

STUDIUL REPARTIȚIEI TENSIUNII PE IZOLATOARELE DE SUSPENSIE FOLOSIND MODELAREA FIZICĂ

1. Baze teoretice

Tensiunea alternativă sau de impuls se repartizează în mod neuniform pe elementele unui lanț de izolatoare. Aceasta înseamnă că din tensiunea aplicată întregului lanț, fiecare dintre izolatoarele componente îi revin părți diferite, unele fiind mai solicitate electric decât altele.

Unui lanț de izolatoare se suspensie (fig.1,a) îi corespunde o schemă echivalentă ca aceea din fig.1,b în care:

- C - capacitățile proprii ale fiecărui izolator (capacitatea dintre armăturile metalice ale izolatorului);
- C_1 - capacitățile parazite dintre armăturile metalice ale lanțului și pământ (de fapt față de elementele constructive ale stâlpului-coloană, traverse);
- C_2 - capacitățile parazite dintre armăturile metalice ale lanțului și conductorul liniei (inclusiv clema și armăturile de uniformizare).

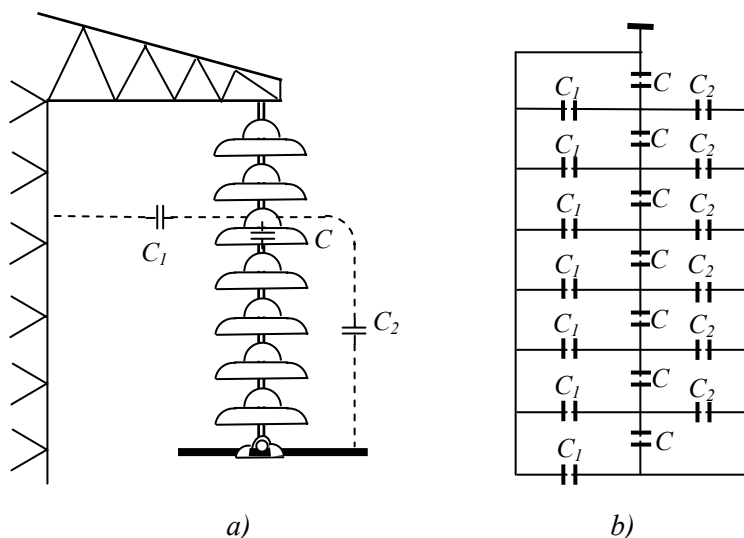


Fig.1 – Lanțul de izolatoare de suspensie
a) schiță constructivă; b) schema electrică echivalentă.

Capacitățile parazite (a căror dielectric este aerul) se formează inevitabil datorită configurației coronamentului liniei, iar mărimea lor depinde de dimensiunile armăturilor metalice

și de distanțele dintre acestea și stâlp, respectiv conductor.

Izolatoarele din lanț fiind identice, capacitățile C sunt egale între ele, având valori de ordinul a 50..70 pF. Este evident că, datorită dimensiunilor mult mai mari ale stâlpului decât ale conductorului, capacitățile C_1 sunt mai mari decât C_2 ; pentru acestea ordinul de mărime este $C_1 \approx 4 - 5$ pF, $C_2 \approx 0.5 - 1$ pF.

Aceași schemă echivalentă este valabilă și pentru izolatoarele tijă, frecvent folosite pe liniile electrice aeriene. În acest caz, capacitățile menționate în fig.1 corespund unor segmente egale din tija izolatorului.

Modelul matematic al repartiției tensiunii de-a lungul lanțului de izolatoare rezultă din rezolvarea ecuațiilor diferențiale care descriu schema electrică cu parametri uniform distribuiți din fig.2. În această schemă C , C_1 și C_2 reprezintă capacități pe unitatea de lungime a lanțului de izolatoare.

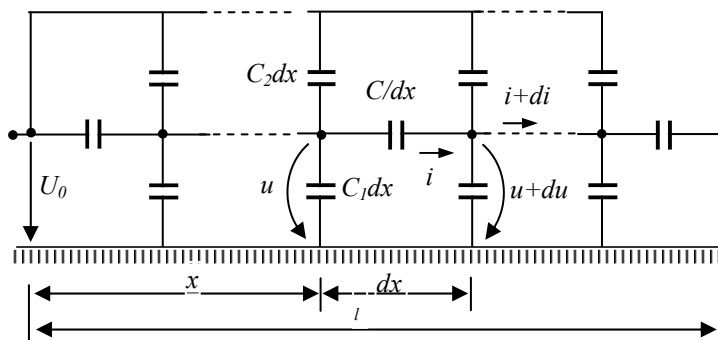


Fig.2 – Schemă cu parametri uniform distribuiți pentru izolatorul de suspensie

Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale conduce la soluția generală, care exprimă, în unități relative, tensiunea în punctul de pe lanț aflat la distanța x față de capătul legat la pământ:

$$\frac{U(x)}{U_0} = \frac{1}{C_1 + C_2} \cdot \left[C_2 + C_1 \frac{\text{sh}\alpha(l-x)}{\text{sh}\alpha \cdot l} - C_2 \frac{\text{sh}\alpha \cdot x}{\text{sh}\alpha \cdot l} \right], \quad (1)$$

obținută pentru condițiile la limită $x = 0$, $U_x = U_0$ și respectiv $x = l$; $U_x = 0$ și în care:

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{C}}. \quad (2)$$

Pentru a folosi capacitățile proprii și parazite ale lanțului de izolatoare, ale căror valori au fost menționate mai sus, relația (1) se pune sub forma

$$U_k\% = \frac{100}{C_1 + C_2} \cdot \left[C_2 + C_1 \cdot \frac{\text{sh}\alpha \cdot k}{\text{sh}\alpha \cdot n} - C_2 \cdot \frac{\text{sh}\alpha \cdot (n-k)}{\text{sh}\alpha \cdot n} \right], \quad (3)$$

în care n este numărul de izolatoare din lanț, k este numărul de ordine al izolatorului în raport

cu capătul legat la pământ, α are expresia (2), iar tensiunea în dreptul izolatorului k este exprimată procentual.

Tensiunea aplicată unui izolator din lanț, reprezentând solicitarea electrică a acestuia, se poate calcula cu relația

$$\Delta U_k\% = \frac{100}{(C_1 + C_2) \cdot sh\alpha \cdot n} \{C_1 [sh\alpha \cdot k - sh\alpha \cdot (k-1)] - C_2 [sh\alpha \cdot (n-k) - sh\alpha \cdot (n-k+1)]\} \quad (4)$$

Dacă se ia în considerare și variația capacităților C_1 și C_2 în lungul lanțului, se complică mult tratarea analitică a problemei, fără a crește în mod esențial precizia modelului matematic.

Influența capacităților parazite asupra repartiției tensiunii de-a lungul lanțului de izolatoare valorilor este exprimată grafic în fig.3, folosind relațiile (3) și (4).

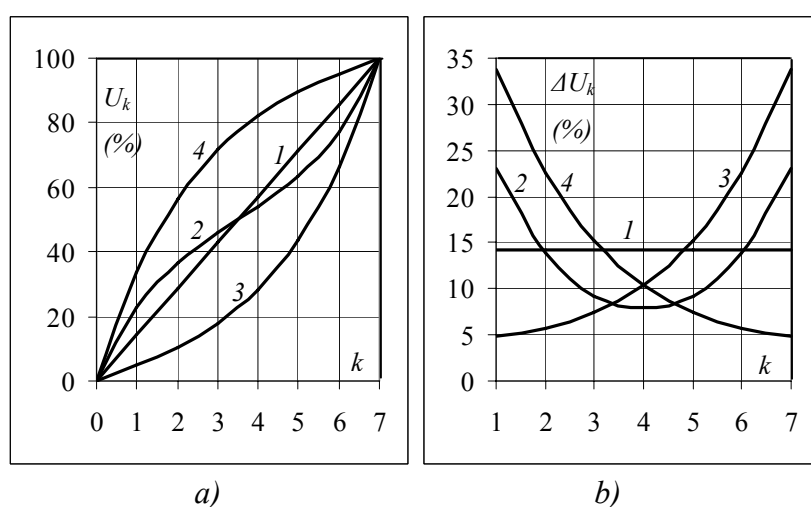


Fig.3 – Influența capacităților parazite asupra:
 a) repartiției tensiunii de-a lungul lanțului de izolatoare;
 b) tensiunii aplicate izolatoarelor componente.
 1 - $C_1=C_2=0$; 2 - $C_1=C_2 \neq 0$; 3 - $C_1 \neq 0, C_2=0$; 4 - $C_1=0, C_2 \neq 0$.

Din graficele precedente, se constată că:

1. pentru $\alpha = 0$, adică $C_1=C_2=0$, repartiția tensiunii în lungul lanțului este uniformă, respectiv izolatoarele suportă părți egale din tensiunea aplicată lanțului;
2. pentru $\alpha \neq 0$, dar $C_1=C_2$, solicitările maxime apar pe izolatoarele de la extremitățile lanțului și au valori egale, iar solicitarea minimă este la mijlocul lanțului;
3. pentru $\alpha \neq 0$, dar $C_1 \neq 0$ și $C_2=0$, solicitarea maximă apare pe izolatorul de lângă conductor, iar cea minimă pe izolatorul de lângă consolă;
4. pentru $\alpha \neq 0$, dar $C_1=0$ și $C_2 \neq 0$, solicitarea maximă apare pe izolatorul de lângă consolă, iar cea minimă pe izolatorul de lângă conductor.

Situațiile prezentate în fig.3 sunt pur teoretice; în cazurile practice, capacitățile parazite există inevitabil, iar $C_1 > C_2$, astfel că solicitarea maximă revine izolatorului de lângă conduc-

tor, iar solicitarea minimă apare către capătul dinspre consola a lanțului, dar nu chiar pe ultimul izolator. Odată cu creșterea lungimii lanțului, corespunzător creșterii tensiunii nominale a liniei, gradul de neuniformitate al repartiției se accentuează.

În cazul liniilor cu tensiunea nominală de 220 kV și mai mare, solicitarea mărită a unora dintre izolatoarele lanțului creează condiții pentru apariția unor descărcări locale de tip corona în zonele cu rază mare de curbura ale armăturilor metalice de prindere, ceea ce generează zgomot, perturbații radioelectrice și accelerează procesele de coroziune.

Obținerea unei repartiții liniare a tensiunii în lungul lanțului, este posibilă teoretic numai dacă ar lipsi capacitățile parazite. În practică fiind imposibil a se ajunge la o asemenea situație, se poate acționa numai pentru o reducere limitată a gradului de neuniformitate a solicitării izolatoarelor din lanț.

Unica soluție folosită pentru izolatoarele de suspensie este atașarea unor electrozi la extremitățile lanțului, care modifică mărimea capacităților parazite, mai ales a capacităților C_2 în raport cu conductorul. Prin aceasta se obține o reducere a solicitării izolatoarelor de lângă conductor, ceea ce micșorează semnificativ efectele negative menționate mai sus.

Armăturile de uniformizare a repartiției tensiunii îndeplinesc simultan și rolul de protejare a izolatoarelor față de efectul termic al arcului electric, motiv pentru care se montează la ambele extremități ale lanțului. Forma acestor armături este inelară, dar la liniile de foarte înaltă tensiune se folosesc mai ales armături ovale, uneori chiar curbate către lanțul de izolatoare pentru a obține efectul de reducere a solicitării izolatoare, fără a fi necesară creșterea distanței dintre fazele liniei.

2. Modelul fizic al lanțului de izolatoare

Pentru studiul repartiției tensiunii pe lanțul de izolatoare se va folosi un model fizic format dintr-o rețea de condensatoare, conform schemei echivalente din fig. 1,b. Modelului de lanț de izolatoare îi este atașat un circuit de măsură care utilizează principiul compensării (montaj în punte), rezultând schema din fig.4.

Capacitățile parazite se conectează cu ajutorul unor conductoare mobile, permițând astfel realizarea unor configurații teoretice, conform cazurilor ilustrate în fig.3. Sunt prevăzute trei valori diferite ale capacităților parazite față de conductor, ceea ce corespunde unor armături de dimensiuni diferite pentru uniformizarea repartiției tensiunii pe lanț.

Modelul din laborator corespunde lanțului de izolatoare al unei linii de 110 kV. La ale-

gerea scării de modelare a capacităților s-a avut în vedere evitarea influenței capacităților parazite ale conductoarelor de legătură. Ca urmare:

$$\frac{C_{MODEL}}{C_{REAL}} = 10^5 .$$

Toate valorile capacităților din fig.4 sunt date în μF .

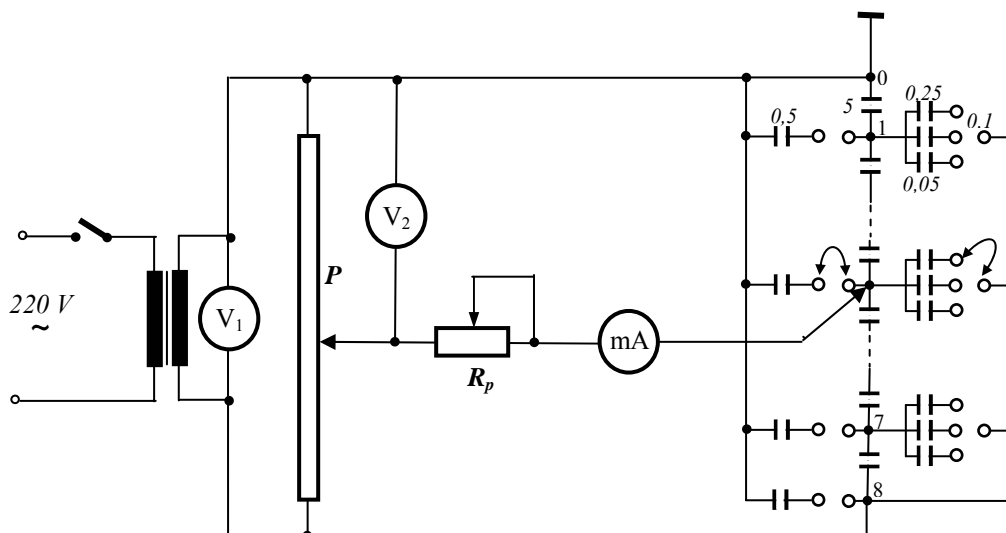


Fig.4 – Schema de principiu a modelului fizic de lanț de izolatoare

Transformatorul de alimentare a modelului are tensiunile nominale 220/100 V, astfel încât tensiunile măsurate pe model sunt numeric egale cu cota procentuală din tensiunea aplicată modelului.

Circuitul de măsură este o punte ale cărei brațe sunt formate din zonele potențiometrului P cuprinse între cursor și extremități, respectiv din zonele modelului capacitiv a lanțului de izolatoare cuprinse între punctul de conectare a mA-metrului și cele două extremități. Diagonala de măsură cuprinde indicatorul de nul (mA-metrul) și rezistența de protecție R_p . Diagonala de alimentare cuprinde secundarul transformatorului împreună cu voltmetrul V_1 care indică valoarea fixă de 100 V și servește pentru controlul prezenței tensiunii.

Măsurarea tensiunii în punctul de racord a diagonalei de măsură la schema capacitivă se realizează prin reglarea potențiometrului P până la anularea curentului prin mA-metru. Pe măsura apropierea de zero, se reduce progresiv valoarea rezistenței de protecție R_p , pentru a crește sensibilitatea instrumentului de nul. La sfârșitul echilibrării, tensiunea indicată de voltmetrul V_2 este egală cu tensiunea pe schema capacitivă între punctul de măsură și borna de masă.

Acest procedeu de măsurare permite folosirea unor aparate de tip uzual fără a afecta precizia măsurării, deoarece, în momentul echilibrării punții, circulația curentului în schema

capacitivă nu mai este influențată de circuitul de măsurare (curentul prin diagonala de măsurare este nul).

3. Modul de lucru

- Folosind modelul fizic al lanțului de izolatoare, se măsoară tensiunea în nodurile schemei capacitive pentru combinațiile de valori ale capacităților parazite C_1 și C_2 , conform tabelului 1.

Tabelul 1 : Tensiunile în nodurile schemei capacitive

Nodul	U_k (%) în cazul:					
	$C_1 = 0$		$C_1 = 0.5\mu\text{F}$			
	$C_2=0$	$C_2=0.25\ \mu\text{F}$	$C_2=0$	$C_2=0.05\mu\text{F}$	$C_2=0.1\mu\text{F}$	$C_2= 0.25\mu\text{F}$
0						
...						
8						

- Valorile tensiunii din tabelul 1 se folosesc pentru a calcula mărimea tensiunii care revine fiecărui izolator din lanț. Aceste valori vor fi înscrise în tabelul 2.

Tabelul 2: Căderile de tensiune pe elementele componente ale lanțului de izolatoare

Izolatorul	ΔU_k (%) în cazul:					
	$C_1 = 0$		$C_1 = 0.5\mu\text{F}$			
	$C_2=0$	$C_2=0.25\ \mu\text{F}$	$C_2=0$	$C_2=0.05\mu\text{F}$	$C_2=0.1\mu\text{F}$	$C_2= 0.25\mu\text{F}$
1						
...						
7						

- Se trasează familiile de curbe $U_k(k)$ și $\Delta U_k(k)$ și se compară cu graficele din fig.3. Se urmărește efectul capacităților parazite, în special al capacității față de conductor.
- Se calculează repartiția tensiunii pe modelul lanțului de izolatoare, folosind relația (3) și valorile capacităților modelului pentru una dintre variantele în care ambele capacități parazite sunt nenule; se compară cu rezultatele măsurării pentru varianta respectivă.