

**REGIA AUTONOMĂ DE ELECTRICITATE - RENEL**

**PE 103-92**

**1 INSTRUȚIUNI**  
**PENTRU DIMENSIONAREA ȘI VERIFICAREA**  
**INSTALAȚIILOR ELECTROENERGETICE**  
**LA SOLICITĂRI MECANICE**  
**ȘI TERMICE ÎN CONDIȚIILE CURENȚILOR**  
**DE SCURTCIRCUIT**

**(aprobate cu Decizia nr. 110/1993)**

**Elaborat de Institutul de Studii și Proiectări Energetice -**  
**ISPE - București**

**Director adjunct tehnic: Dr. ing. Anca Popescu**

**Șef secție: ing. I. Lungu**

**Șef colectiv: ing. Tr. Lungu**

**Șef proiect: ing. I. Solcan**

**C E M E N E R G**

**București - 1993**

REGIA AUTONOMĂ DE ELECTRICITATE - RENEL	INSTRUCȚIUNI PENTRU DIMENSI- ONAREA ȘI VERIFICAREA INSTALA- ȚILOR ELECTROENERGETICE LA SOLICITĂRI MECANICE ȘI TERMI- CE, ÎN CONDIȚIILE CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT	Indicativ: PE 103/93
		Înlocuiește PE 103/70

### CUPRINS

	Pag.
NOTĂ.....	11
1. Domeniul de aplicare.....	13
2. Simbolurile utilizate.....	14
3. Terminologia specifică.....	16
4. Condițiile de calcul al curenților de scurtcircuit.....	20
5. Condițiile de dimensionare și verificare la solicitările mecanice.....	25
A. Verificarea aparatelor electrice.....	25
B. Verificarea căilor de curent.....	27
6. Condițiile de dimensionare și verificare la solicitări termice.....	30
A. Condițiile generale.....	30
B. Verificarea aparatelor electrice.....	33
C. Verificarea căilor de curent.....	34
7. Prescripțiile tehnice conexe.....	42
Bibliografie.....	43
Partea grafică (fig. 1-4).....	44

Elaborat de I.S.P.E. -	Aprobat de RENEL cu Decizia nr. 110/1993	Ediții anterioare: I. 1954 (P7-54) II. 1961 (P7-61)
---------------------------	---	---

## NOTĂ

Prezentele instrucțiuni au fost elaborate în corelare cu standardele internaționale ale Comisiei Electrotehnice Internaționale (CEI) în ceea ce privește simbolurile, termenii utilizați și reglementările referitoare la nivelurile maxime pentru temperaturile admisibile.

Ca urmare a acestui fapt, o parte din notațiile utilizate în instrucțiuni, preluate din standardele CEI, diferă de cele ce au fost înscrise în ediția anterioară a instrucțiunii PE 103. Aceste noi notații urmează a fi preluate, pe măsura revizuirii, în toate prescripțiile energetice ale RENEL.

Pentru a ușura asimilaritatea noilor notații se prezintă mai jos un tabel în care sunt prezentate simbolurile utilizate în prezenta ediție, comparativ cu cele din ediția anterioară (PE 103-70).

Simbolizarea		Semnificația	Explicația noii notații (din limba engleză)
Nouă (PE 103/93)	Veche (PE 103/70)		
1	2	3	4
$A$	$S$	Aria secțiunii unui conductor	$A$ - Area (suprafață)
$i_p$	$i_s$	Valoarea la vârf a curențului de scurtcircuit	$p$ - Peak (vârf)
$i_{pr}$	$I_d$	Curentul dinamic nominal (valoarea de vârf)	$r$ - Rated (nominal)
$I_{th}$	$I_m$	Curentul de scurtcircuit termic echivalent (valoarea eficace)	$th$ - Thermic (termic)

Tabel (continuare)

1	2	3	4
$I_{thr}$	$I_t$	Curentul nominal admisibil de scurtă durată (al echipamentului)	$th, r$ - ca mai sus
$S_{th}$	$j_t$	Densitatea de curent de scurtcircuit termic echivalent (valoarea eficace)	$S$ - ?
$S_{thr}$	-	Densitate nominală admisibilă de curent de scurtă durată pentru conductoare (valoarea eficace)	$th, r$ - ca mai sus
$T_k$	$t$	Durata curentului de scurtcircuit	$k$ - simbolul specific pentru scurtcircuit
$T_{kr}$	-	Durata nominală a curentului de scurtcircuit	$k, r$ - ca mai sus
$\theta_b$	$\theta_c$	Temperatura conductorului la începutul scurtcircuitului	$b$ - bār (bară, conductor)
$\theta_e$	$\theta_{sc}$	Temperatura conductorului la sfârșitul scurtcircuitului	$e$ - end (sfârșit)

## 1. DOMENIUL DE APLICARE

1.1. Prezentele instrucțiuni se aplică la alegerea, dimensionarea sau verificarea elementelor componente ale instalațiilor electroenergetice la solicitări mecanice și termice, în condițiile curenților de scurtcircuit.

1.2. Prin instalații electroenergetice, în sensul acestor instrucțiuni, se înțeleg:

a. Centralele electrice.

b. Stațiile electrice de conexiuni și transformare, inclusiv posturile de transformare și instalațiile speciale de rețea (compensatoarele sincrone sau statice, bobinele de compensare, bateriile de condensatoare etc.).

c. Liniile (aerene sau în cablu) pentru transportul sau distribuția energiei electrice.

1.3. Se vor alege, dimensiona sau verifica, în conformitate cu prezentele instrucțiuni, următoarele elemente componente ale instalațiilor energetice:

- aparatele electrice;

- căile de curent, inclusiv generatoarele, armăturile, clemele și piesele de fixare a conductoarelor.

Dimensionarea sau verificarea altor elemente aparținând instalațiilor electroenergetice sau situate în apropierea acestora, în condițiile unor solicitări mecanice sau termice datorate curenților de scurtcircuit, se face pe baza unor reglementări speciale.

1.4. Nu este obligatorie dimensionarea sau verificarea în condițiile curenților de scurtcircuit a următoarelor elemente:

- căile de curent de orice tensiune (inclusiv izolatoarele, armăturile, clemele și piesele de fixare a conductoarelor), care alimentează înfășurarea primară a transformatoarelor de tensiune sau care fac legătura la descărcătoare;

- circuitele electrice (aparate și căi de curent) de joasă tensiune (cu tensiunea nominală până la 1 kV inclusiv), protejate prin siguranțe fuzibile;

- liniile electrice aeriene cu tensiunea nominală mai mică de 110 kV.

**1.5.** Liniile electrice aeriene cu tensiunea nominală de 110 kV sau mai mare se verifică, de regulă, numai la efectele termice ale curenților de scurtcircuit.

**1.6.** În prezenta instrucțiune se folosesc următorii termeni pentru indicarea gradului de obligativitate a prevederilor:

- "trebuie", "este necesar", "urmează" indică obligativitatea strictă a respectării prevederii respective;

- "de regulă" indică faptul că prevederea respectivă trebuie să fie aplicată în majoritatea cazurilor, iar nerespectarea prevederii este permisă cu justificarea în proiect;

- "se admite" indică o soluție satisfăcătoare, care poate fi aplicată numai în situații particulare, fiind obligatorie justificarea ei în proiect;

- "se recomandă" indică o soluție preferabilă, care trebuie să se aibă în vedere, dar care nu este obligatorie.

## **2. SIMBOLURILE UTILIZATE**

Simbolurile utilizate în această instrucțiune, pentru diverse mărimi, semnificațiile lor și unitățile de măsură aferente sunt indicate în lista de la pct. 2.1.

Simbolurile utilizate în această instrucțiune pentru denumirea anumitor materiale izolante și semnificațiile lor sunt indicate în lista de la pct. 2.2.

### 2.1. Simbolurile utilizate pentru diverse mărimi

Simbolul	Unitatea de măsură	Semnificația
$A$	$\text{mm}^2$	Aria secțiunii unui conductor
$i_p$	kA	Valoarea de vârf a curentului de scurtcircuit
$i_{pr}$	kA	Curentul dinamic nominal (valoarea de vârf)
$I_k$	kA	Curentul de scurtcircuit permanent (valoarea eficace)
$I''_k$	kA	Curentul de scurtcircuit simetric inițial (valoarea eficace)
$I_{th}$	kA	Curentul de scurtcircuit termic echivalent (valoarea eficace)
$I_{thr}$	kA	Curentul nominal admisibil de scurtă durată al echipamentului (valoarea eficace)
$I_n$	kA	Curentul tăiat limitat (valoarea de vârf)
$m$	-	Coeficientul referitor la efectul termic al componentei continue (fig. 3. a)
$n$	-	Coeficientul referitor la efectul termic al componentei alternative (fig. 3. b)
$S_{th}$	$\text{A}/\text{mm}^2$	Densitatea de curent de scurtcircuit termic echivalent (valoarea eficace)
$S_{thr}$	$\text{A}/\text{mm}^2$	Densitatea nominală admisibilă de curent de scurtă durată pentru conductoare (valoarea eficace)
$T_k$	s	Durata curentului de scurtcircuit
$T_{ki}$	s	Durata curentului de scurtcircuit individual
$T_{kr}$	s	Durata nominală a curentului de scurtcircuit
$\theta_a$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura ambiantă
$\theta_b$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura conductorului la începutul scurtcircuitului
$\theta_e$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura conductorului la sfârșitul scurtcircuitului
$\chi$	-	Factorul pentru calculul valorii de vârf a curentului de scurtcircuit

## 2.2. Simbolurile utilizate pentru denumirea unor materiale electroizolante

Simbolul	Semnificația
CSP	Amestec izolant pe bază de polietilenă clorosulfonată (Hypalon)
EPR	Amestec izolant pe bază de cauciuc etilen-propilenic sau produse similare
PCP	Amestec izolant pe bază de policloropren (Neopren)
PE	Amestec izolant pe bază de polietilenă termoplastică
PVC	Amestec izolant pe bază de policlorură de vinil sau copolimer de clorură de vinil
SE <sub>1(2)</sub>	Clasă de amestecuri elastomere pentru mantale bazate pe policloropren polietilenă clorosulfonată sau polimeri similari
XPLE	Amestec izolant pe bază de polietilenă reticulată chimic

## 3. TERMINOLOGIA SPECIFICĂ

### 3.1. Curentul nominal în serviciu continuu (curentul nominal)

Reprezintă valoarea eficace a curentului pe care este capabil să-l suporte în mod continuu un echipament electric în condițiile prescrise de utilizare și funcționare.

### 3.2. Supracurentul

Reprezintă curentul superior curentului nominal



### 3.3. Scurtcircuitul

Reprezintă conexiunea accidentală sau intenționată, printr-o rezistență sau impedanță relativ mică, a două sau mai multe puncte ale unui circuit care, în mod normal, se află la potențiale diferite.

### 3.4. Curentul de scurtcircuit

Reprezintă supracurentul rezultat dintr-un scurtcircuit datorat unui defect sau unei conectări incorecte într-un circuit electric.

**Notă.** Este necesar să se facă distincție între curentul de scurtcircuit la locul de defect și curentul de scurtcircuit care circulă prin ramurile rețelei.

### 3.5. Curentul de scurtcircuit prezumat

Reprezintă curentul care ar circula dacă scurtcircuitul ar fi înlocuit cu o conexiune ideală de impedanță neglijabilă, fără modificarea alimentării.

### 3.6. Curentul de scurtcircuit simetric

Reprezintă valoarea eficace a componentei simetrice alternative a unui curent de scurtcircuit prezumat, eventuala componentă aperiodică fiind neglijată.

### 3.7. Curentul de scurtcircuit simetric inițial, $I_k''$

Reprezintă valoarea eficace a componentei alternative simetrice a unui scurtcircuit prezumat, în momentul apariției scurtcircuitului, dacă își menține valoarea sa de la momentul zero.

### **3.8. Valoarea de vârf, $i_p$ , a curentului de scurtcircuit**

Reprezintă valoarea instantanee maximă posibilă a unui curent de scurtcircuit prezumat.

### **3.9. Curentul dinamic nominal, $i_{pr}$**

Reprezintă valoarea instantanee maximă posibilă a curentului de scurtcircuit admisibil, pe care un aparat o poate suporta în condițiile prescrise de utilizare și funcționare.

### **3.10. Curentul tăiat limitat, $I_H$**

Reprezintă valoarea instantanee maximă a curentului, atinsă în cursul ruperii efectuate de un aparat de comutare sau un fuzibil.

**Notă.** Această noțiune are o importanță aparte, dacă aparatul de comutare sau fuzibilul funcționează astfel, încât valoarea de vârf a curentului prezumat al circuitului nu este atinsă.

### **3.11. Curentul de scurtcircuit permanent, $I_k$**

Reprezintă valoarea eficace a curentului de scurtcircuit, care se stabilește după trecerea procesului tranzitoriu.

### **3.12. Durata curentului de scurtcircuit, $T_k$**

Reprezintă suma duratelor de timp în care circulă curentul de scurtcircuit între începutul primului scurtcircuit și întreruperea finală a curentului în toate fazele.

### 3.13. Curentul de scurtcircuit termic echivalent, $I_{th}$

Reprezintă curentul cu valoare eficace constantă, având același efect termic și aceeași durată ca și curentul de scurtcircuit real, care poate include o componentă continuă și poate scădea în timp.

**Notă.** În cazul unor scurtcircuite repetate (reanclanșări repetate), se procedează la o estimare a curentului de scurtcircuit termic echivalent (pct. 6.4).

### 3.14. Curentul nominal admisibil de scurtă durată

(al echipamentului),  $I_{thr}$

Reprezintă valoarea eficace a curentului pe care un echipament electric este capabil să-l suporte pe o durată scurtă de timp specificată, în condițiile prescrise de utilizare și funcționare.

**Nota 1.** Se pot defini perechi multiple pentru curentul nominal admisibil de scurtă durată și durata de timp specificată; în majoritatea standardelor naționale și CEI, valoarea specificată a duratei de timp este de 1 s.

**Nota 2.** Curentul nominal admisibil de scurtă durată și durata scurtă de timp corespunzătoare sunt indicate de către fabricantul de echipament.

### 3.15. Durata nominală a curentului de scurtcircuit, $T_{kr}$

Reprezintă durata de timp pentru care:

- un echipament electric poate suporta un curent egal cu curentul nominal admisibil de scurtă durată;
- un conductor poate suporta o densitate de curent egală cu densitatea nominală de curent de scurtă durată.

### **3.16. Densitatea de curent de scurtcircuit termic echivalent, $S_{th}$**

Reprezintă raportul între curentul termic echivalent de scurtă durată și aria secțiunii conductorului.

### **3.17. Densitatea nominală admisibilă de curent de scurtă durată, $S_{thr}$ , pentru conductoare**

Reprezintă valoarea eficace a densității de curent, pe care conductorul este capabil să o suporte în scurta durată de timp nominală.

**Notă.** Valoarea nominală admisibilă a densității de curent de scurtă durată se determină conform cap.6.

## **4. CONDIȚIILE DE CALCUL AL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT**

### **4.1. Calculul curenților de scurtcircuit în rețelele trifazate (conform normativului PE 134)**

Schemele de calcul luate în considerare pentru determinarea curenților de scurtcircuit trebuie să corespundă condițiilor de funcționare de lungă durată a instalațiilor.

Nu este necesar să se țină seama de situațiile de scurtă durată, în care puterea de scurtcircuit este mai mare decât în restul timpului (de exemplu, în cursul executării unor manevre, când pentru un scurt timp se cuplează două sau mai multe părți de rețea sau instalație, care sunt în mod normal separate).

Pentru astfel de situații trebuie să se prevadă măsuri în vederea evitării eventualelor accidente de persoane în cazul unui scurtcircuit.

Schema de calcul trebuie să țină seama de dezvoltarea viitoare a rețelei, conform normativului PE 134.

**4.2.** La determinarea curenților de scurtcircuit este necesar să se țină seama de toate sursele (inclusiv motoarele electrice), care pot alimenta scurtcircuitul, precum și de creșterea tensiunilor electromotoare datorită sistemelor de reglaj al tensiunii. Nu este necesar să se ia în considerare creșterile de tensiune datorate supraîncălzirii mașinilor electrice.

Se recomandă să se țină seama de impedanțele consumatorilor racordați în paralel cu calea de scurtcircuit.

**4.3.** Natura defectului practic posibil, care se ia în considerare (scurtcircuit mono, bi sau trifazat, cu sau fără punere la pământ), trebuie să fie cea care conduce la solicitarea cea mai mare pentru elementul care se dimensionează sau se verifică.

Dacă este cazul, se vor lua în considerare defectele de natură diferită pentru solicitările termice și pentru cele mecanice.

De regulă, în rețelele trifazate, pentru determinarea efectelor mecanice și termice asupra aparatelor și a căilor de curent rigide este determinant scurtcircuitul trifazat.

**4.4.** Locul presupus al defectului se alege astfel, încât solicitarea termică sau mecanică a elementului, care se dimensionează sau se verifică, să fie maximă. Dacă este cazul, se vor lua în considerare puncte de defect diferite pentru solicitările termice și mecanice.

**4.5.** În calculele liniilor prevăzute cu bobine de reactanță se admite dimensionarea sau verificarea întregului echipament (aparataj și căi de curent) la un defect produs după bobina de reactanță, când sensul fluxului de energie este dinspre barele colectoare spre bobină.

**4.6.** La liniile electrice aeriene și subterane se admite variația în trepte a secțiunii conductoarelor, active și de protecție, pe baza verificării stabilității termice la scurtcircuit, în condițiile cele mai grele, dacă celelalte condiții tehnice prevăzute în alte normative sunt respectate.

**4.7.** În cazul fasciculelor de cabluri în paralel se iau în considerare defectele produse la capetele fascicului (la capătul opus sursei de alimentare, în cazul alimentării într-o singură parte).

Verificarea efectului termic se face astfel pentru secțiunea totală a întregului fascicul.

**4.8.** Solicitarea termică a elementelor care se dimensionează sau se verifică depinde de durata defectului, considerată din momentul apariției curentului de scurtcircuit până în momentul întreruperii sale.

Durata defectului se determină astfel:

a) *la liniile electrice aeriene* de 110 - 400 kV durata defectului se consideră, de regulă, egală cu 0,6 s. În cazul liniilor aeriene la care se asigură declanșarea simultană a întreruptoarelor de la ambele capete, se poate considera timpul determinat de protecțiile respective (ținând seama și de ciclul RAR);

b) *la rețelele și gospodăriile de cabluri* durata defectului este determinată de protecția cu timpul cel mai scurt, care acționează la defecul respectiv și comandă declanșarea întreruptorului cel mai apropiat de locul defectului (pe calea scurtcircuitului);

c) *la căile de curent din centrale și stații electrice* (exclusiv cabluri), durata defectului este determinată la fel ca la pct. b) prece-

dent, dar nu mai puțin de 1 s. Această limitare nu se referă la circuitele protejate prin siguranțe fuzibile și la circuitele de joasă tensiune (cu tensiunea nominală până la 1 kV inclusiv), la care verificarea se va face la timpul real de funcționare sub scurtcircuit;

d) *la instalațiile de legare la pământ durata defectului se consideră cea corespunzătoare protecției de rezervă.*

La stabilirea duratei defectului, în cazul întreruptoarelor cu reanclșarea automată, trebuie luate în considerare toate intervalele de timp din cadrul ciclului de funcționare, în care circuitul este străbătut de curentul de defect.

În astfel de cazuri, fenomenul termic se consideră, de regulă, adiabatic, adică se neglijează disiparea căldurii în timpul pauzelor de curent.

**Precizare.** La dimensionarea sau verificarea liniilor electrice aeriene pentru defecte cu punere la pământ, se recomandă luarea în considerare a rezistenței echivalente la locul defectului (rezistența arcului, plus rezistența echivalentă a instalației de legare la pământ).

Această valoarea urmează să fie stabilită de proiectant pentru fiecare caz în parte, conform normativului PE 134.

Pentru dimensionarea sau verificarea echipamentelor stațiilor electrice, precum și a cablurilor, se va considera că rezistența arcului electric la locul defectului este nulă.

**4.9.** Pentru dimensionarea sau verificarea diverselor elemente la efectele mecanice ale curentului de scurtcircuit, se ia în considerare valoarea la vârf,  $i_p$ , a curentului de scurtcircuit:

a) În cazul curentului alternativ, valoarea de vârf,  $i_p$ , a curentului de scurtcircuit se definește ca valoarea instantanee maximă posibilă a curentului total de scurtcircuit (rezultat din însumarea componentei alternative cu cea continuă), valoare care apare în prima perioadă de la producerea scurtcircuitului. Se presupune că scurtcircuitul se produce în momentul în care componenta continuă a curentului de scurtcircuit are valoarea maximă.

b) În cazul curentului continuu, valoarea de vârf,  $i_p$ , a curentului de scurtcircuit reprezintă valoarea instantanee maximă posibilă a curentului de scurtcircuit.

**4.10.** Pentru dimensionarea sau verificarea diverselor elemente (cu excepția celor de la pct. 4.8.a și 4.8.b), la efectele termice ale curentului de scurtcircuit, se ia în considerare curentul de scurtcircuit termic echivalent,  $I_{th}$ , cu durata  $T_k = 1$  s:

a) În cazul curentului alternativ, vezi definițiile de la pct. 3.12 și 3.13.

b) În cazul curentului continuu, curentul de scurtcircuit termic echivalent de 1 s se definește ca un curent continuu constant, care într-un interval de 1 s are același efect ca și curentul de scurtcircuit real.

De regulă, se adoptă ipoteza acoperitoare că stabilirea curentului se face brusc la valoarea maximă. Se admite totuși să se țină seama de viteza de creștere finită a curentului de scurtcircuit.

**4.11.** La determinarea valorii de vârf a curentului de scurtcircuit și a curentului de scurtcircuit termic echivalent de 1 s se recomandă să se țină seama de prezența aparatelor limitatoare de curent (întreruptoare rapide de joasă tensiune, siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere).



## 5. CONDIȚIILE DE DIMENSIONARE ȘI VERIFICARE LA SOLICITĂRILE MECANICE

### A. Verificarea aparatelor electrice

5.1. Verificarea aparatelor electrice la solicitări mecanice în cazul curenților de scurtcircuit se face prin compararea mărimilor de calcul cu cele nominale. Comparația se referă la valoarea de vârf,  $i_p$ , a curentului de scurtcircuit, luându-se în considerare, de regulă, scurtcircuitul trifazat. Relația de verificare care trebuie îndeplinită este:

$$i_p \leq i_{pr} \quad (1)$$

în care  $i_{pr}$  este curentul dinamic nominal al aparatului.

În afară de verificarea indicată mai sus este necesară o verificare a eforturilor transmise bornelor de către conductoarele racordate. Eforturile admisibile nu trebuie să fie depășite în nici o situație.

5.2. În circuitele de curent alternativ valoarea de vârf a curentului de scurtcircuit se determină cu relația:

$$i_p = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (2)$$

în care:

$\chi$  este factorul pentru calculul valorii de vârf a curentului de scurtcircuit;

$I_k''$  - curentul de scurtcircuit simetric inițial (valoarea eficace).

Factorul  $\chi$  se determină cu ajutorul nomogramei din figura 2, în funcție de raportul  $R/X$ , în care  $R$  este partea reală, iar  $X$  coeficientul

părții imaginare a impedanței complexe a căii de scurtcircuit de la sursă la locul defectului.

**5.3.** În circuitele de curent continuu, valoarea de vârf,  $i_p$ , a curentului de scurtcircuit poate fi considerată egală cu valoarea curentului de scurtcircuit permanent  $I_k$ .

**5.4.** La determinarea valorii de vârf a curentului de scurtcircuit se recomandă să se țină seama de efectul aparatelor limitatoare de curent (dacă există).

Aparatele limitatoare de curent (întreruptoare rapide de joasă tensiune, siguranțe fuzibile cu mare putere de rupere) întrerup atât de rapid curentul de defect, încât valoarea de vârf a curentului prezumat al circuitului nu este atinsă.

În astfel de cazuri, se consideră drept valoare de vârf a curentului de scurtcircuit valoarea instantanee maximă a curentului atinsă în cursul ruperii efectuate de aparatul limitator (denumită curent tăiat limitat,  $I_H$ ) (pct. 3.10). Determinarea acestei valori se face pe baza indicațiilor întreprinderii constructoare a aparatului limitator respectiv.

**5.5.** În cazul în care există  $N$  surse de natură diferită (de exemplu, sistemul energetic, generatoarele sincrone, motoarele asincrone), care alimentează scurtcircuitul, valoarea de vârf a curentului de scurtcircuit,  $i_p$ , se determină cu relația:

$$i_p = \sqrt{2} \cdot \sum_{i=1}^N \chi_i \cdot I_{ki}^* \quad (3)$$

în care:

$\chi_j$  este factorul pentru calculul valorii de vârf, corespunzător sursei "j";

$I_k''$  - valoarea curentului de scurtcircuit simetric inițial, corespunzător sursei "j".

## B. Verificarea căilor de curent

5.6. Conductoarele rigide (bare, profiluri) se verifică la solicitări mecanice conform instrucțiunii PE 111-4.

5.7. Conductoarele flexibile din centrale și stații electrice se verifică la solicitări mecanice conform instrucțiunii PE 111-6.

Forțele transversale de natură electromagnetică, ce iau naștere în timpul unui scurtcircuit, pot avea mai multe componente (o componentă continuă și una sau mai multe componente alternative cu frecvențe diferite) sau o singură componentă alternativă ori continuă.

a) În cazul solicitărilor electromagnetice între conductoarele situate la distanță relativ mare față de dimensiunile lor transversale (de exemplu, între conductoarele sau fasciculele de conductoare aparținând unor faze diferite, între conductoarele fazelor și conductoarele de protecție etc.), se iau în considerare numai componentele continue ale forțelor transversale. Se consideră prin aceasta că, din cauza inerției conductoarelor, componentele alternative ale forțelor transversale au un efect neglijabil.

b) În cazul solicitărilor electromagnetice între conductoarele situate la distanță relativ mică față de dimensiunile lor transversale (de exemplu, între conductoarele montate în paralel, în fascicule, la dis-

tanța de circa 10 ... 20 ori diametrul lor), se ia în considerare valoarea instantanee maximă a forței transversale, adică se ține seama atât de componenta continuă, cât și de cele alternative ale forțelor transversale. Se procedează astfel considerând că, din cauza distanțelor relativ mici dintre conductoare, forțele transversale sunt considerabile, iar o mică deplasare transversală conduce la o variație mare a tracțiunii.

Coeficientul de siguranță mecanică al conductoarelor, în raport cu rezistența de rupere în condițiile curenților de scurtcircuit, nu trebuie să fie mai mic decât valoarea 2. În cazul conductoarelor neomogene, condiția se aplică fiecăruia dintre elementele componente în parte.

**5.8.** Cablurile electrice se verifică la solicitări mecanice, datorită forțelor electromagnetice, conform PE 107. Pentru cablurile cu mai multe conductoare, valorile de vârf ale curentului de scurtcircuit nu trebuie să depășească valorile garantate de fabricant.

La cablurile monofazate se vor lua măsuri de fixare sigură împotriva acțiunilor electrodinamice ale curenților de scurtcircuit.

**5.9.** Izolatoarele din centralele și stațiile electrice se verifică la solicitări mecanice în condițiile de scurtcircuit.

Determinarea eforturilor mecanice exercitate de conductoare asupra izolatoarelor se face conform metodologiilor de calcul cuprinse în instrucțiunile PE 111/4 și PE 111/6.

Coeficienții de siguranță mecanică ai izolatoarelor, în condițiile curenților pe scurtcircuit, sunt indicați în normativele PE 101 și, respectiv, PE 104.

La izolatoarele suport și de trecere, dacă forțele produse de curenții de scurtcircuit sunt aplicate altfel decât cele de încercare, trebuie să se țină seama de acest fapt, făcându-se corecția necesară în calcul.

**5.10.** Armăturile, clemele, piesele de fixare a conductoarelor din centralele și stațiile electrice se verifică la solicitări mecanice și termice în condițiile curenților de scurtcircuit. Piesele de racord ale cablurilor de orice tensiune, precum și armăturile și clemele liniilor electrice aeriene se verifică numai la solicitări termice.

Coeficienții de siguranță mecanică, în raport cu efortul de rupere al elementelor menționate mai sus, în condițiile curenților de scurtcircuit, sunt indicați în normativele PE 101 și, respectiv, PE 104.

În același timp, eforturile la care sunt supuse aceste elemente în timpul scurtcircuitelor nu trebuie să depășească limita de curgere.

**5.11.** La verificarea solicitărilor mecanice ale conductoarelor flexibile, ale izolatoarelor care susțin conductoarele flexibile, ale armăturilor și clemelor corespunzătoare, se consideră că scurtcircuitul se produce în următoarele condiții simultane:

- temperatura conductoarelor:  $-5^{\circ}\text{C}$ ;
- conductoarele sunt acoperite cu chiciură;
- există vânt cu o viteză corespunzătoare existenței chiciurei.

Vântul și chiciura se iau în considerare numai la instalațiile de tip exterior.

## 6. CONDIȚIILE DE DIMENSIONARE ȘI VERIFICARE LA SOLICITĂRI TERMICE

### A. Condițiile generale

6.1. Încălzirea conductoarelor datorită curenților de scurtcircuit implică diverse fenomene cu caracteristică nelineară și alți factori care, fie că se neglijează, fie că se aproximează, pentru a permite un studiu matematic.

De aceea, pentru acest capitol au fost făcute următoarele ipoteze:

- Efectul skinn (influența magnetică a conductorului asupra sa) și efectul de proximitate (influența magnetică a conductoarelor paralele apropiate) au fost neglijate.

- Caracteristica rezistență - temperatură a fost considerată lineară.

- Căldura specifică a conductorului a fost considerată constantă.

- Încălzirea a fost considerată ca fiind, în general, adiabatică.

6.2. În circuitele de curent alternativ, curentul de scurtcircuit termic echivalent,  $I_{th}$ , se determină cu relația:

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n}, \quad (4)$$

în care:

$I_k''$  este valoarea eficace a curentului de scurtcircuit simetric inițial;

$m$  - un coeficient care ține seama de aportul componentei continue a curentului de scurtcircuit;

$n$  - un coeficient care ține seama de aportul componentei alternative a curentului de scurtcircuit.

Valoarea coeficientului  $m$  este indicată în figura 3.a, în funcție de durata  $T_k$  a curentului de scurtcircuit și de factorul  $\lambda$ .

Valoarea coeficientului  $n$  este indicată în figura 3.b, în funcție de durata  $T_k$  a defectului și de raportul  $I''_k / I_k$ , în care  $I_k$  este valoarea eficace a curentului de scurtcircuit permanent. Pentru o rețea de distribuție, în general  $n = 1$ .

**Notă.** Raportul  $I''_k / I_k$  depinde de impedanțele între locul de scurtcircuit și sursă.

Când se produc mai multe scurtcircuite la intervale apropiate (de exemplu, în cazul ciclurilor cu reanclășare automată rapidă), curentul de scurtcircuit termic echivalent este dat de relația:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{T_k} \cdot \sum_{i=1}^n I_{thi}^2 \cdot T_{ki}} \quad (5)$$

unde:

$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (6)$$

Pentru calculul curentului de scurtcircuit termic echivalent într-o rețea trifazată este decisiv scurtcircuitul trifazic simetric.

Pentru aparatele limitatoare de curent valoarea curentului de scurtcircuit termic echivalent,  $I_{th}$ , și durata  $T_k$  asociată curentului de scurtcircuit, se indică de către fabricant.

**6.3.** În circuitele de curent continuu, curentul de scurtcircuit termic echivalent de 1s,  $I_{th}$ , poate fi determinat aproximativ cu relația:

$$T_{th} = I_k \sqrt{T_k / 1} \quad (7)$$

în care:

$I_k$  este curentul de scurtcircuit permanent;

$T_k$  - durata curentului de scurtcircuit.

Factorul 1 de la numitor sub radical reprezintă 1 și asigură omogenitatea relației.

6.4. În cazul în care există  $N$  surse de natură diferită (de exemplu: sistemul energetic, generatoarele sincrone, motoarele asincrone), care alimentează scurtcircuitul, curentul termic echivalent,  $I_{th}$ , se determină cu relația:

$$I_{th} = \sqrt{m+n} \cdot \sum_{i=1}^N I_{ki}^* \quad (8)$$

în care  $m$  se determină cu relația

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot I_{ki}^*}{\sum_{i=1}^N I_{ki}^*} \quad (9)$$

iar  $n$  se determină din figura 3. b, în funcție de raportul:

$$\frac{\sum_{i=1}^N I_{ki}^*}{\sum_{i=1}^N I_{ki}}$$



și durata  $T_k$  a curentului de scurtcircuit,  
unde:

$m_i$  este coeficientul referitor la efectul termic al componentei  
continue a sursei  $i$ ;

$I_{ki}''$  valoarea eficace a curentului de scurtcircuit simetric inițial  
al sursei  $i$ ;

$I_{ki}$  valoarea eficace a curentului de scurtcircuit permanent  
al sursei  $i$ .

## B. Verificarea aparatelor electrice

**6.5. Stabilitatea termică la scurtcircuit a aparatelor electrice** se verifică prin compararea mărimilor de calcul cu cele nominale. Comparația se referă la valoarea curentului de scurtcircuit termic echivalent,  $I_{th}$ , luându-se în considerare, de regulă, scurtcircuitul trifazat. Relațiile de comparație care trebuie îndeplinite sunt următoarele:

$$I_{th} \leq I_{thr} \text{ pentru } T_k \leq T_{kr} \quad (9. a)$$

sau

$$I_{th} \leq I_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \text{ pentru } T_k \geq T_{kr} \quad (9. b)$$

în care:

$I_{thr}$  este curentul nominal admisibil de scurtă durată al  
echipamentului;

$T_k$  - durată curentului de scurtcircuit;

$T_{kr}$  este durata nominală a curentului nominal admisibil de scurtă durată.

### C. Verificarea căilor de curent

6.6. Stabilitatea termică la scurtcircuit a conductorului se consideră asigurată dacă densitatea de curent de scurtcircuit termic echivalent,  $S_{th}$ , satisface relația:

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}}$$

pentru toate valorile  $T_k$  și pentru  $T_{kr} = 1$  s.

6.7. Densitatea de curent de scurtcircuit termic echivalent,  $S_{th}$ , rezultă din relația:

$$S_{th} = \frac{I_{th}}{A}$$

în care:

$I_{th}$  este curentul de scurtcircuit termic echivalent;

A - aria secțiunii conductorului.

În cazul conductorului din oțel-aluminiu se va lua în considerare numai secțiunea părții de aluminiu.

6.8. Densitatea nominală de curent de scurtă durată,  $S_{th}$ , se determină utilizând nomogramele din figura 4, în funcție de materialul conductorului și de temperatura inițială ( $\theta_n$ ) și finală a conductorului ( $\theta_c$ ).

Nomogramele sunt trasate pentru o durată nominală a curentului de scurtcircuit  $T_{kr} = 1$  s.

**6.9.** În toate situațiile în care curentul în regim normal,  $I$ , este mai mic decât curentul maxim admisibil al conductorului,  $I_{\max. adm.}$ , temperatura inițială a conductorului (înainte de scurtcircuit),  $\theta_b$ , este mai mică decât temperatura maximă admisibilă în regim permanent,  $\theta_{\max. adm.}$ , și se determină cu relația:

$$\theta_b = \theta_a + (\theta_{\max. adm.} - \theta_a) \frac{I^2}{I_{\max. adm.}^2} \quad (12)$$

în care  $\theta_a$  este temperatura ambiantă.

**6.10.** Temperaturile finale după scurtcircuit pentru diferite tipuri de conductoare active neizolate nu trebuie să depășească valorile din tabelul 1 și nici temperatura maximă admisă de suport.

*Tabelul 1*

**Temperaturile maxime,  $\theta_c$ , recomandate în caz de scurtcircuit, pentru conductoarele neizolate active (conform CEI 865)**

Tipul conductoarelor active	Temperaturile maxime recomandate
Conductoare neizolate, masive sau funie, din cupru, aluminiu sau aliaje de aluminiu	200°C
Conductoare neizolate, masive sau funie, din oțel <sup>1)</sup>	300°C

Nu se admite realizarea barelor colectoare din oțel.

**6.11.** Pentru colectoarele neizolate ale instalației de legare la pământ, dacă acestea nu ating nici un material care să fie eventual deteriorat de temperatura maximă permisă, se admit următoarele valori maxime ale temperaturii finale după scurtcircuit (conform CEI 621-2 și CEI 364-5-54):

a) conductoare vizibile și pozate în amplasamente cu restricții la acces:

500°C pentru conductoare din cupru sau oțel;

300°C pentru conductoare din aluminiu;

b) conductoare nevizibile și pozate în amplasamente normale:

200°C pentru toate metalele de mai sus;

c) conductoare nevizibile și pozate în amplasamente cu risc de incendiu:

150°C pentru toate metalele de mai sus.

**6.12.** Armăturile, clemele, piesele de fixare a conductoarelor din centralele și instalațiile electrice se verifică la solicitări mecanice și termice. Piesele de racord ale cablurilor de orice tensiune, precum și armăturile și clemele liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune se verifică numai la solicitările termice ale curenților de scurtcircuit.

Verificarea la efecte termice a elementelor care nu sunt parcurse în mod normal de curent (armături, cleme de legătură mecanică, piese de fixare a conductoarelor) se va face pe baza unei metodologii care va fi stabilită ulterior.

**6.13.** Cablurile electrice se verifică la solicitări termice, conform PE 107.

Următoarele aspecte vor fi luate în considerare când se definește regimul de scurtcircuit al unei rețele de cabluri:

a) Limitele maximale admisibile pentru temperaturile componentelor cablurilor (adică: conductor, izolație, ecran sau manta metalică, umplutură, armătură și manta exterioară).

b) Valoarea maximală a curentului care nu va provoca defecte mecanice (de exemplu, o explozie) datorită eforturilor electromagnetice. Independent de orice limitare de temperatură, această valoare determină un curent maximal care nu trebuie depășit.

c) Comportarea termică a joncțiunilor și extremităților la valorile limită de curent de durată specificate pentru cablurile asociate.

Accesoriile trebuie să prezinte, de asemenea, o rezistență la eforturile mecanice și termice provocate de curentul de scurtcircuit în cablu.

d) Influența modului de instalare în ceea ce privește cele trei aspecte de mai sus.

**6.14.** Temperaturile maxime de scurtă durată ale componentelor cablurilor nu trebuie să depășească valorile limită admise de normele producătorului. Se presupune, în calcul, o densitate uniformă a curentului de scurtcircuit în toată secțiunea conductorului.

În lipsa datelor furnizate de fabricant, se prezintă în continuare, cu titlu informativ, temperaturile maxime de scurtcircuit în cablurile electrice cu tensiuni nominale  $U_0/U$  până la 18/30 (36) kV, în ceea ce privește:

- materialele de izolare;
- materialele mantalei exterioare și de umplutură

- materialele conductorului și ecranului sau mantalei și metodele de îmbinare.

Valorile indicate reprezintă temperaturile reale ale componentelor care conduc curentul.

Limitele sunt valabile pentru scurtcircuitul cu o durată de cel mult 5 s.

Atunci când definește o temperatură limită pentru o construcție de cablu dată trebuie să se țină seama de prevederile pct. 6.15, 6.16 și 6.17.

### 6.15. Materialele izolante

Temperatura limită pentru toate tipurile de conductoare aflate în contact cu materialele izolante este indicată în tabelele 2 a) și b).

*Tabelul 2*

#### **Temperatura limită pentru toate tipurile de conductoare aflate în contact cu materialele izolante specificate**

a) Pentru cabluri cu tensiuni nominale care nu depășesc 0,6/1,0 kV:

Materialul	Temperatura (°C)
Hârtie	250
PVC:	
- până la 300 mm <sup>2</sup> inclusiv	160
- mai mult de 300 mm <sup>2</sup>	140
Cauciuc butilic	220
Cauciuc natural	200
XLPE	250
EPR	250
Cauciuc siliconic	350

b) Pentru cabluri cu tensiuni nominale de la 1,8/(3,6)kV la 18/30 (36) kV:

Materialul	Temperatura (°C)	
Hârtie:		
Masă de impregnare vâscoasă	≤ 20 kV	700
	> 20 kV	150
Ulei/rășine	≤ 20 kV	170
	> 20 kV	150
Ulei fluid		250
PVC	≤ 300 mm <sup>2</sup>	160
	> 300 mm <sup>2</sup>	140
PE (de mică densitate, cu ecran pe conductor)	≤ 300 mm <sup>2</sup>	150
	> 300 mm <sup>2</sup>	130
XLPE		250
EPR		250

#### **6.16. Materialele mantalei exterioare și de umplură (în absența unor prescripții electrice sau altor cerințe)**

Temperatura limită a ecranului, a mantalei metalice sau a armăturii, când acestea sunt în contact cu materialele mantalei exterioare, dar separate termic de cel izolant prin intermediul unor straturi de material corespunzător și cu o grosime suficientă, este indicată în tabelele 3. a și 3. b.

Dacă o astfel de separație termică nu este prevăzută, se va utiliza temperatura limită a izolației, dacă este inferioară celei a mantalei exterioare.

**Notă.** Valorile din tabelele 3.a și 3.b se referă la cablurile cu ecran/manta metalică continuă sau cu armătură cu firele alipite.

Valorile pentru cablurile cu ecran cu firele distanțate sunt în studiu la CEI.

*Tabelul 3*

**Temperatura limită a ecranului, a mantalei metalice sau a armăturii, când acestea sunt în contact cu materialele mantalei exterioare, dar separate termic de materialul izolant prin intermediul unor straturi din material corespunzător și cu o grosime suficientă**

a) Pentru cabluri cu tensiuni nominale care nu depășesc 0,6/1,0 kV:

Materialul	Temperatura (°C)
PVC	200
PE	150
CSP	220
SEI	200

b) Pentru cabluri cu tensiuni nominale de la ,8/3 (3,6) la 18/30/36 kV:

Materialul	Temperatura (°C)
PVC <sup>1)</sup>	200
PE <sup>2)</sup> :	
- de mică densitate	150
- de mare densitate	180
CSP (SE1)	220
PCP (SE2)	200
PE lipită la ecran subțire din aluminiu	150
PVC lipită la ecran subțire din aluminiu	160

Aceste temperaturi vor fi utilizate cu precauție pentru cablurile torsadate sau amplasate în treflă, pentru că eventualele temperaturi ridicate din centru ar putea determina o sudare a mantalelor.



### 6.17. Materialele conductorului, ecranului sau mantalei metalice, armăturii și metodele de îmbinare (tabelul 4)

Notă. Se vor lua în considerare, de asemenea, și limitările referitoare la materialele nemetalice aflate în contact cu aceste metale.

Tabelul 4

#### Temperaturile limită pentru materialele conductorului, ecranului sau mantalei metalice, armăturii și metodele de îmbinare

Pentru cabluri cu tensiuni nominale  $U_0/U$  până la 18/30 (36) kV

Metalul	Condițiile	Temperatura (°C)
Cupru Aluminiu	Numai componentele conducătoare de curent (Nota 2)	(Nota 1)
	Îmbinare sudată (autogen)	(Nota 1)
	Îmbinare sudată prin reacție exotermică	250 (Nota 3)
	Îmbinare lipită cu cositor	160
	Îmbinare prin deformare mecanică	250 (Nota 3)
	Îmbinare mecanică cu șuruburi	(Nota 4)
Plumb		170
Aliaj de plumb		200
Oțel		(Nota 1)

Note. 1. Limitată de către materialul cu care se află în contact (pct. 6.15 și 6.16).

În cazul în care acest material este un separator care izolează termic ecranul de alte materiale ale cablului, nu va fi depășită temperatura de 350°C.

2. Sunt incluse și conductoarele de neutru periferice.

3. Temperatura conductorului vecin, îmbinarea fiind considerată la o temperatură inferioară.

4. Se referă la recomandările constructorului.

## 7. PRESCRIPȚIILE TEHNICE CONEXE

- PE 022-3/87 Prescripții generale de proiectare a rețelelor electrice
- PE 101/85 Normativ pentru construcția instalațiilor electrice de conexiuni și transformare cu tensiuni peste 1 kV
- PE 104/90 Normativ pentru construcția liniilor aeriene de energie electrică cu tensiuni peste 1000 V
- PE 107/81 Normativ pentru proiectarea și execuția rețelelor de cabluri electrice
- PE 111-4/85 Instrucțiuni pentru proiectarea stațiilor de conexiuni și transformare. Conductoare neizolate rigide
- PE 111-6/75 Idem. Conductoare neizolate flexibile
- PE 134/84 Normativ privind metodologia de calcul al curenților de scurtcircuit în rețelele electrice

## BIBLIOGRAFIE

- CEI 364-5-54 (1980) Installations électriques des bâtiments  
Cinquième partie: Choix et mise en oeuvre  
des matériels électriques Chapitre 54: Mi-  
ses à la terre et conducteurs de protection
2. CEI 621-2 (1987) Installations électriques pour chantiers  
extérieurs soumis à des conditions sévères  
(y compris mines à ciel ouvert et carrières)  
Deuxième partie: Prescriptions générales  
de protection
3. CEI 724 (1984) Guide aux limites de température de court-  
circuit des câbles électriques de tension  
assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV
4. CEI 865 (1992) Calcul des effets des courants de court-circuit
5. CEI 909 (1988) Calcul des court-circuit dans les réseaux  
triphases à courant alternatif
6. CEI 986 (1989) Guide aux limites de température de court-  
circuit des câbles électriques de tension  
assignée de 1,8/3 (3,6) kV à 18/30 (36) kV
7. DIN VDE 0103 Bemessung von Starkstromanlagen auf  
(1988) mechanische und thermische  
Kurzschlussfestigkeit

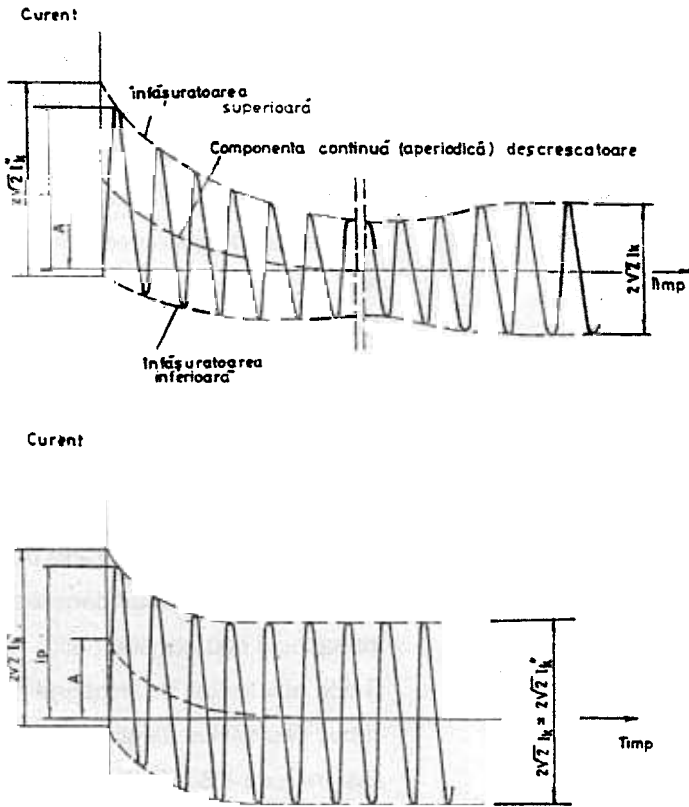


Fig. 1. Diagrama schematică a curentului de scurtcircuit:

a) la un scurtcircuit în apropierea generatorului ( $x_c \leq 3$ );

b) la un scurtcircuit îndepărtat de generatoare ( $x_c > 3$ ).

Notă.  $x_c$  reprezintă reactanța echivalentă a scurtcircuitului în unități relative de calcul.

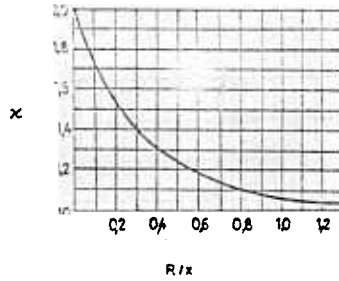


Fig. 2. Nomogramă pentru determinarea factorului  $\lambda$  în funcție de raportul  $R/x$ .

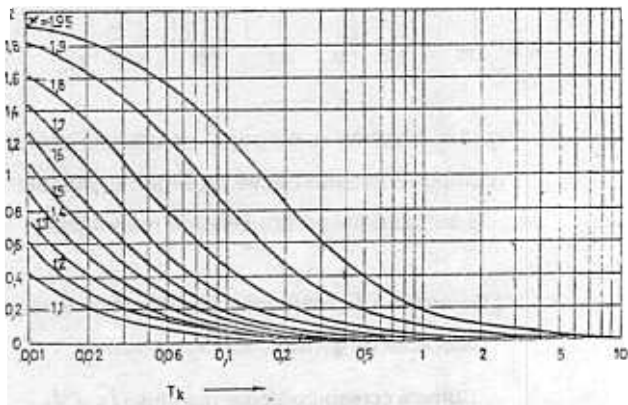


Fig. 3.a. Factorul  $m$ , disiparea de căldură datorită componentei continue în sisteme trifazate și monofazate

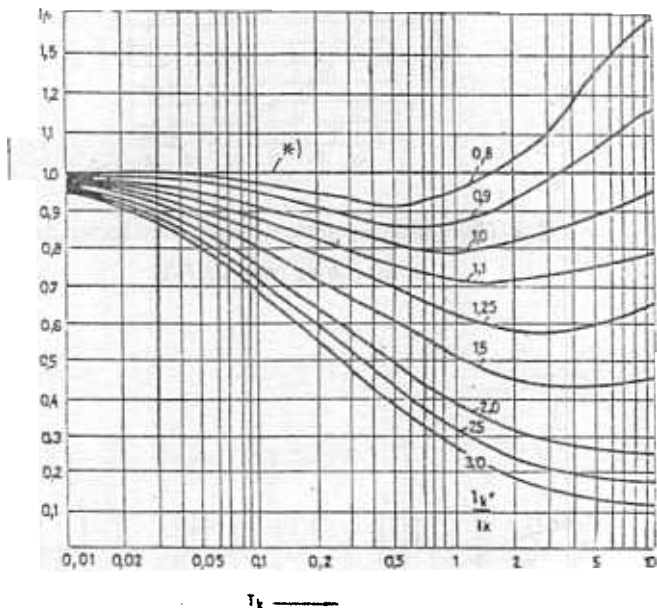


Fig. 3.b. Factorul  $n$ , disiparea de căldură datorită componentei alternative, în sisteme trifazate și aproximativ pentru sisteme monofazate.

\* ) Dreapta  $n = 1$  corespunde scurtcircuitului în rețea, îndepărtat de generatoare ( $x_c > 3$ -vezi fig. 1.b).

Curbele corespunzătoare raportului  $I_k'' / I_k$  cuprins între 0,8 și 3 corespund scurtcircuitelor apropiate de generatoare ( $x_c \leq 3$ -vezi fig. 1.a).

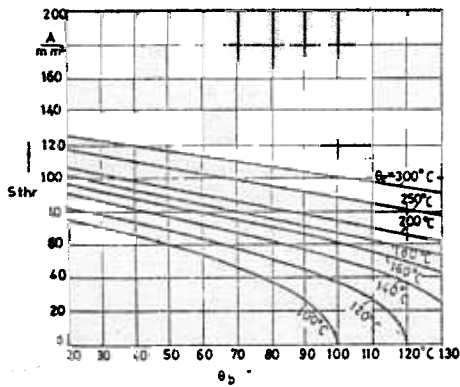
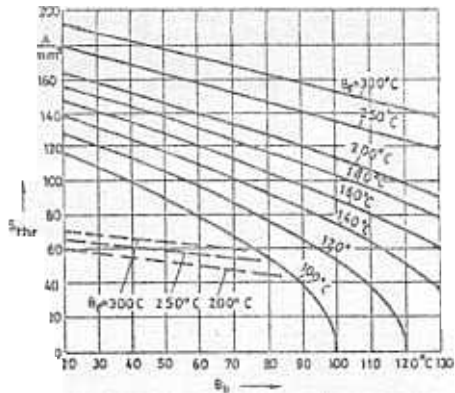


Fig. 4. Relația între densitatea nominală de curent de scurtă durată (pentru  $T_{kr} = 1$  s) și temperatura conductorului:

a) Linii pline: cupru.

Linii întrerupte: oțel slab aliat.

b) Aluminiiu, aliaje de aluminiiu, conductorul din oțel-aluminiiu:

$\theta_b$  = temperatura inițială a conductorului.

$\theta_e$  = temperatura finală a conductorului.