

ÎNCERCAREA IZOLAȚIEI TRANSFORMATOARELOR PRIN METODE NEDISTRUCTIVE

1. Baze teoretice

Încercările nedistructive ale izolației echipamentelor de înaltă tensiune se execută folosind tensiune continuă sau alternativă a a cărei mărime este inferioară tensiunii de funcționare (tensiunea cea mai ridicată pentru echipament), astfel încât starea izolației să nu fie afectată negativ ca urmare a efectuării încercărilor.

Majoritatea transformatoarelor de forță existente în exploatare au izolația internă de tipul hârtie-ulei, fiind formată din straturi de hârtie și carton rigid impregnate cu ulei electroizolant între care există spații pentru circulația uleiului, care asigură răcirea miezului și a înfășurărilor.

Starea izolației transformatorului este o rezultată a stării acestor materiale, supuse solicitărilor electrice, termice și chimice timp îndelungat. Ca urmare a acestor solicitări, izolația se degradează treptat. Calitatea izolației interne a transformatoarelor poate fi apreciată prin rezultatele unor încercări nedistructive electrice și neelectrice. Numărul acestora este destul de mare, dar numai câteva sunt suficient de simple și rapide pentru a putea fi folosite în exploatarea curentă a transformatoarelor, implicând și echipamente accesibile ca preț și complexitate.

Încercările folosite curent sunt:

- Încercarea uleiului din transformator;
- Măsurarea rezistenței de izolație și a coeficientului de absorbție, prin încercarea cu tensiune continuă;
- Măsurarea factorului de pierderi dielectrice ($tg\delta$), prin încercare cu tensiune alternativă de frecvență industrială;

Alte încercări nedistructive, dar a căror realizare necesită aparatură mai complexă și mai scumpă și a căror rezultate se pretează mai ales unei interpretări calitative, neputând fi precis cuantificate în vederea luării unei decizii privind necesitatea remedierii sau continuarea funcționării sunt:

- Măsurarea nivelului descărcărilor parțiale;
- Spectroscopia în domeniul timpului sau a frecvenței;
- Termografia.

În lucrarea de față se vor lua în considerare numai metode electrice de încercare nedistructive cu tensiune continuă și de frecvență industrială, folosite în mod curent în instalațiile sistemului electroenergetic, cu aplicație la încercarea transformatoarelor de forță trifazate.

a) Măsurarea rezistenței de izolație

Rezistența electrică a izolației, numită *rezistență de izolație*, este determinată experimental ca raportul dintre tensiunea continuă aplicată și curentul care trece prin izolația încercată. Considerând tensiunea constantă, curentul absorbit de izolație descrește neliniar în funcție de timp pe măsura avansării proceselor de polarizare din dielectricii componenți. O mare influență asupra desfășurării acestor procese o exercită conținutul de umiditate al izolației; cu cât acesta este mai ridicat, polarizarea se desfășoară mai repede și consumă mai multă energie. Astfel rezistența de izolație ajunge mai rapid la valoarea stabilizată, iar această valoare este corespunzător mai mică.

Datorită acestui fapt metodele practice de încercare constă în:

- măsurarea valorii rezistenței de izolație la un moment precizat de la începutul încercării (cel mai adesea la 60 s);
- calculul raportului dintre valorile rezistenței de izolație măsurate la două momente precizate (frecvent la 15 s și la 60 s), raport numit coeficient de absorbție. Cu cât izolația încercată este mai lipsită de umiditate, cu atât valoarea R_{60} este mai mare, iar coeficientul de absorbție este mai mare decât 1.

Dacă mărimea rezistenței de izolație depinde de volumul de material electroizolant, coeficientul de absorbție, fiind raportul a două valori ale rezistenței aceleiași izolații nu mai depinde de volumul acesteia, putând fi folosit pentru comparația stării izolației unor echipamente diferite, dar cu același sistem de izolație.

Dependența de temperatură a valorii rezistenței de izolație are loc în sens invers decât în cazul rezistenței conductoarelor. Astfel, cu creșterea temperaturii rezistența de izolație scade.

Raportarea (recalcularea) valorii rezistenței de izolație măsurată la temperatura t_1 la o temperatură t_2 se face:

- prin înmulțire cu factorul de corecție k_1 , dacă $t_2 < t_1$,
- prin împărțire cu factorul de corecție k_1 , dacă $t_2 > t_1$.

Factorul de corecție depinde de $\Delta t = |t_2 - t_1|$, conform tabelului 1.

Tabelul 1- Factorul de corecție a rezistenței de izolație în funcție de temperatură

Δt ($^{\circ}\text{C}$)	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
k_1	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4	4,15	5,1	6,2	7,5	9,2	11,2	13,9	17

Valorile k_1 indicate în tabelul 1 sunt informative și se folosesc dacă nu există rezultate ale măsurării rezistenței de izolație la diferite temperaturi, pentru transformatorul încercat. Asemenea valori pot fi menționate în buletinul de încercare al fabricii. Cu ajutorul acestor perechi de valori (R_{iz}, t) se trasează dreapta $R_{iz}=f(t)$, care poate fi folosită pentru determinarea valorii medii a factorului k_1 pentru transformatorul încercat.

b) Măsurarea factorului de pierderi dielectrice ($tg\delta$)

Factorul de pierderi dielectrice este definit ca raportul dintre componentele activă și reactivă ale curentului absorbit de o izolație supusă tensiunii de frecvență industrială. Dacă mărimea componentei reactive (capacitivă) este impusă, în principal, de configurația izolației (geometrie și materiale), componenta activă reflectă procesele de conducție și polarizare din dielectric, procese cu atât mai intense cu cât dielectricul este mai îmbătrânit și are un conținut de umiditate mai mare. Așadar, $tg\delta$ poate fi folosit pentru caracterizarea pierderilor de putere activă în izolație, de unde și denumirea de factor de pierderi dielectrice.

Mărimea $tg\delta$ nu depinde de volumul izolației, ci numai de componența ei și de gradul de deteriorare (în principal umezire).

Temperatura izolației influențează procesele de conducție și polarizare din dielectric, astfel că și mărimea factorului de pierderi dielectrice este influențată de temperatură în sensul creșterii valorii la creșterea temperaturii.

Raportarea (recalcularea) valorii $tg\delta$ măsurată la temperatura t_1 la o temperatură t_2 se face:

- prin împărțire cu factorul de corecție k_2 , dacă $t_2 < t_1$,
- prin înmulțire cu factorul de corecție k_2 , dacă $t_2 > t_1$.

Factorul de corecție depinde de $\Delta t = |t_2 - t_1|$, conform tabelului 2.

Tabelul 2 Factorul de corecție a $tg\delta$ de izolație în funcție de temperatură

Δt ($^{\circ}C$)	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
k_2	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,25	1,51	1,75	2	2,3	2,65	3	3,5	4	4,6	5,3	6,1	7

Valorile k_2 indicate în tabelul 2 sunt informative și se folosesc dacă nu există rezultate ale măsurării $tg\delta$ la diferite temperaturi, pentru transformatorul încercat. Asemenea valori pot fi menționate în buletinul de încercare al fabricii. Cu ajutorul acestor perechi de valori ($tg\delta, t$) se trasează dreapta $tg\delta = f(t)$, care poate fi folosită pentru determinarea valorii medii a factorului k_2 pentru transformatorul încercat.

Temperatura izolației este considerată a fi reprezentată de temperatura uleiului din transformator la partea superioară a cuvei.

În cazul transformatoarelor trifazate, încercarea izolației se poate realiza separat pe zone aparținând celor două (sau trei) înfășurări, dar nu și pe zone referitoare la fazele înfășurărilor, datorită conexiunilor electrice dintre bobinaje. Din acest motiv, pe durata încercărilor, bornele de linie ale celor trei faze ale fiecărei înfășurări se leagă galvanic vizibil, aceasta fiind util din motive de electrosecuritate.

2. Indicații metodice

Încercările nedistructive menționate mai sus se vor aplica unui transformator trifazat cu două înfășurări, având ca principali parametri: $U_n = 15/0,4$ kV, $S_n = 40$ kVA.

Conexiunea înfășurării de 15 kV a fost modificată din triunghi (așa cum este, pe partea de medie tensiune, la transformatoarele aflate în exploatare) în stea cu neutru accesibil printr-o trecere izolantă, montată pe capacul cuvei. Această modificare a fost necesară pentru a se putea executa și încercarea cu tensiune mărită indusă a izolației, folosind scheme de montaj monofazate.

Înfășurarea de joasă tensiune a fost de asemenea modificată pentru a se putea realiza toate tipurile de conexiuni: stea, triunghi, zig-zag. Înfășurările fazelor au fost divizate în câte două semibobine ale căror extremități au fost conectate la o placă de borne adăugată pe capacul cuvei transformatorului. În aceste condiții, se pot simula și încercările cu tensiune mărită specifice transformatoarelor IT/MT.

2.1. Măsurarea rezistenței de izolație și a coeficientului de absorbție

Modul de măsurare a rezistenței de izolație la transformatorul cu două înfășurări este dat în tabelul 3 în care IT reprezintă înfășurarea de înaltă tensiune, iar JT înfășurarea de joasă tensiune.

Tabelul 3- Măsurarea rezistenței de izolație

Nr. crt.	Înfășurarea la care se efectuează măsurarea	Se leagă la pământ
1	IT	Cuva, JT
2	JT	Cuva, IT
3	IT+JT	Cuva

Efectuarea măsurării propriu-zise va fi precedată de o scurtcircuitare și legare la pământ a bornelor ambelor înfășurări pentru o durată de cel puțin 5 minute; între încercări înfășurările vor fi iarăși scurtcircuitate la pământ cel puțin 2 minute. Aceste operații au scopul de a

elimina sarcinile electrice reziduale din izolație de la încercarea anterioară, deoarece acestea pot afecta rezultatul măsurătorilor.

Măsurarea se execută cu ajutorul aparatului MΩ-metru tip M5A, a cărui mod de utilizare este prezentat în anexa 1.

Tensiunea de încercare, furnizată de sursa internă a MΩ-metrului, se alege în funcție de tensiunea nominală a izolației încercate, astfel:

- 500 V pentru înfășurările de joasă tensiune,
- 1000 V pentru înfășurările cu tensiunea nominală între 1 și 10 kV
- 2500 V sau 5000 V pentru înfășurările cu tensiunea nominală de peste 10 kV.

După efectuarea montajului de încercare conform tabelului 1, se racordează MΩ-metrul la zona de măsurat și se apasă pe butonul de măsurare, prin care se conectează tensiunea de încercare la obiectul încercat. Întrucât tensiunea de încercare poate fi de până la 2500 V, conductoarele de măsură trebuie să fie izolate corespunzător, iar operatorul să nu le atingă pe durata încercării.

Indicațiile MΩ-metrului se citesc la 15 s și respectiv 60 s după apăsare pe butonul 3. Rezultatele măsurătorilor se notează în tabelul 4, coloanele 3 și 4.

Coefficientul de absorbție se determină ca raport al rezistențelor de izolație:

$$k_{abs} = \frac{R_{60}}{R_{15}}. \quad (1)$$

Tabelul 4 Rezultatele măsurării rezistenței de izolație

Nr. crt.	Înfășurarea la care se măsoară	Se leagă la pământ	Valori măsurate la $t_{med} = \dots\dots ^\circ C$			Valoarea R_{60} recalculată la $t_0 = 20^\circ C$		Valori normate în exploatare		Concluzii
			R_{15} (MΩ)	R_{60} (MΩ)	k_{abs}	R_{60}' (MΩ)	k_{abs}'	R_{iz} la $20^\circ C$ (MΩ)	k_{abs}	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	IT (15 kV)	JT + cuva						300	>1.2	
2	JT (0,4 kV)	IT + cuva						2		
3	IT+JT	cuva								

2.2. Măsurarea factorului de pierderi dielectrice a izolației înfășurărilor

Structura complexă a izolației transformatoarelor face necesară determinarea $tg\delta$ a izolației fiecărei înfășurări față de cuvă și a izolației dintre înfășurări, în conformitate cu schema

din fig.1, care se referă la un transformator cu două înfășurări. Pentru a se putea determina factorul de pierderi dielectrice al fiecărei zone trebuie realizate trei măsurători, conectând bornele transformatorului conform tabelului 5.

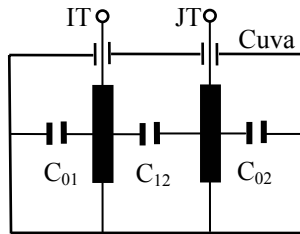


Fig.1- Schema echivalentă a izolației interne a transformatorului cu două înfășurări

Tabelul 5 – Măsurarea $tg\delta$ la transformatorul cu două înfășurări

Nr. crt.	Zona măsurată	Mărimile măsurate
1	IT – (JT + cuva)	$C_1, tg\delta_1$
2	(IT+JT) –cuva	$C_2, tg\delta_2$
3	JT – (IT+cuva)	$C_3, tg\delta_3$

Cu mărimile măsurate, $C_i, tg\delta_i$ se determină capacitățile și valorile $tg\delta$ corespunzătoare izolației fiecărei înfășurări față de cuvă și între înfășurări, folosind relațiile de calcul:

- pentru capacități

$$C_{01} = \frac{C_1 + C_2 - C_3}{2}, \quad C_{02} = \frac{C_2 + C_3 - C_1}{2}, \quad C_{12} = \frac{C_3 + C_1 - C_2}{2}; \quad (2)$$

- pentru factorul de pierderi dielectrice

$$tg\delta_{01} = \frac{C_1 tg\delta_1 + C_2 tg\delta_2 - C_3 tg\delta_3}{C_1 + C_2 - C_3}, \quad tg\delta_{02} = \frac{C_2 tg\delta_2 + C_3 tg\delta_3 - C_1 tg\delta_1}{C_2 + C_3 - C_1},$$

$$tg\delta_{12} = \frac{C_3 tg\delta_3 + C_1 tg\delta_1 - C_2 tg\delta_2}{C_3 + C_1 - C_2}. \quad (3)$$

Parametrii $C_i, tg\delta_i$ menționați se măsoară cu o punte de curent alternativ de înaltă tensiune (Puntea Schering). Se va folosi o punte de tip MD-16, a cărei mod de utilizare este dat în anexa 2.

Schema de măsurare, utilizată cel mai frecvent în exploatare, este schema inversată (răsturnată), care permite menținerea cuvei transformatorului legată la pământ pe durata încercării. Folosirea acestei scheme se va face conectând transformatorul în montajul punții (capacitatea C_x) conform tabelului 6. Tensiunea de încercare poate fi tensiunea nominală a punții (10 kV) numai pentru prima zonă măsurată. Pentru celelalte două, tensiunea de încercare nu trebuie să depășească tensiunea nominală cea mai mică a bornelor legate la sursă. Această tensiune poate fi obținută folosind un transformator Tr.1 adecvat, de joasă tensiune. Montajele sunt prezentate în fig. 2.

Schema directă (normală), care necesită izolarea cuvei transformatorului încercat față de pământ, poate fi folosită mai ales în laboratoarele de încercări. Modul de conectare a bornelor

transformatorului poate fi același ca în tabelul 6, cu deosebirea că aceste borne se leagă în montajul punții ca în tabelul 7, respectiv fig.3.

Tabelul 6 - Măsurarea $tg\delta$ în montaj inversat al punții Schering

Nr. crt.	Mărimile măsurate	Se leagă la borna C_x	Se leagă la pământ	Tensiunea de încercare (kV)
1	$C_1, tg\delta_1$	IT	JT + cuva	10
2	$C_2, tg\delta_2$	JT	IT + cuva	0,4
3	$C_3, tg\delta_3$	IT+JT	Cuva	0,4

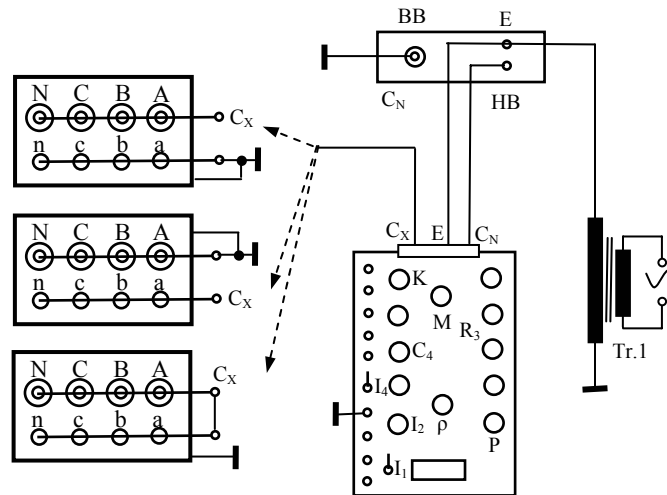


Fig.2 – Circuitul de încercare încercare cu puntea Schering MD-16 în montaj inversat

Tabelul 7 - Măsurarea $tg\delta$ în montaj normal al punții Schering(I)

Nr. crt.	Mărimile măsurate	Se leagă la sursa de tensiune de încercare	Se leagă la borna C_x	Tensiunea de încercare (kV)
1	$C_1, tg\delta_1$	IT	JT + cuva	10
2	$C_2, tg\delta_2$	JT	IT + cuva	0,4
3	$C_3, tg\delta_3$	IT+JT	Cuva	0,4

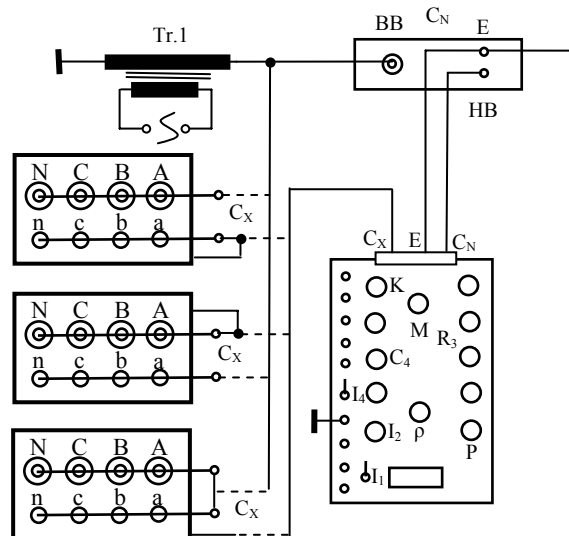


Fig.3 - Circuitul de încercare încercare cu puntea Schering MD-16 în montaj direct (I)

Conectarea transformatorului încercat în montajul normal al punții se poate face și conform tabelului 8, modalitate care prezintă avantajul determinării directe a parametrilor C și $tg\delta$ pentru zonele de izolație din fig.1. Determinarea este afectată, teoretic, de o eroare a cărei mărime se dovedește, practic, cu totul neînsemnată.

Tabelul 8 Măsurarea $tg\delta$ în montaj normal al punții Schering(II)

Nr. crt.	Mărimile măsurate	Zona măsurată		Se leagă la pământ	Tensiunea de încercare (kV)
		Se leagă la sursa de tensiune de încercare	Se leagă la borna C_x		
1	$C_{01}, tg\delta_{01}$	IT	cuva	JT	10
2	$C_{12}, tg\delta_{12}$	IT	JT	cuva	10
3	$C_{02}, tg\delta_{02}$	JT	cuva	IT	0,4

Această modalitate are și avantajul posibilității de măsurare la o tensiune mai apropiată de tensiunea nominală pentru ambele zone de izolație de înaltă tensiune. Circuitul de încercare este prezentat în fig.4.

Restricția utilizării unui transformator de alimentare adecvat pentru tensiunea de alimentare de 0,4 kV se menține și în cazul folosirii schemei directe. Există însă, pentru montajul direct, posibilitatea folosirii unei surse interne de joasă tensiune inclusă în construcția punții și care constă dintr-o înfășurare separată a transformatorului de alimentare a spotului galvanometrului. Această posibilitate poate fi folosită pentru zonele de izolație din tabelele 7 și 8 la care este prevăzută tensiunea de încercare de 0,4 kV. Montajul de încercare este dat în fig. 5.

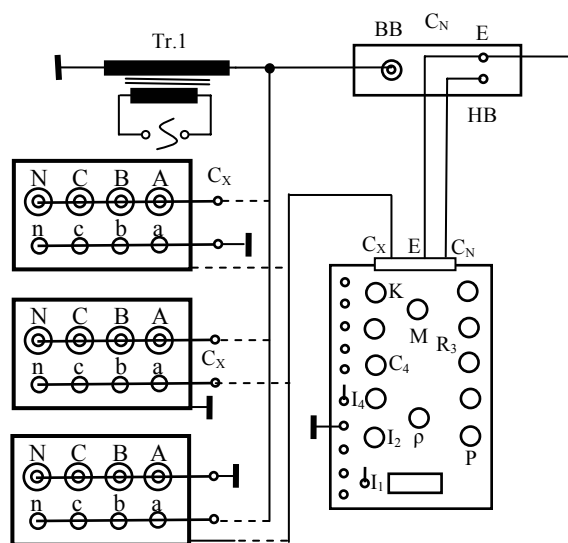


Fig.4 - Circuitul de încercare încercare cu puntea Schering MD-16 în montaj direct (II)

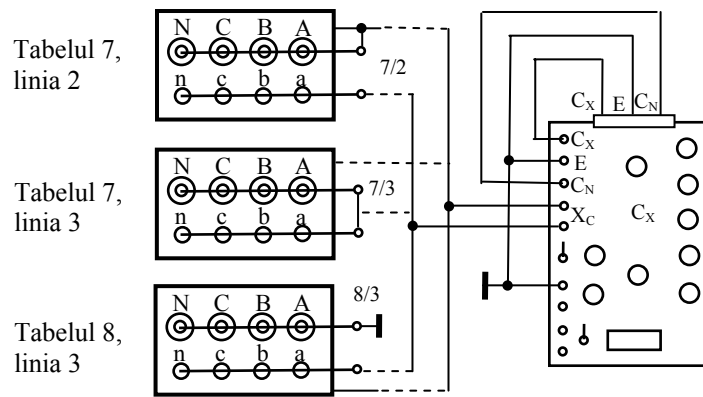


Fig.5 – Circuitul de încercare cu puntea MD-16 la joasă tensiune

În cadrul lucrării de laborator se vor realiza următoarele măsurători :

a) pentru zonele de izolație care pot fi încercate la tensiunea nominală a punții (10 kV):

- în schema inversată a punții Schering conform tabelul 6 și fig.2, pentru zona IT-(JT+cuva);
- în schema normală a punții Schering, conform tabelului 7 și fig.3, pentru zona IT-(JT+cuva);
- în schema normală a punții Schering, conform tabelului 8 și fig.4, pentru zonele IT-cuva și IT- JT;

b) pentru zonele care necesită încercarea la joasă tensiune (0,4 kV):

- se folosește montajul în schema inversată conform tabelului 6 și fig.3 pentru zonele JT-(IT+cuva) și (IT+JT)-cuvă (alimentând puntea de la un transformator de joasă tensiune);
- se folosește montajul în schema normală conform tabelului 7 și fig.4 pentru zonele JT-(IT+cuva) și (IT+JT)-cuvă, respectiv conform tabelului 8 și fig.5 pentru zona JT-cuvă (alimentând puntea de la un transformator de joasă tensiune);
- se folosește montajul în schema normală conform tabelului 7 și fig.5 pentru zonele JT-(IT+cuva) și (IT+JT)-cuvă, respectiv conform tabelului 8 și fig.5 pentru zona JT-cuvă;

Valorile admisibile ale $tg\delta$ pentru transformatoare la punerea în funcțiune nu trebuie să depășească cu mai mult de 30% valoarea din fabrică. Pentru transformatoarele aflate în exploatare valorile maxime admise sunt:

- pentru $U_n < 10$ kV: 4% la $20^{\circ}C$, respectiv 11% la $50^{\circ}C$;
- pentru $10 < U_n < 60$ kV: 2,5% la $20^{\circ}C$, respectiv 7% la $50^{\circ}C$.

Rezultatele măsurătorilor se trec în tabelele următoare.

Tabelul 9 – Rezultatele încercărilor în montaj inversat al punții Schering (Tab.6)

Nr. crt.	Valori măsurate			Valori calculate			$t_{m\acute{a}s.}$ ($^{\circ}C$)	Valori recalculate la $t=20^{\circ}C$
1	IT – (JT+cuva)	C_1 (pF)		IT - cuva	C_{01} (pF)			
		$tg\delta_1$			$tg\delta_{01}$			
2	(IT+JT) - cuva	C_2 (pF)		JT-cuva	C_{02} (pF)			
		tg_2			$tg\delta_{02}$			
3	JT- (IT+cuva)	C_3 (pF)		JT-cuva	C_{12} (pF)			
		$tg\delta_3$			$tg\delta_{12}$			

Tabelul 10 – Rezultatele încercărilor în montaj normal al punții Schering (I) (Tab.7)

Nr. crt.	Valori măsurate			Valori calculate			$t_{m\acute{a}s.}$ ($^{\circ}C$)	Valori recalculate la $t=20^{\circ}C$
1	IT – (JT+cuva)	C_1 (pF)		IT - cuva	C_{01} (pF)			
		$tg\delta_1$			$tg\delta_{01}$			
2	(IT+JT) - cuva	C_2 (pF)		JT-cuva	C_{02} (pF)			
		tg_2			$tg\delta_{02}$			
3	JT- (IT+cuva)	C_3 (pF)		JT-cuva	C_{12} (pF)			
		$tg\delta_3$			$tg\delta_{12}$			

Tabelul 11 – Rezultatele încercărilor în montaj normal al punții Schering (II) (Tab.8)

Nr. crt.	Valori măsurate			$t_{m\acute{a}s.}$ ($^{\circ}C$)	Valori recalculate la $t=20^{\circ}C$
1	IT – cuvă	C_{01} (pF)			
		$tg\delta_{01}$			
2	IT-JT	C_{02} (pF)			
		$tg\delta_{02}$			
3	JT-cuvă	C_{12} (pF)			
		$tg\delta_{12}$			

Folosind schema de montaj din fig. 4 pentru prima zonă de izolație din tabelul 8, se va executa măsurarea δ pentru mai multe valori ale tensiunii de încercare, cuprinse între 2 kV și

10 kV. Rezultatele se trec în tabelul 12 și se reprezintă grafic.

Tabelul 12

U (kV)	2	4	6	8	10
tg δ (%)					

Anexa 1. M Ω – metrul M5RA

Caracteristici tehnice:

- tensiunea de măsură (V): 500, 100, 2500, 5000;
- curentul de scurtcircuit al sursei: min. 1 mA;
- ondulația tensiunii de măsură: maxim 1%;
- domeniile de măsurare: I - 0,1 .. 1 M Ω / II - 1 .. 10 M Ω / III - 10 .. 100 M Ω / IV - 0,1 .. 1 G Ω / V - 1 .. 10 G Ω / VI - 10 .. 100 G Ω .
- eroarea de măsurare: max. 2,5%;
- temperatura de funcționare: 0 .. +40⁰C;

Principiul de funcționare este măsurarea rezistențelor în schema serie, iar schema bloc a aparatului este dată în fig. A1.1

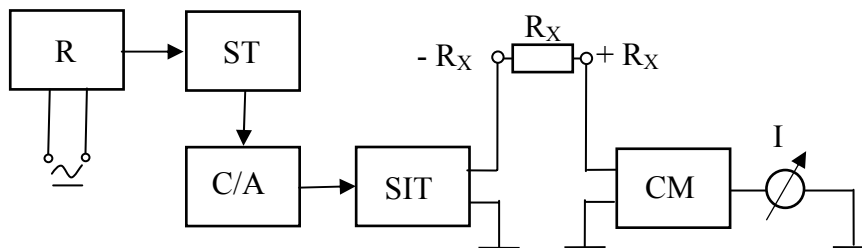


Fig.A1.1 – Schema bloc a M Ω -metrului M5A

R–redresor; *ST*-stabilizator tensiune; *C/A*- convertor cc/ca; *SIT*- sursă de înaltă tensiune; *CM* – circuit de măsurare; *I*-instrument indicator analogic; *-R_X*, *+R_X* – borne de măsură; *R_X*-rezistența de măsurat.

Placa frontală a aparatului are aspectul din fig. A1.2.

Pentru utilizare, aparatul trebuie așezat în poziție orizontală, astfel ca acul instrumentului să se afle pe reperul „0” al scalei. Eventuala deviație se elimină din corectorul mecanic de zero.

Măsurarea rezistenței de izolație a obiectului încercat se poate efectua în două moduri:

a) măsurare directă, fără utilizarea bornei ecran E: obiectul încercat se leagă direct la bornele

de măsură „+R_X” și „-R_X”, fig.A1.3,a. Dacă se măsoară rezistența de izolație față de pământ, borna „-R_X” se leagă la pământ.

b) măsurare utilizând borna ecran E: dacă pe suprafața izolației măsurate există curenți de scurgere importanți, conectarea zonei măsurate se realizează ca în fig. A1.3,b.

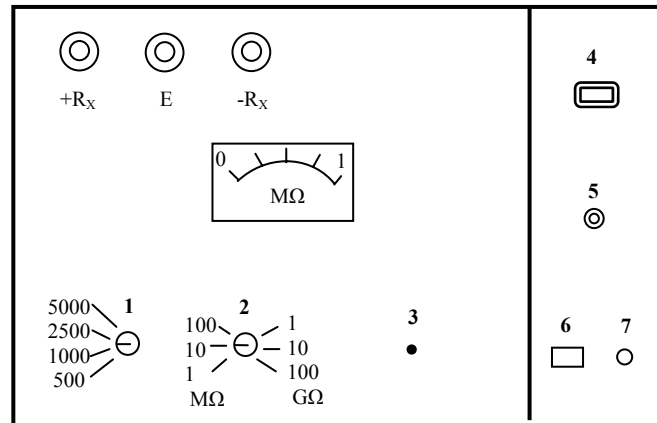


Fig.A1.2- Panoul frontal al aparatului M5A
 1-comutatorul tensiunilor de măsură; 2-comutatorul gamelor de măsurare;
 3-buton pentru măsurare; 4-priză alimentară; 5-indicator optic;
 6-buton conectare/deconectare; 7-siguranță fuzibilă.

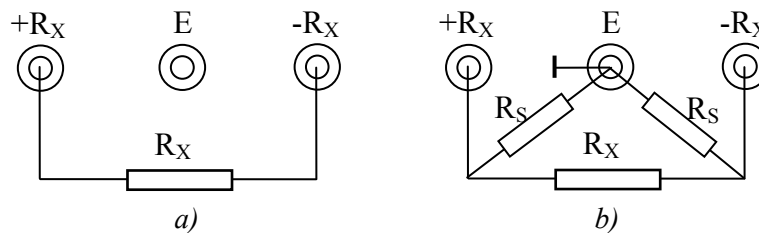


Fig.A.1.3 –Modul de utilizare a MΩ-metrului M5A

După conectarea la rețea, se alege tensiunea și domeniul de măsurare, se conectează la borne rezistența de măsurat. Măsurarea începe efectiv prin apăsarea butonului 3 (fig.A1.2); dacă butonul este răsucit la dreapta după ce a fost apăsat, se autoreține în această poziție.

Dacă obiectul de măsurat are o capacitate mare, aceasta se va încărcă la tensiunea de măsurat, ceea ce cere oarece timp datorită puterii reduse a sursei de înaltă tensiune. Cnstanta de încărcare este aproximativ 1μF/7 secunde.

După efectuarea măsurării se recomandă descărcarea sarcinilor remanente în capacitatea obiectului încercat ca și a sursei de înaltă tensiune a MΩ-metrului.

Anexa 2 PUNTEA SCHERING MD-16

Puntea Schering este destinată măsurării $tg\delta$ și a capacității izolației echipamentelor electrice de înaltă tensiune.

Caracteristicile tehnice ale aparatului sunt:

- -tensiunea nominală10kV;
- -capacitatea condensatorului etalon50 pF;
- -limitele de măsurare a capacității30pF-0,4μF;
- -limitele de măsurare a $tg\delta$0,5-60%;
- -precizia de măsurare a capacității $\pm 5\%$ din valoarea măsurată.

Puntea poate fi folosită și la tensiuni de încercare mai mari de 10 kV, dar numai în cazul montajului în schemă normală și utilizând un condensator etalon cu tensiunea nominală corespunzătoare. De asemenea, poate fi folosită și la joasă tensiune (220V), fiind alimentată de la un transformator inclus în construcția sa.

Schema de principiu a punții este redată în figura următoare.

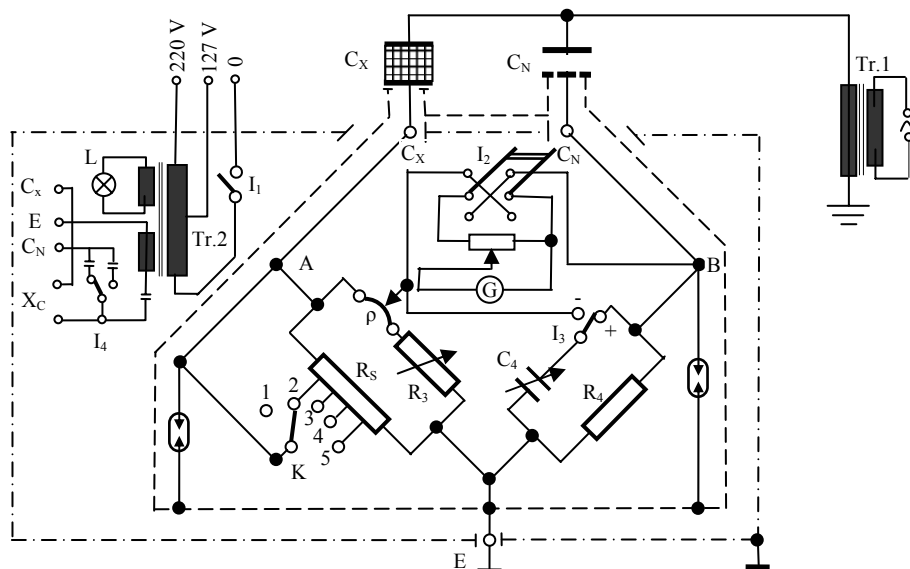


Fig.A2.1 – Schema electrică de principiu a punții Schering MD-16

Conturul trasat cu linie-punct reprezintă carcasa metalică, care constituie partea principală a aparatului, formată din brațele de joasă tensiune, care conțin elementele reglabile cu ajutorul cărora se echilibrează puntea. În exteriorul acesteia se află componentele de înaltă tensiune ale montajului punții: condensatoarele etalon C_N și de măsurat C_X ca și transformatorul de înaltă tensiune $Tr.1$.

Condensatorul variabil în trepte, C_4 , este format din două decade complete ($10 \times 0,001 \mu F$, $10 \times 0,01 \mu F$) și o semidecadă ($5 \times 0,1 \mu F$). Rezistența reglabilă în trepte, R_3 , este formată din patru decade complete ($10 \times 1\Omega$, $10 \times 10 \Omega$, $10 \times 100\Omega$, $10 \times 1000\Omega$). În serie cu aceasta se găsește și o rezistență p , reglabilă continuu între 0 și $1,2 \Omega$.

În paralel cu R_3 se găsește rezistența R_5 , care are rolul unui șunt reglabil în cinci trepte cu ajutorul comutatorului K . Pozițiile acestui comutator sunt notate pe placa frontală cu

valorile curenților maximi prezumați prin capacitatea de măsurat C_x . Cu ajutorul acestui șunt este limitat la cel mult 0,01 A curentul care trece prin rezistențele etalon R_3 .

În paralel cu capacitatea reglabilă C_4 este conectată o rezistență fixă R_4 . Întrerupătorul I_3 permite conectarea condensatorului C_4 fie în paralel cu R_4 , fie în paralel cu R_3 . Această a doua situație apare necesară numai atunci când $tg\delta$ a obiectului încercat este mai mică decât $tg\delta$ a condensatorului etalon, situație rar întâlnită.

Instrumentul indicator de nul este un galvanometru de curent alternativ cu oglindă, a cărui sensibilitate se poate modifica cu ajutorul potențiometrului P . Întrerupătorul I_2 servește ca inversor de polaritate a galvanometrului ca și pentru conectarea sau deconectarea acestuia în diagonala de măsură a punții. Galvanometrul mai posedă și posibilitatea acordării frecvenței proprii de vibrație cu frecvența tensiunii de măsurat în vederea obținerii sensibilității maxime.

În fig. 1, linia întreruptă care înconjoară schema punții, reprezintă ecranul metalic al brațelor punții și a galvanometrului. Acest ecran se continuă și de-a lungul conductoarelor de legătură la C_x , la C_N și la borna ecran E a condensatorului etalon. Între acest ecran metalic interior, care are forma unei cutii cu pereții paraleli cu cei ai carcasei exterioare și această carcasă, există un spațiu de aer, care asigură izolația pentru tensiunea nominală de 10 kV a punții. Comutatoarele de reglare a elementelor variabile din interiorul ecranului sunt acționate prin intermediul unor izolatoare montate între butoanele de acționare de pe carcasă și corpul comutatoarelor din interiorul ecranului.

Bornele de legătură ale punții cu elemente externe ale montajului sînt montate pe o placă izolantă fixată pe peretele posterior al carcasei. Legăturile se execută cu cordoane ecranate, racordate la un ștecher care nu poate fi introdus în borne decât în poziția corectă. Cordoanele au marcaje corespunzătoare destinației fiecăruia.

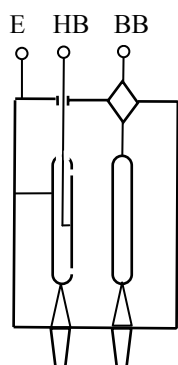


Fig.A2.2- Condensator etalon
50pF/10 kV

În carcasa metalică a punții, dar în afara ecranului interior se găsesc condensatoarele etalon de 0,001/0,01 μ F care se pot selecta cu ajutorul întrerupătorului I_4 (elemente utilizate atunci când puntea este alimentată la joasă tensiune), transformatorul de alimentare $Tr2$, conectat prin întrerupătorul I_1 și blocul optic de formare a spotului indicator, echipat cu lampa cu incandescență L .

Condensatorul etalon (fig.A2.2) este format din doi electrozi de formă disc, izolați corespunzător față de carcasa metalică, dielectricul fiind aer la presiune atmosferică. Borna de înaltă tensiune BB este izolată față de

carcasă pentru tensiunea nominală de 10 kV. Electroful de joasă tensiune, are zona centrală legată la borna de joasă tensiune **HB**, iar inelul de gardă legat la carcasa metalică exterioară, prevăzută cu borna **E**. Carcasa este sprijinită pe suporturi izolante, dimensionate la aceeași tensiune de 10 kV; acestea sunt necesare atunci când puntea este folosită în schemă inversă.

Puntea poate fi utilizată în două variante de montaj:

- schema normală, atunci când obiectul încercat are ambele borne izolate față de pământ;
- schema inversată, atunci când obiectul încercat are o bornă legată ferm la pământ.

În fig. A2.3 sînt prezentate schemele de montaj în cele două variante menționate (în fig. A2.1 este dată schema normală).

Se observă că, în cazul schemei inversate, tensiunea de încercare se aplică pe borna ecran a punții și a condensatorului etalon. În timpul utilizării montajului inversat, conductoarele de legătură la C_X și C_N , inclusiv ecranul lor, se află la potențial ridicat (tensiunea de încercare), astfel încât trebuie asigurată izolarea corespunzătoare față de pământ.

Toate aceste particularități ale funcționării în schemă inversată nu permit folosirea punții în această situație la o tensiune mai mare de 10 kv.

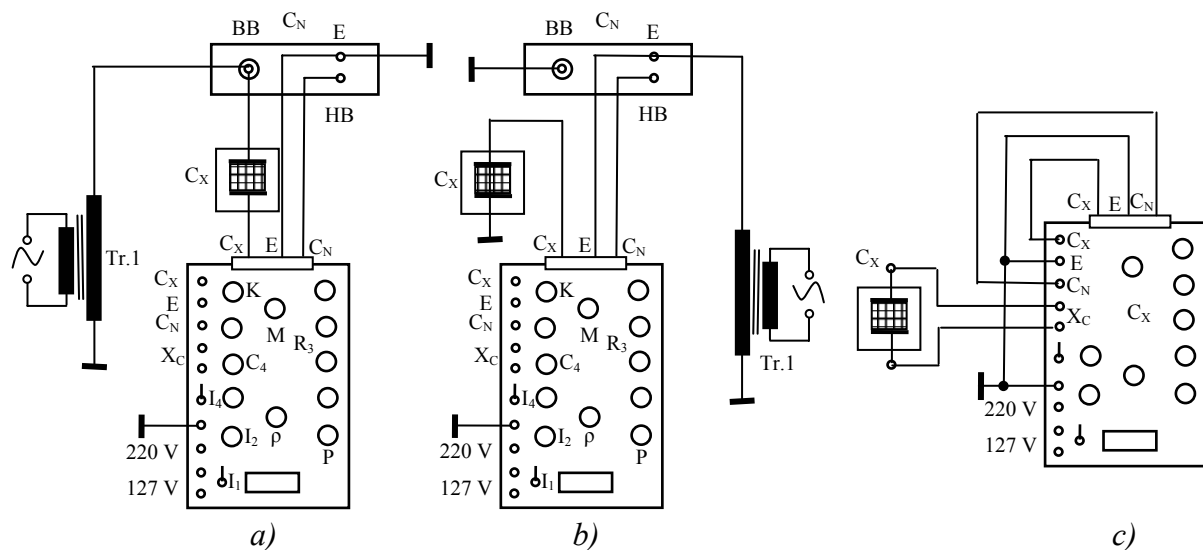


Fig.3 – Montaje de încercare cu puntea Schering

a) schema normală ; b) schema inversă; c) schema normală la joasă tensiune.

Determinarea capacității obiectului încercat se efectuează cu relația:

$$C_x = C_N R_4 \frac{100 + R_3}{n(R_3 + \rho)},$$

în care factorul n depinde de poziția comutatorului K al șuntului R_S , conform tabelului următor :

Tabelul 1

Poziția comutatorului șuntului R_s	0,01 A	0,06 A	0,15 A	1,25 A
Valoarea rezistenței de șuntare (Ω)	100+ R_3	25	10	4

Mărimea $tg\delta$ se determină cu relația:

$$tg \delta = \omega C_4 R_4.$$

Alegând R_4 ca multiplu de π se obține o exprimare foarte simplă a $tg\delta$. În cazul punții MD-16, $R_4 = 10000/\pi$, astfel încât, la frecvența de 50 Hz,

$$tg\delta = 2\pi \times 50 \times C_4 \times 10000/\pi = C_4 \times 10^6,$$

sau valoarea $tg\delta$ este numeric aceeași cu a capacității C_4 , exprimată în μF .

Operațiile care se execută la măsurarea capacității și a $tg\delta$ cu puntea Schering tip MD-16 sînt următoarele:

- se realizează montajul conform schemelor din fig.A3.3. Se va acorda deosebită atenție legăturilor la pământ. În cazul folosirii schemei inversate cele trei conductoare de racord dintre punte și componentele de înaltă tensiune se vor izola corespunzător față de pământ. În această situație operatorul va lucra echipat cu mănuși izolante pentru înaltă tensiune;

- se poziționează toate butoanele decadelor R_3 și C_4 și comutatorul de sensibilitate al galvanometrului la zero. Se așează inversorul de polaritate al galvanometrului pe poziția medie (deconectat), iar comutatorul șunturilor K pe poziția corespunzătoare curentului probabil prin obiectul de încercat. Se conectează întrerupătorul I_1 ;

- se aplică tensiunea de încercare, urmărind comportarea montajului;
- se pune inversorul galvanometrului I_2 pe una din pozițiile laterale. Se mărește sensibilitatea galvanometrului, cu ajutorul butonului P până ce spotul acoperă 50% din ecran. În această situație se acordează frecvența galvanometrului cu frecvența rețelei din butonul M ;

- se începe echilibrarea punții prin modificarea rezistenței R_3 în ordinea crescătoare a decadelor (1Ω , 10Ω etc.) până la determinarea decadei limită superioară care trebuie folosită. Aceasta este acea decadă pe parcursul căreia spotul începe să se lățească pe scală. În continuare se obține maximul de echilibrare reglând decadele lui R_3 în ordine inversă (de la mare la mic) până când spotul are lățimea minimă;

- se realizează o reglare asemănătoare a capacității C_4 , urmată dacă este nevoie de o nouă reglare a rezistenței R_3 . De regulă această operație apare necesară numai la treapta de rezis-

tență minimă sau la rezistența ρ continuu reglabilă.

Pe măsură ce lățimea spotului se reduce se va mări sensibilitatea galvanometrului;

- pentru a se verifica influența unor perturbații exterioare se repetă măsurarea inversând, prin intermediul întrerupătorului I_2 , sensul de cuplare al galvanometrului în diagonala punții.

Dacă nu se poate obține reducerea semnificativă a lățimii spotului pe ecran utilizând toate treptele de reglare ale rezistenței R_3 , fie montajul este greșit, fie comutatorul șuntului K nu este în poziția necesară.