	70	70	
2,60		(69)	74,5	75,5	75,5	75,5	75,5	
2,80		(72,5)	79,5	80,5	81	81	81	
3,0		(75,5)	84	85,5	86	86	86	86
3,50		(82,5)	95	98	99	99	99	99
4,0		(88,5)	105	110	112	112	112	112
4,50			115	122	125	125	125	125
5,0			123	133	137	138	138	138
5,50			(131)	143	149	151	151	151
6,0			(138)	152	161	164	164	164
6,50			(144)	161	173	177	177	177
7,0			(150)	169	184	189	190	190
7,50			(155)	177	195	202	203	203
8,0				(185)	206	214	215	215
9,0				(198)	226	239	240	241
10,0				(209)	244	263	265	266
11,0				(219)	261	286	290	292
12,0				(229)	275	309	315	318
13,0					(289)	331	339	342
14,0					(302)	353	363	366

15,0					(314)	373	387	390
16,0					(326)	392	410	414
17,0					(337)	411	432	438
18,0					(347)	429	453	462
19,0					(357)	445	473	486
20,0					(366)	460	492	510
22,0						489	530	555
24,0						515	565	595
26,0						(540)	600	635
28,0						(565)	635	675
30,0						(585)	665	710
32,0						(605)	695	745
34,0						(625)	725	780
36,0						(640)	750	815
38,0						(655)	(775)	845
40,0						(670)	(800)	875
45,0							(850)	945
50,0							(895)	1010

Tabelul 2 - **Valorile de vârf** ale tensiunilor disruptive ale eclatorului cu sfere ,cu o sferă legată la pământ în kV (valori disruptive de 50% amorsări în cazul tensiunilor de impuls).

Valabile pentru:

- tensiuni de impuls pozitive pline, standardizate sau cu o durată de semiamplitudine mai mare ,
- tensiuni continue de ambele polarități.

Condiții atmosferice de referință: 20<sup>0</sup> C și 1013 milibari (760 mmHg).

Distanța între sfere (cm)	Diametrul sferelor (cm)							
	2	5	10	15	25	50	75	100
0,3	11,2	11,2						
0,4	14,4	14,3						
0,5	17,4	17,4	16,8	16,8				
0,6	20,4	20,4	19,9	19,9				
0,7	23,2	23,4	23	23				
0,8	25,8	26,3	26	26				
0,9	28,3	29,2	28,9	28,9				
1	30,7	32	31,7	31,7	31,7			
1,2	(35,1)	37,8	37,4	37,4	37,4			
1,4	(38,5)	43,3	42,9	42,9	42,9			
1,5	(40)	46,2	45,5	45,5	45,5			
1,6		49	48,1	48,1	48,1			
1,8		54,5	53,5	53,5	53,5			
2		59,5	59	59	59	59	59	
2,20		64	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	
2,40		69	70	70	70	70	70	
2,60		(73)	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	
2,80		(77)	80,5	80,5	81	81	81	
3,0		(81)	85,5	85,5	86	86	86	86
3,50		(90)	97,5	98,5	99	99	99	99
4,0		(97,5)	109	111	112	112	112	112
4,50			120	124	125	125	125	125
5,0			130	136	138	138	138	138
5,50			(139)	147	151	151	151	151

6,0			(148)	158	163	164	164	164
6,50			(156)	160	175	177	177	177
7,0			(163)	178	187	189	190	190
7,50			(170)	187	199	202	203	203
8,0				(196)	211	214	215	215
9,0				(212)	233	239	240	241
10,0				(226)	254	263	265	266
11,0				(238)	273	287	290	292
12,0				(249)	291	311	315	318
13,0					(308)	334	339	342
14,0					(323)	357	363	366
15,0					(337)	380	387	390
16,0					(350)	402	411	414
17,0					(362)	422	435	438
18,0					(374)	442	458	462
19,0					(385)	461	482	486
20,0					(395)	480	505	510
22,0						510	545	555
24,0						540	585	600
26,0						570	620	645
28,0						(595)	660	685
30,0						(620)	695	725
32,0						(640)	725	760
34,0						(660)	755	795
36,0						(680)	785	830
38,0						(700)	(810)	865
40,0						(715)	(835)	900
45,0							(890)	980
50,0							(940)	1040



## PRODUCEREA SI MASURAREA TENSIUNILOR INALTE CONTINUE

### 1. Baze teoretice

#### a) Producerea tensiunilor înalte continue

Procedeul cel mai mult utilizat pentru producerea tensiunii înalte continue în laboratoarele de înaltă tensiune constă în redresarea tensiunii înalte alternative, furnizate de către transformatoarele de încercare. Ca elemente redresoare se pot folosi diode de înaltă tensiune cu vid (kenotroane) sau diode semiconductoare (cu seleniu sau cu siliciu).

Kenotronul este construit dintr-un balon de sticlă în care se găsesc cei doi electrozi – anod și catod. Catodul are forma unui filament care alimentat la o tensiune redusă (cel mult zeci de volți), se încălzește până la o temperatură la care apare emisia autoelectronică. Deoarece catodul este conectat galvanic la circuitul de înaltă tensiune, pentru alimentarea lui este necesar un transformator având izolația dintre înfășurări dimensionată corespunzător tensiunii înalte la care va funcționa (fig.1). Necesitatea transformatorului de încălzire aduce

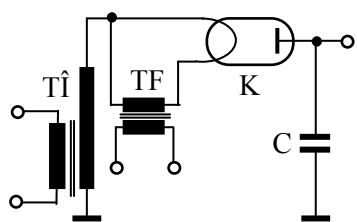


Fig.1- Redresare monoalternanță cu kenotron

complicații constructive, mai ales în cazul schemelor cu multiplicare a tensiunii redresate.

Utilizarea diodelor semiconductoare elimină aceste complicații, iar prin înscrierea unui număr mare de joncțiuni se pot obține tensiuni inverse de până la 500 kV.

Redresarea monoalternanță (fig.1) se folosește pentru obținerea tensiunilor continue până la cca. 100kV. Pentru tensiuni mai înalte, se folosesc scheme cu multiplicarea tensiunii, care au la bază circuitele de redresare cu dublarea tensiunii (fig.2).

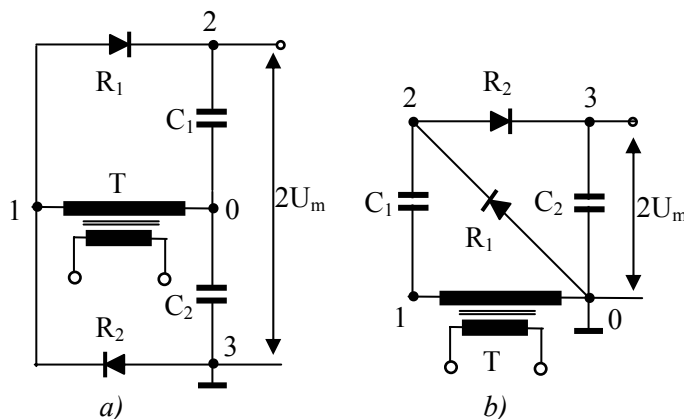


Fig.2 – Scheme de redresare cu dublarea tensiunii  
a) schema simetrică; b) schema nesimetrică

Schema din fig.2 ,a), numită și **schemă de dublare simetrică**, permite obținerea unei tensiuni continue egale cu dublul valorii de vârf a tensiunii date de transformatorul T. Cele două condensatoare se încarcă, prin câte un redresor, separat pe durata alternanțelor pozitivă și negativă, până la valoarea de vârf a tensiunii produse de transformator. Datorită modului de conectare a redresoarelor tensiunile celor două condensatoare se însumează. În această schemă, unul dintre condensatoare are o bornă legată la pământ, astfel că înfășurarea de înaltă tensiune a transformatorului trebuie să aibă ambele borne izolate față de pământ. Schema se poate folosi și cu legare la pământ a sfârșitului înfășurării de înaltă tensiune a transformatorului ridicător, dar în acest caz, nici o bornă a condensatoarelor nu mai poate fi legată la pământ. Această variantă se utilizează atunci când sunt necesare tensiuni egale, dar cu polarități opuse față de pământ. În fig.3,a) sunt date formele tensiunilor în nodurile schemei de dublare simetrică

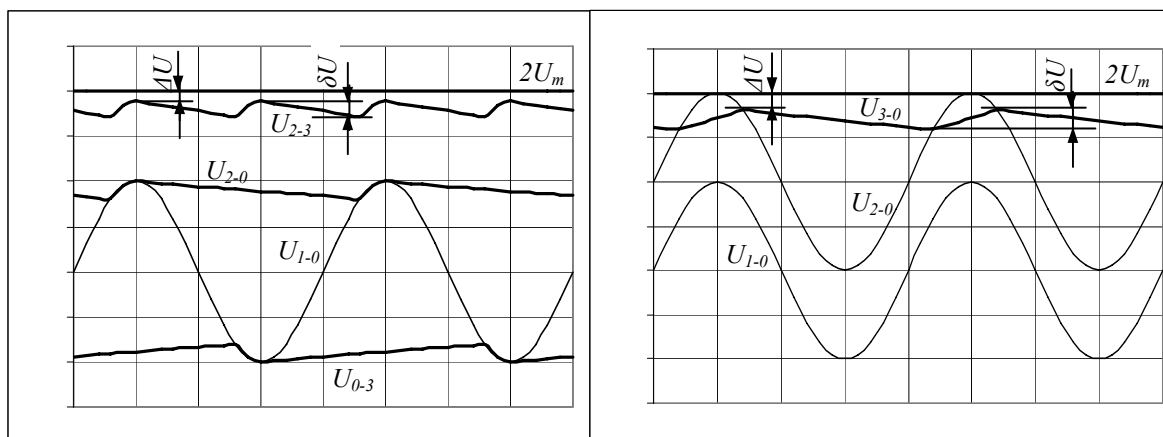


Fig.3 Tensiunile în nodurile schemelor de redresare cu dublarea tensiunii, la funcționarea în sarcină:  
 a) schema simetrică; b) schema nesimetrică

Schema din fig.2, b), numită schemă de dublare nesimetrică furnizează, de asemenea, o tensiune continuă egală cu dublul valorii de vârf a tensiunii din înfășurarea secundară a transformatorului de alimentare. Această înfășurare trebuie să aibă sfârșitul înfășurării legat la pământ. Dublarea tensiunii redresate se realizează prin alt procedeu decât în cazul schemei simetrice. Astfel, condensatorul  $C_1$  se încarcă, prin redresorul  $R_1$  până la valoarea de vârf a tensiunii furnizate de transformator. Prin însumarea tensiunii constante de pe condensator cu tensiunea sinusoidală a înfășurării transformatorului, apare în punctul 2 o tensiune continuă ca polaritate, dar variabilă ca valoare, între 0 și  $2U_m$ . Prin redresorul  $R_2$  se încarcă condensatorul  $C_2$  până la tensiunea  $2U_m$ , aceasta fiind și tensiunea între bornele 3 și 0, de ieșire ale schemei. În fig.3. b) sunt date formele de variație în timp ale tensiunilor în nodurile schemei de dublare nesimetrică.

Tensiunea continuă furnizată de aceste scheme de multiplicare are mărimea  $2U_m$  numai la funcționarea fără sarcină (la gol). La funcționarea în sarcină, în perioada de timp cât redresoarele sunt blocate, consumatorul este alimentat de condensatoare, ceea ce produce descărcarea acestora. În intervalul de conducție a redresoarelor consumatorul este alimentat direct de la transformator, totodată refăcându-se și sarcina pierdută de către condensatoare pe perioada blocării redresoarelor. Ca urmare, în tensiunea de ieșire apare o componentă variabilă periodic, suprapusă peste valoarea medie a tensiunii continue (fig.3).

Pentru obținerea unor tensiuni continue mai înalte decât permit schemele de dublare, se poate realiza o conectare în cascadă a acestora, rezultând scheme de multiplicare cu mai multe etaje.

#### ***b) Măsurarea tensiunilor înalte continue***

Cele mai utilizate metode de măsurare a tensiunilor înalte continue sunt:

- măsurare directă cu ajutorul eclatorului cu sfere sau cu kV-metru electrostatic;
- măsurare indirectă folosind divizoare de tensiune și aparate de măsură de joasă tensiune;

Eclatorul cu sfere este format din două sfere identice între care se aplică tensiunea de măsurat. Măsurarea se efectuează prin stabilirea distanței maxime între sfere la care se produce descărcarea electrică datorată tensiunii aplicate. Eclatorul cu sfere se poate utiliza pentru orice formă a tensiunii aplicate, descărcarea producându-se la valoarea maximă a tensiunii aplicate. Între distanța dintre sfere, diametrul sferelor și tensiunea disruptivă există o corelație dată de legea similitudinii descărcărilor. Valorile tensiunilor disruptive în condiții atmosferice normale sunt normalizate. Detalii privind modul de utilizare al eclatorului cu sfere se găsesc în (I.11).

Kilovoltmetrul electrostatic funcționează pe baza forței care se exercită între doi electrozi între care există o diferență de potențial. Într-unul dintre electrozi este practicat un orificiu în care se așează o foiță metalică suspendată pe un fir metalic. În funcție de mărimea tensiunii aplicate, foița se va roti cu un anumit unghi. Prin devierea unei raze de lumină de către o oglindă solidară cu firul metalic, se obține indicația tensiunii pe o scală gradată. Întrucât forța electrostatică este proporțională cu  $U^2$ , un astfel de aparat măsoară valoarea efectivă a tensiunii aplicate. Detalii constructive ale unui kV-metru electrostatic pentru 75 kV se găsesc în I.12.

Divizorul de tensiune este un dispozitiv pasiv care reduce valoarea tensiunii înalte, fără a-i afecta forma, până la o mărime posibil de măsurat cu un instrument de joasă tensiune.

În principiu, divizorul de tensiune se poate prezenta ca fiind format din două impedanțe înseriate  $Z_1$  și  $Z_2$  (fig.4, a). Impedanța  $Z_1$  reprezintă brațul de înaltă tensiune, iar  $Z_2$  – brațul de joasă tensiune. Pentru ca  $Z_1$  să preia cea mai mare parte a tensiunii de măsurat, este necesar ca  $Z_1 \gg Z_2$ . Impedanța de intrare a instrumentului de măsură trebuie să fie suficient de mare pentru a nu modifica raportul de divizare care se definește :

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1 + Z_{2e}}{Z_{2e}} \approx \frac{Z_1}{Z_{2e}}, Z_{2e} = \frac{Z_2 Z_m}{Z_2 + Z_m}.$$

Pentru măsurarea tensiunilor continue este utilizabil numai divizorul rezistiv (fig.4, b).

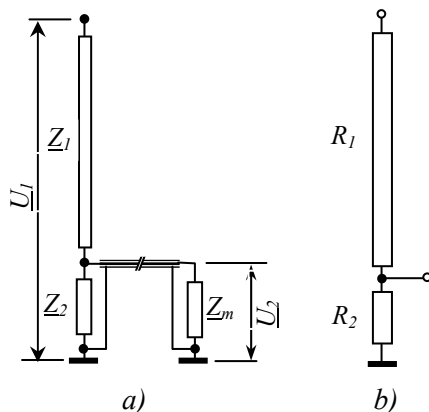


Fig.4 – Divizoare de tensiune  
a) schema de principiu ;  
b) divizor rezistiv

Divizorul rezistiv, este realizat în mod obișnuit prin bobinarea antiinductivă, pe un suport electroizolant cilindric, a unui conductor cu rezistivitate mare. În cazul măsurării tensiunilor continue bobinarea antiinductivă nu este absolut necesară, deoarece viteza de variație a tensiunii de măsurat este redusă astfel că inductanța bobinajului nu poate produce erori de măsurare importante. Nu se folosesc divizoare conținând elemente capacitive, deoarece în acest caz, tensiunea continuă s-ar repartiza pe elementele divizorului nu după capacități, ci după rezistențele de conducție ale izolației acestora, mărimi care sunt greu

controlabile. Pentru menținerea preciziei de măsurare este necesară asigurarea evacuării căldurii degajate în conductor.

În brațul de joasă tensiune se pot folosi aparate cu impedanță mare de intrare precum voltmetrele numerice și oscilografe. O variantă simplificată de măsurare este înlocuirea brațului de joasă tensiune cu un mA-metru magnetoelectric. Tensiunea măsurată va fi obținută din produsul curentului cu mărimea rezistenței brațului de înaltă tensiune care devine astfel o rezistență adițională.

## 2. Modul de lucru

Se va examina instalația de încercare cu tensiune înaltă continuă de 300 kV, 50 mA prezentată în I.3, identificând componentele acesteia conform schemei de principiu. De asemenea se va studia modul de utilizare a instalației, referitor la punerea în funcțiune, reglarea tensiunii și scoaterea din funcțiune folosind elementele de comandă, semnalizare și măsură din componența pupitrului de comandă.

Se va realiza schema de încercare conform cu fig. 5. Divizorul de tensiune rezistiv din această schemă face parte din componența instalației de producere a tensiunii înalte continue. Eclatorul cu sfere are construcție orizontală și diametrul sferelor de 25 cm.

Folosind această schemă se va realiza măsurarea tensiunii înalte continue simultan cu eclatorul cu sfere și cu divizorul de tensiune.

Se va determina gama de distanțe între sferele eclatorului care se poate folosi în acest caz, utilizând tabelele cu valorile tensiunilor disruptive corespunzătoare. Din această gamă se va alege un număr de 5-6 valori ale distanței între sfere pentru care se vor executa încercările.

După reglarea distanței dintre sferele eclatorului la fiecare dintre distanțele alese, se va aplica tensiunea crescător până la apariția descărcării. În acest moment se citește indicația kV-metrului din pupitrul de comandă. La fiecare distanță, se execută trei încercări valabile, eliminându-le pe acelea care dau rezultate mult diferite de celelalte, ceea ce înseamnă că măsurarea a fost perturbată de o cauză externă montajului. Rezultatele se trec în tabel.

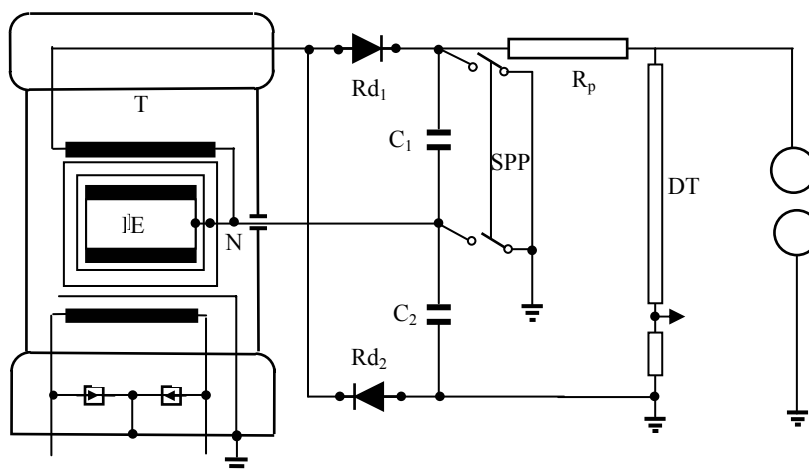


Fig.5- Schema montajului pentru măsurarea tensiunilor înalte continue

Tabelul de rezultate

s (cm)	Tensiunea de alimentare (V)				Eclatorul cu sfere		Divizorul rezistiv (kV)			
	1	2	3	media	U <sub>standard.</sub> (kV)	U <sub>corectat</sub> (kV)	1	2	3	media

Se va calcula densitatea relativă a aerului din laborator, cunoscând temperatura  $t$  ( $^{\circ}C$ ) și presiunea atmosferică  $p$  (mm col Hg), utilizând formula

$$\delta = 0,386 \frac{P}{273 + t}$$

și se vor corecta valorile standardizate ale tensiunii disruptive

$$U_{corectat} = U_{standard} * \delta .$$

Pentru una dintre distanțele dintre sferele eclatorului , se va efectua un număr mai mare de încercări (în jur de 10), urmând a prelucra statistic rezultatele, conform relațiilor

- Valoarea medie a tensiunii măsurate  $U_m = \frac{\sum^n U_i}{n}$  ;
- Eroarea medie  $\varepsilon_m = \frac{\sum /U_i - U_m /}{n}$  ,
- Eroarea medie pătratică  $\varepsilon_i = \sqrt{\frac{(U_i - U_m)^2}{n}}$  .
- Dispersia rezultatelor în cazul unei distribuții normale (Gauss):  $\sigma = \varepsilon_i^2$

Folosind rezultatele din tabel, se va construi graficul de variație a tensiunilor măsurate prin diverse metode în funcție de valoarea medie a tensiunii de alimentare, pentru ambele metode de măsurare pe același sistem de axe de coordonate.