

3

Distribuția statistică a supratensiunilor de comutație

3.1 Introducere

Importanța supratensiunilor de comutație pentru izolația instalațiilor de înaltă tensiune – linii de transport și stații de transformare - a fost sesizată după ce a apărut necesitatea trecerii la tensiuni din domeniul A, conform clasificării adoptate de CEI, respectiv la tensiuni mai mari de 245 kV. Înainte de apariția primei linii de transport la 500 kV se știau puține lucruri despre producerea supratensiunilor de comutație ca și despre comportarea izolației în aceste condiții. Unele măsurători în rețele de 138 kV și 345 kV au arătat că supratensiunile de comutație pot fi importante, iar unele încercări de laborator au arătat că rigiditatea la impulsuri de comutație este mai redusă decât la impulsuri de trăsnet.

Proiectarea primei linii de 500 kV s-a făcut cu metoda deterministă, deoarece natura aleatoare a supratensiunilor de comutație nu era luată în considerare, distribuția de probabilitate pentru acestea nu era cunoscută, iar teoria și modul de aplicare a metodei probabiliste nu erau încă dezvoltate.

Aceste două probleme au fost depășite repede. Distribuția supratensiunilor de comutație a fost obținută folosind analizorul tranzitoriu de rețea (TNA= Transient Network Analyzer) prin comutarea aleatoare a întrerupătorului.

Astăzi, virtual, toate liniile de foarte înaltă tensiune sunt proiectate folosind metoda probabilistică. Această metodă este folosită la linii de 345 kV și, uneori, chiar la 245 kV. Totuși, la 245 kV și mai jos, nu se iau în considerare supratensiunile de comutație.

Proiectarea liniilor considerând supratensiunile de comutație folosește noțiunile de solicitare și ținere. Solicitarea este dată de supratensiunile de comutație aplicate liniei, descrise printr-o distribuție statistică. Ținerea se referă la izolația stâlpului care, de asemenea, poate fi descrisă statistic printr-o distribuție cumulată de tip Gauss. Din aceste două distribuții poate fi determinată probabilitatea unei descărcări datorită supratensiunilor.

Performanța izolației liniei în raport cu supratensiunile de comutație se exprimă, cel mai adesea, prin *numărul specific de descărcări* NDSC (SSFOR = Switching Surge Flashover Rate), respectiv numărul de descărcări pe care le suportă izolația la aplicarea a 100 impulsuri de comutație. Acest indicator se poate calcula pentru o distanță izolantă dată, cunoscând distribuția factorilor de supratensiune. Invers, cunoscând riscul de descărcare admis, exprimat prin NDSC, și distribuția statistică a supratensiunilor, se poate determina distanța disruptivă necesară.

3.2 Histograme pentru supratensiuni de comutație

Folosind TNA sau un program de calcul pentru regimuri tranzitorii (de exemplu ATP = Alternative Transient Program), se obțin valorile supratensiunilor de comutație luând în considerare funcționarea aleatoare a unui întrerupător. Efectuând un număr suficient de mare de simulări, se poate pune în evidență probabilitatea de apariție supratensiunilor de comutație în funcție de mărimea lor exprimată prin factorul de supratensiune. În fig. 3.1,a sunt prezentate astfel de rezultate, care iau forma „clopotului lui Gauss”. Fiind considerate 100 de cazuri, numărul de

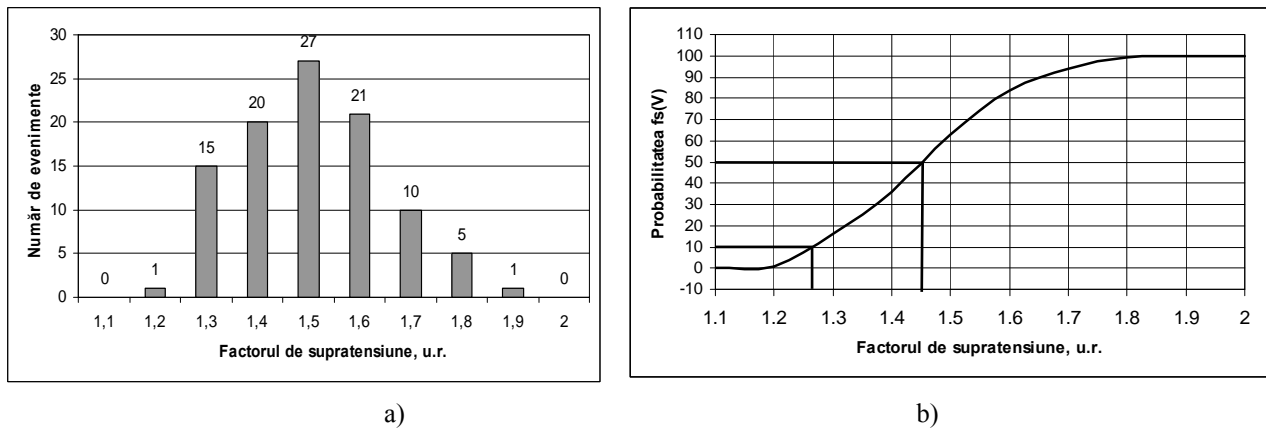


Fig. 3.1 Histograma factorilor de supratensiune (a) și distribuția cumulată a supratensiunilor (b)

Înregistrări pentru un factor de supratensiune este numeric egal cu probabilitatea de apariție, exprimată în procente. În fig. 3.1a), 1% dintre tensiuni au amplitudinea 1,9 u.r., 5% sunt egale cu 1,8 u.r. etc.

Folosind datele din fig. 3.1a, se poate întocmi curba distribuției cumulate a probabilităților, „curba în S” din fig.3.1,b. Pe această curbă, se pot găsi factorii de supratensiune corespunzători unor probabilități de apariție: pentru 50% corespunde 1,45 u.r. iar pentru 10% corespunde 1,27 u.r.

Admițând că distribuția cumulată respectă ecuația distribuției normale Gauss, între valorile V_{10} și V_{50} există relația:

$$V_{10} = V_{50} \left(1 - 1,28 \frac{\sigma_0}{V_{50}} \right),$$

în care σ_0 este dispersia factorilor de supratensiune. Această relație este formal identică cu aceea cazul ținerii izolației, care are tot caracter probabilistic, conform distribuției normale Gauss. Din această relație se poate extrage direct dispersia factorilor de supratensiune, raportată la valoarea medie a distribuției

$$\frac{\sigma_0}{V_{50}} = \frac{1}{1,28} \left(1 - \frac{V_{10}}{V_{50}} \right) = \frac{1}{1,28} \left(1 - \frac{1,27}{1,45} \right) = 0,097.$$

3.3. Determinarea numărului specific de descărcări (NDSC)

Producerea unei descărcări (conturnări) a izolației supusă solicitării cu supratensiuni depinde atât de mărimea solicitării cât și de nivelul ținerii izolației. Caracteristica ținerii izolației poate fi aproximată, de asemenea, cu o distribuție cumulată Gauss.

De exemplu, în fig.3.2 este dată caracteristica ținerii unei izolații având $U_{50} = 900$ kV și abaterea standard de 45 kV, având deci un coeficient de variație de 5%.

Probabilitatea de apariție a celei mai mari supratensiuni de comutație în fig.3.1 (de 855 kV, respectiv 1,9 u.r.), este de 1% sau 0,01. În fig. 3.2, acestei solicitări îi corespunde o probabilitate de descărcare $p = 0,16$. Această valoare se poate determina cu suficientă precizie, folosind tabelul de valori (în ANEXĂ) ale funcției de distribuție cumulată normală Gauss scrisă sub forma redusă:

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (3.1)$$

în care

$$Z = \frac{V - U_{50}}{\sigma_f} \quad (3.2)$$

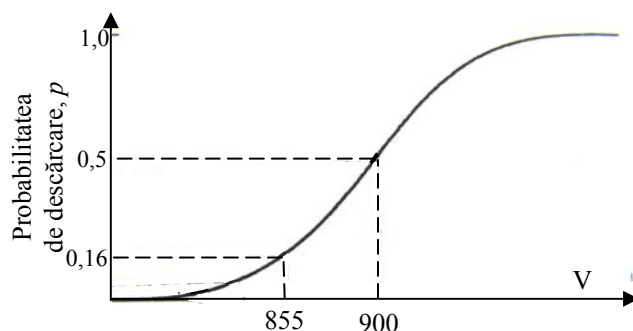


Fig. 3.2 Caracteristica ținerii izolației

Pentru factorul de supratensiune 1,9 u.r. , respectiv o valoare de 855 kV:

$$Z = \frac{V - U_{50}}{\sigma_f} = \frac{855 - 900}{45} = -1 \quad (3.3)$$

Valorile funcției de distribuție cumulată normale Gauss, $F(Z)$ sunt date în tabelul din Anexă. Aceste valori respectă relația

$$F(-Z) = 1 - F(Z) \quad (3.4)$$

Din tabel, pentru
astfel că

$$Z = 1, F(1) = 0,8413,$$

$$F(-1) = 1 - F(1) = 1 - 0,8413 = 0,1587$$

Probabilitatea de descărcare la aplicarea supratensiunii de 1,9 u.r. este deci 0,1587 (rotunjit 0,16). Deoarece probabilitatea de apariție a supratensiunii de 1,9 u.r. este de 0,01, probabilitatea de a se produce o descărcare la această valoare a supratensiunii este de 0,001587 (0,1587 x 0,01).

Pentru celelalte valori ale factorului de supratensiune din fig. 3.1a, rezultatele calculelor similare sunt prezentate în tabelul 3.1., în care $P(V)$ este probabilitatea de existență a supratensiunii V , $D(V) = p$ este probabilitatea unei descărcări la o solicitare cu supratensiunea V , iar $P(D) = P(V) * D(V)$ este probabilitatea de descărcare la solicitarea cu supratensiunea V , considerând probabilitatea de apariție a acestei solicitări.

Tabelul 3.1 Calculul probabilității de descărcare (NDSC/SSFOR)

V (u.r./kV)	Z	$P(V)$	$n = 1$ stâlp		$n = 100$ stâlpi	
			$D(V) = p$	$P(D) = P(V) * D(V)$	$D(V) = 1 - (1 - p)^n$	$P(D) = P(V) * D(V)$
0	1	2	3	4	5	6
1,9/855	-1	0,01	0,1587	0,00159	1,00000	0,01000
1,8/810	-2	0,05	0,02275	0,00114	0,8999	0,04499
1,7/765	-3	0,1	0,00135	0,00014	0,12636	0,01264
1,6/720	-4	0,21	0,0003267	0,0001	0,00797	0,00326
1,5/675	-5	0,27	0,0000028	0,0000	0,000028	0,00001
			Total NDSC	0,0028 sau 0,288/100		0,0709 sau 7,09/100

Pentru a obține numărul specific de descărcări, NDSC, se adună rezultatele din coloana 4 și se obține totalul de 0,0028 pentru o comutație, respectiv 0,288 conturnări la 100 de comutații.

Mai multe izolații în paralel (mai mulți stâlpi)

Distribuția ținerii izolației din fig. 3.2 este valabilă pentru un stâlp (o singură izolație solicitată), dar o linie are mai mulți stâlpi, iar supratensiunile se aplică simultan tuturor

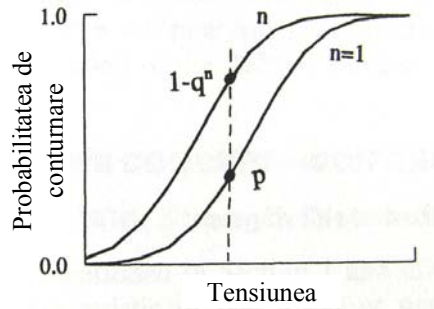


Fig. 3.3 Creșterea probabilității de conturnare pentru n stâlpi

izolatoarelor. Se adoptă notațiile:

- p - probabilitatea de conturnare pentru izolația unui singur stâlp (valoarea din coloana 3 a tabelului 3.1),
- q , probabilitatea de a nu apărea conturnarea la un stâlp, $q = 1 - p$,
- n , numărul de stâlpi.

Considerând doi stâlpi, pot avea loc următoarele situații:

- lipsa descărcării la ambii stâlpi, probabilitatea fiind q^2 sau $(1-p)^2$.
- descărcare la primul stâlp și lipsa descărcării la al doilea sau lipsa descărcării la primul și descărcare la al doilea, probabilitatea fiind pq sau $p(1-p)$.
- descărcare la ambii stâlpi simultan, cu probabilitatea p^2 .

Toate aceste probabilități însumate dau 1, deoarece unul dintre evenimente trebuie să aibă loc. Deci:

$$q^2 + 2pq + p^2 = 1.$$

Totuși valoarea căutată este probabilitatea unei descărcări fie la primul, fie la al doilea stâlp sau la ambii, astfel că termenul q^2 , care corespunde lipsei descărcărilor, se poate elimina, adică

$$2pq + p^2 = 1 - q^2.$$

Pentru n stâlpi aceasta devine $1 - q^n$. Probabilitatea de descărcare, la cel puțin un stâlp, pentru o supratensiune dată, V , devine:

$$D(V) = 1 - q^n = 1 - (1 - p)^n \quad (3.5)$$

Relația 3.5 arată că probabilitatea de conturnare este egală cu 1 minus probabilitatea de a nu apărea descărcarea la vreunul dintre stâlpi. Deoarece $q < 1$, $1 - q^n > 1 - q$. Fig. 3.3 prezintă această creștere a probabilității de descărcare pentru n stâlpi.

Folosind ecuația 3.5, calculul NDSC (SSFOR) decurge ca mai înainte și este dat în Tabelul 3.1 (coloanele 5-6) pentru $n = 100$ stâlpi. Așa cum era de așteptat, NDSC (SSFOR) crește la 7,09/100, dar numai partea superioară a distribuției supratensiunilor are o contribuție importantă.

Variația factorului de supratensiune de-alungul liniei (profilul tensiunii)

În calculele anterioare, s-a considerat aceeași supratensiune la fiecare stâlp al liniei. Totuși, supratensiunile diferă de-alungul liniei, fiind mai reduse lângă întrerupătorul care a comutat decât la

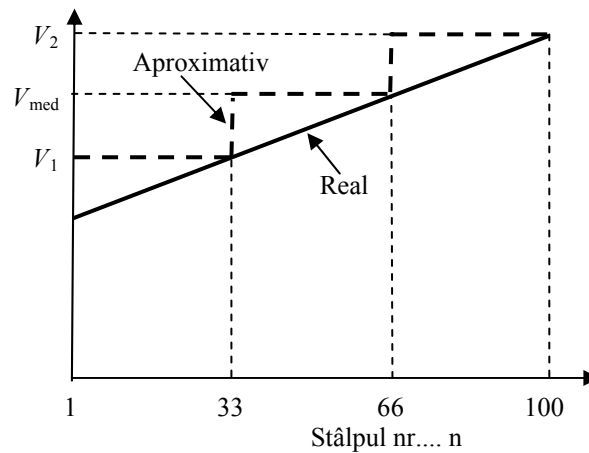


Fig. 3.4 Profilul longitudinal al factorilor de supratensiune

sfârșitul liniei. Profilul supratensiunii este dat în fig. 3.4 prin linia continuă.

Continuând exemplul liniei cu 100 stâlpi, se presupune că V_1 / V_2 este egal cu 0,9 și vor fi considerate numai trei valori: tensiunea la sfârșitul liniei, V_2 , la mijlocul liniei V_{med} și tensiunea V_1 , la începutul liniei, unde are loc comutația astfel încât profilul longitudinal al supratensiunilor este redat prin linia întreruptă. De asemenea, se presupune că pentru fiecare dintre aceste tensiuni revin câte $n = 33$ stâlpi.

De exemplu $V_2 = 1,9$ u.r., $V_1 = 1,9 \times 0,9 = 1,71$ u.r., iar $V_{med} = (V_1 + V_2)/2 = 1,805$. Probabilitatea de a nu avea descărcări pentru V_2 (1,9 u.r.) este q_2^n , probabilitatea de a nu avea descărcări pentru V_{med} este de q_{med}^n , iar probabilitatea de a nu avea descărcări pentru V_1 este q_1^n . Probabilitatea de descărcare pentru întreaga linie este

$$D(V) = 1 - q_2^n q_{med}^n q_1^n \quad (3.6)$$

Calculule aferente sunt date în tabelul 3.2.

De exemplu:

Pentru $V_2 / V_{med} / V_1 = 1,9 / 1,805 / 1,71$, rezultă $Z = -1 / -1,95 / -2,9$. Din ANEXĂ, se obțin valorile probabilității de descărcare, p :

$$F(-1) = 1 - F(1) = 1 - 0,8413 = \mathbf{0,1587};$$

$$F(-1,95) = 1 - F(1,95) = 1 - 0,97441 = \mathbf{0,02559};$$

$$F(-2,9) = 1 - F(2,9) = 1 - 0,998134 = \mathbf{0,001866}.$$

Probabilitățile de ne-descărcare (q) vor fi: $q_2 / q_{med} / q_1 = 0,8413 / 0,97441 / 0,998134$.

Cu relația (3.6), rezultă o probabilitate de descărcare $D(V) = 1 - 0,8413^{33} \cdot 0,97441^{33} \cdot 0,998134^{33} = 0,99866$

Deoarece probabilitatea de apariție a supratensiunii respective este de 0,01, rezultă că probabilitatea descărcării pentru o tensiune de 1,9 u.r. la sfârșitul liniei este $0,99866 \times 0,01 = 0,0099866$.

Pe total, se obține o reducere a NDSC de la 7,09/100 la 4,28/100.

Tabelul 3.2 Calculul probabilității de descărcare sau NDSC $V_1/V_2 = 0,9$

V u.r./kV	$P(V)$	q_2	q_{med}	q_1	$P(D/V) = 1 - q_2^n q_{med}^n q_1^n$	$P[D]$ (%)
1,9/855	0,01	0,84134	0,97441	0,99813	0,99866	0,0099
1,8/810	0,05	0,97725	0,99813	0,99993	0,56111	0,2806
1,7/765	0,1	0,99865	0,99994	1,00000	0,04549	0,00455
1,6/720	0,21	0,99997	1,00000	1,00000	0,00108	0,00023
					Total	0,04283
					NDSC	4,28/100

3.4. Evaluarea solicitărilor (supratensiunilor)

Supratensiunile de comutație se determină de obicei folosind un program de calcul a regimurilor tranzitorii. Întrerupătoarele se închid aleator și se obțin supratensiunile corespunzătoare. Pentru fiecare comutație, apare o supratensiune pe fiecare fază, iar probabilitatea de descărcare $D(V)$ se poate calcula, pentru fiecare caz, cu relația

$$D(V) = \frac{I}{N} (1 - q_A q_B q_C) \quad (3.7)$$

unde q_A este probabilitatea nici unei descărcări pe faza A etc., iar N este numărul de cazuri. Suma valorilor $D(V)$ pentru cele N cazuri este NDSC. Această metodă este denumită adesea metoda forței brute. Ea este cea mai exactă metodă deoarece consideră supratensiunile pe toate fazele așa cum apar în fiecare caz.

Supratensiunile pot fi pozitive sau negative. Dacă sunt negative, pentru proiectare valorile q sunt egale cu 1 (nu se produc descărcări). De asemenea, dacă supratensiunile sunt mici, q este egal cu 1. De obicei, valorile $D(V)$ sunt determinate numai de una dintre valorile q , pentru o supratensiune pozitivă și cea mai mare pentru cele trei faze.

Pentru a ocoli problemele legate de metoda forței brute, datele pot fi colectate și analizate prin două metode:

1. **Metoda vârfului pentru caz.** Se înregistrează supratensiunile pentru fiecare comutație. Se va reține numai amplitudinea cea mai mare, de polaritate pozitivă sau negativă, indiferent de faza pe care apare. Această metodă presupune că predomină o singură supratensiune. Două dintre valorile q , de exemplu q_B și q_C sunt egale cu 1, încât, conform rel. 3.7,

$$D(V) = \frac{I}{N} (1 - q_A) = \frac{I}{N} p_A. \quad (3.8)$$

Această probabilitate trebuie înmulțită cu $\frac{1}{2}$ deoarece, supratensiuni de cele două polarități pot apărea cu aceeași frecvență, iar acelea negative sunt neglijate deoarece ținerea izolației la supratensiuni negative este mai mare semnificativ decât la polaritate pozitivă. NDSC (SSFOR) calculat prin această metodă este NDSC (SSFOR) pentru întrerupător acționat trifazat sau NDSC (SSFOR) pentru linie.

2. **Metoda vârfului pe fază.** Metoda constă în folosirea a trei supratensiuni maxime, presupuse a avea polaritate pozitivă, câte una pentru cele trei faze. $D(V)$ se calculează individual, pentru fiecare

din cele trei supratensiuni. Astfel NDSC (SSFOR) se calculează pentru fiecare fază. Conform cu rel. 3.14, $D(V)$ este

$$D(V) = \frac{I}{3N} [(1-q_A) + (1-q_B) + (1-q_C)] = \frac{I}{3N} [p_A + p_B + p_C] \quad (3.9)$$

unde ecuația se împarte la $3N$ deoarece sunt colectate de 3 ori mai multe date. Ca și pentru metoda vârfului pe caz, probabilitatea trebuie de asemenea divizată cu 2. De obicei, două dintre valorile lui p sunt nule, astfel că, cu excepția factorului $3N$, rel. 3.7 și 3.9 sunt identice. Pentru o obținere NDSC (SSFOR) sau suma valorilor $D(V)$, fiecare calcul trebuie multiplicat cu 3. Această problemă apare atunci când se folosește o distribuție continuă pentru a reprezenta aceste trei valori ale supratensiunilor. În acest caz, se folosește următoarea relație pentru a obține NDSC ca valoare aproximativă

$$NDSC = 1 - [1 - NDSC_p]^3 \approx 3NDSC_p \quad (3.10)$$

$NDSC_p$ este NDSC calculat folosind metoda de vârf pe fază. Pentru valorile $NDSC_p$ care, în mod normal, sunt mici, NDSC este bine aproximat cu $3NDSC$.

ANEXA

Distribuția statistică Gauss

Probabilitatea producerii unui eveniment X dintr-o mulțime de evenimente de aceeași natură se exprimă prin ponderea (în unități relative sau în procente) numărului de evenimente X în numărul total de evenimente considerate:

$$p(x) = \frac{N_x}{N}.$$

Dacă se reprezintă grafic probabilitatea de producere a fiecărui eveniment X în funcție de mărimea X , se obține o curbă numită clopotul lui Gauss (fig.A1). Forma acestui grafic arată că evenimentele cu mărimi extreme (mici sau mari) au probabilitate de apariție mult mai mică decât evenimentele cu valori apropiate de medie.

Reprezentarea grafică a probabilității cumulate de producere a evenimentelor are forma unei curbe în S (fig.A2).

Considerând cazul rezultatelor unor încercări ale izolației în laborator, respectiv tensiunile disruptive care au amplitudinea V , ecuația curbei în S din fig. 2 este

$$p = D(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_f} \int_{-\infty}^V e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{V-U_{50}}{\sigma_f}\right)^2} dV. \quad (A1)$$

$D(V)$ reprezintă probabilitatea cumulată de obținere a tensiunii disruptive de mărime cel mult V . Valoarea particulară U_{50} , numită și valoare medie corespunde probabilității cumulate de 50%

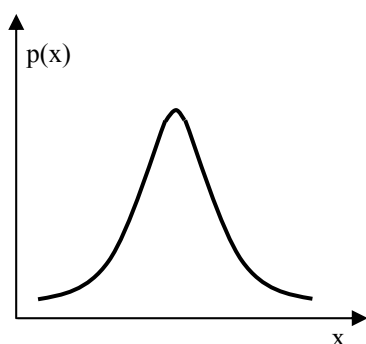


Fig.A1 Probabilitatea producerii unui eveniment

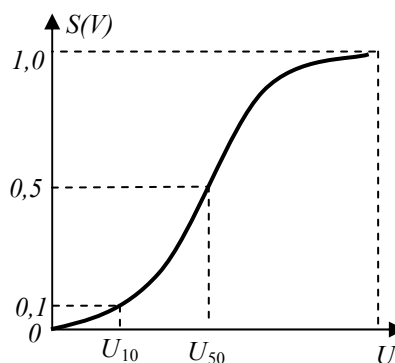


Fig.A2 Probabilitatea cumulată a ținerii izolației

$(D(U_{50}) = 0,5)$.

Abaterea valorilor V de la valoarea medie se exprimă prin parametrul σ_f denumit deviație standard. De obicei, deviația standard este indicată în u.r. sau procentual față de U_{50} și este cunoscută drept *coeficient de variație* (σ_f^*).

Relația (A1) poate fi pusă sub o formă mai compactă dacă se introduce notația

$$Z = \frac{V - U_{50}}{\sigma_f}. \quad (A2)$$

Această formă este

$$p = D(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ. \quad (\text{A3})$$

Limita inferioară a integrării, $-\infty$, este o imposibilitate practică deoarece ar însemna că există o probabilitate de descărcare finită când tensiunea tinde la zero. Teste detaliate asupra ținerii izolației aer-porțelan arată că limita inferioară este cel mult cu $4\sigma_f$ mai mică decât U_{50} .

Determinarea prin calcul a probabilității cumulate conform distribuției Gauss necesită recurgerea la ajutorul calculatorului. Valorile funcției $D(\mathbf{Z})$, conform cu relația (A3), sunt prezentate în tabelul A3, folosind notația generală $F(\mathbf{Z})$.

Exemple

1. Distribuția statistică a tensiunilor disruptive

Parametrii specifici ai acestei distribuții sunt U_{50} care corespunde probabilității de descărcare de 50% și coeficientul de variație σ_f , ambele exprimate în kV.

Se observă în tabel că funcția $F(\mathbf{Z})$ ia valori în domeniul $(0,5 - 1)$, pentru valori ale variabilei \mathbf{Z} de la 0 la 4,99. Valoarea $\mathbf{Z} = 0$ corespunde tensiunii U_{50} , a cărei probabilitate de apariție este de 0,5 (50%).

Pentru cazul probabilităților de descărcare mai mici de 50%, trebuie folosită proprietatea funcției $F(\mathbf{Z})$:

$$F(-\mathbf{Z}) = 1 - F(\mathbf{Z}), \text{ respectiv, } F(\mathbf{Z}) = 1 - F(-\mathbf{Z}).$$

Astfel pentru a găsi valoarea tensiunii U_{10} , corespunzătoare probabilității de descărcare de 10% se caută în tabelul A3, mărimea parametrului $-\mathbf{Z}$, corespunzătoare valorii $1 - F(\mathbf{Z}) = 1 - 0,1 = 0,9$. Se găsește $-\mathbf{Z} = 1,28$.

Introducând acest rezultat în relația (A2)

$$-1,28 = \frac{U_{10} - U_{50}}{\sigma_f}.$$

se obține (A4).

$$U_{10} = U_{50} \left(1 - 1,28 \frac{\sigma_f}{U_{50}} \right). \quad (\text{A4})$$

Procedând la fel, pentru probabilitatea de descărcare de $0,1\% = 0,001$, $1 - F(\mathbf{Z}) = 1 - 0,001 = 0,999$. Din tabelul A3 se găsește $-\mathbf{Z} = 3,09$. Așadar

$$U_{0,1} = U_{50} \left(1 - 3,09 \frac{\sigma_f}{U_{50}} \right). \quad (\text{A.5})$$

2. Distribuția statistică a mărilor supratensiunilor de comutație.

Mărimile supratensiunilor obținute prin încercări în rețele sau prin simulare pe calculator se supun aceleași legi de distribuție normală Gauss. Această distribuție se descrie prin μ_0 corespunzătoare probabilității de 50% și coeficientul de variație σ_0 .

Pentru această distribuție parametrul Z are expresia

$$Z = \frac{E - \mu_0}{\sigma_0}. \quad (\text{A.6})$$

Una dintre mărimile supratensiunilor care prezintă interes pentru dimensionarea izolației este E_2 având probabilitatea de a fi depășită de 2%, respectiv probabilitatea de apariție de 98%.

În acest caz, $F(Z) = 0,98$. Se obține din tabel $Z \approx 2,06$, valoarea exactă fiind 2,054. Prin introducerea în relația (A2) rezultă (A7).

$$E_2 = \mu_0 + 2,054\sigma_0. \quad (\text{A7})$$

Tabelul A3 - Funcția de distribuție cumulată normală, valori ale $F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5526	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.9026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7057	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7703	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8368	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8489	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.90147
1.3	0.9032	0.9049	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91309	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.9222	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.9452	0.9463	0.94738	0.94845	0.9495	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.9608	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.94485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.9750	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.9803	0.98077	0.97124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.9830	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.9850	0.98537	0.98574
2.2	0.9861	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.9884	0.9887	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.990097	0.920458	0.920613	0.920863	0.921106	0.921344	0.921576
2.4	0.921802	0.922024	0.922240	0.922451	0.922656	0.922857	0.923053	0.923244	0.923431	0.923613
2.5	0.92379	0.923963	0.924132	0.924297	0.924457	0.924614	0.924766	0.924915	0.92506	0.925201
2.6	0.925339	0.925473	0.925604	0.925731	0.925855	0.925975	0.926093	0.926207	0.926319	0.926427
2.7	0.926533	0.926636	0.926736	0.926833	0.926928	0.92702	0.92711	0.927197	0.927282	0.927365
2.8	0.927445	0.927523	0.927599	0.927673	0.927744	0.927814	0.927882	0.927948	0.928012	0.928074
2.9	0.928134	0.928493	0.92825	0.928305	0.928359	0.928411	0.928462	0.928511	0.928559	0.928605
3.0	0.92865	0.928694	0.928736	0.928777	0.928817	0.928856	0.928893	0.92893	0.928965	0.928999
3.1	0.930324	0.930646	0.930957	0.93126	0.931553	0.931836	0.932112	0.932378	0.932636	0.932886
3.2	0.933129	0.933363	0.93359	0.93381	0.934024	0.93423	0.934429	0.934623	0.93481	0.934991
3.3	0.935166	0.935335	0.935499	0.935658	0.935811	0.935959	0.936103	0.936242	0.936376	0.936505
3.4	0.936613	0.936752	0.936869	0.936982	0.937091	0.937197	0.937299	0.937398	0.937493	0.937585
3.5	0.937674	0.937759	0.937842	0.937922	0.937999	0.938074	0.938146	0.938215	0.938282	0.938347
3.6	0.938409	0.938469	0.938527	0.938583	0.938637	0.938689	0.938739	0.938787	0.938834	0.938879
3.7	0.938922	0.938964	0.940039	0.940426	0.940799	0.941158	0.941504	0.941838	0.942159	0.942468
3.8	0.942765	0.943052	0.943327	0.943593	0.943848	0.944094	0.944331	0.944558	0.944777	0.944988
3.9	0.945190	0.945385	0.945573	0.945753	0.945926	0.946092	0.946253	0.946406	0.946554	0.946696
4.0	0.946833	0.946964	0.94709	0.947211	0.947327	0.947439	0.947546	0.947649	0.947748	0.947843
4.1	0.947934	0.948022	0.948106	0.948186	0.948263	0.948338	0.948409	0.948477	0.948542	0.948605
4.2	0.948665	0.948723	0.948778	0.948832	0.948882	0.948931	0.948978	0.9490226	0.9490655	0.9491066
4.3	0.949146	0.9491837	0.9492199	0.9492545	0.9492876	0.9493193	0.9493497	0.9493788	0.9494066	0.9494332
4.4	0.9494587	0.9495065	0.9495165	0.9495288	0.9495502	0.9495706	0.9495902	0.9496089	0.9496268	0.9496349
4.5	0.9496602	0.9496759	0.9496908	0.9497051	0.9497187	0.9497318	0.9497442	0.9497561	0.9497675	0.9497784
4.6	0.9497888	0.9497987	0.9498081	0.9498172	0.9498258	0.949834	0.9498419	0.9498494	0.9498566	0.9498634
4.7	0.9498699	0.9498761	0.9498821	0.9498877	0.9498931	0.9498983	0.9499032	0.94990789	0.94991235	0.94991661
4.8	0.94992067	0.94992453	0.94992822	0.94993173	0.94993508	0.94993827	0.94994131	0.94994420	0.94994696	0.94994958
4.9	0.94995208	0.94995446	0.94995673	0.94995889	0.94996094	0.94996289	0.94996475	0.94996652	0.94996821	0.94996981

Funcția $F(Z)$ prezintă proprietatea

$$F(-Z) = 1 - F(Z), \text{ respectiv, } F(Z) = 1 - F(-Z)$$