



ANALIZA FENOMENULUI DE MULTIPLE REFLEXII PROVOCAT DE DESCĂRCĂRILE PARȚIALE ÎN CIRCUITUL ÎNFĂȘURĂRII STATORULUI MAȘINII ELECTRICE ROTATIVE DE ÎNALTĂ TENSIUNE.

Tîrșu M., Berzan V. Rimschi V, Tîrșu V.

Institutul de Energetică al AȘM,
Chișinău, str. Academiei, 5

Tel. – 73-53-84 e-mail: berzan@cc.acad.md

Rezumat. Se prezintă metoda de analiză și rezultatele simulărilor matematice a proceselor de propagare a impulsurilor de tensiune și curent în circuite omogene și neomogene. Fenomenele sunt similare proceselor provocate de descărcările parțiale (DP) în izolația înfășurării statorului mașinilor electrice de tensiune înaltă. Rezultatele măsurărilor DP sunt influențate de neomogenitățile circuitelor înfășurării și a circuitelor de măsurare. Rezultatele măsurărilor în mare măsură sunt determinate de corectitudinea metodei de măsurare utilizată în baza circuitului $R_s C_s$ de măsurare. Se recomandă, ca valoarea șuntului din circuitul $R_s C_s$ la capătul liber al liniei să fie egal cu $R_s = Z_0$, iar la conectarea în punct intermediar $R_s > (0,4-0,5)Z_0$. Trebuie să se respecte raportul dintre constanta de timp a circuitului de cuplaj $\tau_{RC} = R_s C_s$ și durata impulsului DP t_{DP} : $K_{RC} = \tau_{RC} / t_{DP} > 4 \div 5$.

La linia neomogenă repartițiile după amplitudine a trenurilor de impulsuri se modifică în funcție de numărul de divizări a liniei. La creșterea numărului de divizări a liniei se majorează numărul de impulsuri cu amplitudine mică. Pentru a exclude aceste impulsuri este necesar, ca măsurătorile să se îndeplinească la diferite paliere a pragului de selecție. Prin aceasta se pot evidenția și selecta impulsurile produse de unda incidentă fundamentală și prin aceasta să se majoreze veridicitatea concluziilor în baza analizei măsurărilor DP a obiectelor reale la soluționarea problemei de diagnostic tehnic a izolației după parametrii DP.

Аннотация. Описан метод анализа и представлены результаты математического моделирования процесса распространения волн тока и напряжения в однородной и неоднородной цепи. Изучаемые процессы подобны процессам от частичных разрядов (ЧР) в обмотках электрических машин высокого напряжения. Результаты измерения параметров ЧР зависят от применяемых метода измерения и метода их анализа при использовании измерительных $R_s C_s$ цепей. Рекомендуется, чтобы сопротивление шунта $R_s C_s$ цепочки было равно волновому пи ее подключении к свободному концу и при подключении в промежуточной точке $R_s > (0,4-0,5)Z_0$. Необходимо соблюдать условие $K_{RC} = \tau_{RC} / t_{DP} > 4 \div 5$. В случае неоднородной линии распределение импульсов ЧР по амплитуде зависит от числа неоднородных участков в длинной линии. При увеличении количества этих участков возрастает доля импульсов с малой амплитудой. Для исключения этого эффекта необходимо выполнить измерения при различных пороговых значениях напряжения селекци.

Таким способом могут выявляться импульсы первой падающей волны, что повысит достоверность измерений

и прогноза текущего состояния изоляции по интенсивность ЧР.

Abstract. The method of the analysis is described and results of mathematical modelling of process of distribution of waves of a current and a voltage in a homogeneous and non-uniform circuit are submitted. Investigated processes are similar to processes from partial discharges (PD) in windings of electric machines of a high voltage. Results of measurement of parameters PD depend from used a method of measurement and a method of their analysis at use measuring $R_s C_s$ circuits. It is recommended, that resistance of shunt of a chain was equal wave at its connection by the free end and at connection in an intermediate point $R_s > (0,4-0,5)Z_0$. It is necessary to respect a condition $K_{RC} = \tau_{RC} / t_{DP} > 4 \div 5$. In case of a non-uniform line distribution of PD pulses on amplitude depends on number of non-uniform parts in a long line. At increase in quantity of these parts the share of pulses with small amplitude grows. For exception of this effect it is necessary to execute measurements at various threshold values of a voltage of selection. Pulses of the first falling wave that will raise reliability of measurements and the forecast of the current technical state of insulation on PD intensity in such a way can come to light.

Introducere

Funcționarea sistemelor energetice se confruntă cu mai multe probleme, una dintre care este problema asigurării siguranței de funcționare [1]. Semnificația acestei probleme crește pe măsura îmbătrânirii echipamentului și astăzi este evidentă necesitatea monitorizării stării tehnice în timpul funcționării sub sarcină [2].

Din punct de vedere al aplicării practice este necesar de depistat devierea de la regimul normal de funcționare, de determinat valorile devierii prin măsurători, de evaluat cantitativ devierea prin comparare valorile criteriilor stabilite în prealabil și formularea deciziei despre starea tehnică curentă.

Se poate menționa, că diagnosticul tehnic al echipamentului se face cel mai frecvent prin măsurarea ansamblurilor de parametri informativi la declanșarea echipamentului de la rețea - metode de diagnostic tehnic în regim „off-line” [3-6]. Mult mai eficient se prezintă conceptul de supraveghere permanentă a stării tehnice în timpul funcționării cu automatizarea culegerii și analizei informației [7].

Izolația electrică este un element constructiv foarte important pentru echipamentul electrotehnic și electroenergetic. De exemplu, analiza datelor statistice privind refuzurile generatoarelor electrice a evidențiat, că cel mai vulnerabil compartiment constructiv este statorul mașinii (circa 50-80%) și în mare măsură refuzurile sunt datorate defectelor din izolație[8]. Complexitatea problemei supravegherii permanente a izolației statorului este condiționată de o multitudine de factori, printre care cel mai semnificativ se prezintă neomogenitatea înfășurării statorice.

În afară de parametrii tradiționali [6] calitatea și starea tehnică curentă a izolației se efectuează în baza măsurătorilor descărcărilor parțiale. Tehnica existentă și metodele aplicate permit efectuarea acestor măsurători cu precizii satisfăcătoare și în regim „on-line”[7,9,10]. Problema constă în aceea, cum corect să interpretăm rezultatele măsurărilor. Punctul în care se măsoară valorile parametrilor descărcărilor parțiale (DP) nu coincide cu locul sau coordonata de apariție ale acestor descărcări. Această ne-coincidență este sursa principală a erorilor evaluării stării tehnice a izolației după ansamblul de parametri măsurați ai DP, care nu poate fi exclusă chiar și prin cea mai corectă etalonare a circuitului de măsurare. Deoarece circuitele electrice sunt circuite neomogene, reiese, că aceste neomogenități de asemenea influențează asupra valorilor măsurate ale parametrilor DP.

Teoria DP în izolație [4,11] prescrie un număr relativ de mic de evenimente pe fiecare perioadă a tensiunii alternative aplicate la izolația cu defect, pe când măsurările directe, chiar la ridicarea lentă a tensiunilor de curent continuu și de curent alternativ cu paliere mici, arată un număr mare de evenimente [12-14]. Eventual apare

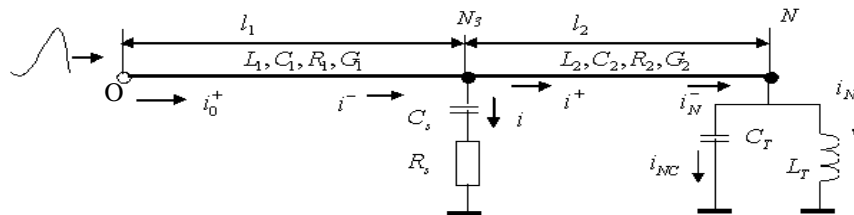


Fig.1. Schema echivalentă a fazei conectate la primarul transformatorului

Factori de influență sunt valorile parametrilor lineică $R_1, G_1, L_1, C_1, R_2, G_2, L_2, C_2$ și parametrii circuitelor R_s, C_s, L_T, C_T . Prin simulări matematice se va efectua o analiză parametrică a proceselor de scurtă durată în circuitul fig.1 prin modificarea atât a valorilor parametrilor R_s, C_s și L_T, C_T , cât și structurii circuitului.

Metoda investigației

Modelul matematic al circuitului din fig.1 se prezintă în formă de diferențe finite și analiza parametrică a proceselor se face utilizând metoda caracteristicilor [15,16] pentru condițiile inițiale nule $i(x,t)=0, u(x,t)=0$ pentru $t=0$. La intrarea circuitului (punctul O) se aplică un semnal impuls de formă dreptunghiulară, semisinusoidală și cu pantele descrise de funcții exponențiale pentru a determina influența formei semnalului de intrare asupra procesului.

întrebarea, care este esența fizică a acestui dezacord dintre teorie și fenomenul depistat experimental? Cum poate influența asupra deciziilor referitoare la starea tehnică curentă a izolației echipamentului formulate în baza măsurărilor DP? Care poate fi credibilitatea reală a acestor măsurări și decizii?

Lucrarea are ca scop ilucidarea unor particularități a derulării fenomenelor produse de DP și evaluarea influenței neomogenităților asupra rezultatelor măsurărilor în punctele prescrise a circuitului.

Formularea problemei.

Ca obiect al cercetării se înfășurarea fazei statorului generatorului de tensiune înaltă. Pentru procesele provocate de DP acest circuit prezintă o linie lungă cu parametri distribuiți. Procesele în linia lungă sunt descrise de ecuațiile telegraștilor. Totodată faza înfășurării este un circuit neomogen, dar format din porțiuni de linie lungă omogene cu conexiuni în serie. În punctele de conexiune valorile parametrilor lineică R_1, G_1, L_1, C_1 și R_2, G_2, L_2, C_2 se schimbă prin salt. Pentru selectarea impulsurilor generate de DP se utilizează un circuit de cuplaj RC. Acest circuit este un circuit cu parametri concentrați și în punctul de conexiune cu faza înfășurării formează o neomogenitate a circuitului integral. Deoarece borna generatorului este conectată cu transformatorul blocului energetic prin cablu mai avem o porțiune suplimentară de linie lungă care influențează asupra proceselor din înfășurare și circuitul RC de măsurare a DP. Primarul transformatorului îl vom prezenta ca un circuit LC cu parametri concentrați (fig.1).

Structura circuitului din fig.1 este echivalent cu circuitul real în care măsurările DP se pot efectua doar la capetele fazei (punctele de conexiune O și N_s).

La prima fază se cercetează influența parametrilor circuitului R_s, C_s pentru diferite valori a constantei de timp τ_{RC} a acestui circuit în raport cu durata impulsului aplicat: t_{DP} , unde t_{DP} – durata impulsului introdus în linie. După trecerea impulsului în linie se modifică condițiile de limită marginale în punctul O la începutul liniei prin includerea pentru acest punct a regimului de scurtcircuit. Ca semnal informativ se utilizează căderea tensiunii pe rezistența R_s , care se calculează conform pentru fiecare pas al timpului de discretizare τ a procedurii de simulare matematică.

La următoarea fază porțiunea omogenă a liniei lungi se substituie prin o linie formată din o serie de porțiuni omogene dar la care consecutiv prin salt se modifică valorile parametrilor lineică și aceasta este o analogie a realizării constructive a înfășurării fazei care constă din porțiuni amplasate în creștături și în afara

fierului- porțiunile frontale. Linia conține p porțiuni cu parametrii lineică egali cu valorile parametrilor porțiunii barei plasate în creștătură și m porțiuni a căror parametri coincid cu valorile părții frontale. Părțile se conectează în serie cu repetare periodică: $p_1 + m_1 + p_2 + m_2 + \dots$. Se modelează procesele provocate de un impuls dreptunghiular introdus în porțiunea cu valorile parametrilor lineică, care corespund porțiunii frontale a barei și celei plasate în creștătură. Numărul porțiunilor care formează linia se schimbă în corespondere cu șirurile $p=1, 2, 4, 8, \dots$ și $m=1, 2, 4, 8, \dots$. Condițiile de limită în secțiunile de conexiune a porțiunilor p și m cu excluderea punctelor N_s și N sunt următoarele: $i_p^- - i_m^+ = 0$; $u_p^- - u_m^+ = 0$.

Condițiile marginale de limită în punctul N_s de la capătul liniei sunt următoarele:

$$i_N^- = i; \quad u^- = u_N \quad \text{pentru } x_n = l, \quad t > 0;$$

$$u_{N_s} = R_s i + \frac{1}{C_s} \int_0^t i dt$$

La frontiere valorile parametrilor distribuți se schimbă prin salturi și au următoarele valori [15]: partea frontală - $L_f = 6 \cdot 10^{-7} H/m$, $C_f = 6,5 \cdot 10^{-11} F/m$, $R_f = 10^{-3} Ohm/m$, $G_f = 2,7 \cdot 10^{-7} S/m$, $v_f = 1,6 \cdot 10^8 m/s$, $l_f = 1,65 m$, $Z_{0f} = 96,1 Ohm$; porțiunea din creștătură: $L_C = 5 \cdot 10^{-6} H/m$, $C_C = 1,214 \cdot 10^{-9} F/m$, $R_C = 0,6 Ohm/m$, $G_C = 3,8 \cdot 10^{-5} S/m$, $v_C = 1,283 \cdot 10^7 m/s$, $l_C = 2,7 m$, $Z_{0C} = 64,2 Ohm$.

La evaluarea influenței primarului transformatorului înfășurarea s-a prezentat printr-un circuit echivalent omogen. Bobina primară a transformatorului se prezintă ca un circuit $L_T C_T$ cu parametri concentrați. Procesele în acest circuit le vom studia pentru linia ideală și linia cu pierderi a cărei porțiuni l_1 și l_2 au valori diferite ale impedanțelor caracteristice Z_{01} și Z_{02} .

Condiții inițiale:

$$u(x, t) = u_0(x_0, t) \quad \text{pentru } 0 \leq x \leq n_i; \quad 0 \leq t \leq n_i \cdot \tau$$

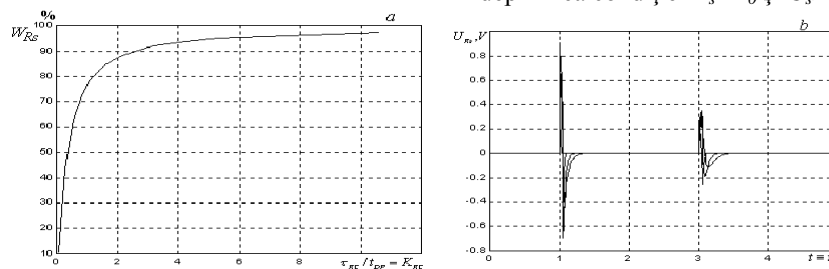


Fig.2. Dependența energiei absorbite de șuntul $R_s = 0.194 u.r.$ (a) la prima cădere a unei incidente în funcție de raportul $K_{RC} - \tau_{RC} / t_{DP}$, multiplicarea și deformarea impulsurilor măsurate pe R_s în funcție de timp (numărul cursei) și valoarea coeficientului K_{RC} (b).

Capacitatea circuitului C_s influențează asupra procesului de absorbire de către șuntul R_s a energiei (sarcinii) unei incidente și se recomandă să se

$$u(x, t) = u(x) = 0, \quad i(x, t) = i(x) = 0 \quad \text{pentru } 0 \leq x \leq l_1 + l_2, \quad t = 0,$$

unde n_i - numărul de pași care determină durata impulsului.

Condițiile marginale de limită la capătul liniei (punctul N):

$$i_N^- = i_{NC} + i_{NL}, \quad u_N^- = u_N \quad \text{pentru } x_N = l_N, \quad t > 0;$$

$$u_N = \frac{1}{C_T} \int_0^t i_{NC} dt; \quad u_N = L_T \frac{di_{NL}}{dt}$$

unde C_T și L_T - capacitatea și inductanța echivalentă a bobinei primare a transformatorului la frecvența echivalentă a impulsurilor DP; i_{NC}, i_{NL} - curenții prin capacitatea și inductanța bobinei transformatorului.

Pentru transformatoarele cu parametrii 10kV/35kV și $S=20MVA$ capacitatea bobinei primare este de circa $C_T \approx 12 \cdot 10^{-9} F$ și inductanța la frecvența impulsurilor DP $L_T = 20 \cdot 10^{-3} H$ [4]. Parametrii porțiunii liniei l_1 : $L_1 = 5 \cdot 10^{-6} H$, $C_1 = 1,214 \cdot 10^{-9} F$, iar a porțiunii liniei l_2 : $L_2 = 6 \cdot 10^{-7} H$, $C_2 = 6,5 \cdot 10^{-11} F$.

Rezultatele simulărilor matematice

Influența parametrilor circuitului de măsurare R_s, C_s

Pentru linia cu lungimea finită omogenă cu pierderi și fără pierderi pentru regimurile MG, SC, sarcina $R_s C_s$ s-a stabilit, că ipoteza, conform căreia sarcina impulsului DP este proporțională căderii tensiunii pe R_s , poate conduce la concluzii eronate. Pentru $R_s \rightarrow 0$ avem $u_{RS} \rightarrow 0$ și $q_{DP} \rightarrow 0$, iar pentru $R_s \rightarrow \infty$ obținem $u_{RS} \rightarrow u_{inc}$ și $q_{DP} \neq 0$. Semnalul depistat a sarcinii impulsului după căderea de tensiune u_{RS} poate să difere mult de valoarea sarcinii unei incidente - sarcina aparentă. De această particularitate trebuie de ținut cont la selectarea metodei de măsurare și la analiza rezultatelor măsurătorilor. Racordarea parametrilor circuitelor de măsurare cu linia este o condiție necesară pentru a obține date credibile la efectuarea măsurătorilor DP. În linia cu sarcina $R_s C_s$ poate exista regimul acordat (fără reflexie a unei incidente de la capătul liniei) la îndeplinirea condiției $R_s = Z_0$ și $C_s > C_{ad}$ (fig.2).

îndeplinească condiția $R_s C_s / t_{DP} > 4 \div 5$. Atunci peste 95% din sarcina unei incidente este absorbită de R_s la prima cădere a unei. În dependență de raportul

$R_s C_s / t_{DP} < 4$ are loc deformarea formei undei incidente cu aruncare a energiei acumulate de condensatorul C_s în linie după reflectarea undei incidente. Evoluția în timp a sarcinii aparente a impulsurilor și a sarcinii însumate

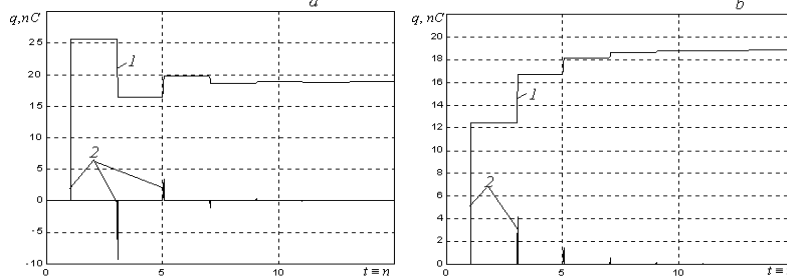


Fig.3. Evoluția valorilor sarcinii sumare (1) și sarcinii aparente (2) în circuitul de cuplaj $C = \infty$, $R_s = 30$ Ohm (a) și $C = \infty$, $R_s = 130$ Ohm (b).

Influența transformatorului blocului energetic (circuitul $L_T C_T$)

Conectarea transformatorului blocului energetic la generator conduce la modificarea proceselor în circuit. Se multiplică evident numărul de impulsuri depistate pe șuntul R_s și nu este posibil regimul acordat al circuitului de cuplaj $R_s C_s$ cu linia. Dominant în acest caz este fenomenul de multiple reflexii atât de la transformator, cât și de la circuitul $R_s C_s$ cu depistarea trenurilor de impulsuri care sunt produse de fapt de o singură DP. Se recomandă să se îndeplinească condiția $R_s > Z_{01} Z_{02} / (Z_{01} + Z_{02}) > (0,4 \div 0,5) Z_0$ pentru $Z_{01} = Z_{02}$.

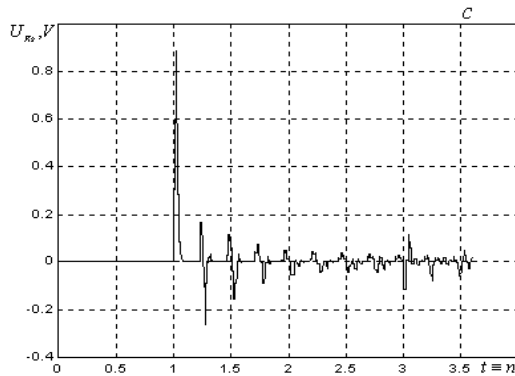


Fig.4. Multiplicarea impulsurilor de tensiune în urma reflexiei în linia parțial omogenă $p=m=8$ selectate de rezistența $R_s = Z_{0m}$

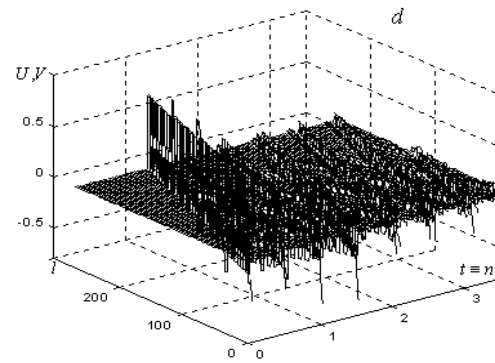
La majorarea numărului de porțiuni p și m ale liniei se modifică și valoarea cea mai mare a impulsului depistat de circuitul de cuplaj. Aceasta este o urmare a dispersiei energiei impulsului de tensiune în linie pe parcursul timpului.

În tabelele 1 și 2 sunt prezentate rezultatele simulărilor matematice a proceselor de depistare a semnalelor generat de DP. privind evoluția valorilor parametrilor U_{Rs} , I_{Rs} , q_{ap} și q_{Σ} pentru diferite variante de realizare constructivă a circuitului din fig.3.23. Valorile parametrilor lineică: $L_c = 5 \cdot 10^{-6} H / m$,

depistate diferă în funcție de coraportul valorilor mărimilor R_s și Z_0 . Pentru $R_s < Z_0$ avem $q_{api} > q_{sum}$ și pentru $R_s > Z_0$ respectiv $q_{api} < q_{sum}$ (fig.3).

Influența neomogenității constructive a fazei înfășurării

La propagarea undei în linia parțial omogenă, care este mult apropiată de realizarea constructivă a circuitului fazei înfășurării, s-a stabilit, că salturile valorilor parametrilor lineică pe coordonata spațială x conduc la majorarea numărului de impulsuri depistate de circuitul de cuplaj $C_s R_s$. La creșterea numărului porțiunilor în circuitul examinat crește și numărul de impulsuri depistate (fig.4).



$C_c = 1,214 \cdot 10^{-9} F / m$, $L_f = L_2 = 6 \cdot 10^{-7} H / m$,
 $C_f = C_2 = 6,5 \cdot 10^{-11} F / m$,
 $R_c = R_f = R_2 = G_c = G_f = G_2 = 0$, $C_s = 100 \cdot 10^{-9} F$,
 $t_{imp} = 135 ns$. Din cauza fenomenului de dispersie a energiei în linie la determinarea numărului de impulsuri depistate pe rezistența R_s s-a introdus o valoare de prag $U_{pr} = 0,005 V$. Impulsurile cu amplitudinea sub valoarea de prag U_{pr} se exclud din numărul de impulsuri numărate a trenului depistat de impulsuri.

Tabelul 1

Devierea valorilor mărimilor măsurate în circuitul de cuplaj pentru linia fără pierderi pentru sarcina impulsului de intrare $q_{int}=2,1 \text{ nC}$

Parametrii	Valorile parametrilor							Condiții suplimentare
$R_s, \text{ Ohm}$	10	20	30	50	70	90	110	p=1; m=0 $U_{pr} = 0,005V$ $N_d = 8$ -numărul de curse a unei incidente in linie pe parcursul căroră se numără impulsurile depistate $t_{imp} = 135 \text{ ns}$
U_{R_s}, V	-	0,41	0,53	0,68	0,78	0,84	0,89	
I_{R_s}, A	-	0,02	0,018	0,0136	0,011	0,0094	0,0081	
$q_{ap,m}, \text{ nC}$	-	2,74	2,33	1,80	1,46	1,26	1,10	
$q_{\Sigma}, \text{ nC}$	-	2,0	1,93	1,9	2,0	1,94	1,99	
n_{imp}	-	126	98	78	68	62	55	
U_{R_s}, V	0,2	0,35	0,46	0,61	0,71	0,78	0,83	p=1 m=1 $U_{pr} = 0,005V$ $N_d = 8$ $t_{imp} = 135 \text{ ns}$
I_{R_s}, A	0,02	0,017	0,015	0,012	0,01	0,0087	0,0076	
$q_{ap,m}, \text{ nC}$	2,78	2,35	2,04	1,62	1,35	1,15	1,01	
$q_{\Sigma}, \text{ nC}$	1,5	1,75	1,8	1,79	1,75	1,72	1,69	
n_{imp}	89	102	111	104	92	89	83	
U_{R_s}, V	0,19	0,32	0,42	0,56	0,65	0,72	0,77	
I_{R_s}, A	0,019	0,016	0,014	0,01	0,0094	0,008	0,007	p=3 m=3 $U_{pr} = 0,005V$ $N_d = 8$ $t_{imp} = 135 \text{ ns}$
$q_{ap,m}, \text{ nC}$	2,55	2,18	1,89	1,51	1,25	1,07	0,93	
$q_{\Sigma}, \text{ nC}$	1,45	1,71	1,76	1,75	1,72	1,69	1,65	
n_{imp}	141	202	246	265	262	262	261	

Tabelul 2

Devierea mărimilor depistate în circuitul de cuplaj pentru linia lungă cu pierderi, $q_{int}=2,1 \text{ nC}$

Parametrii	Valorile parametrilor							Condiții suplimentare
$R_s, \text{ Ohm}$	10	20	30	50	70	90	110	p=1 m=0 $U_{pr} = 0,005V$ $N_d = 8$ $t_{imp} = 135 \text{ ns}$
U_{R_s}, V	0,17	0,28	0,36	0,47	0,53	0,58	0,61	
I_{R_s}, A	0,017	0,014	0,012	0,0094	0,0077	0,0065	0,0056	
$q_{ap,m}, \text{ nC}$	2,31	1,91	1,63	1,26	1,03	0,87	0,75	
$q_{\Sigma}, \text{ nC}$	0,46	0,64	0,71	0,74	0,72	0,68	0,65	
n_{imp}	26	33	27	31	31	28	26	
U_{R_s}, V	0,15	0,26	0,34	0,45	0,52	0,58	0,62	p=1 m=1 $U_{pr} = 0,005V$ $N_d = 8$ $t_{imp} = 135 \text{ ns}$
I_{R_s}, A	0,015	0,013	0,01	0,009	0,0075	0,0064	0,0056	
$q_{ap,m}, \text{ nC}$	2,03	1,74	1,51	1,21	1,0	0,85	0,75	
$q_{\Sigma}, \text{ nC}$	0,41	0,6	0,7	0,76	0,75	0,76	0,74	
n_{imp}	27	40	39	46	52	54	49	
U_{R_s}, V	0,15	0,26	0,33	0,44	0,52	0,57	0,61	
I_{R_s}, A	0,015	0,013	0,01	0,009	0,0074	0,0064	0,0056	p=3 m=3 $U_{pr} = 0,005V$ $N_d = 8$ $t_{imp} = 135 \text{ ns}$
$q_{ap,m}, \text{ nC}$	1,86	1,59	1,39	1,1	0,92	0,79	0,68	
$q_{\Sigma}, \text{ nC}$	0,39	0,57	0,66	0,72	0,73	0,71	0,69	
n_{imp}	48	72	76	82	92	98	109	

Date generalizate privind evoluția numărului de impulsuri, sarcinii aparente și sarcinii sumare depistate de circuitul de cuplaj pentru diferite valori ale

rezistenței $R_s = 10 \div 110 \text{ Ohm}$ și structura fizică a liniei ideale și cu pierderi ($m=0,1,2,3$ și $p=0,1,2,3$) sunt prezentate în fig.5 și fig.6.

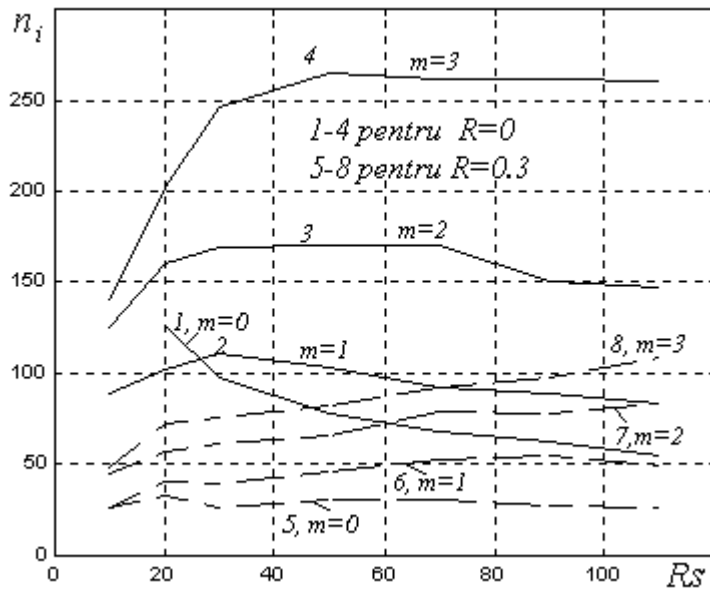


Fig.5. Numărul de impulsuri selectate de circuitul de cuplaj în funcție de structura liniei ideale (curbele 1-4) și cu pierderi (curbele 5-8) la varierea parametrilor R_s , și structura liniei (curbele 1,5 corespund liniei omogene $m=p=0$; 2,6 -pentru $m=p=1$; 3,7 -pentru $m=p=2$ și 4,8 -pentru $m=p=3$)

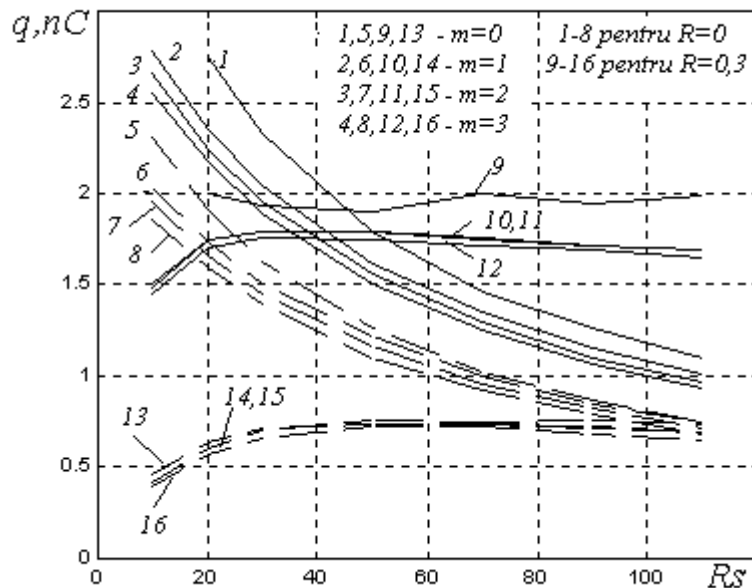


Fig.6. Evoluția valorilor sarcinii aparente maxime (curbele 1-8) și sarcinii totale (curbele 9-16) selectate de rezistența R_s , pentru diferite variante de realizare a modelului fazei înfășurării statorului (curbele 1-4, 9-12 pentru linia ideală, curbele 5-8, 13-16- pentru linia cu pierderi). Numărul de porțiuni omogene în linie: 1,5,9,13- pentru $m=p=0$; 2,6,10,14 -pentru $m=p=1$; 3,7,11,15- pentru $m=p=2$ și curbele 4,8,12,16- pentru $m=p=3$.

Analiza rezultatelor simulărilor

În baza rezultatelor simulărilor proceselor în circuitul examinat (fig.1) se poate constata următoarele:

1. În linia parțial omogenă cu neomogenități localizate formate de circuitele cu parametri concentrați se evidențiază fenomenul de multiplicare a impulsurilor depistate de circuitul de cuplaj $R_s C_s$. La majorarea numărului de porțiuni omogene în modelul matematic al fazei înfășurării $m=var$ și $p=var$ numărul de impulsuri depistate se majorează atât pentru linia ideală, cât și

pentru linia cu pierderi. Totuși, din cauza disipării energiei undelor în linia cu pierderi, numărul de impulsuri depistate în circuitul de măsurare este mai mic în comparație cu varianta liniei fără pierderi (ideale).

Influența valorii rezistenței R_s a circuitului de cuplaj este mai pronunțată pentru valorile mici ale rezistenței R_s . Pentru valorile lui $R_s > (0,4 \div 0,5) Z_0$ această influență este mai slab pronunțată.

2. Valoarea maximă depistată a sarcinii aparente $q_{ap,m}$ (fig.6) depinde puternic de rezistența R_s a

circuitului de cuplaj și mai puțin de numărul de porțiuni neomogene din modelul matematic al fazei înfășurării (de m și p). Totodată, parametrul q_{ap} oscilează în timp și $q_{ap,m}$ după valoarea absolută poate depăși valoarea sarcinii introduse în linie pentru valorile mici ale rezistenței R_s (regimul de sarcină se apropie de regimul de scurtcircuit pentru care este caracteristic dublarea amplitudinii unde de curent la reflectarea ei de la capătul liniei). Sarcina sumară electrică absorbită pe parcursul a unui număr predeterminat de curse $N_d=8$ a unde incidente în circuit este mai mică în comparație cu valoarea sarcinii q_{int} introduse în linie de unda incidentă pentru toate valorile rezistenței R_s . În linia cu pierderi această diferență este mult mai mare și depinde de valoarea rezistenței longitudinale a liniei R . Pentru valorile $R_s < (0,4 \div 0,5) Z_0$ sarcina sumară depistată q_Σ se micșorează cu micșorarea valorii rezistenței R_s și tinde spre zero ($q_\Sigma \rightarrow 0$) pentru cazul $R_s \rightarrow \infty$. Aceasta corelează cu mecanismul de propagare a undelor în liniile lungi.

3. Sarcina sumară și numărul de impulsuri depistate de rezistența R_s au o comportare corelată în dependență de valoarea rezistenței șuntului R_s . Totodată, sarcina sumară este puțin sensibilă la numărul de divizări a înfășurării în porțiuni, parametrii lineici ai cărora diferă și se schimbă prin salt în secțiunea de conexiune.

4. Fenomenele de dispersie și disipare a energiei în linie provocate de multiplele neomogenități și neidealitatea liniei influențează asupra valorilor tuturor mărimilor ($n_{imp}, q_{ap,m}, q_\Sigma$) depistate de circuitul de cuplaj R_s .

5. În circuitul liniei lungi format din faza înfășurării și barele de conexiune cu transformatorul blocului energetic nu este posibil regimul acordat al circuitului R_s, C_s și al fazei care ar asigura excluderea

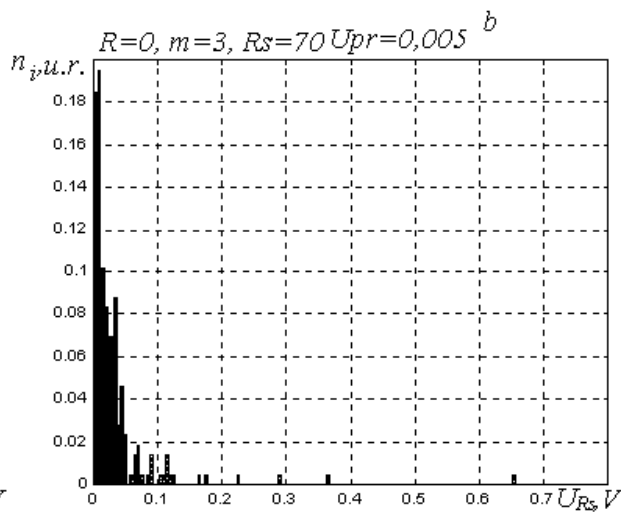
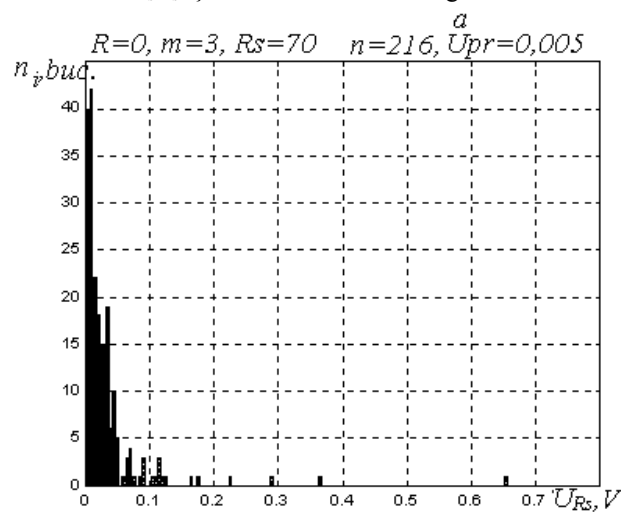
fenomenului de reflexie în punctul lor de conexiune (la bornele fazei înfășurării). Din aceste considerente nu se poate exclude fenomenul de multiple reflexii ale undelor provocate de DP prin acordarea parametrilor circuitului de cuplaj cu parametrii liniei.

6. Fenomenul de reflexie a undelor incidente în linia neomogenă formează un fond de perturbații care creează dificultăți la interpretarea rezultatelor măsurătorilor DP și utilizarea lor în scopuri de diagnosticare a stării tehnice a izolației. În calitate de parametri informativi la diagnosticarea izolației se pot recomanda numărul de impulsuri depistate n_{imp} și sarcina sumară q_Σ . Sarcinii aparente i se poate atribui funcția de parametru suplimentar, deoarece depinde puternic de coraportul dintre rezistența șuntului R_s și rezistența caracteristică a liniei Z_0 .

7. Atât pentru linia ideală, cât și pentru linia cu pierderi cea mai mare valoare o are impulsul provocat de prima undă incidentă. La următoarele curse ale unde incidente amplitudinea impulsurilor de tensiune pe șuntul R_s nu depășesc valoarea de 30-35% în comparație cu valoarea amplitudinii obținute la prima cursă. În linia cu pierderi atenuarea este puțin mai puternică în comparație cu linia fără pierderi.

Repartiția impulsurilor în trenuri le obținute după amplitudine

În baza datelor obținute se pot construi repartițiile impulsurilor selectate de circuitul de cuplaj pentru diferite praguri de selecție a impulsurilor $U_{pr.sel}=0,005$, și $0,1U_{int}$, unde $U_{int}=1V$ – valoarea amplitudinii tensiunii impulsului de intrare (introdus în linie). Repartițiile respective pentru linia ideală și cu pierderi sunt prezentate în fig.7 și fig.8.



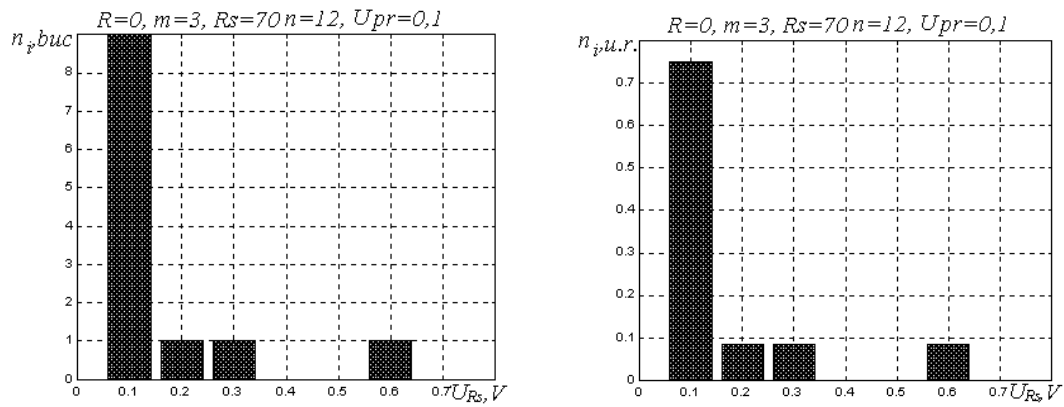


Fig.7. Modificarea repartițiilor impulsurilor depistate de circuitul de cuplaj la varierea valorii tensiunii pragului de selecție (a - valoarea absolută, b - în unități relative).

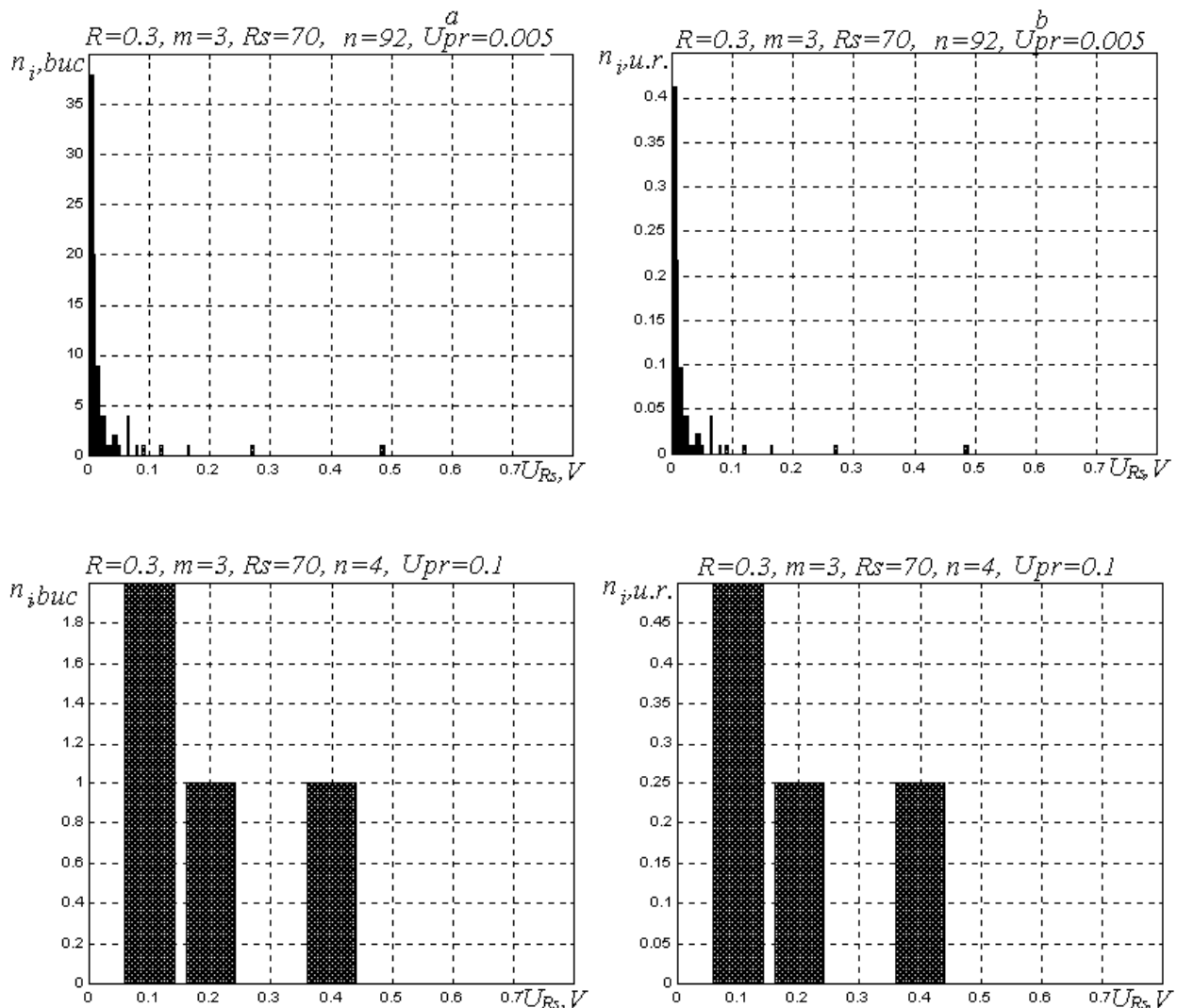


Fig.8. Repartiția impulsurilor depistate pentru linia cu pierderi ($R=0.3$ Ohm/m, $G=0$) pentru diferite praguri de selecție $U_{pr}=0.005, 0.1U_{int}$ (a - mărimi dimensionate, b - relative).

Observăm, că majorarea valorii pragului de selecție conduce la micșorarea numărului total de impulsuri depistate și la apropierea imaginii procesului de esența procesului primar, care provoacă derularea undelor în linia studiată. Aceasta ne poate sugera concluzia, că pentru a majora credibilitatea

măsurătorilor trenurilor de impulsuri din circuitele neomogene, măsurătorile trebuie îndeplinite cu anumite limitări. De exemplu, nu se i-au în considerație toate impulsurile, dar numai impulsurile a căror amplitudine depășesc o valoare limită, valoarea pragului de selecție. Deoarece este greu de apreciat preventiv valoarea acestui

prag de selecție la realizarea aparatelor de măsurat (analizările de descărcări parțiale ADP) se poate recomanda de utilizat mai multe praguri de selecție a impulsurilor DP.

Din aceste considerente măsurarea repartițiilor impulsurilor DP este util de efectuat pentru diferite valori a mărimii pragului de selecție. Prin aceasta se poate majora credibilitatea concluziilor privind starea tehnică a izolației în baza analizei ansamblului de repartiții a impulsurilor DP.

Concluzii

1. La utilizarea metodei de supraveghere în regim on-line nu este posibil de evitat fenomenul de reflexie și multiplicare a impulsurilor la conectarea circuitului de cuplaj. În acest regim se depistează trenuri de impulsuri generate de fenomenul de multiple reflexii.

2. În calitate de parametri informativi la diagnosticarea indistructivă a stării tehnice a izolației după parametrii DP se pot utiliza repartițiile impulsurilor DP după amplitudine, sarcina aparentă, sarcina însumată. Rezultatele măsurărilor în mare măsură sunt determinate de corectitudinea metodei de măsurare utilizate și racordarea parametrilor circuitelor de cuplaj cu parametrii fizici ai obiectului testat, de capacitatea condensatorului de cuplaj C_s și a rezistenței șuntului R_s , rezistența caracteristică Z_0 a liniei. Se recomandă, ca să avem valoarea șuntului $R_s = Z_0$ la conectarea circuitului $R_s C_s$ la capătul liber al liniei și $R_s > (0,4-0,5)Z_0$ la conectarea în punctul x_n al liniei. Totodată, trebuie să se respecte raportul dintre constanta de timp a circuitului de cuplaj $\tau_{RC} = R_s C_s$ și durata impulsului DP t_{DP} : $K_{RC} = \tau_{RC} / t_{DP} > 4 \div 5$.

3. La linia neomogenă formată din mai multe porțiuni cu salturi ale parametrilor lineici și neomogenități de circuite cu parametri concentrați, cum este înfășurarea statorului, repartițiile după amplitudine a trenurilor de impulsuri se modifică în funcție de numărul de divizări a liniei. La creșterea numărului de divizări a liniei se majorează numărul de impulsuri cu amplitudine mică. Pentru a exclude aceste impulsuri este necesar ca măsurătorile să se îndeplinească la diferite paliere a pragului de selecție. Prin aceasta se pot evidenția și selecta impulsurile produse de unda incidentă fundamentală și prin aceasta să se majoreze veridicitatea concluziilor în baza analizei măsurătorilor DP a obiectelor reale.

Bibliografia

1. Popkov V.I., Demircian K.S. Problemî diagnostichi i prognozirovania nadejnosti energheticescogo oborudovania / Energhetica i transport. Izv. AN S.S.S.R., 1979 nr.6, p.p.3-11.
2. Dumitru I., Pispiris C., Bădan G. Tendințe actuale și de perspectivă pentru controlul și monitorizarea on-line a instalațiilor electroenergetice / Simpozionul Național de Rețele Electrice S.N.R.E. – 2000. Ediția a X-a, 25-26 mai 2000, Iași, vol.II, p.p.535-537.
3. Kulakovskii V.B. Profilacticeschie ispătania i defecti izoleații crupnâh electriceshiih mașin. M.: Energhia, 1970, 184 p.
4. Horváth T., Nemeth, Mathe B., Stanciu V. Încercarea izolației electrice. Editura tehnică, 1982. 440 p.

5. Zlatanovici D., Bălan Gh., Engster F. Determinarea stării izolației înfășurărilor statorice ale generatoarelor electrice prin măsurători profilactice. Energhetica, 1984. – 32., nr.8, p.p.356-363.
6. GOST 20074-83 (ST SĂV 3689-82). Electrooborudovanie i electroustanovchi. Metod izmerenia haracteristic ciasticinâh razreadov. M.: Izdatelistvo standartov, 1983, 22 p.
7. Moldovean C., Grigorescu S., Vlaicu C. Monitorizarea complexă on-line a transformatoarelor de putere din exploatare folosind echipament trafomon. / Simpozionul Național de Rețele Electrice S.N.R.E. – 2000. Ediția a X-a, 25-26 mai 2000, Iași, vol.I, p.p.687-695.
8. M.Țișu. Elaborarea metodei și aparaturii de depistare și localizare a descărcărilor parțiale în izolația înfășurării statorice a mașinilor electrice de mare putere./Autoreferatul tezei de dr.ș.t. la specialitatea 05.14.02 „Centrale electrice (partea electrică), rețele electrice, sisteme electroenergetice și dirigații lor” . AȘM, Institutul de Energhetică. Chișinău: 2003. -23p.
9. Edmonds J.S. [Sistema neprerâvnogo controla izolații ghidrogeneratorov, RI 21N, 1991, p.23] // Proc. 19th Elec/Electron. Insul. Conf., Chicago, III, Sept. 25-28, 1989 N.Y., 1989, p.p.215-218.
10. Tichen Ross C. Initial experience in the Snowy Montains scheme with the PDA and installation and use permanent capacitive couplers on hydro generators // Proc. 19th Elec/Electron. Insul. Conf., Chicago III, Sept. 25-28, 1989 and Chicago 89 EEIC ICWA Expo – New York, 1989, p.p.219-224.
11. Kucinschii G.S. Ciasticinâe razreadi v vâsosovolitnâh construcțiih. L.Energhia, 1979. – 224 p.
12. Berzan V., Bărlădeanu A., Țișu M. și alții. Rezultatele măsurării descărcărilor parțiale în izolația generatoarelor de mare putere / Simpozion Internațional ELECTRO 96, 16-17 octombrie 1996, Chișinău. Chișinău: „Tehnica”, 1997 Vol.I, p-p-241-246.
13. Peter Morsuis, Marc Jeroene, Jenes Beyer. Partial Discharge Part XXIV: The Analysis of PD in HVDC Equipment . IEEE Electrical Insulation Magayine, 1997. Vol.13, No.2.- pp. 6-16.
14. Stone G.C. The Use of Partial Discharge Measurements to Assess Condition of Rotating Machine Insulation. IEEE Electrical Insulation Magayine, 1997 Vol.12, No.4.- pp. 23-27.
15. Rimschi V., Berzan V., Țișu M. Volnovâie iavlenia v neodnorodnâh liniiah, Tom.I. Teoria rasprostranenia voln potențiala i toca. Pod redacției V.K.Rimscogo.-Kișinev: Tipografia Academii Nauk R.Moldova, 1997.-295 p.
16. Godunov S.K. Uravnenia matematicescoi fizichi. M.: Nauka, 1979- - 391 p.



Mihai Țișu. Technical University of Moldova, Department of automation and control of technical systems, (1989-1994). Post-graduate student, Power Engineering Institute of an Academy of Science of Moldova (1996-1999).

Engineer in the Power Engineering Institute of the Academy of Science of Moldova (1994-2001). Researcher in the Power Engineering Institute of the Academy of Science of Moldova (2001-2003), doctor of technical

sciences (2003), chief of lab.



Berzan V.P. a absolvit Facultatea de Energhetică a Universității Tehnice a Moldovei. În a.1990 a susținut teza de d.ș.t. la Universitatea Tehnică de Stat din Sanct-Petersburg la specialitatea 05.09.02 „ Izolația electrică și tehnica cablurilor”, iar în a.1999 i s-a conferit titlul de d.h.ș.t. la specialitatea 05.14.02 în baza susținerii tezei cu tema „Procese

electromagnetice tranzitorii în liniile lungi neomogene cu multe fire” la Institutul de Energhetică al AȘM. Domeniul de activitate: diagnoza echipamentului energetic în regimuri on-line și off-line cu metode indistructive de control, studierea proceselor nestaționare în circuite neomoge, cercetări în domeniul resurselor regenerabile de energie, utilizarea metodelor numerice de calcul la soluționarea problemelor tehnico-științifice din domeniul fizicii matematice. Autor și coautor a 130 lucrări științifice, inclusiv 4 monografii, 10 brevete.