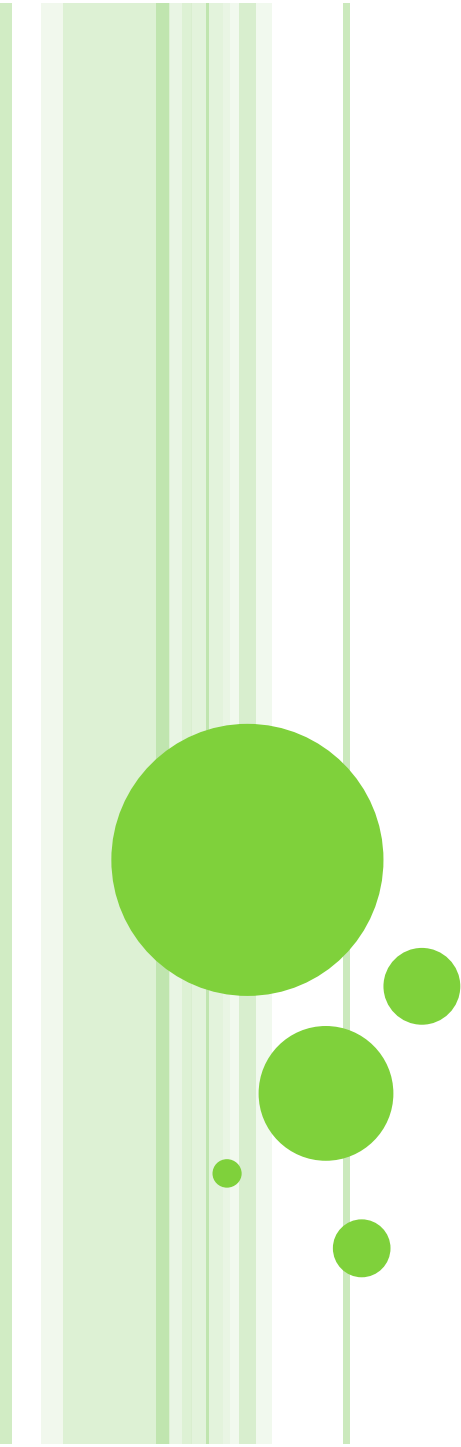




PROTECȚIA PRIN RELEE

NOTE DE CURS

s.l.dr.ing. Oana Beniugă

NOTIUNI INTRODUCATIVE PRIVIND SISTEMELE DE PROTECTIE

- Un sistem energetic este compus din elemente precum: generatoare, transformatoare, linii de transport si distribuție, bare colectoare, etc.
- Aceste elemente sunt protejate de sisteme de protecție care cuprind transformatoare de măsură (IT), relee de protecție, întrerupătoare de circuit (CB) și echipamente de comunicație.
- În cazul unui defect pe o secțiune, releele de protecție asociate trebuie să detecteze defectul și să emită semnale de declanșare pentru a deschide întrerupătoarele asociate în vederea izolării secțiunii afectate de restul sistemului energetic.

TIPURI DE PROTECȚII:

- Protecția echipamentelor SE:
 - Protecția liniilor
 - Protecția transformatoarelor
 - Protecția generatoarelor sincrone
 - Protecția motoarelor
 - Protecția barelor colectoare

- Protecția sistemului energetic:
 - Relee de frecvență
 - Relee de tensiune
 - Relee de putere
 - Protecții în trepte



PERFORMANȚE IMPUSE SISTEMELOR DE PROTECȚIE

Funcționarea adecvată a ins talațiilor de protecție (IP) trebuie să satisfacă o serie de performanțe:

- o **Selectivitatea**: Capacitatea IP de a deconecta de la SE numai echipamentul defect.

- o **Rapiditatea**: Eliminarea defectului în cel mai scurt timp posibil.

- o **Sensibilitatea**: Capacitatea IP de a acționa la toate defectele pentru care a fost prevăzută.

- o **Siguranța**: Probabilitatea de a nu avea o funcționare nedorită în condițiile date pentru un anumit interval de timp.

- Independența față de condițiile exploatării

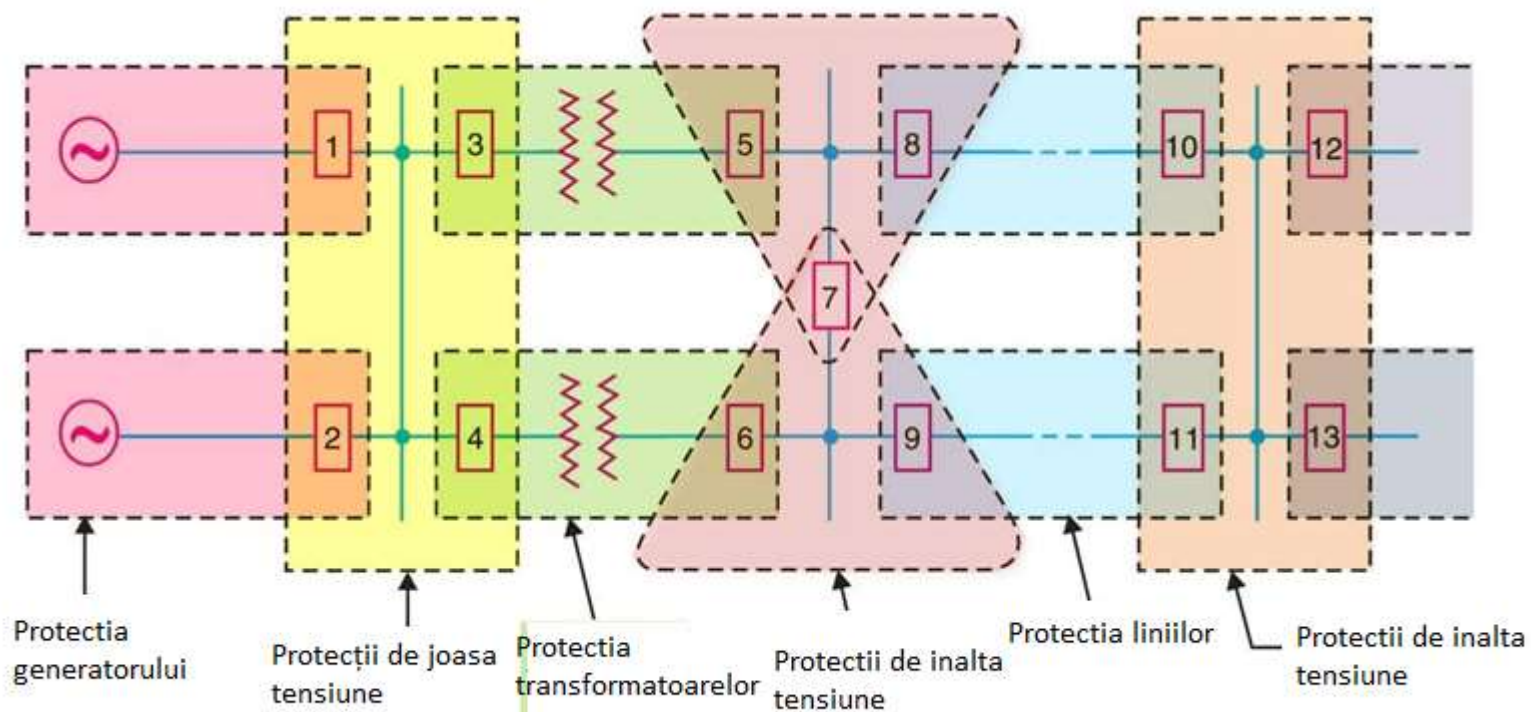
- Gabarit redus



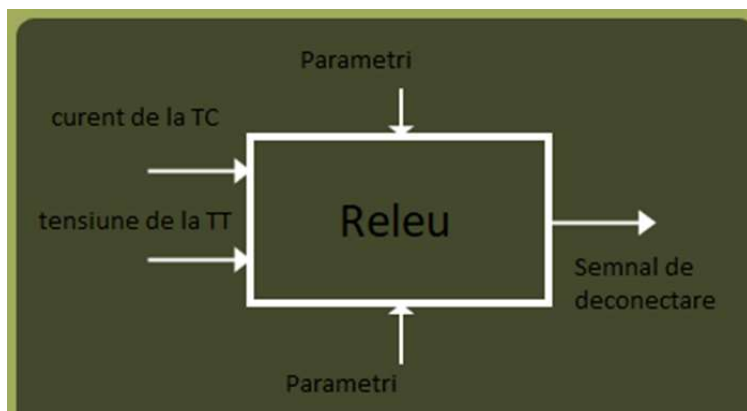
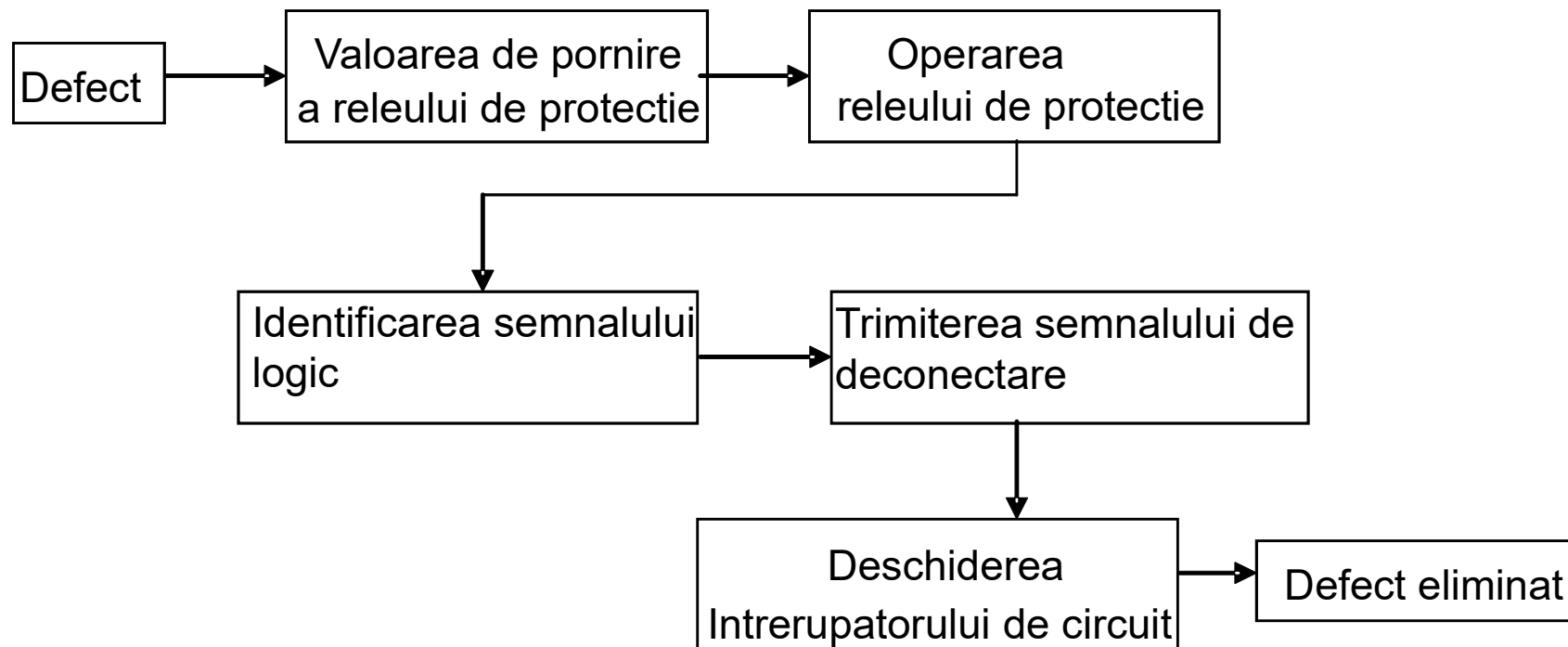
- Eficiență economică



ZONE DE PROTECȚIE



Secvență de operare a unui releu la apariția unui defect:

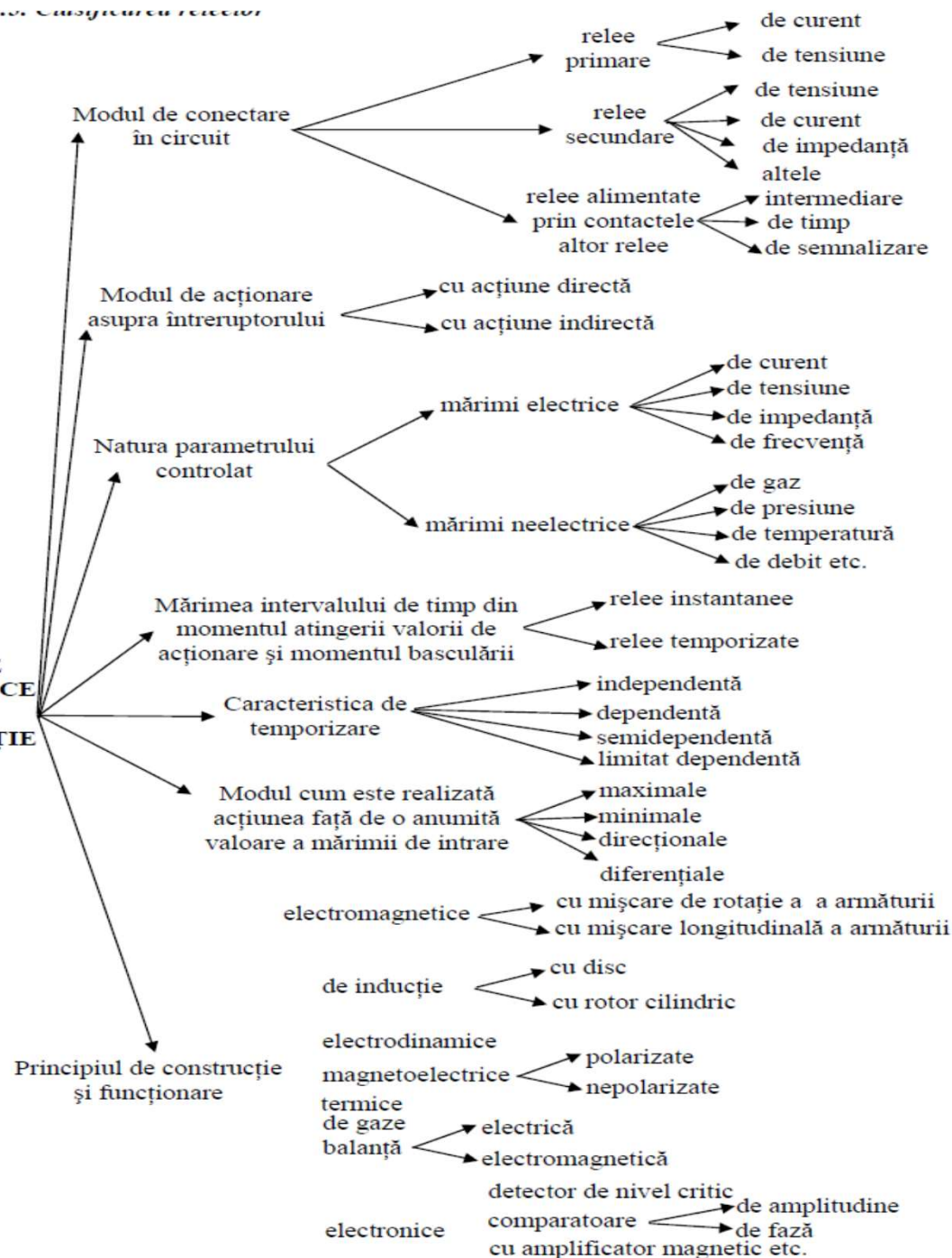


PARAMETRII PRINCIPALI AI RELEELOR

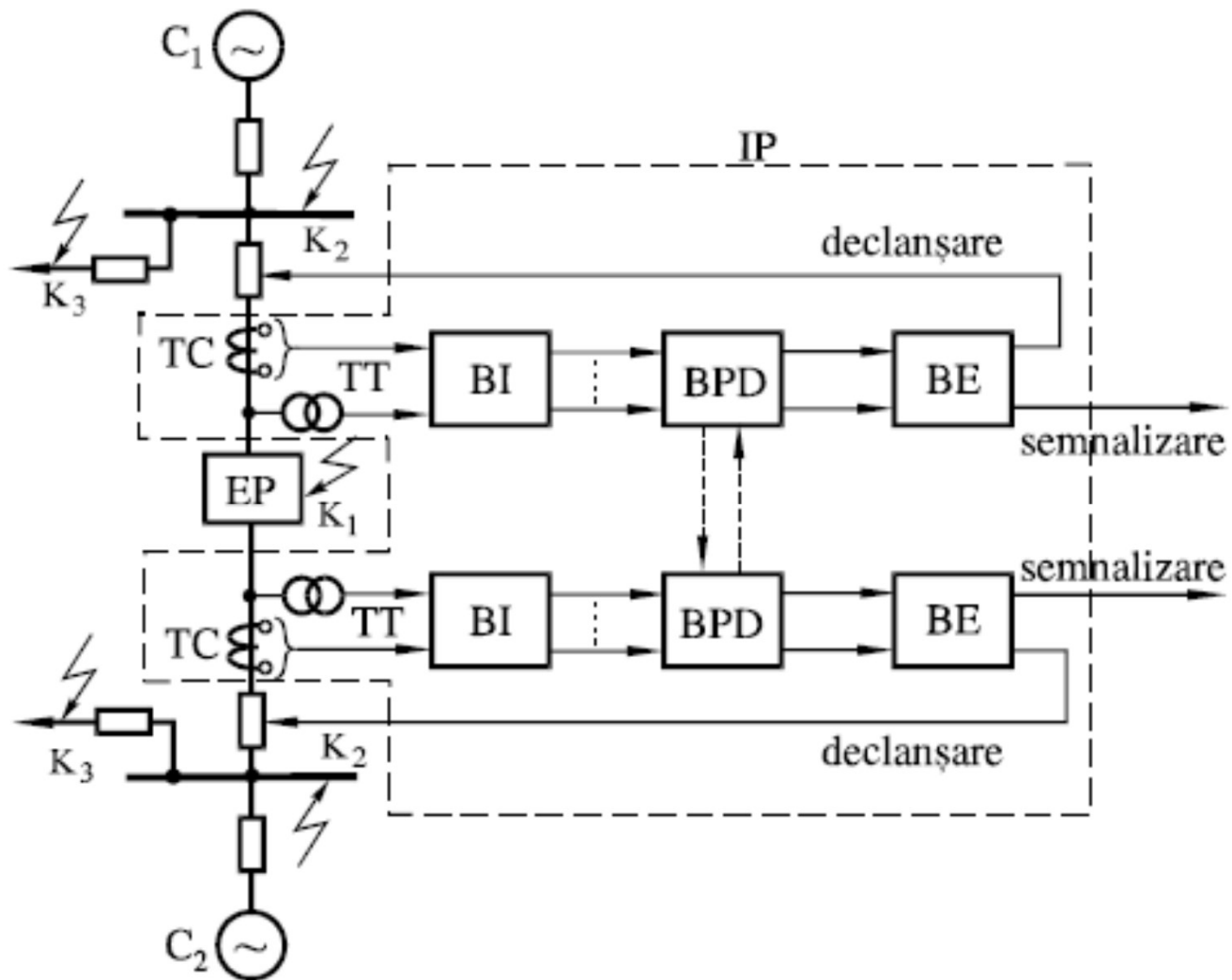
- Curentul și tensiunea nominală
- Valoarea de pornire (de acționare sau de lucru)
- Valoarea de revenire
- Factorul de revenire (k_{rev})
- Timpul propriu de acționare al releului
- Puterea consumată (puterea de acționare)
- Puterea comandată de contactele releului (puterea de rupere, capacitatea de comutare)
- Poziția normală a contactelor
- Eroarea releului
- Cursa de inerție
- Stabilitatea termică și electrodinamică



RELEE ELECTRICE DE PROTECȚIE



SCHEMA BLOC FUNCTIONALA A IP:



BLOCURI DE BAZĂ ÎN IP:

- Blocul de intrare
- Blocul de prelucrare si decizie
 1. Operatii pentru controlul valorilor, amplitudinilor, defazajelor
 - Detectoare de nivel
 - Comparatoare de amplitudini/defazaje
 2. Operatii logice
- Blocul de execuție

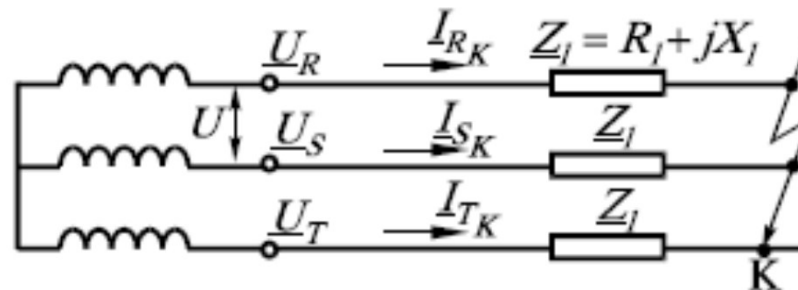
DEFECTE ȘI REGIMURI ANORMALE ÎN SE

1. Arcul electric:



DEFECTE ÎN SE

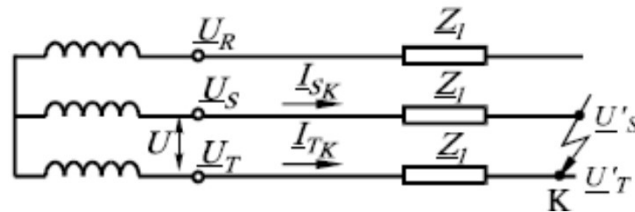
2. Scurtcircuit trifazat:



$$I_K^{(3)} = \frac{U_f}{Z_l} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_l} = I_{RK} = I_{SK} = I_{TK}$$

DEFECTE IN SE

2. Scurtcircuit bifazat:

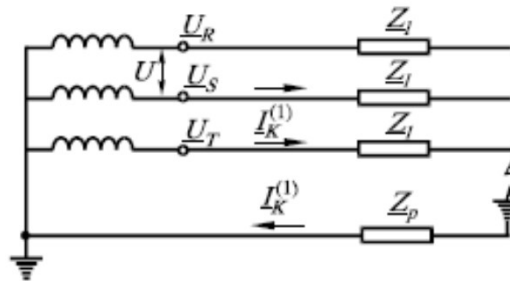


$$I_K^{(2)} = \frac{U}{2Z_l} = I_{SK} = I_{TK}$$

$$\frac{I_K^{(2)}}{I_K^{(3)}} = \frac{U / 2Z_l}{U / \sqrt{3}Z_l} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

DEFECTE ÎN SE

2. Scurtcircuit monofazat:



$$\underline{I}_K^{(1)} = \frac{\underline{U}_T}{\underline{Z}_l + \underline{Z}_p} = \frac{\underline{U}_f}{\underline{Z}_l + \underline{Z}_p}$$

REGIMURI ANORMALE ÎN SE

1. Supraintensitățile

2. Pendulările

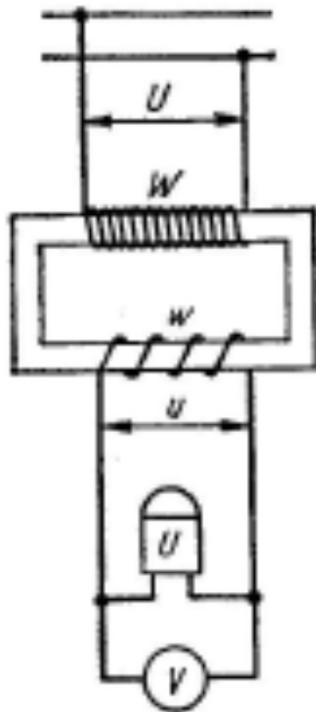
3. Creșterea tensiunii

TRANSFORMATOARE DE CURENT ȘI DE TENSIUNE ÎN IP

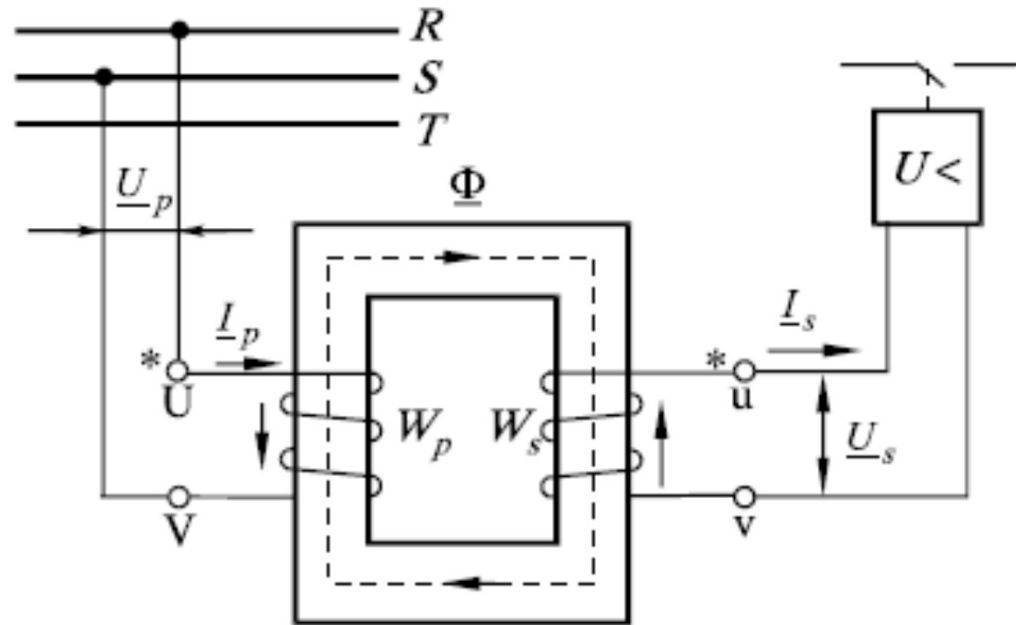


TRANSFORMATORUL DE TENSIUNE

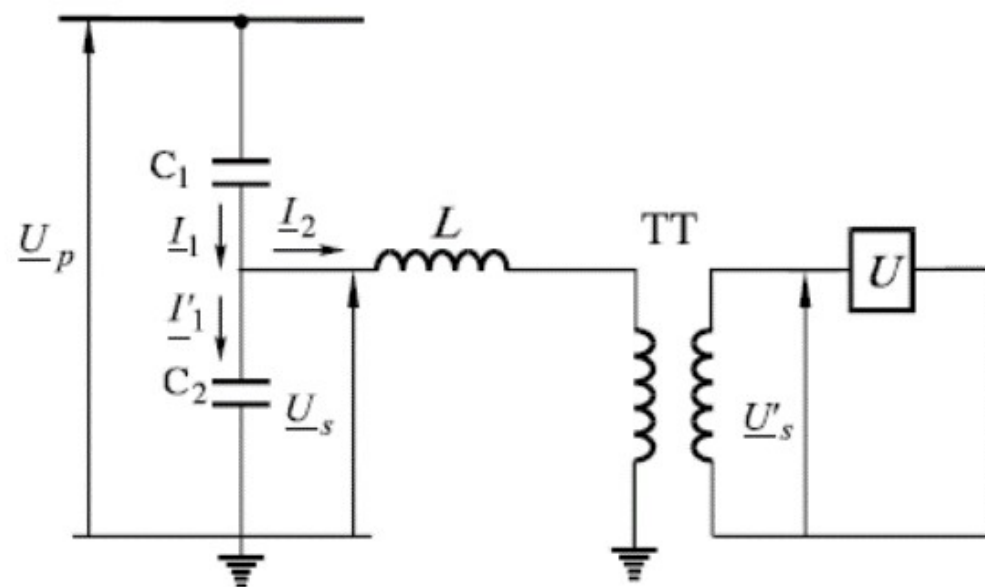
TT monofazat:



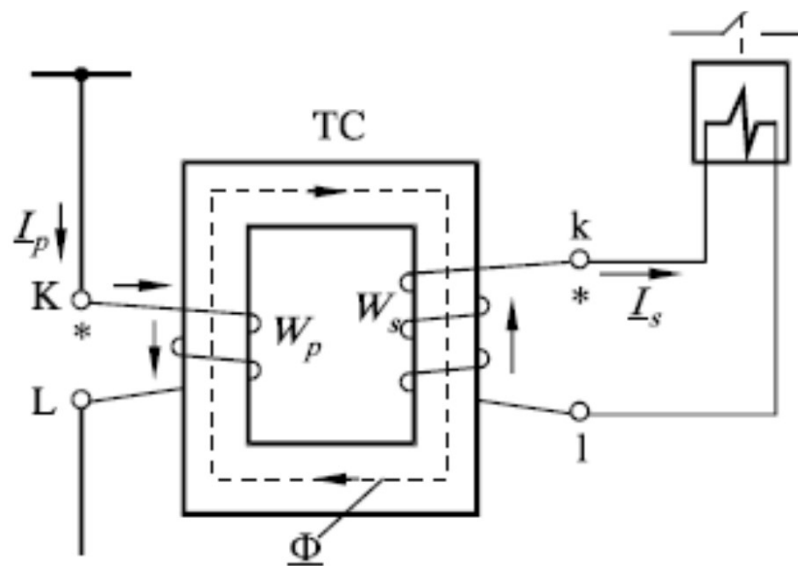
TT inductiv
trifazat:



TT capacitiv trifazat:



TRANSFORMATORUL DE CURENT



$$\underline{F}_m = \underline{I}_p W_p - \underline{I}_s W_s$$

$$\underline{F}_m \cong 0, \quad \underline{I}_s = \underline{I}_p \frac{W_p}{W_s} = \frac{\underline{I}_p}{n_{TC}} = \underline{I}'_p$$

ERORI DE MASURA IN CAZUL TC

1. Eroarea de curent:

$$f_i \% = \frac{\Delta I}{I'_p} \cdot 100 = \frac{I_s - I'_p}{I'_p} \cdot 100 \%$$

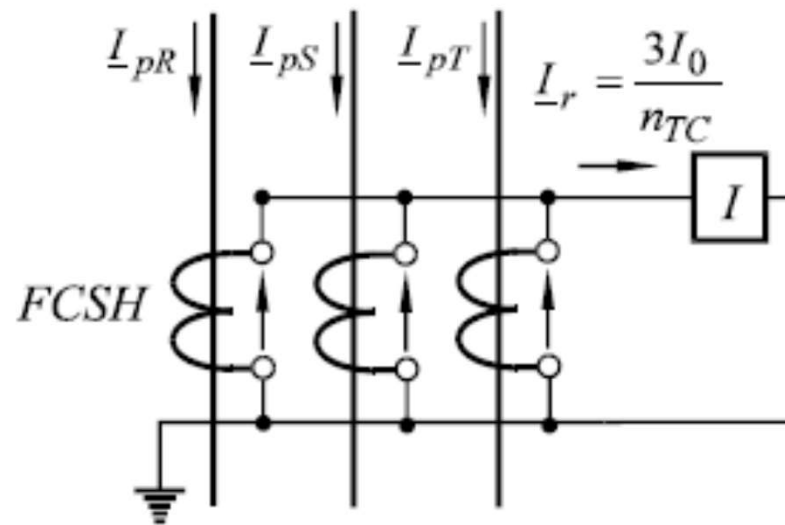
2. Eroarea de unghi, definite prin unghiul dintre I_s si I_p

3. Eroarea compusa:

$$\varepsilon_c \% = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_s n_{TC} - i_p)^2 dt}$$

FILTRE DE CURENT DE COMPONENTE SIMETRICE

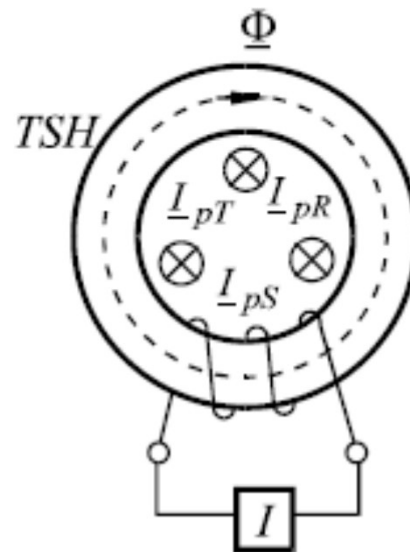
- Filtrul de curent de secvență homopolară (FCSH)



$$\underline{I}_r = \underline{I}_{sR} + \underline{I}_{sS} + \underline{I}_{sT} = \frac{\underline{I}_{pR} + \underline{I}_{pS} + \underline{I}_{pT}}{n_{TC}} = \frac{3\underline{I}_0}{n_{TC}}$$

$$\underline{I}_r = -(\underline{I}'_{mR} + \underline{I}'_{mS} + \underline{I}'_{mT}) = \underline{I}_{dez.FCSH}$$

- Transformatorul de secvență homopolară, TSH

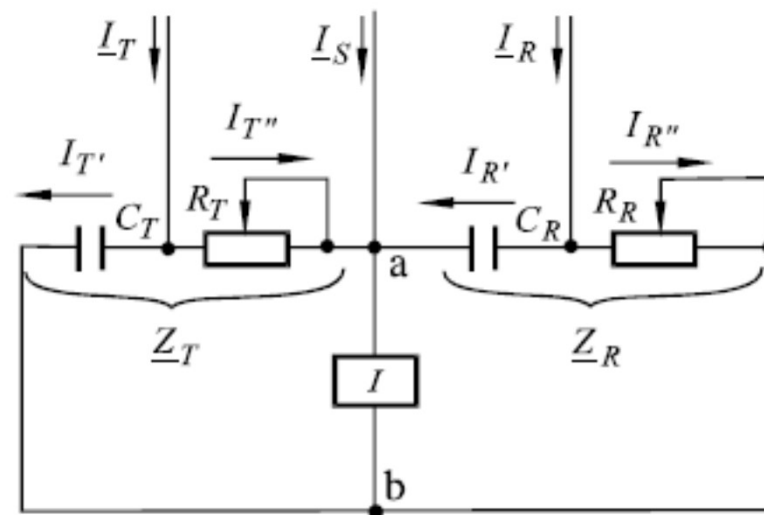


In absența unui defect monofazat:

$$\underline{I}_{pR} + \underline{I}_{pS} + \underline{I}_{pT} = 0;$$

$$\underline{\Phi} = \underline{\Phi}_R + \underline{\Phi}_S + \underline{\Phi}_T = 0;$$

- Filtrele de curent de secvență inversă (FCSI)



Curentul de dezechilibru al FCSI:

$$I_{dez.FCSI} = (\Delta I + K \frac{\Delta f}{f_n} + \Delta \varphi) I_{sarc.max.}$$

CLASIFICAREA SISTEMELOR DE PROTECȚIE

I. După mărimea controlată:

- *protecția de curent* – acționează la depășirea unei limite stabilite pentru curentul din circuitul protejat;
- *protecția direcțională* – acționează la schimbarea sensului circulației de puteri prin elementul protejat;
- *protecția de distanță* – acționează la micșorarea sensibilă a impedanței circuitului protejat;
- *protecția diferențială* – acționează la apariția unei diferențe între valorile curenților de la extremitățile zonei protejate;
- *protecția homopolară* – acționează la apariția componentelor homopolare de curent sau tensiune în cazul punerilor la pământ;
- *protecția de tensiune* – acționează la depășirea unei limite stabilite pentru tensiunea circuitului protejat;
- *protecția cu relee de gaze* – acționează la apariția gazelor în cuva cu ulei a transformatoarelor în cazul scurtcircuitelor;
- *protecția termică* – acționează la creșterea temperaturii circuitelor electrice în timpul scurtcircuitelor sau regimurilor anormale;



II. După rolul pe care îl au în sistem:

- *protecții de bază* – acționează la defectele care apar în limitele zonei protejate;
- *protecții de rezervă* – acționează în locul protecțiilor de bază, în cazul în care aceasta refuză să acționeze;
- *protecții auxiliare* – acționează în cazul defectelor care apar în zone în care protecția de bază nu poate acționa;

III. In funcție de elementul protejat:

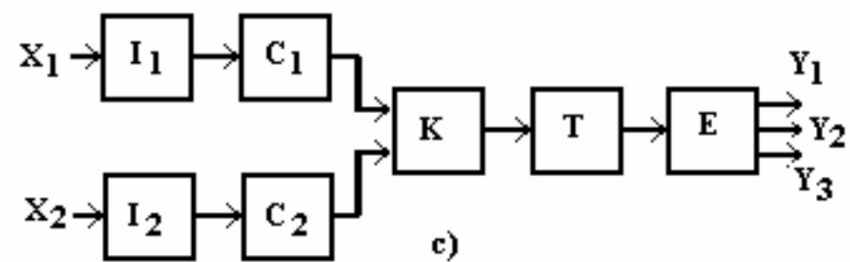
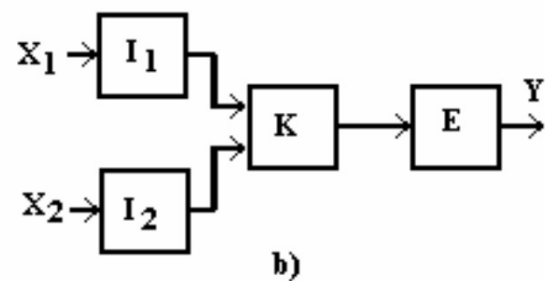
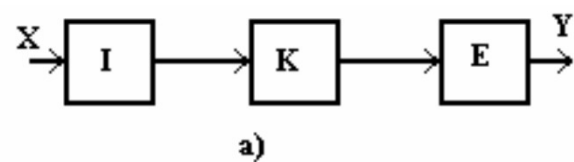
- *pentru generatoare sincrone;*
- *pentru transformatoare și autotransformatoare de putere;*
- *pentru sisteme de bare;*
- *pentru linii electrice;*
- *pentru motoare electrice;*

IV. In funcție de principiul constructiv:

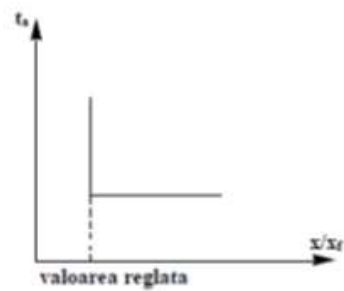
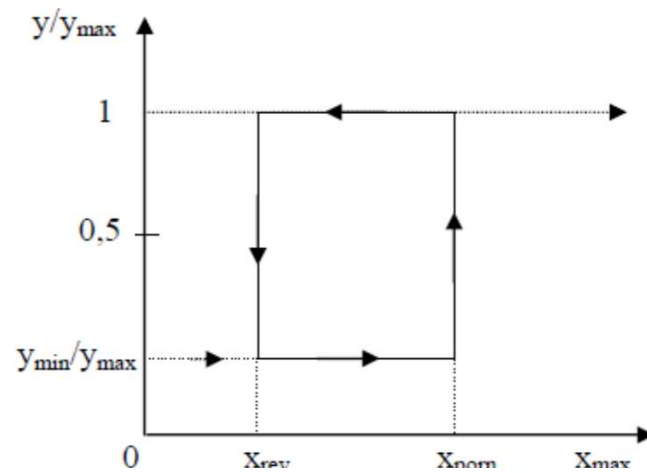
- *protecții cu relee clasice* (electromagnetice, electrodinamice, de inducție etc.);
- *protecții cu relee electronice* (realizate cu tranzistoare, tiristoare, triacuri, diode, rezistențe, condensatoare etc.);
- *protecții cu microprocesoare* (protecții numerice de generația I);
- *protecții digitale* (protecții numerice de generația II).



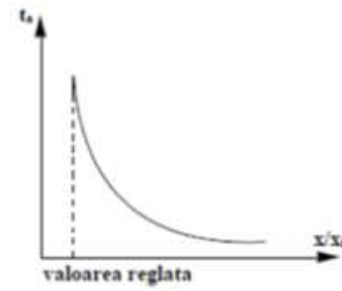
SCHEMA BLOC A UNUI RELEU



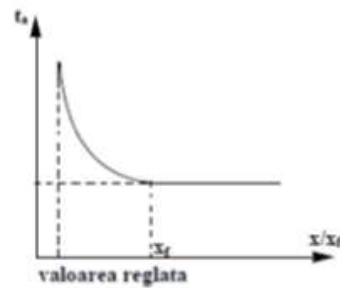
CARACTERISTICA INTRARE IESIRE



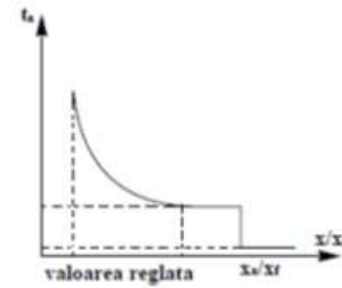
a



b



c



d

PROPRIETATILE RELEELOR

- 1. Capacitatea de comutare a contactelor
 2. Consumul propriu al releului
 3. Precizia releelor
 4. Coeficientul de revenire al releelor

$$k_{rev} = \frac{M_{rev}}{M_{act}}$$

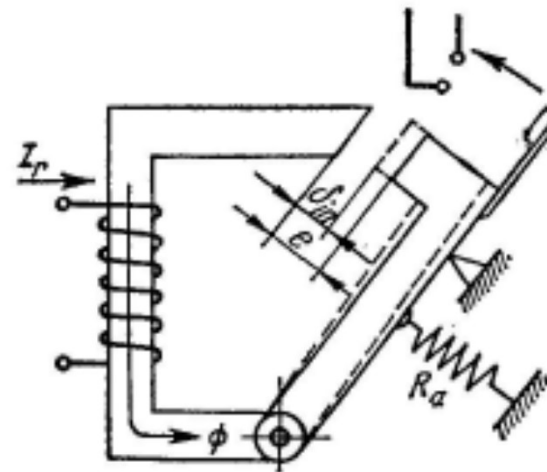


RELEE ELECTROMAGNETICE

Condiția de acționare:

$$M_{act} = k_1 * \Phi^2$$

$$\Phi = k_2 * \frac{I}{e}$$



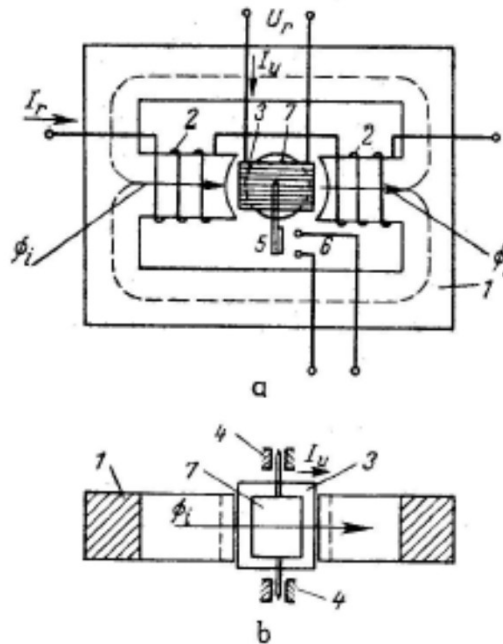
RELEE DE INDUCȚIE

- Relee de inducție cu o singură înfășurare
- Relee de inducție cu două înfășurări



RELEE ELECTRODINAMICE

- $M_{rot} > M_{ant}$



RELEEE POLARIZATE

Parametrii principali ai releului polarizat:

- forța de apăsare pe contactul fix
- deplasarea totală a armăturii
- valoarea minimă a fluxului activ Φ_a pentru care partea mobilă își schimbă poziția

RELEE MAGNETOELECTRICE

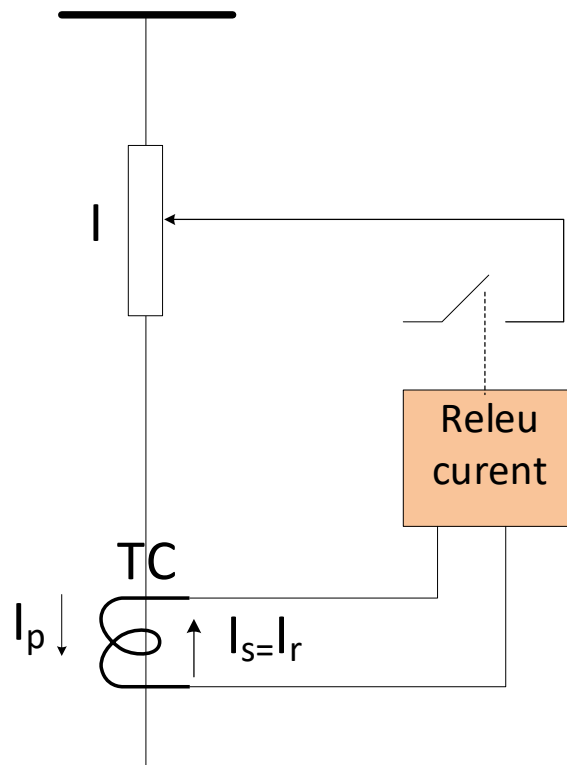
RELEE TERMICE

RELEE STATICE



PROTECȚIA DE CURENT

Protecțiile de curent din SE sunt în general protecții maxime de curent și acționează atunci când valorile curenților depășesc anumite valori prestabilite



Condiția de acționare a protecției: $I_p \geq I_{pp}$

Curentul de pornire al releului: $I_{pr} = \frac{I_{pp}}{n_{TC}}$

Revenirea protecției: $I_p \leq I_{rev.p}$

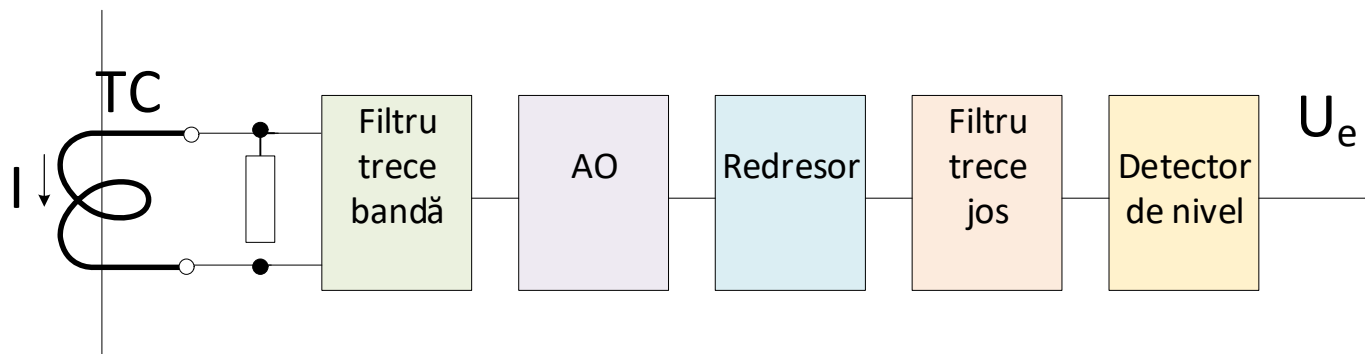
Curentul de revenire al releului: $I_{rev.r} = \frac{I_{rev.p}}{n_{TC}}$

Coeficientul de revenire al releului/protecției maxime: $k_{rev} = \frac{I_{rev.r}}{I_{pr}} = \frac{I_{rev.p}}{I_{pp}} < 1$

RELEE DE CURENT CU CARACTERISTICĂ INDEPENDENTĂ

Comparația valorii măsurate a curentului cu un nivel de referință se poate realiza în două moduri:

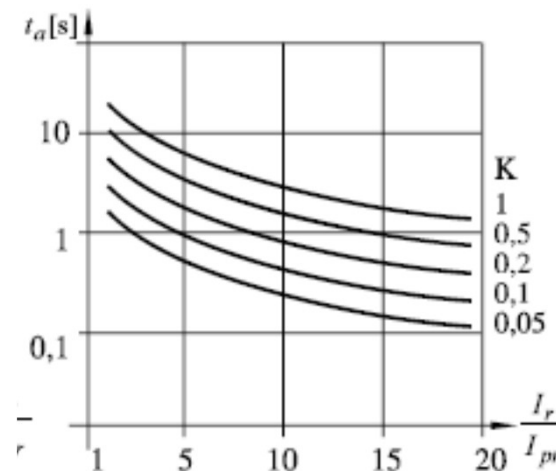
- comparația valorii medii redresate a curentului cu un nivel de referință;
- comparația valorii instantanee a curentului cu o mărime de referință.



RELEE DE CURENT CU CARACTERISTICĂ DEPENDENTĂ

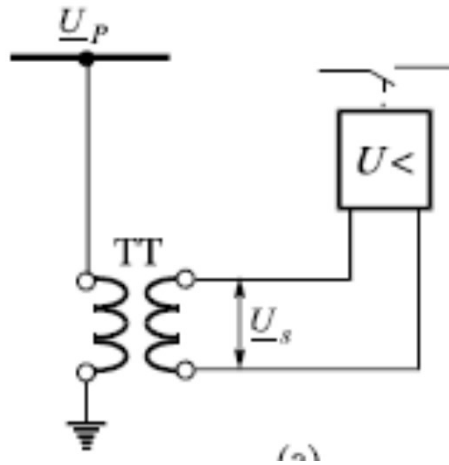
$$t_a = \frac{K * \beta}{\left(\frac{I_r}{I_{pr}}\right)^\alpha - 1}$$

	α	β
Invers proporțională	0,02	0,14
Puternic invers proporțională	1	13,5
Foarte puternic invers proporțională	2	80



PROTECȚIA DE TENSIUNE

PROTECȚIA DE MINIMA TENSIUNE



- $U_p \leq U_{pp}$
- $U_{pr} = \frac{U_{pp}}{n_{TT}}$
- Revenirea protecției:

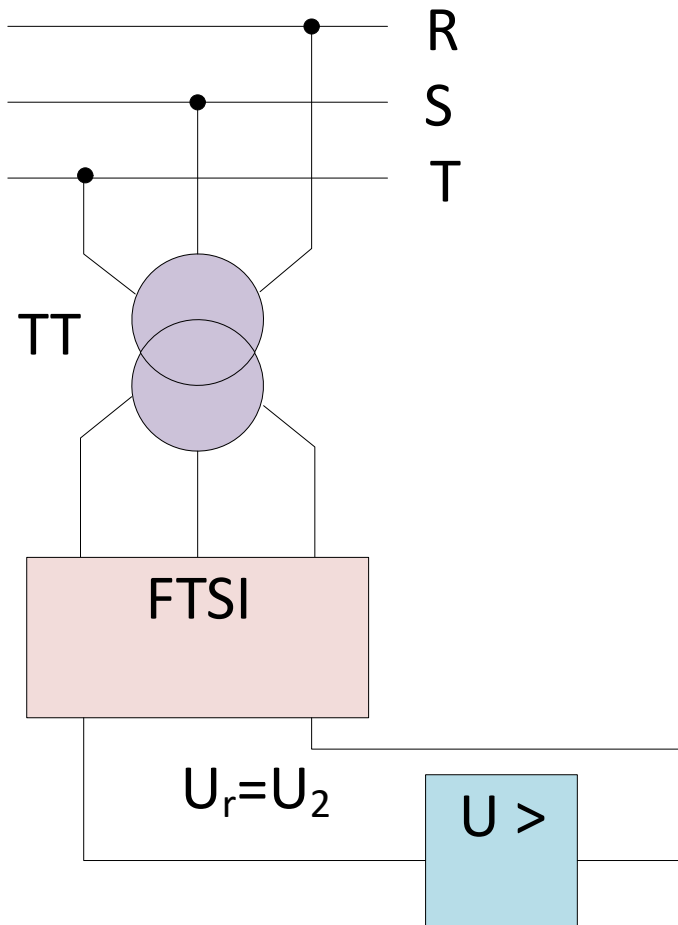
$$U_p \geq U_{rev.p}$$

$$U_{rev.r} = \frac{U_{rev.p}}{n_{TT}}$$

- Coeficientul de revenire:

$$k_{rev} = \frac{U_{rev.r}}{U_{pr}} = \frac{U_{rev.p}}{U_{pp}} > 1$$

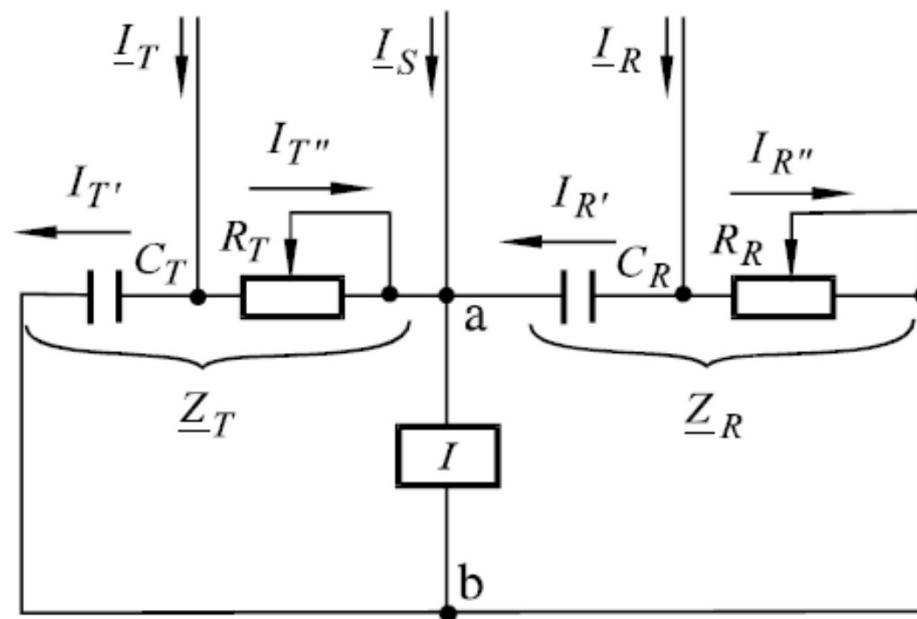
PROTECȚIA MAXIMALA DE TENSIUNE



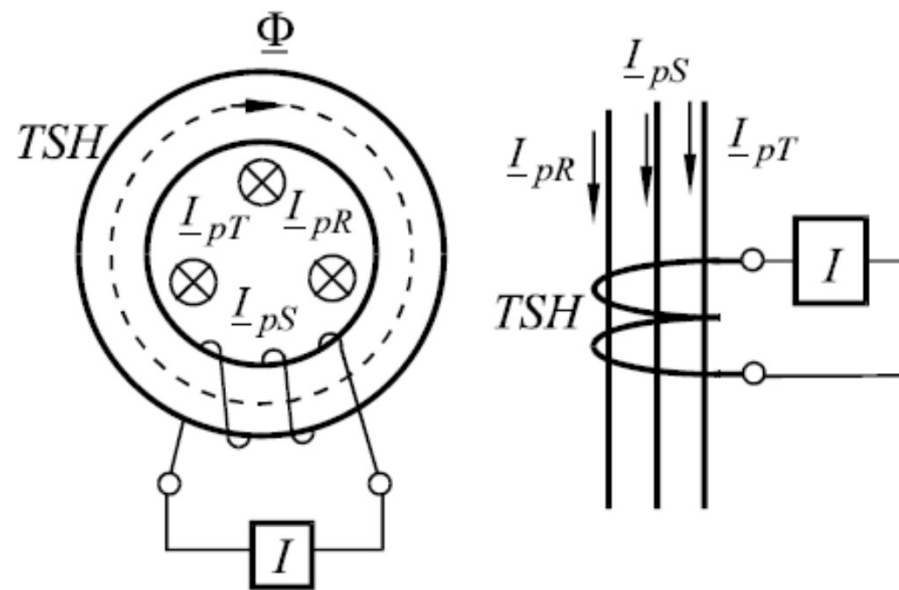
- $U_p > U_{pp}$
- $U_{pr} = U_{pp} / n_{TT}$
- Tensiunea de revenire a releului $U_{rev.r} = U_{rev.p} / n_{TT}$
- $k_{rev} = U_{rev.r} / U_{pr} = U_{rev.p} / U_{pp} < 1$



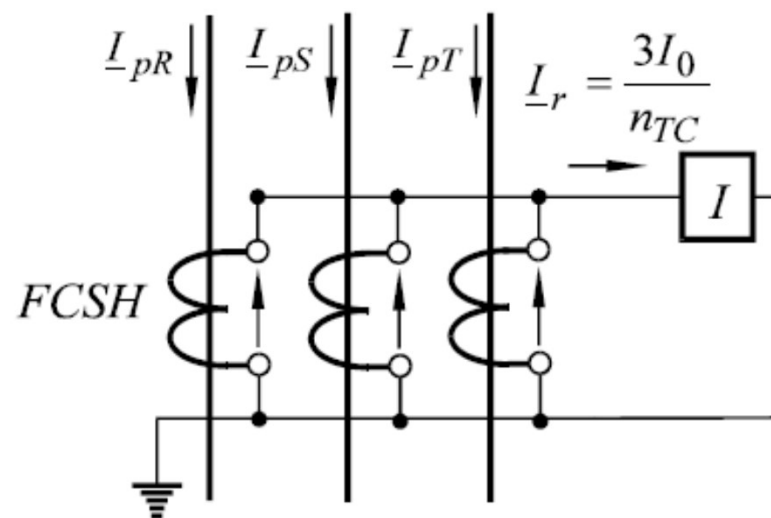
FILTRELE DE CURENT DE SECVENȚĂ INVERSĂ (FCSI)



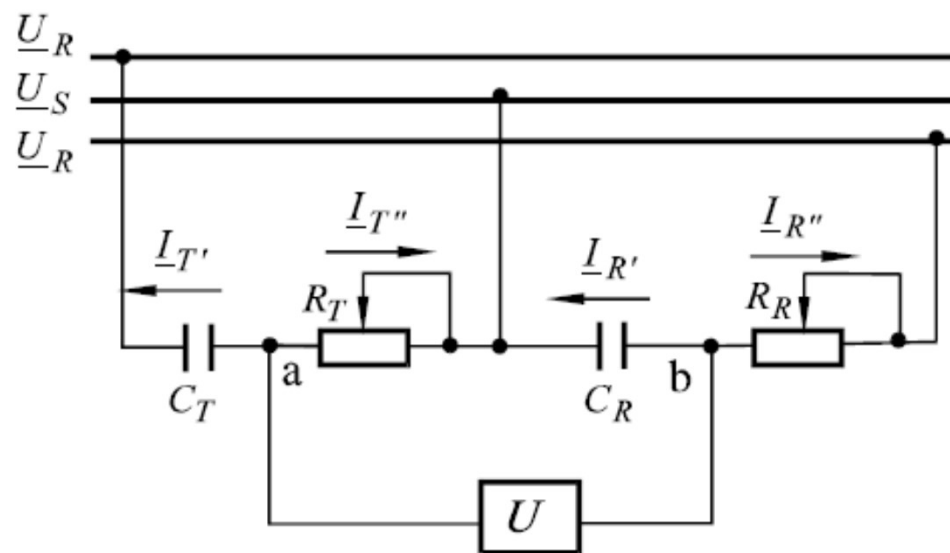
TRANSFORMATORUL DE SECVENȚĂ HOMOPOLARĂ, TSH



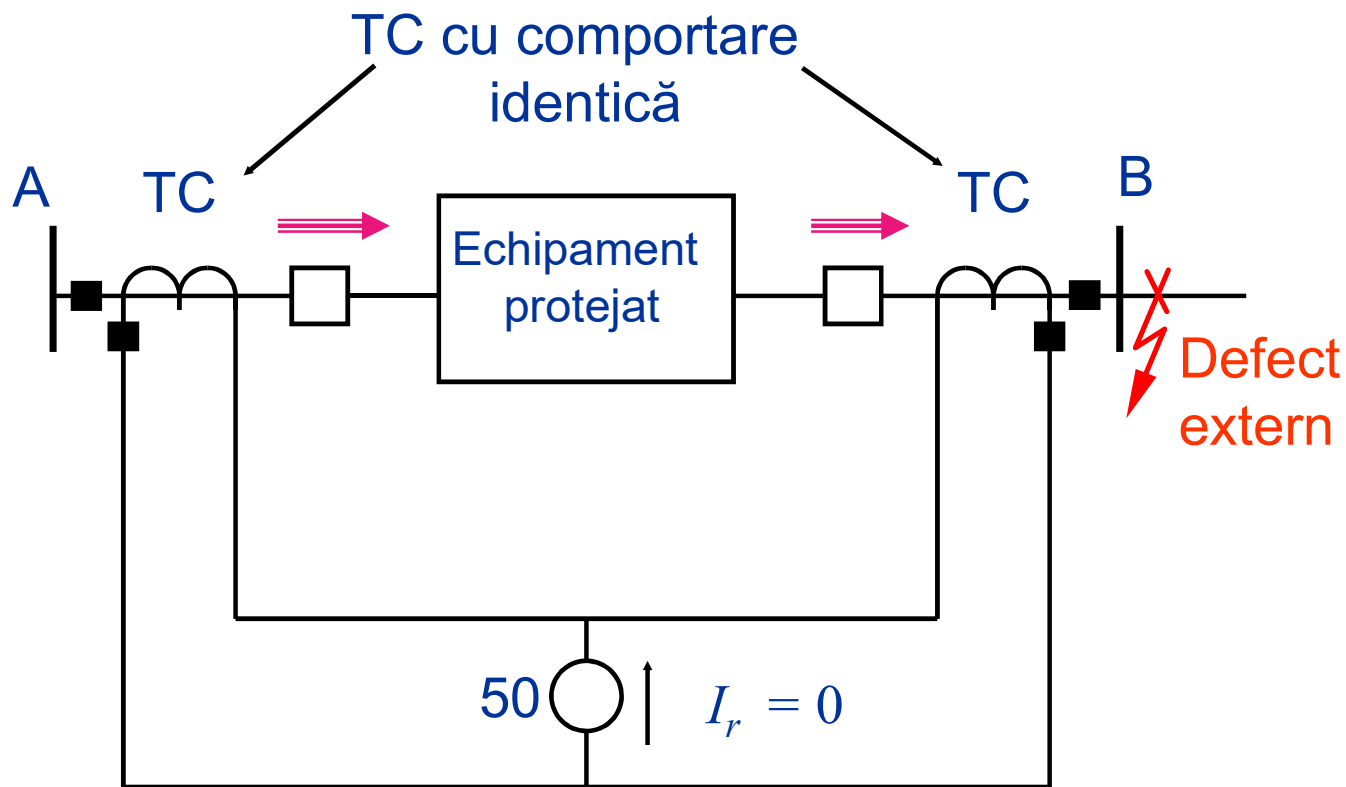
FILTRUL DE CURENT DE SECVENȚĂ HOMOPOLARĂ (FCSH)



FILTRELE DE TENSIUNE DE SECVENȚĂ INVERSĂ (FTSI)



PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ LONGITUDINALĂ



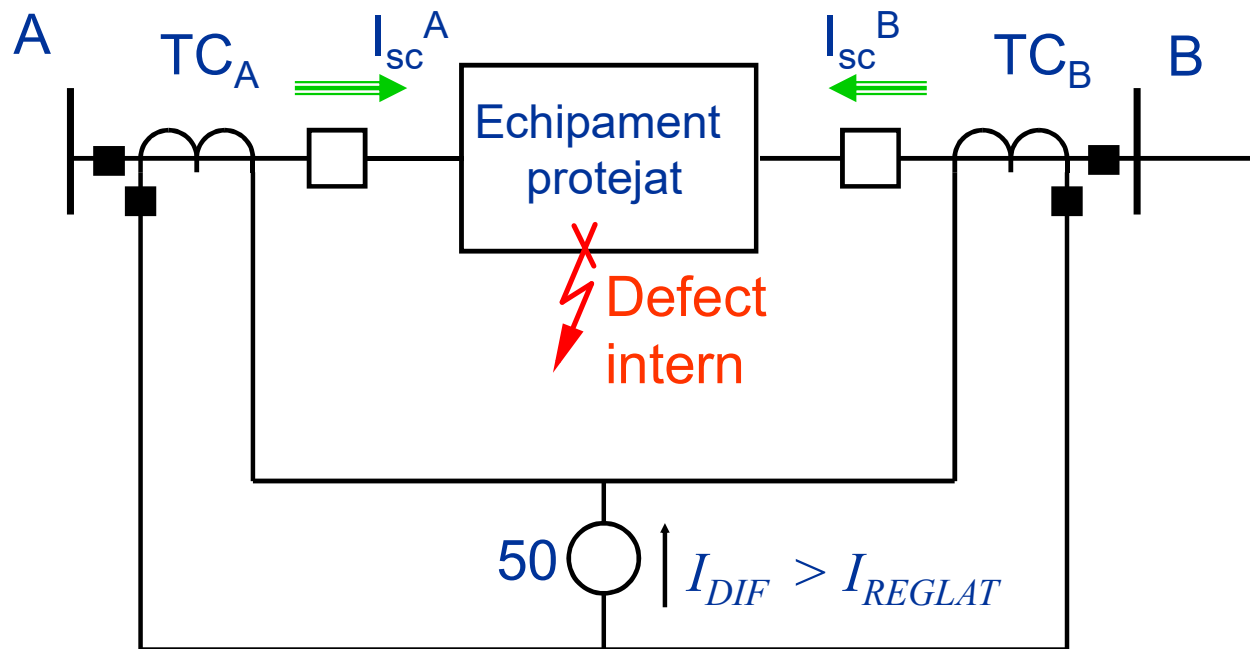
$$I_r = I_{scA} - I_{scB}$$

$$I_{scA} = I_{scB}$$

$$I_r = 0$$

Dacă TC sunt ideale, releul nu acționează

DEFECT ÎN ELEMENTUL PROTEJAT



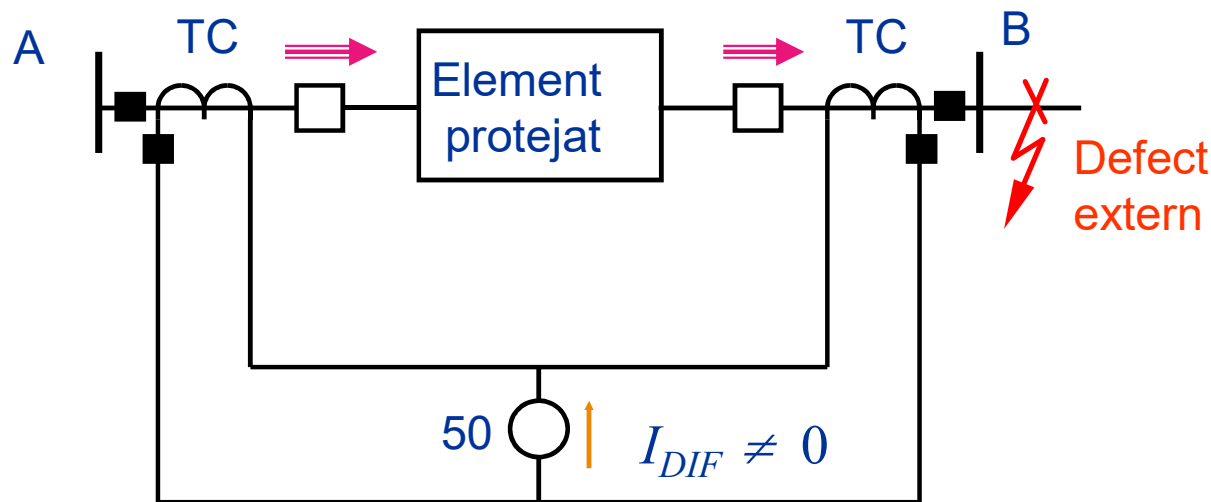
$$I_r = I_{scA} - I_{scB} \neq 0$$

$$I_{scA} \neq I_{scB}$$

$$I_r \neq 0$$

Releul acționează

PROBLEMA TC CU COMPORTARE NEIDENTICĂ



$$I_r = \dot{I}_{dez}$$

$$I_{pr} > I_{dez.max.calc}$$

$$I_{pp} > I_{dez.max.calc}$$

$$I_{pr} = k_{sig} \cdot \frac{I_{dez.max.calc}}{n_{TC}}$$

$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{dez.max.calc}$$

○ Dacă TC se saturează în cazul unui defect extern, releul va sesiza un curent diferențial fals

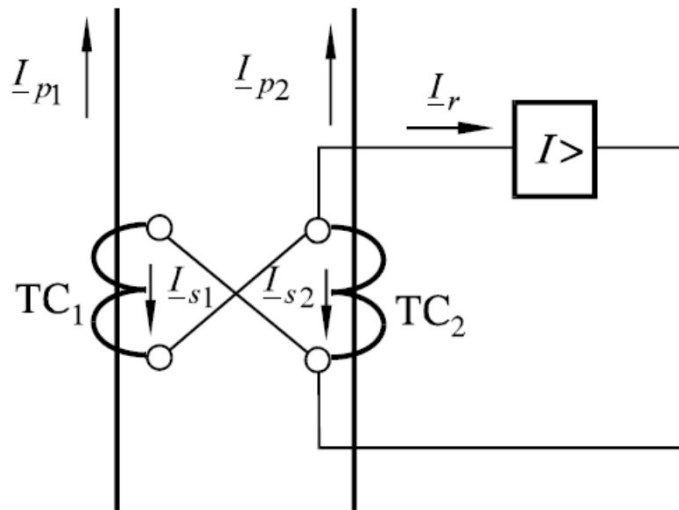
$$I_{dez.max.calc} = k_{aper} \cdot k_{id} \cdot f_i \cdot I_{sc.max.ext}''$$

PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ TRANSVERSALĂ

- În regim normal de funcționare, TC ideale:

$$I_{p1} = I_{p2}$$

$$I_r = I_{s1} - I_{s2} = \frac{I_{p1}}{n_{TC}} - \frac{I_{p2}}{n_{TC}} = 0$$



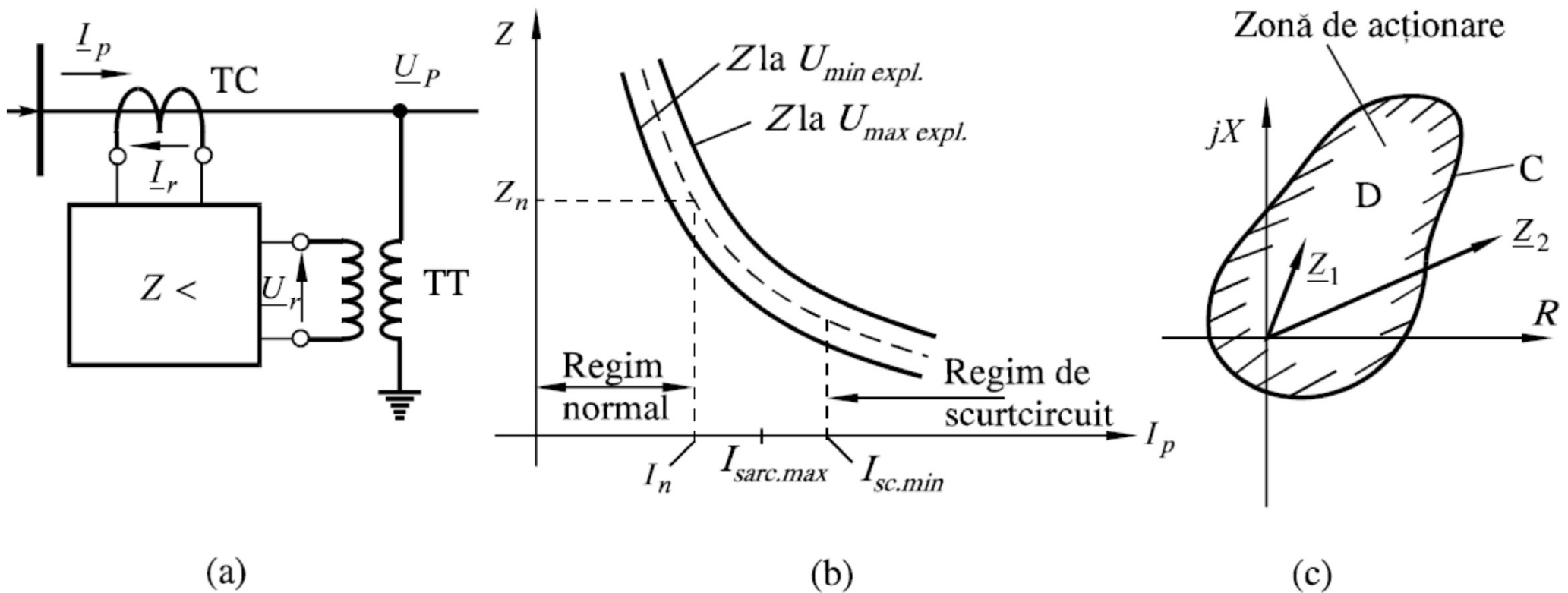
- În regim normal de funcționare, pt. TC reale, avem $I_{dez} = I_{dez1} + I_{dez2}$

$$I_{dez2} = \frac{I_{p1}}{n_{TC}} - \frac{I_{p2}}{n_{TC}}$$

$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{dez.max.calc} \quad I_{pr} = k_{sig} \cdot I_{dez.max.calc}$$

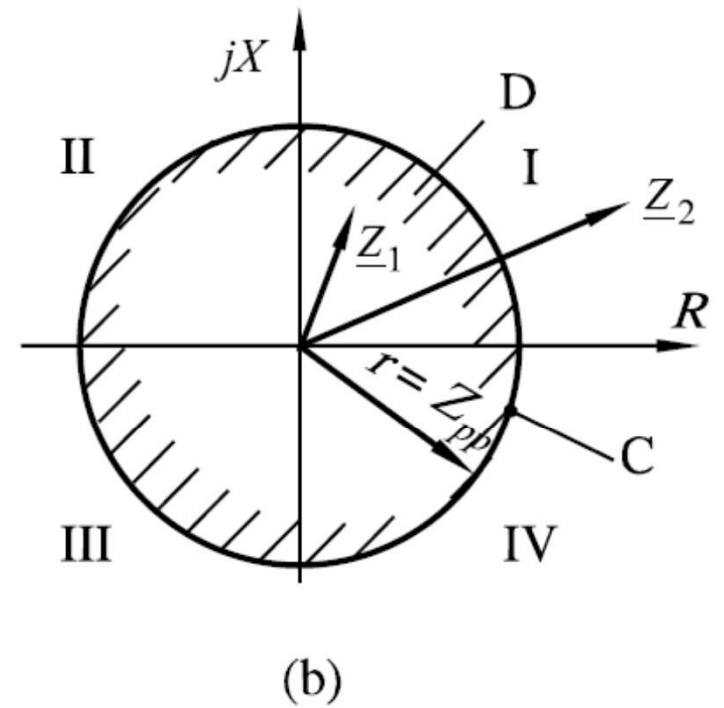
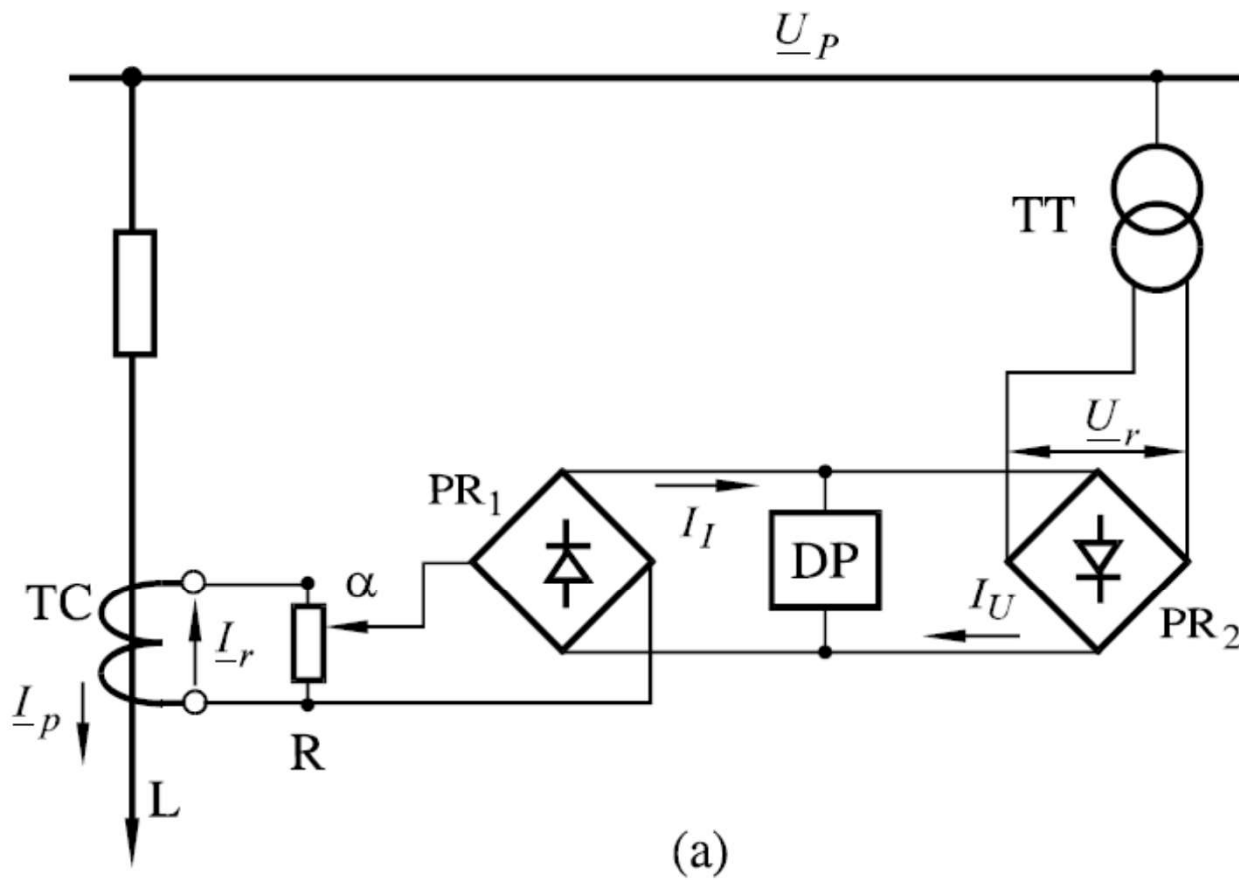
- La defect intern: $I_{p1} \neq I_{p2}$ $I_r = I_{s1} - I_{s2} \neq 0$
- Dacă $I_r \geq I_{pr}$, protecția PDT acționează

PROTECȚIA DE IMPEDANȚĂ



Schema de conectare a unui releu de minimă impedanță (a),
dependența $Z = f(I_p)$ (b)
caracteristica generală de acțiune (c)

RELEU DE IMPEDANȚĂ DE TIP BALANȚĂ ELECTRICĂ ȘI CARACTERISTICA SA DE ACȚIONARE



Releul de impedanță:

- Detectorul de polaritate DP sesizează dacă:

$$I_I \geq I_U \quad (\text{ec.1})$$

$$I_I = \frac{\alpha \cdot R \cdot k_r \cdot I_r}{R_i} \quad \text{și} \quad I_U = \frac{k_r \cdot U_r}{R_i} \quad (\text{ec.2})$$

- Ecuția (1) devine:

$$\alpha \cdot R \cdot I_r \geq U_r \quad (\text{ec.3}) \quad \text{sau}$$

$$Z_r = \frac{U_r}{I_r} \leq \alpha \cdot R = Z_{pr} \quad (\text{ec.4})$$

- Releul de minimă impedanță acționează dacă $Z_r \leq Z_{pr}$ (ec.5)

- Conform schemei din fig a):

$$I_r = \frac{I_p}{n_{TC}} \quad \text{și} \quad U_r = \frac{U_p}{n_{TT}} \quad (\text{ec.6})$$

- Ecuția (5) devine:

$$Z_r = \frac{U_r}{I_r} = \frac{U_p}{I_p} \cdot \frac{n_{TC}}{n_{TT}} \leq Z_{pr} \quad (\text{ec.7})$$

- Dacă se notează $Z_p = \frac{U_p}{I_p}$ și $Z_{pp} = Z_{pr} \cdot \frac{n_{TT}}{n_{TC}}$ (ec.8)

- Atunci $Z_p = Z_r \cdot \frac{n_{TT}}{n_{TC}}$ (ec.9)

- Condiția de acționare (5) devine $Z_p \leq Z_{pp}$ (ec.10)

- Dacă se consideră:

$$Z_p = Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\text{ec.11})$$

- Condiția de acționare (10) devine:

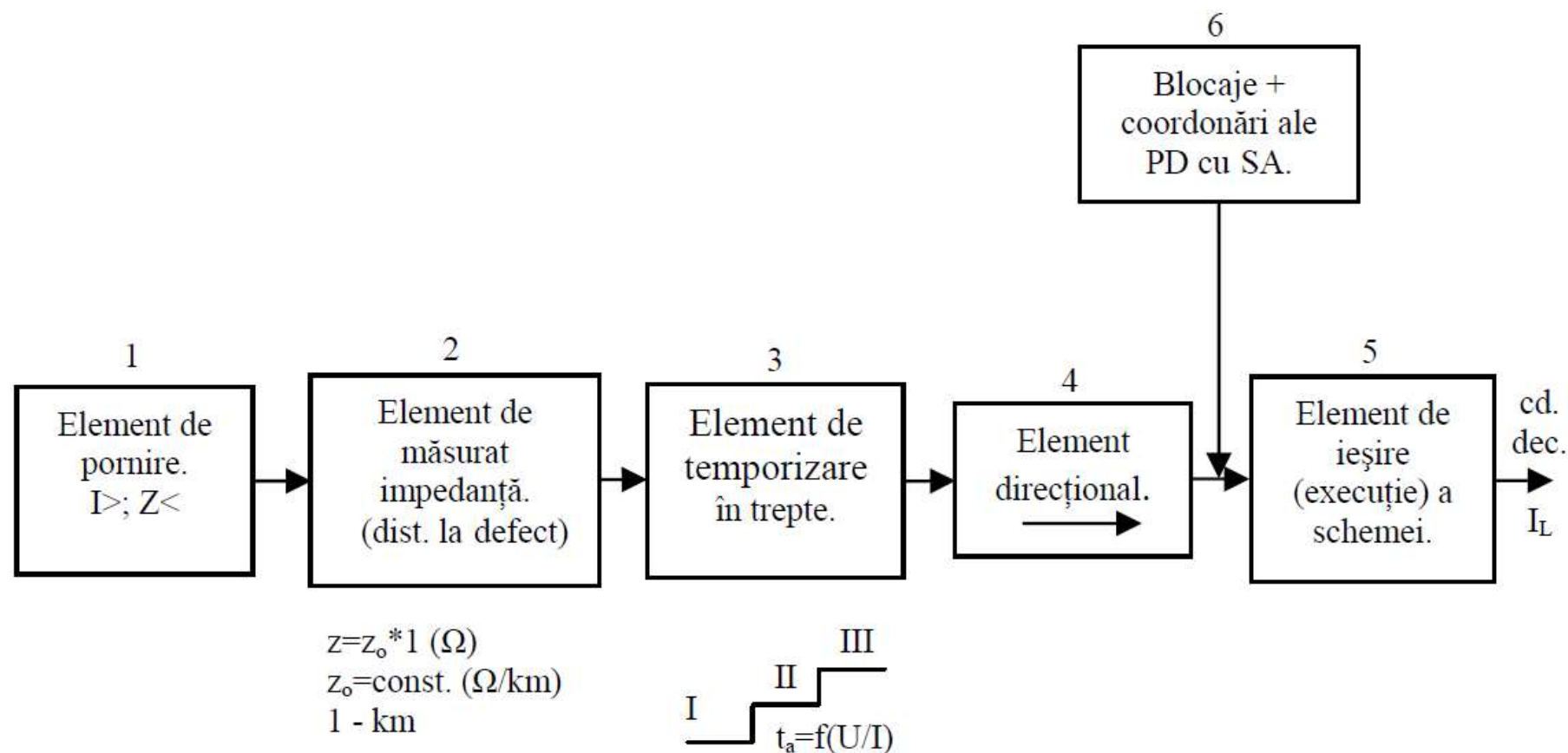
$$R^2 + X^2 \leq Z_{pp}^2 = r^2 \quad (\text{ec.12})$$

- Se poate stabili:

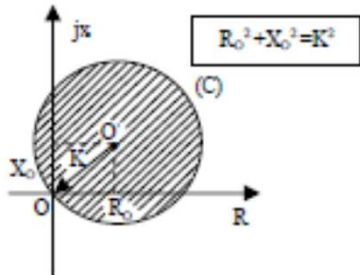
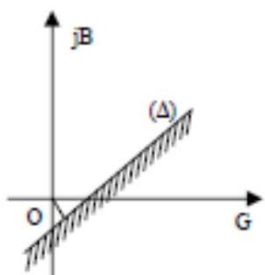
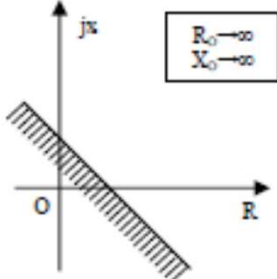
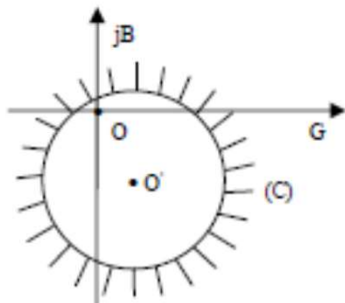
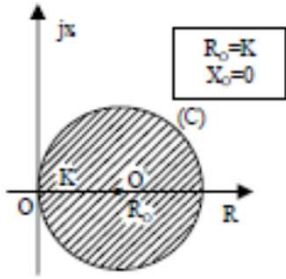
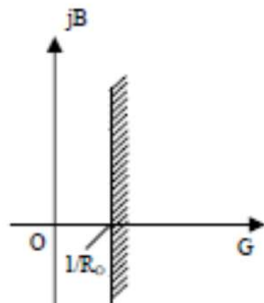
- dacă $I_I \geq I_U$, atunci $Z_1 \leq Z_{pp}$, protecția acționează
- dacă $I_I < I_U$, atunci $Z_2 > Z_{pp}$, protecția nu acționează

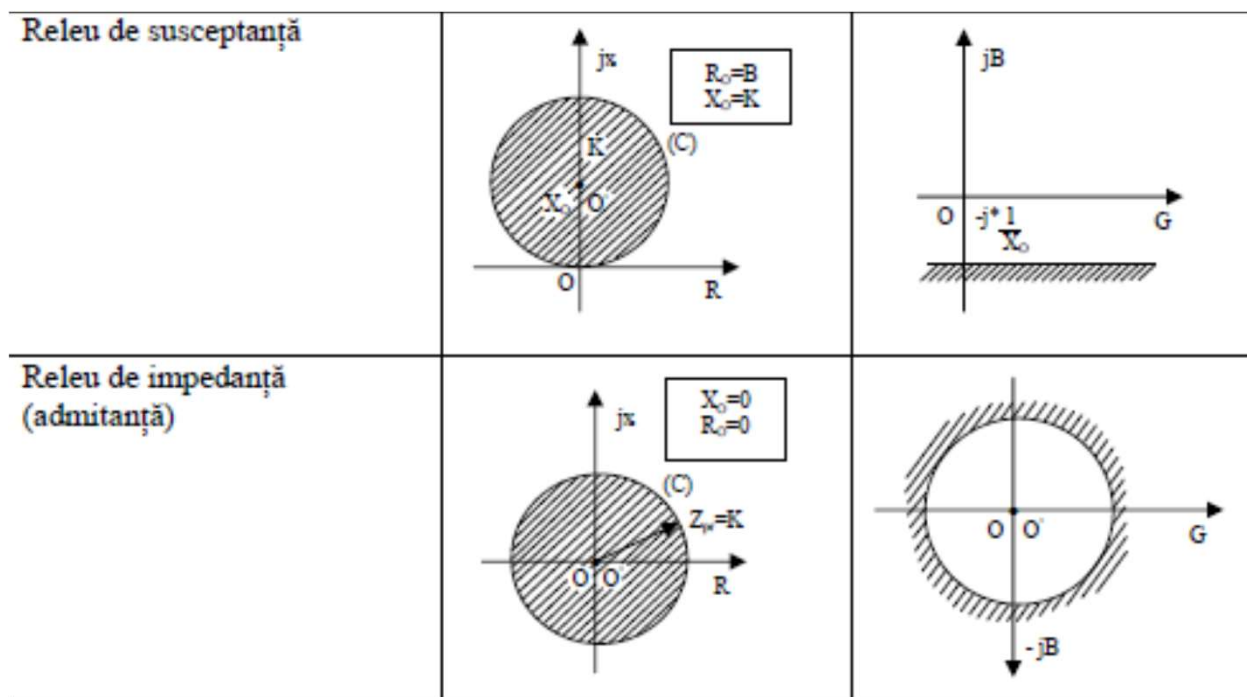
- În cazul liniilor electrice $Z_p = Z_L = Z_0 \cdot L$

SCHEMA BLOC DE ELEMENTE SIMPLIFICATĂ A UNEI PROTECȚII DE DISTANȚĂ (PD)

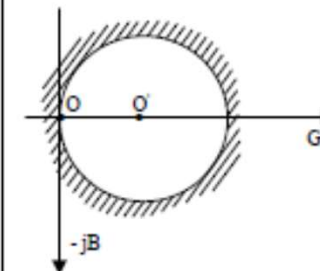
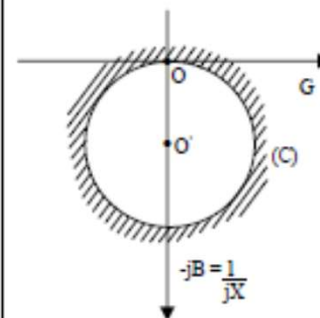
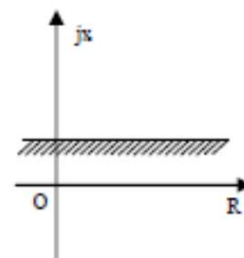
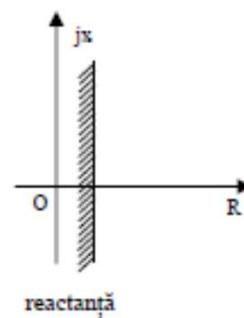


Caracteristicile de acționare particularizate ale releelor de distanță		
1	2	3
Releu de rezistență (conductanță) sau reactanță (susceptanță) generalizat		

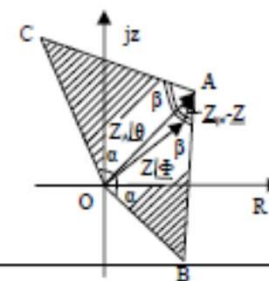
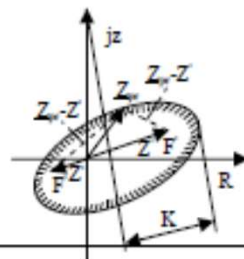
Releu de admitanță mixtă (MHO)		
Releu de impedanță mixtă		
Releu de conductanță		



Releu de rezistență sau
reactanță



Releu de distanță cu
caracteristică eliptică.
Releu de distanță cu
caracteristică poligonală, de
tip patrulater.



PROTECTIA GENERATORULUI SINCRON



Stator

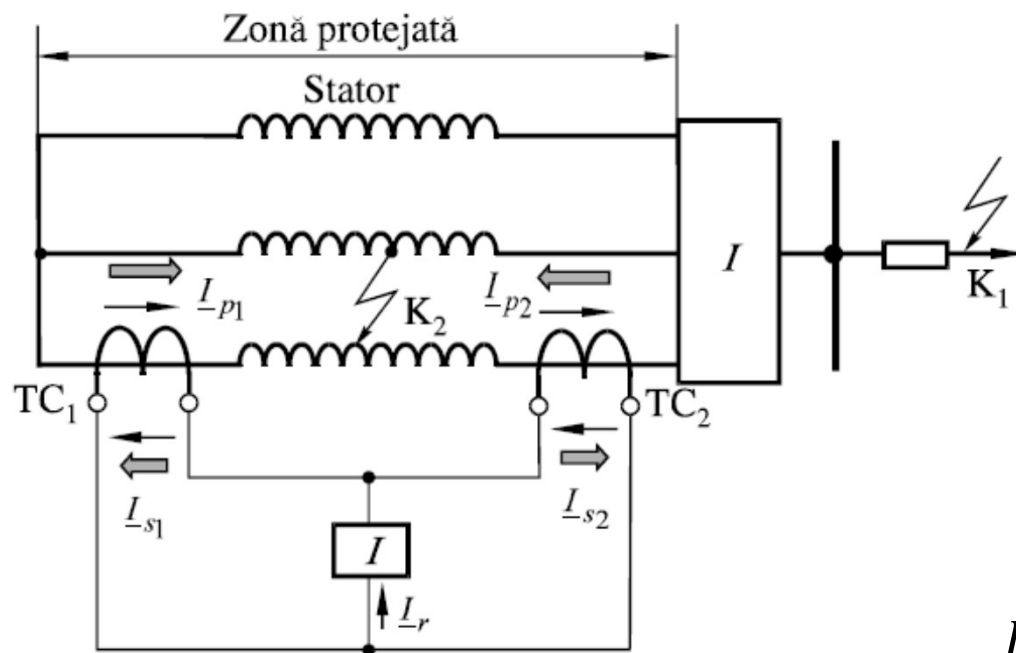


Rotor

TIPURI DE PROTECȚII ALE GENERATOARELOR SINCRONE

- *Defectele interne în statorul GS*
- *Defectele interne în rotorul GS*
- *Defectele externe GS*
- *Regimurile anormale de funcționare*

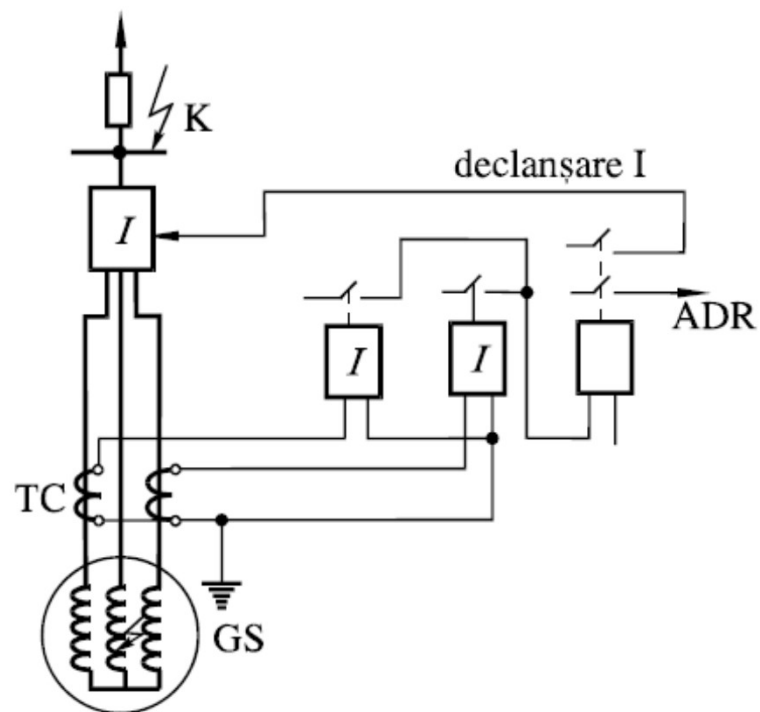
PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ LONGITUDINALĂ A GS



$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{dez.max.calc}$$

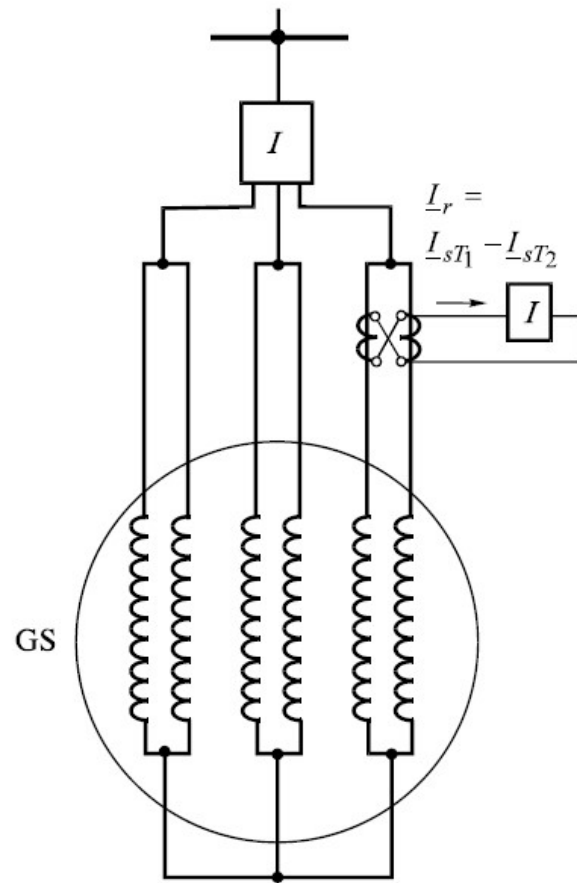
$$I_{dez.max.calc} = k_{aper} \cdot k_{id} \cdot f_i \cdot I_{sc.max.ext}''$$

SECȚIONAREA DE CURENT A GS DE PUTERI MAI MICI DE 6 MW



$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{sc.max.k}''$$

PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ TRANSVERSALĂ A GS



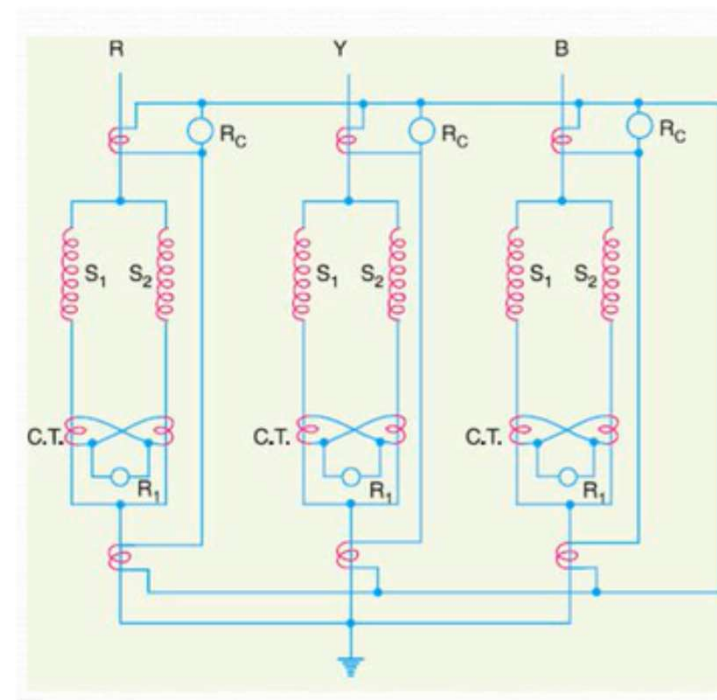
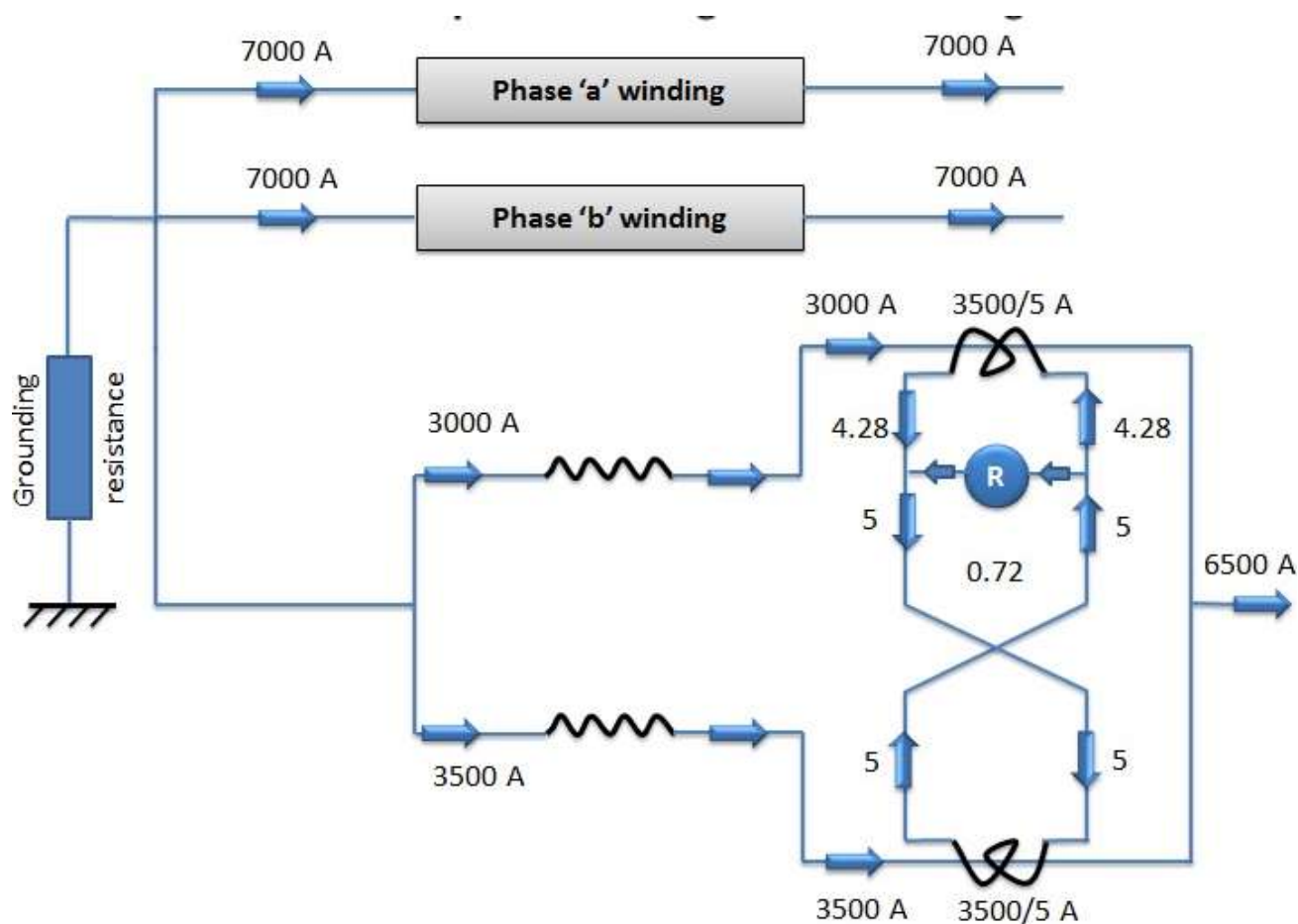
$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{dez.max.calc}$$

In cazul utilizării TSR:

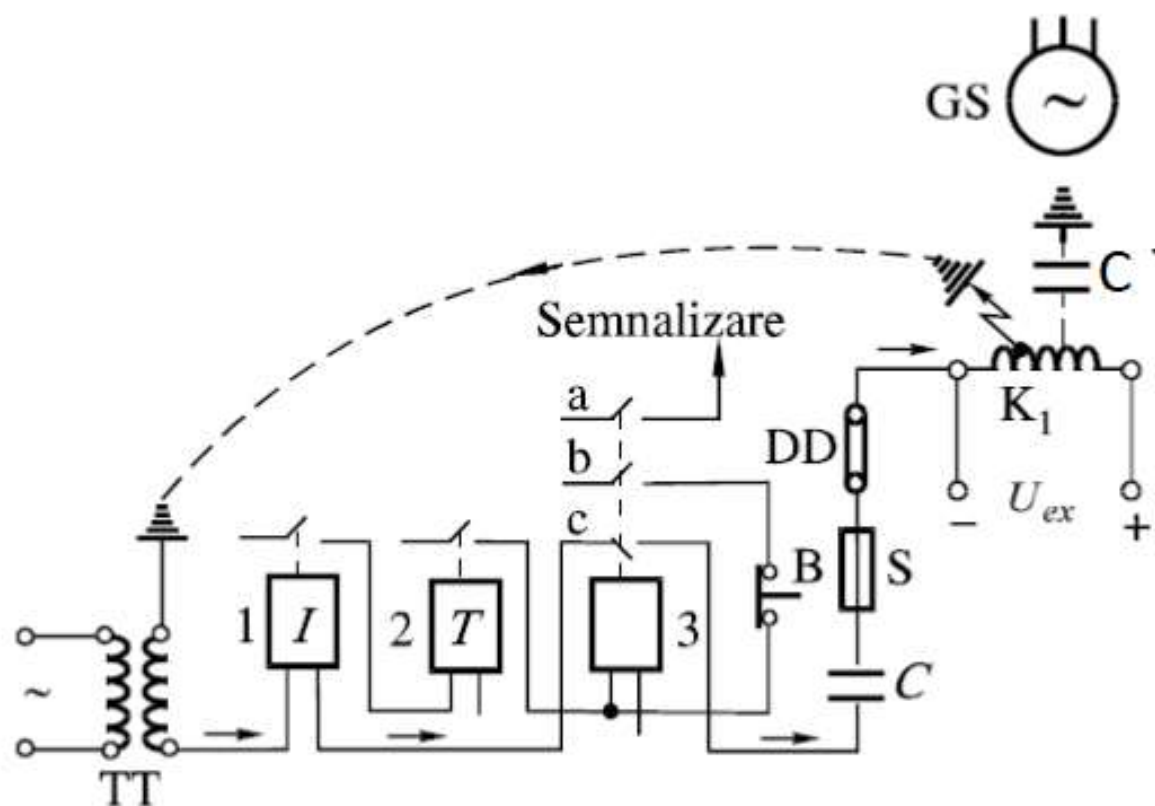
$$I_{pp} = (0,6 \div 0,8) \cdot \frac{I_n}{2}$$

$$I_{pr} = (0,6 \div 0,8) \cdot \frac{I_n}{2} \cdot \frac{1}{n_{TC}}$$

PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ TRANSVERSALĂ A ÎNFĂȘURĂRILOR GENERATORULUI



PROTECȚII ÎMPOTRIVA PRIMEI PUNERI LA PĂMÂNT ÎN ROTOR PENTRU GENERATOARE DE PUTERI MICI



PROTECȚIA TRANSFORMATOARELOR ȘI AUTOTRANSFORMATOARELOR

DEFECTE INTERNE

- scurtcircuite polifazate
- scurtcircuite monofazate pe înfășurări de înaltă tensiune și puneri la pământ pe cele de medie tensiune
- scurtcircuite între spirele aceleiași faze.

DEFECTE EXTERNE

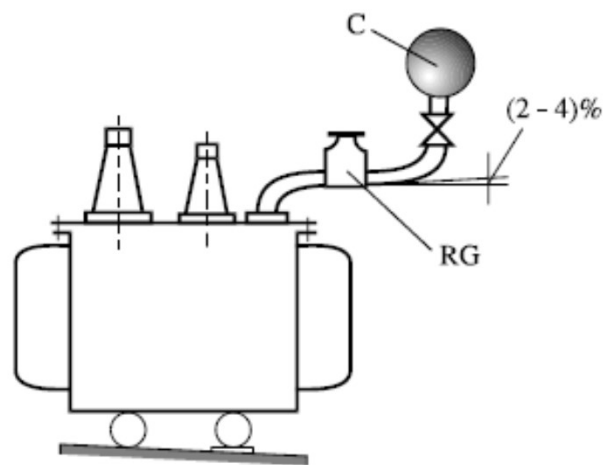
- scurtcircuite polifazate
- scurtcircuite monofazate pe echipamente de înaltă tensiune conectate la transformator sau puneri la pământ

REGIMURILE ANORMALE

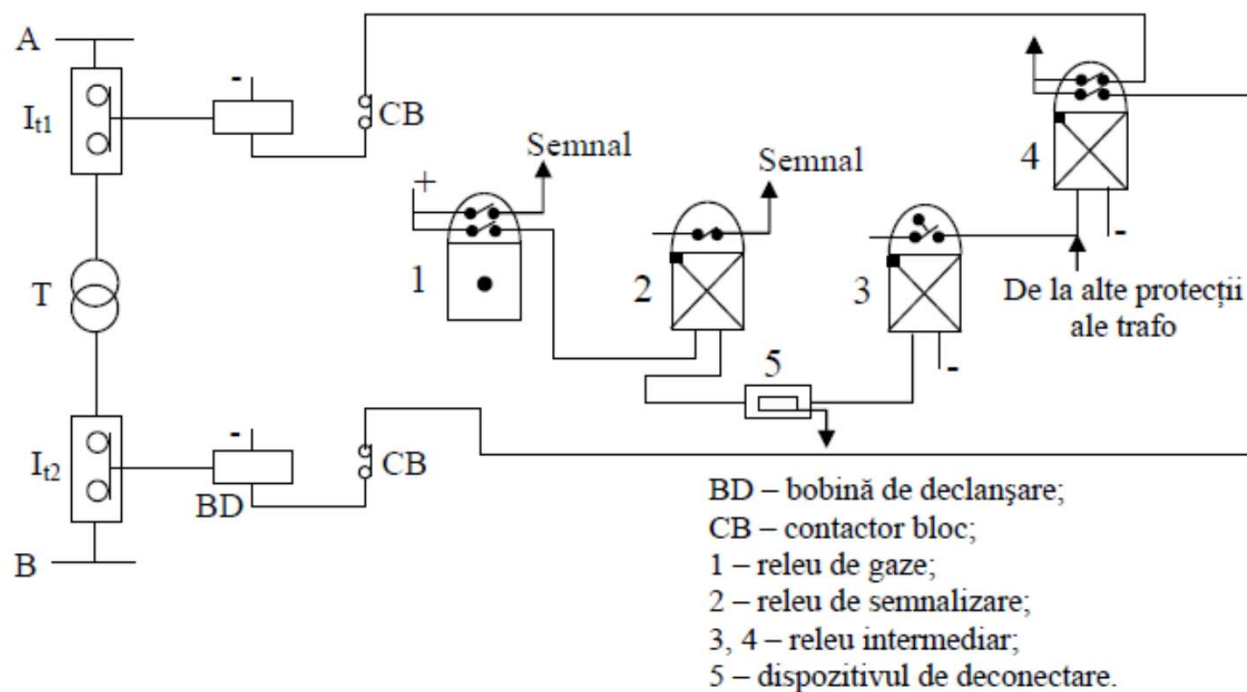
- suprasarcini
- scăderea nivelului uleiului în cuvă
- supratemperaturi



1. PROTECȚIA CU RELEE DE GAZE (BUCHHOLTZ)

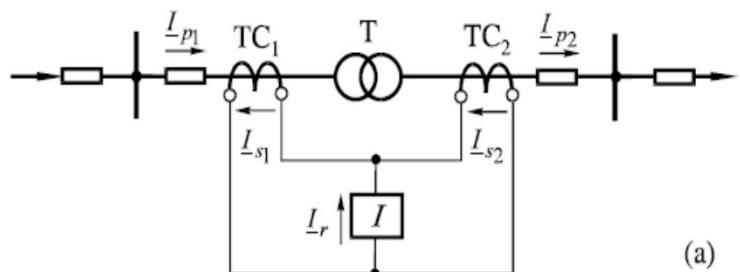


Modul de montare
a releului de gaze



Schema de conectare a releului de gaze

2. PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ LONGITUDINALĂ

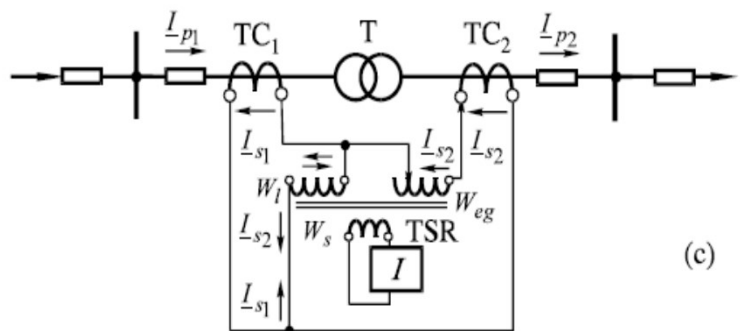
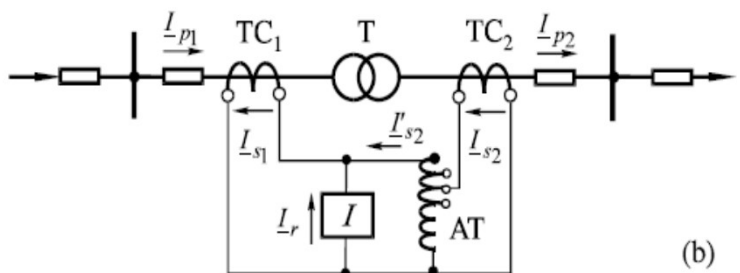


$$I_{s1} = \frac{I_{p1}}{n_{TC1}}$$

$$I_{s2} = \frac{I_{p2}}{n_{TC2}}$$

Pentru ca $I_{s1} = I_{s2}$ este necesar ca $\frac{I_{p1}}{n_{TC1}} = \frac{I_{p2}}{n_{TC2}}$

Rezultă condiția $\frac{n_{TC2}}{n_{TC1}} = \frac{I_{p2}}{I_{p1}} \cong N$



PARTICULARITĂȚI SPECIFIC PDL

○ A. *Compensarea inegalității curenților*

După alegerea TC, se verifică diferența curenților secundari:

$I_{s1} - I_{s2} \leq 0,05 * I_{s1}$ nu se adoptă nici o soluție de egalizare a curenților secundari

$I_{s1} - I_{s2} > 0,05 * I_{s1}$ se folosesc metode de egalizare:

a. Introducerea unui autotransformator $\frac{n_{TC2} * n_{AT}}{n_{TC1}} = N$

b. Folosirea TSR $W_{eg} * I_{s2} = W_l * (I_{s1} - I_{s2})$

$$W_{eg} = \frac{I_{s1} - I_{s2}}{I_{s2}} \cdot W_l$$

○ B. Compensarea defazajului curenților

Schema de conexiuni a TR influențează schema de protecție.

Pe baza conexiunii în triunghi a TC, raportul de transformare al acestor TC se va alege astfel:

$$n_{TC} = \frac{I_{p\gamma}}{I_s} \cdot k_{sch} = \frac{I_{p\gamma}}{I_s} \cdot \sqrt{3}$$

Unde :

- $k_{sch} = \sqrt{3}$ este coeficientul de schema. În cazul TC conectate în stea $k_{sch} = 1$
- $I_{p\gamma}$ curentul primar pe partea stelei TR protejat.
- I_s curentul nominal secundar al TC

Pentru TR conectate în stea $n_{TC} = \frac{I_{p\Delta}}{I_s}$, unde $I_{p\Delta}$ este curentul primar pe partea triunghiului TR protejat.

C. PROBLEMA CURENTULUI DE ȘOC DE MAGNETIZARE

În funcționarea TR apare un curent de șoc de magnetizare, care poate atinge o valoare foarte ridicată, de $(6\div 8)I_n$, comparabilă cu un curent de scurtcircuit și care circulă numai prin înfășurarea primară a transformatorului.

MĂSURI PENTRU CREȘTEREA SENSIBILITĂȚII PDL

- temporizarea PDL pe durata existenței curentului de șoc de magnetizare, metodă care afectează una din calitățile esențiale ale protecției diferențiale – rapiditatea;
- utilizarea TSR care blochează acționarea PDL pe durata existenței componentei aperiodice a curentului de șoc de magnetizare;
- utilizarea releelor cu caracteristică de frânare

CALCULUL CURENTULUI DE DEZECHILIBRU AL PDL

- I. Componenta curentului de dezechilibru $I_{dez.TC}$ determinată de neidentitatea TC ale PDL

$$I_{dez.TC\ max.} = K_{id} K_{aper} f_i I_{sc.max.ext.}''$$

- II. Componenta curentului de dezechilibru $I_{dez.eg.}$, datorat fie absenței egalizării

$$I_{dez.eg\ max.} = \frac{\Delta f_{eg} \%}{100} I_{sc.max.ext.}'' \quad \Delta f_{eg} \% = \frac{I_{s1} - I_{s2}}{I_{s1}} 100$$

- III. Pentru TC cu dispozitiv de reglare sub sarcină a tensiunii, apare în plus o componentă $I_{dez.reg}$

$$I_{dez.reg.max.} = \frac{\Delta U \%}{100} I_{sc.max.ext.}''$$

- IV. Componenta $I_{dez.mT}$

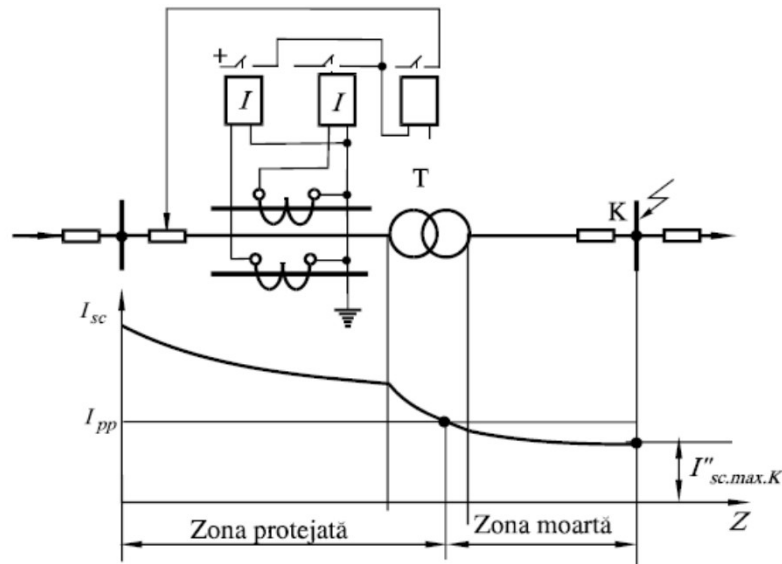
CURENTUL DE DEZECHILIBRU AL PDL

$$I_{dez.max.calc.} = I_{dez.TC.max.} + I_{dez.eg.max.} + I_{dez.reg.max.}$$

CURENTUL DE PORNIRE AL PDL

$$I_{pp} = K_{sig} I_{dez.max.calc.}$$

3. SECȚIONAREA DE CURENT



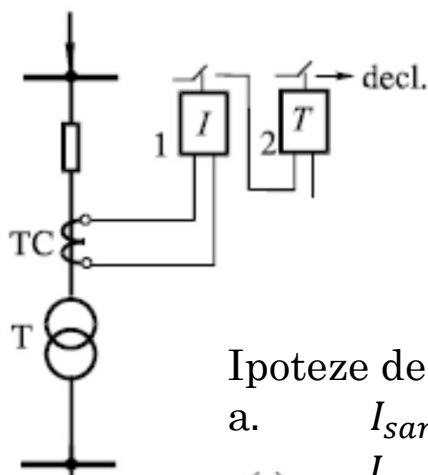
Curentul de pornire se determină din două condiții:

$$I_{pp} = k_{sig} * I''_{sc.max.k}$$

$$I_{pp} = (3 \div 5)I_n$$

4. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA DEFECTELOR EXTERIOARE ȘI REGIMURILOR ANORMALE

Protecția maximală de curent a transformatoarelor cu două înfășurări



$$I_{pp} = \frac{k_{sig}}{k_{rev}} * I_{sarc.max}$$

Ipoteze de calcul:

a. $I_{sarc.max} = k_{ap1} * I_n$, fără AAR

... $I_{sarc.max} = I_n + k_{ap2} * I_n_{supl}$, cu AAR

Unde I_n este curentul nominal al transformatorului;

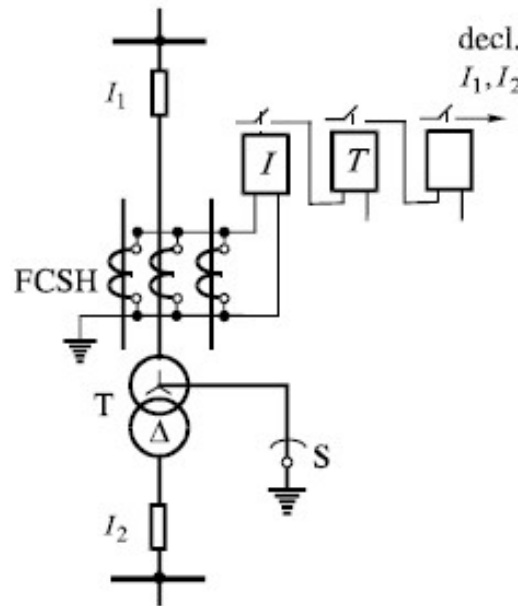
K_{ap1} , K_{ap2} – coeficienții de autopornire, determinați de tipul motoarelor respective;

I_n_{supl} – curentul nominal corespunzător sarcinii suplimentare conectate de AAR.

b. $I_{sarc.max} = \frac{n}{n-1} * I_n$, n este numărul transformatoarelor care funcționează în paralel.

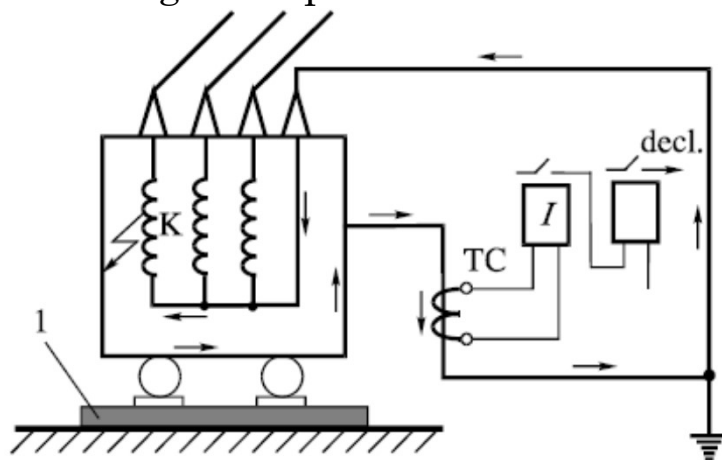
PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT HOMOPOLARĂ

- Curentul de pornire al protecției se calculează cu relația ținând seama de curenții de dezachilibru:
- $I_{pp} = (0,4 \div 0,8)I_n$



PROTECȚIA DE CUVĂ

Împotriva scurtcircuitelor monofazate în interiorul cuvei transformatoarelor conectate la rețele cu curenți mari de punere la pământ se utilizează o protecție montată pe circuitul de legare la pământ a cuvei.



Pentru curentul de pornire al protecției, experiența de exploatare a confirmat valoarea

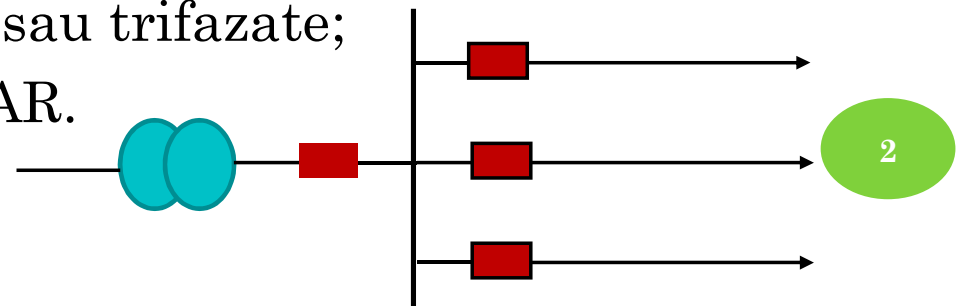
$$I_{pp} = (40 \div 50) \text{ A ,}$$

PROTECȚIA LINIILOR ELECTRICE

PROTECȚIA REȚELELOR RADIALE

FACTORI CARE INFLUENȚEAZĂ PROTECȚIA LINIILOR

- configurația rețelei (radială, buclată, complexă, cu stații în derivație, cu linii paralele);
- importanța liniei în cadrul sistemului electric;
- modul de tratare a neutrlui;
- influența defectelor asupra stabilității sistemului;
- construcție aeriană sau în cablu;
- posibilitatea declanșărilor monofazate sau trifazate;
- existența sau absența dispozitivelor RAR.



A. PROTECȚIA LINIILOR DIN REȚELELE CU NEUTRUL LEGAT DIRECT LA PĂMÂNT:

- *Protecția maximală de curent se va utiliza:*
 - la linii de 110 kV radiale, ca protecție de bază și rezervă;
 - ca protecție de rezervă la linii care au ca protecție de bază o singură protecție de distanță. *Protecția de distanță se recomandă:*
 - la liniile de 110 kV cu alimentare bilaterală, ca protecție de bază;
 - la linii radiale de 110 kV, ca protecție de bază dacă protecția maximală de curent nu îndeplinește condițiile de rapiditate, selectivitate și sensibilitate;
 - la liniile radiale de 220 – 400 kV, ca protecție de bază.
- *Protecția comparativă de fază și protecția diferențială longitudinală se recomandă pentru liniile de 220 – 750 kV și la liniile de 110 kV la care defectele trebuie eliminate rapid.*
- *Protecția diferențială transversală se recomandă pentru liniile de 110 kV cu dublu circuit.*
- *Protecția minimală de tensiune se montează la extremitatea dinspre consumator a liniilor de 110 kV cu derivații, pentru funcționarea corectă a instalației RAR.*
- *Protecția maximală de tensiune se recomandă pentru linii de 400 kV sau linii de 220 kV pentru eliminarea supratensiunilor de rezonanță.*
- *Protecția împotriva suprasarcinii se recomandă pentru liniile în cablu.*

b. Protecția liniilor din rețelele cu neutrul legat la pământ prin rezistență:

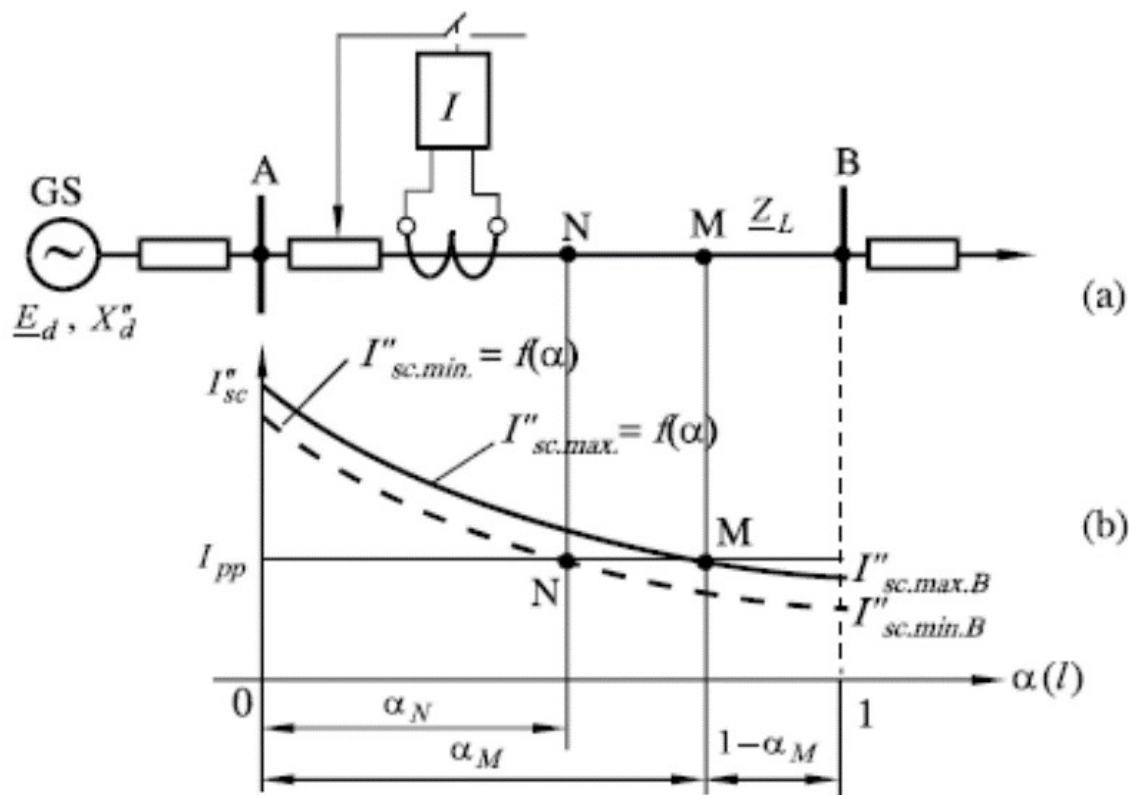
- ■ Protecția maximală de curent.
- ■ Protecția maximală de curent homopolar.
- ■ Protecția de distanță și protecția diferențială.
- ■ Protecția împotriva suprasarcinii.

c. Protecția liniilor din rețelele cu neutrul izolat sau legat la pământ prin bobină de compensare:

- ■ Protecția maximală de curent, pentru linii radiale.
- ■ Protecția maximală de curent direcțională pentru linii cu alimentare bilaterală.
- ■ Protecția de distanță.
- ■ Protecția de distanță cu canal de transmisie.
- ■ Protecția diferențială longitudinală.
- ■ Protecția diferențială transversală.
- ■ Protecția maximală de curent de secvență inversă.
- ■ Protecția maximală de tensiune homopolară.
- ■ Protecții selective împotriva punerilor la pământ simple.
- ■ Protecția împotriva suprasarcinii.

1. SECȚIONAREA DE CURENT A REȚELELOR RADIALE

1.1 SECȚIONAREA DE CURENT RAPIDĂ



$$I''_{sc}(\alpha) = \left| \frac{\underline{E}_d}{X_d'' + \alpha \cdot \underline{Z}_L} \right|$$

$$I''_{sc.max} = f(\alpha) \text{ și } I''_{sc.min} = f(\alpha)$$

$$\alpha \in [0, 1]$$

$$I_{pp} > I''_{sc.max.B}$$

$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I''_{sc.max.B}$$

Condiția de acționare a protecției:

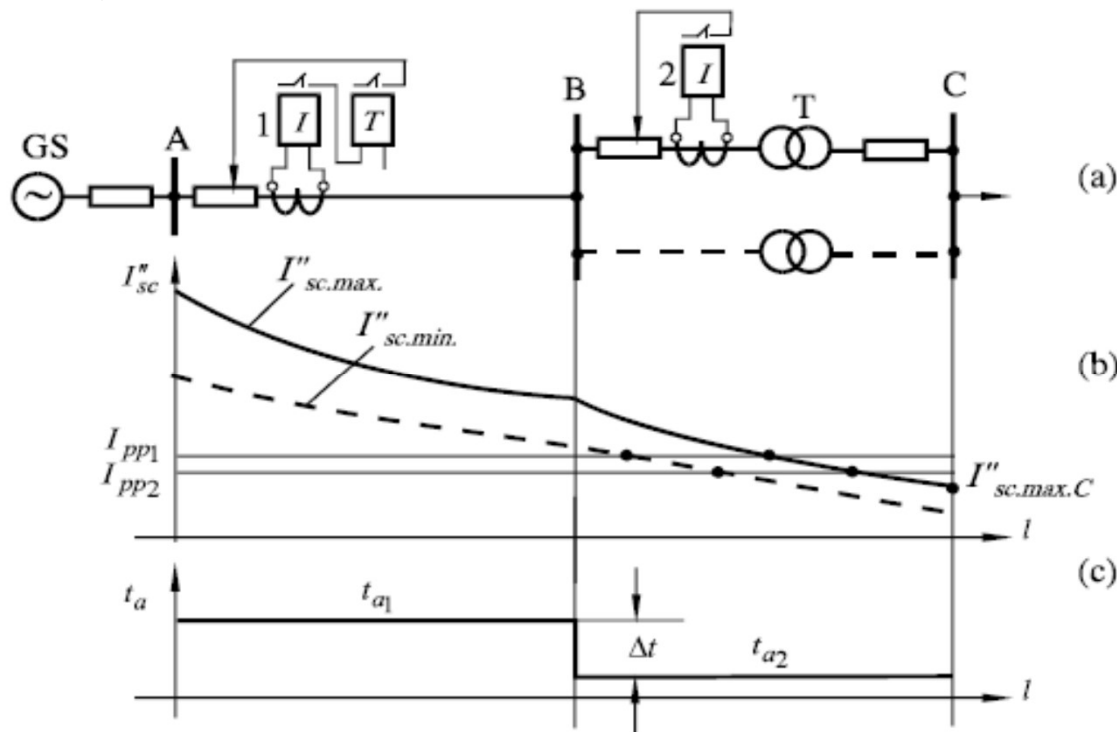
$$I''_{sc.max}(\alpha) \geq I_{pp}$$

$\alpha = \alpha_M$ care constituie zona protejată în regim maxim (porțiunea AM)

$1 - \alpha_M$ (porțiunea MB) - zonă moartă

1.2 SECȚIONAREA DE CURENȚ TEMPORIZATĂ

- Selecționarea temporizată este utilizată în locul selecționării rapide atunci când aceasta nu protejează cel puțin 20% din lungimea liniei, în regim normal de funcționare;



$$I_{pp1} = k_{sig1} \cdot I''_{sc.max.C}$$

$$I_{pp2} = k_{sig2} \cdot I''_{sc.max.C}$$

Pentru a asigura selectivitatea în funcționare a secționării liniei protecția 1 se temporizează cu $t_{a1} = t_{a2} + \Delta t \cong 0,6s$

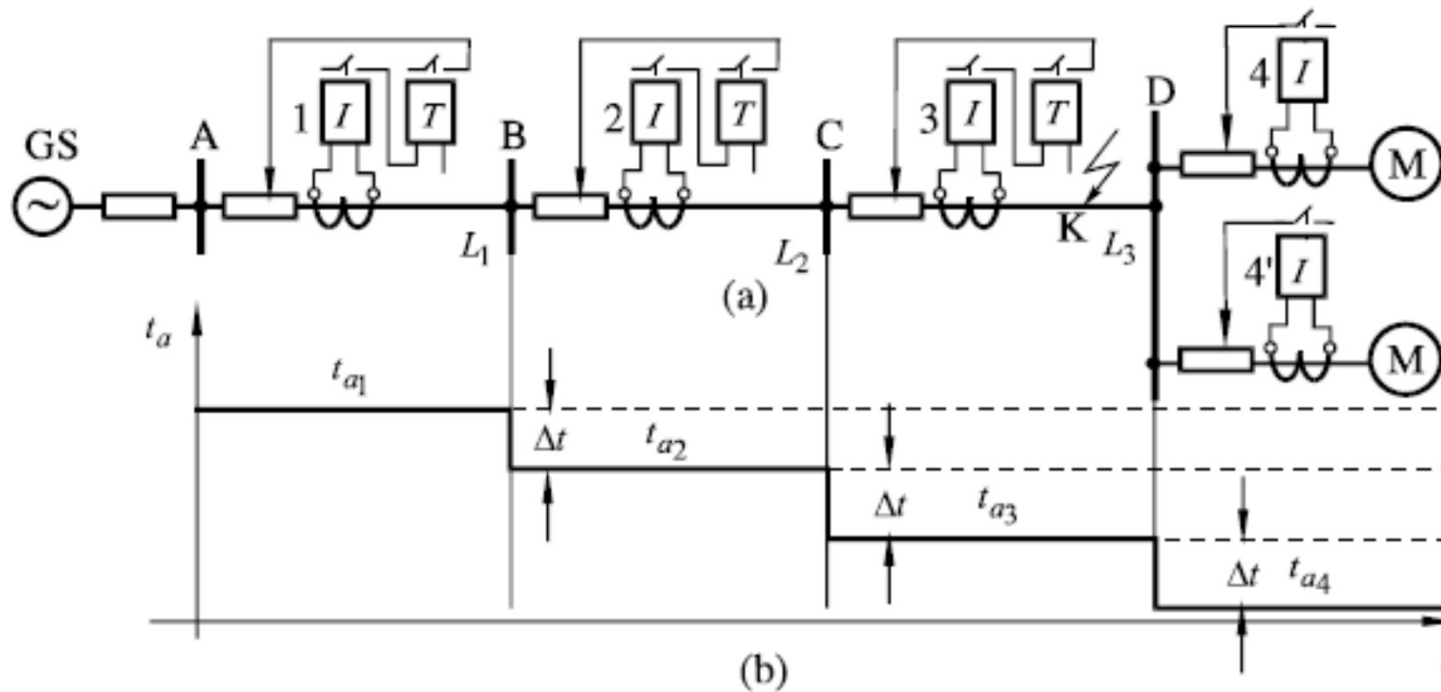
2. PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENȚ TEMPORIZATĂ

2.1 PROTECȚIA MAXIMALĂ CU CARACTERISTICĂ INDEPENDENTĂ

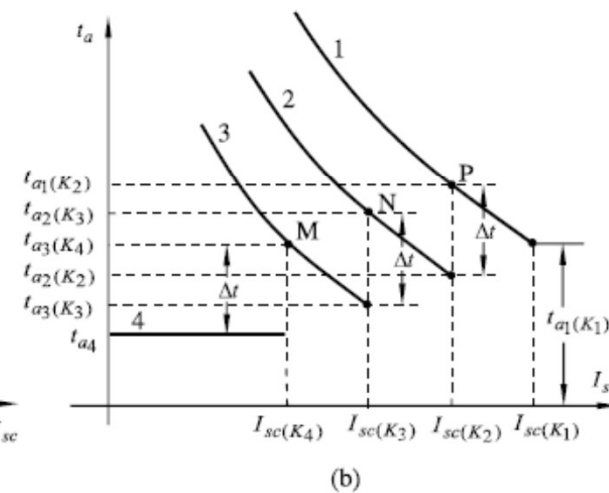
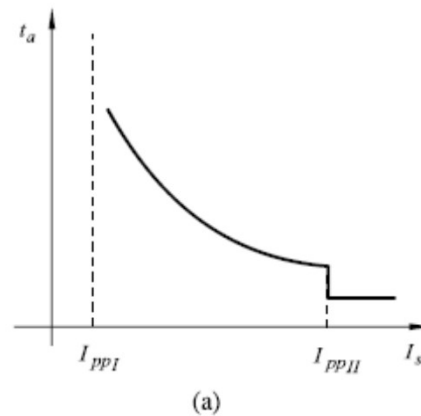
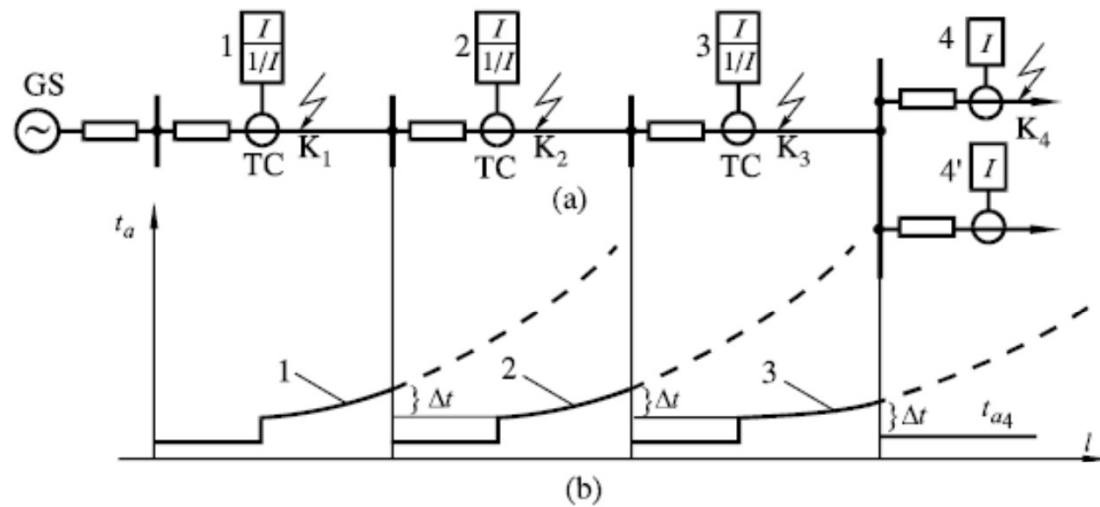
$$I_{pp} = \frac{k_{sig}}{k_{rev}} * I_{s max}$$

$$I_{pr} = k_{sch} * \frac{I_{pp}}{n_{TC}}$$

$$k_{sens} = \frac{I_{sc}}{I_{pp}}$$



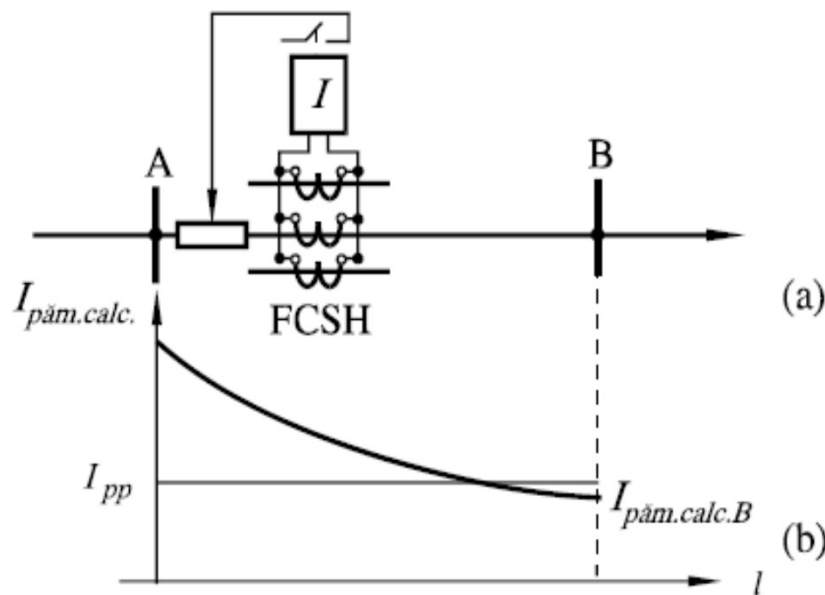
2.2 PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT TEMPORIZATĂ CU CARACTERISTICĂ DEPENDENTĂ



3. PROTECȚIA LINIILOR RADIALE ÎMPOTRIVA DEFECTELOR MONOFAZATE

3.1 Protecția liniilor din rețele cu curenți mari de punere la pământ

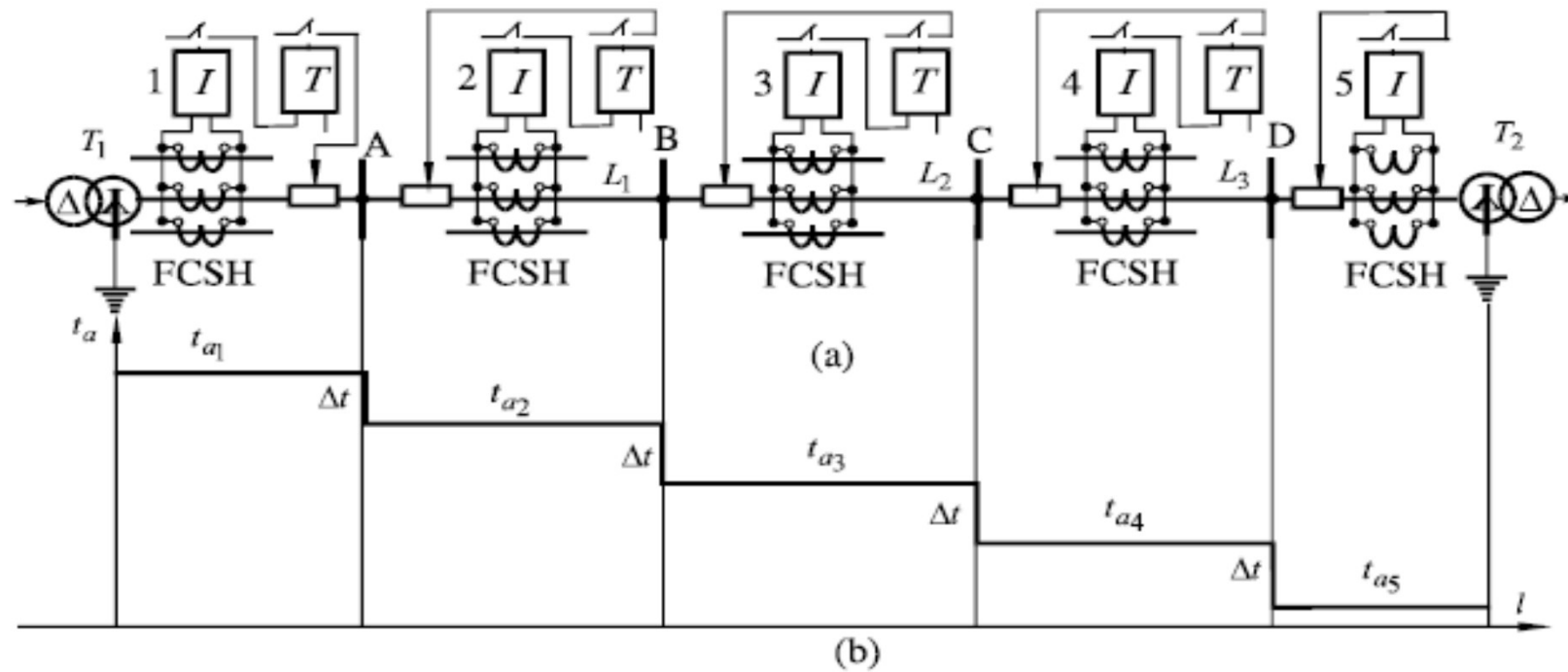
- Datorită legăturii directe a neutrului la pământ, în cazul rețelelor de 110 kV și mai mult, defectele monofazate reprezintă scurtcircuite monofazate, curentul de defect fiind de același ordin de mărime cu cel de scurtcircuit trifazat.



$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{p\grave{a}m.calc.B} = k_{sig} \cdot 3 \cdot I_{0\ calc.B}$$

$$I_{p\grave{a}m.calc.B} = 3I_{0\ calc.B}$$

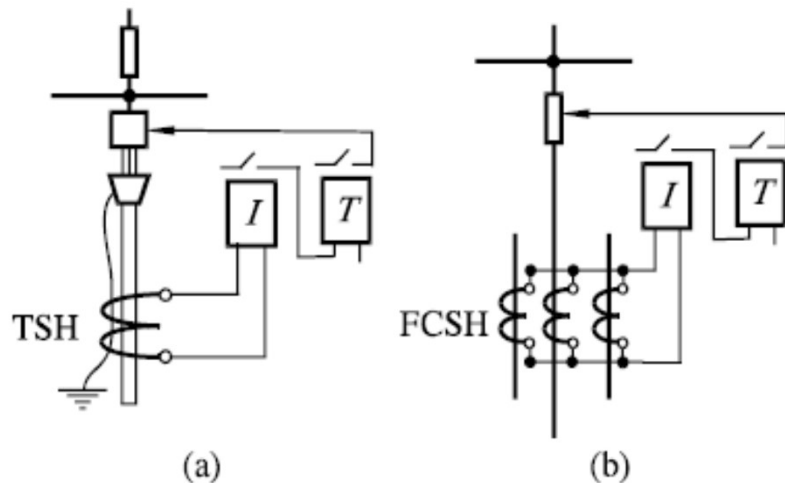
PROTECȚIE MAXIMALĂ DE CURENT HOMOPOLAR TEMPORIZATĂ A UNEI REȚELE RADIALE



PROTECȚIA LINIILOR DIN REȚELE CU CURENȚI MICI DE PUNERE LA PĂMÂNT

- Aceste linii fac parte din rețele de medie tensiune (6...35) kV, care funcționează cu neutrul izolat sau legat la pământ prin bobină de stingere.

Protecția maximală de curent homopolar



$$\text{Pentru LEA: } I_{pam} \cong \frac{U \cdot l}{300 \dots 500} \text{ (A)}$$

$$\text{Pentru LEC: } I_{pam} \cong \frac{U \cdot l}{2 \dots 10} \text{ (A)}$$

$$I_{pp} = k_{sig} \cdot k_{tranz} \cdot I_{cl}$$

$$k_{sens} = \frac{I_{prot h}}{I_{pp}}$$

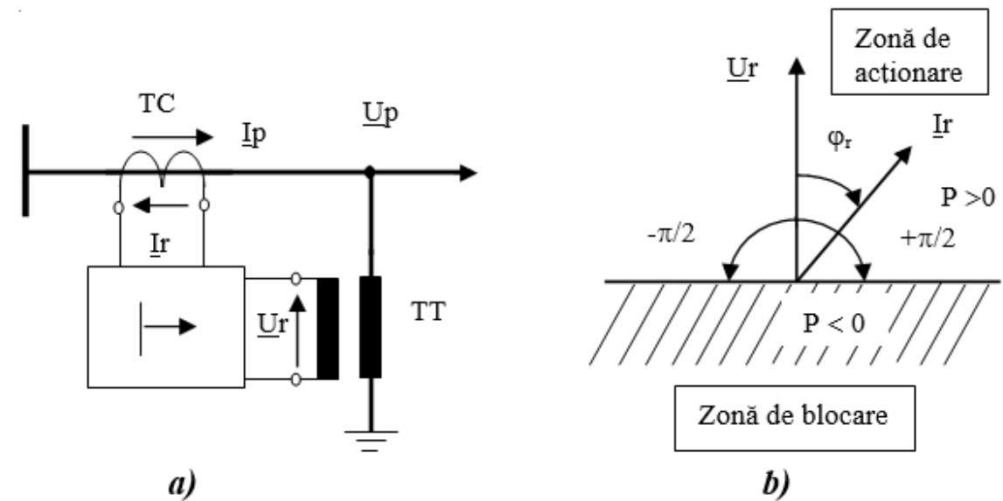
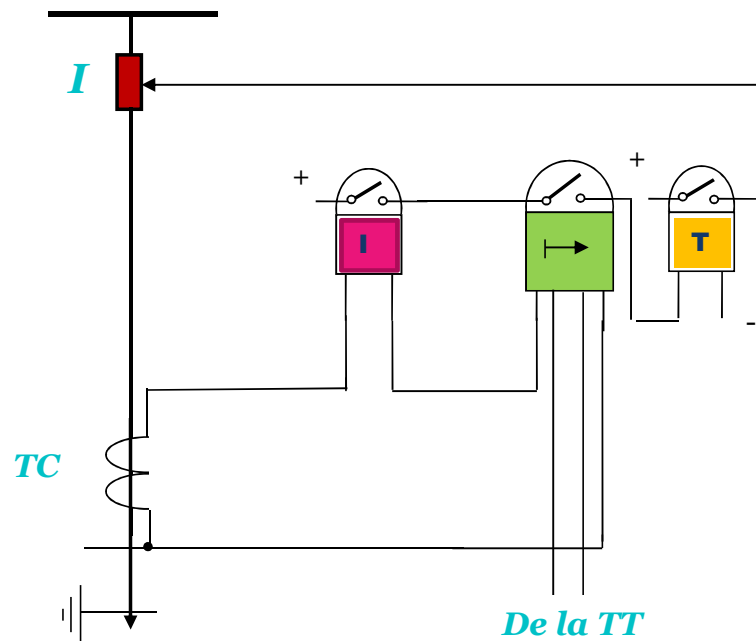
$$I_{prot h} = I_p - I_{cl}$$

$$\text{Protecțiile rapide: } I_{pp} = 4 \cdot I_{cl}$$

$$\text{Protecțiile temporizate } I_{pp} = 2 \cdot I_{cl}$$

PROTECȚIA REȚELELOR CU ALIMENTARE BILATERALĂ

PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT DIRECȚIONALĂ

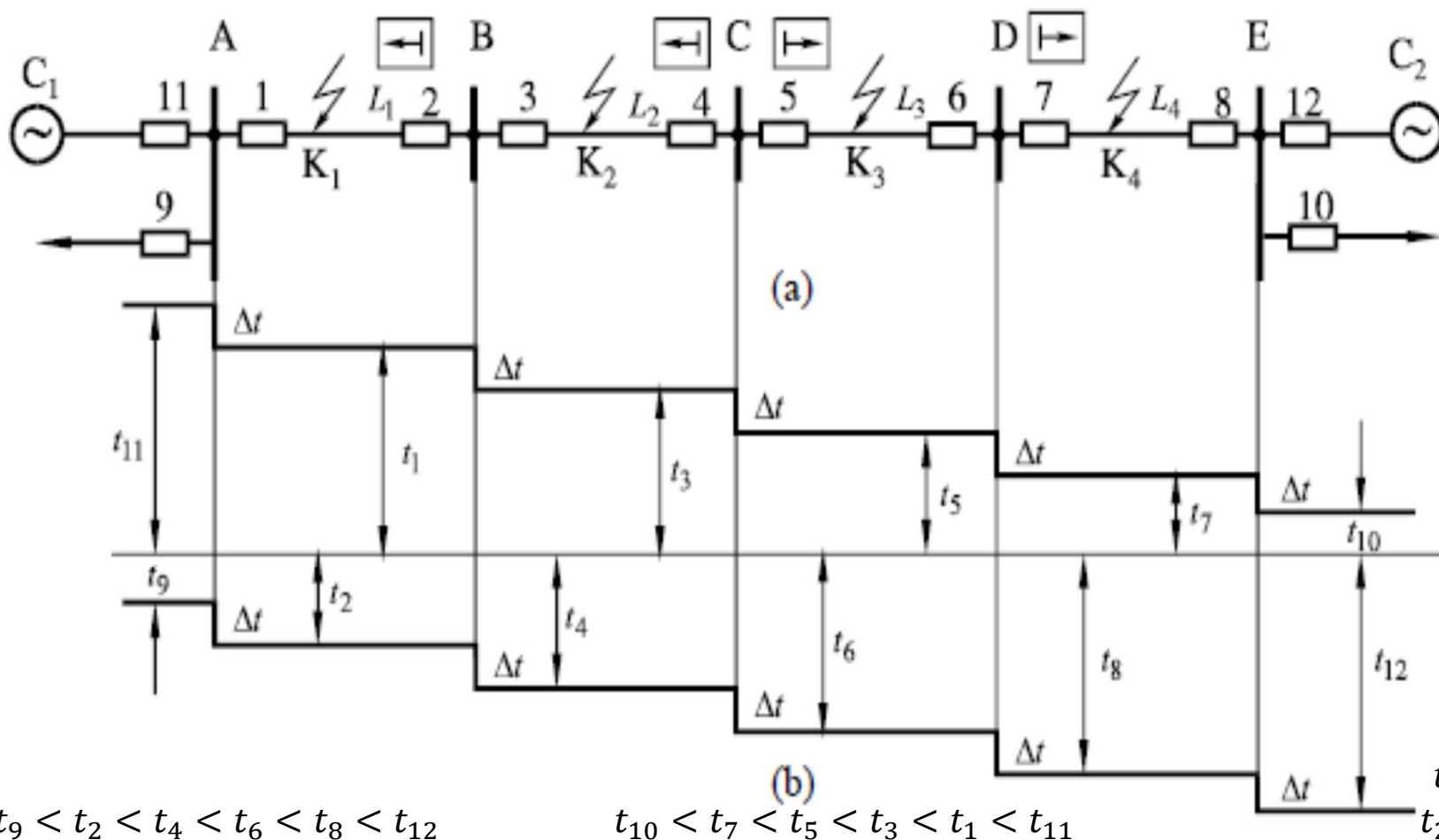


Schema de conectare a) și caracteristica releului direcțional b)

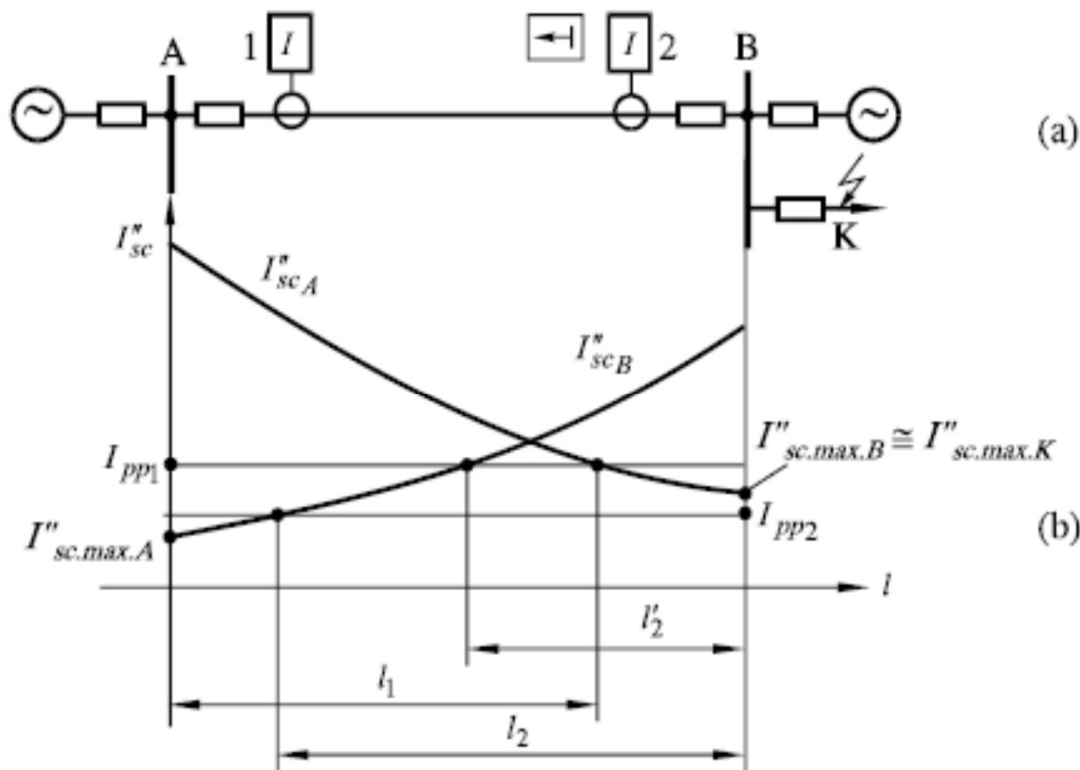
$$M = k U_r I_r \cos (\varphi_r + \alpha)$$

Condiția de acționare a unui releu direcțional este: $U_r I_r \cos (\varphi_r + \alpha) > 0$

PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT DIRECȚIONALĂ ÎMPOTRIVA SCURTCIRCUITELOR POLIFAZATE



SECȚIONAREA DE CURENT A LINIILOR CU ALIMENTARE BILATERALĂ



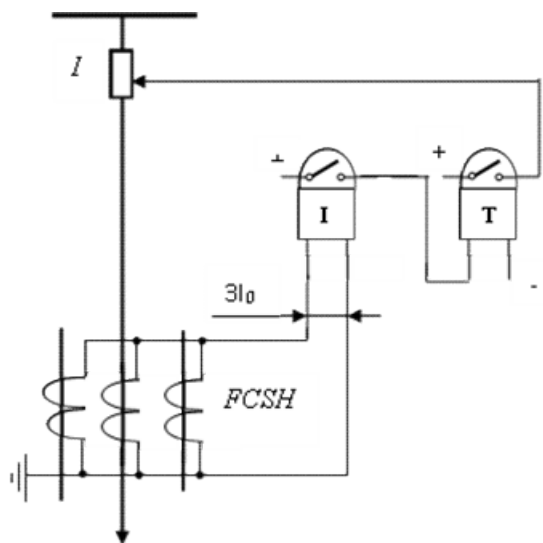
- $I_{pp1} = k_{sig} \cdot I''_{sc.max.B}$
- $I_{pp2} = k_{sig} \cdot I''_{sc.max.A}$
- $I_{pp2} < I''_{sc.max.K} \cong I''_{sc.max.B}$

Evitarea actionarii neselective:

- a. $I_{pp1} = \max(I_{pp1}, I_{pp2})$
- b. Se directioneaza protectia cu I_{pp} mai mic.

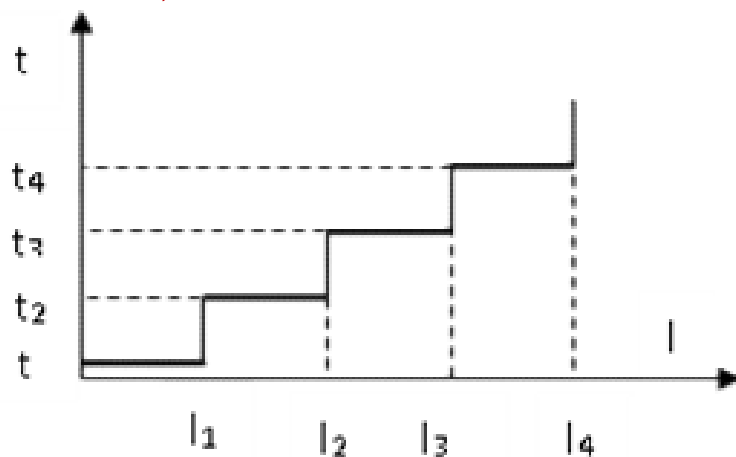
PROTECȚIA LINIILOR CU ALIMENTARE BILATERALĂ ÎMPOTRIVA DEFECTELOR MONOFAZATE

a. Protecția liniilor din rețelele cu curenți mari de punere la pământ

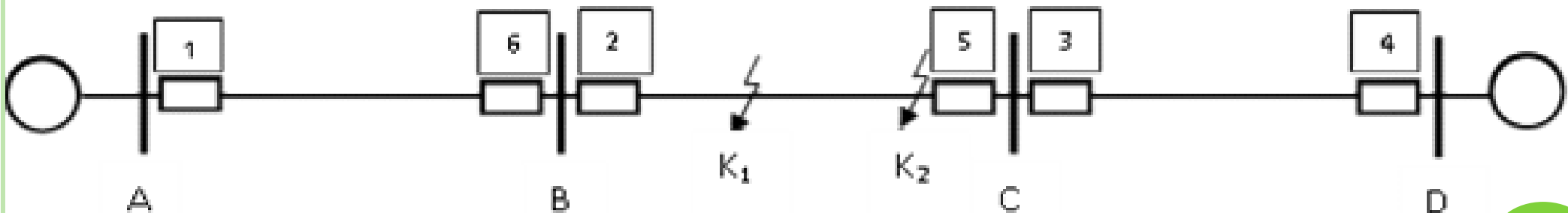


b. Protecția liniilor din rețele cu curenți mici de punere la pământ

PROTECȚIA REȚELELOR COMPLEXE - PROTECȚIA DE DISTANȚĂ



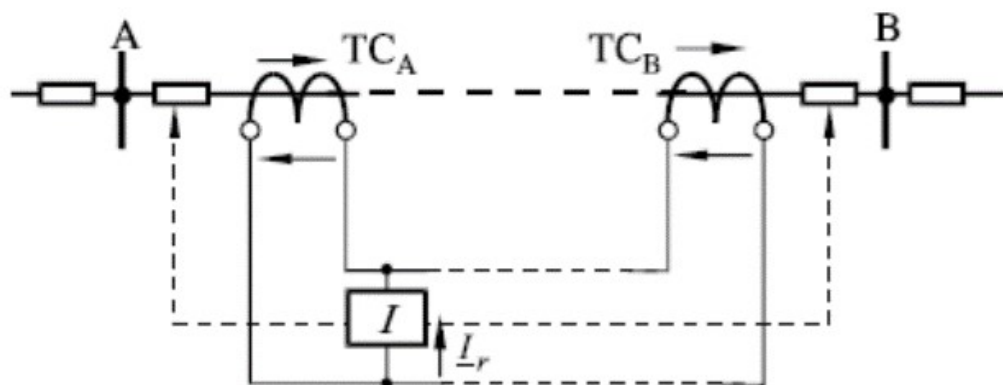
Caracteristica în trepte a unei protecții de distanță



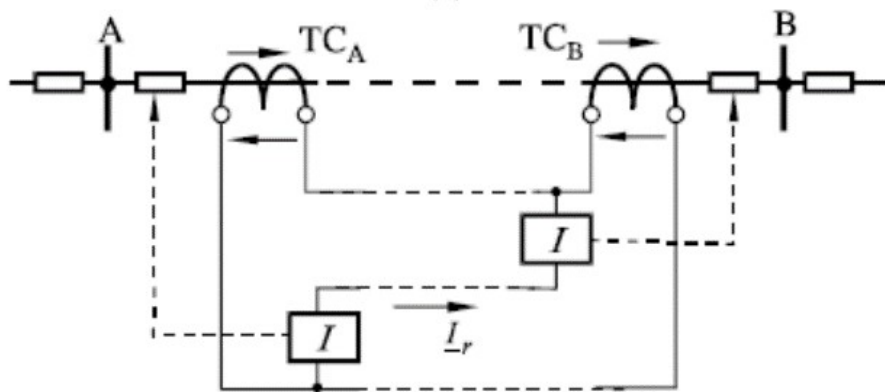


PROTECȚIA LINIILOR ELECTRICE

1. PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ LONGITUDINALĂ CU CIRCULAȚIA CURENȚILOR



Protecția diferențială longitudinală a unei linii electrice, cu doua rele de curent pe fază



Protecția diferențială longitudinală a unei linii electrice, cu doua rele de curent pe fază

OB1

Dezavantaje:

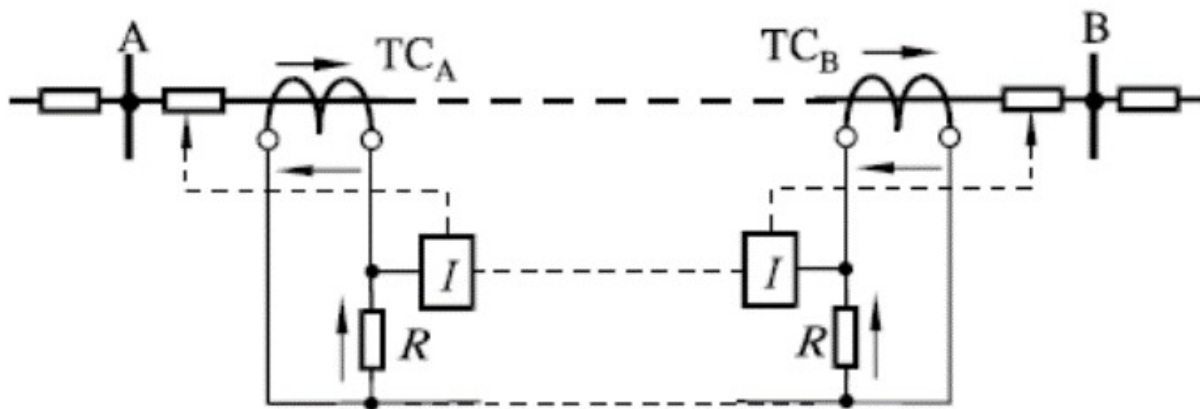
- ■ diferența dintre impedanțele de sarcină ale celor două transformatoare de curent TC_A și TC_B crește o dată cu lungimea liniei
- ■ poate fi depășită impedanța de sarcină maximă admisă în secundarul TC

Slide 2

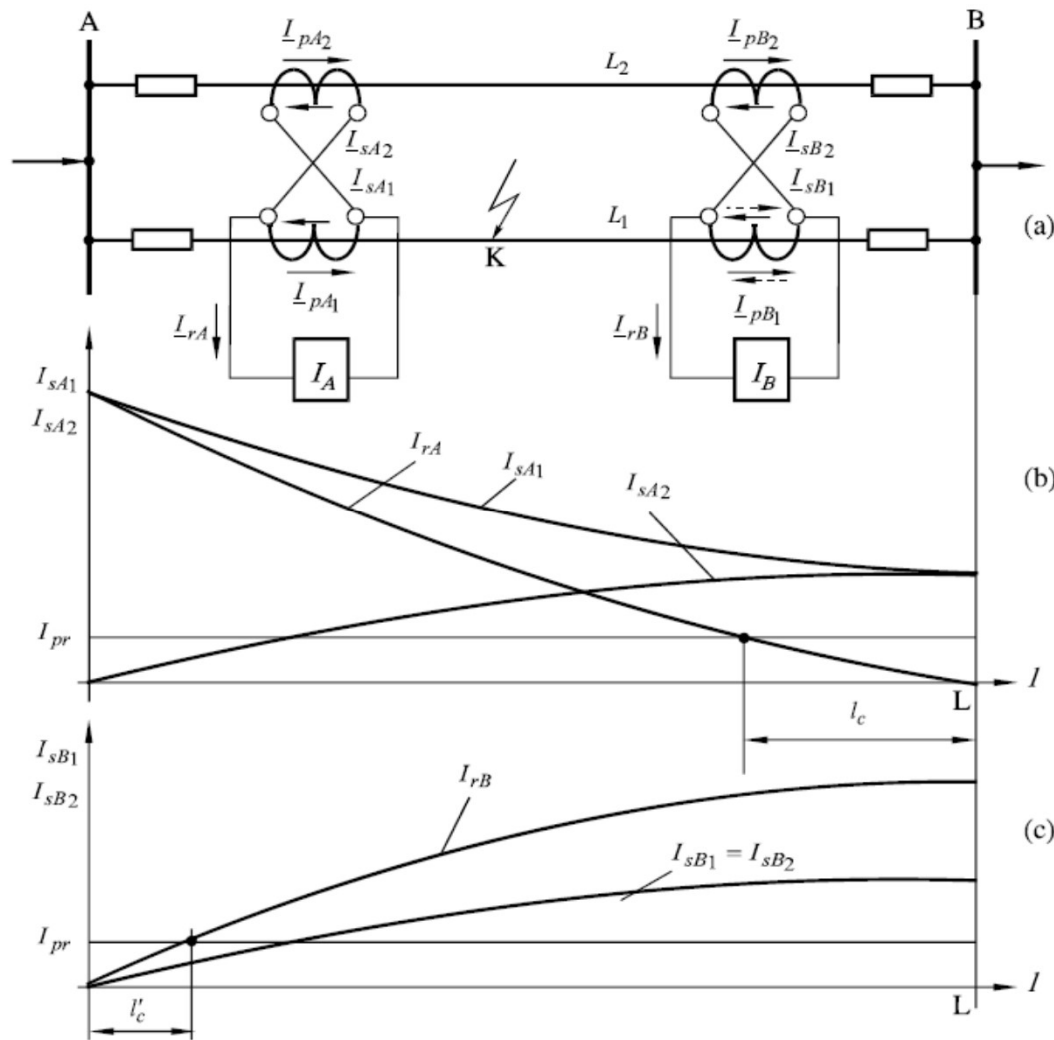
OB1 Oana Beniuga, 19/05/2020

OB2 Oana Beniuga, 19/05/2020

1.2 PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ LONGITUDINALĂ CU ECHILIBRAREA TENSIUNILOR



1.3 PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ TRANSVERSALĂ A LINIILOR PARALELE



$$I_{rA} = I_{sA1} - I_{sA2} = 0; I_{rB} = I_{sB1} - I_{sB2} = 0$$

La un defect intern, în punctul K pe linia L1:

$$I_{pA1} > I_{pA2}; I_{sA1} > I_{sA2}$$

$$I_{rA} = I_{sA1} - I_{sA2} \neq 0$$

Pentru protecția de la extremitatea B:

$$I_{sB1} = -I_{sB2}$$

$$I_{rB} = I_{sB1} - I_{sB2}; I_{rB} = 2 * I_{sB1}$$

Curentul de pornire al protecției se determină din următoarele două condiții:

✓ desensibilizarea în raport cu curentul de dezechilibru

○ $I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{dez.max.calc.}$

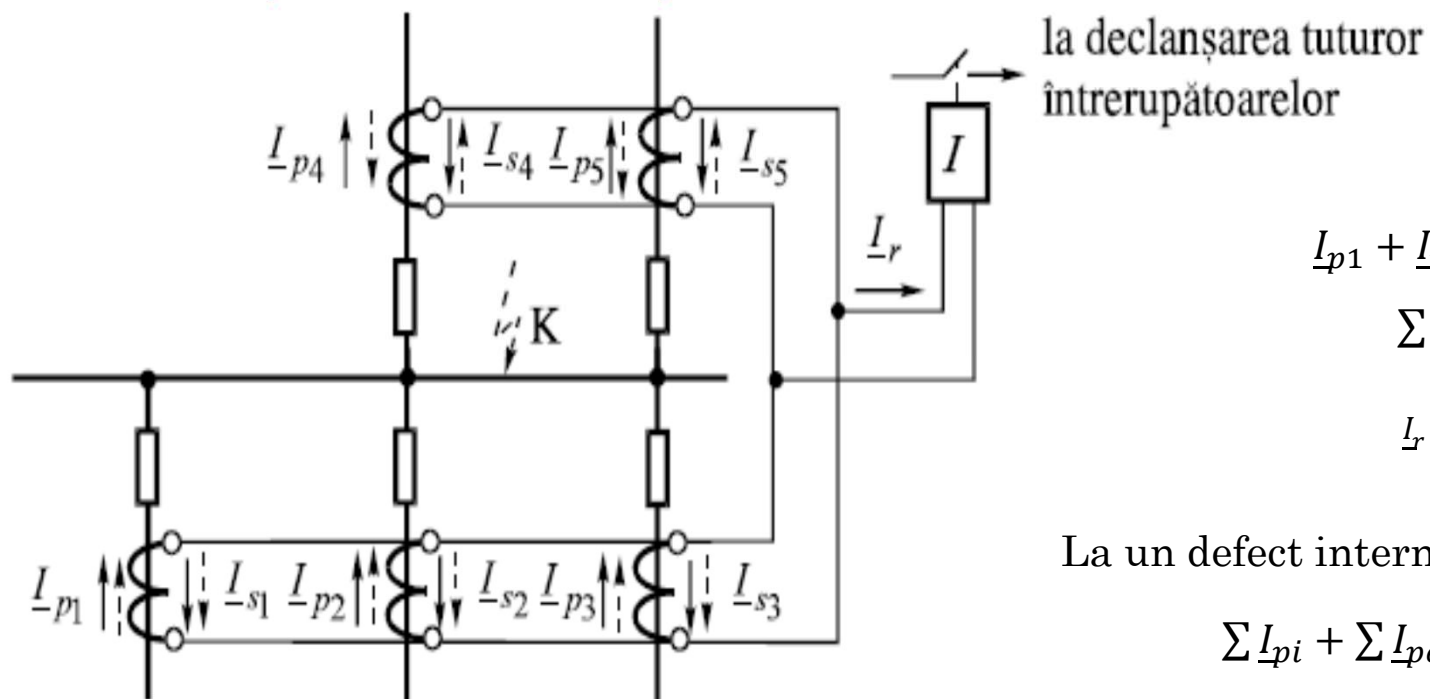
○ $I_{dez.max.calc.} = 0,1 \cdot \frac{1}{2} \cdot I_{sc.max.ext.}''$

✓ evitarea acționării greșite a protecției

○ $I_{pp} = \frac{k_{sig}}{k_{rev}} \cdot I_{sarc.max.}$

PROTECȚIA BARELOR COLECTOARE

PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ A BARELOR COLECTOARE



$$I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} = I_{p4} + I_{p5}$$

$$\sum I_{pi} - \sum I_{pe} = 0$$

$$I_r = \sum I_{si} - \sum I_{se} = 0$$

La un defect intern, în punctul K:

$$\sum I_{pi} + \sum I_{pe} = I_{sc.K}$$

$$I_r = \sum I_{si} + \sum I_{se} = I'_{sc.K}$$

■ desensibilizarea în raport cu curentul de dezechilibru maxim calculat

$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{dez.max.calc.}$$

$$I_{dez.max.calc.} = (k_{id} \cdot k_{aper} \cdot f_i + f_{eg}) \cdot I''_{sc.max.ext.}$$

■ excluderea acționărilor greșite la întreruperi în circuitele secundare ale transformatoarelor de curent

$$I_{pp} = k_{sig} \cdot I_{sarc.max.}$$