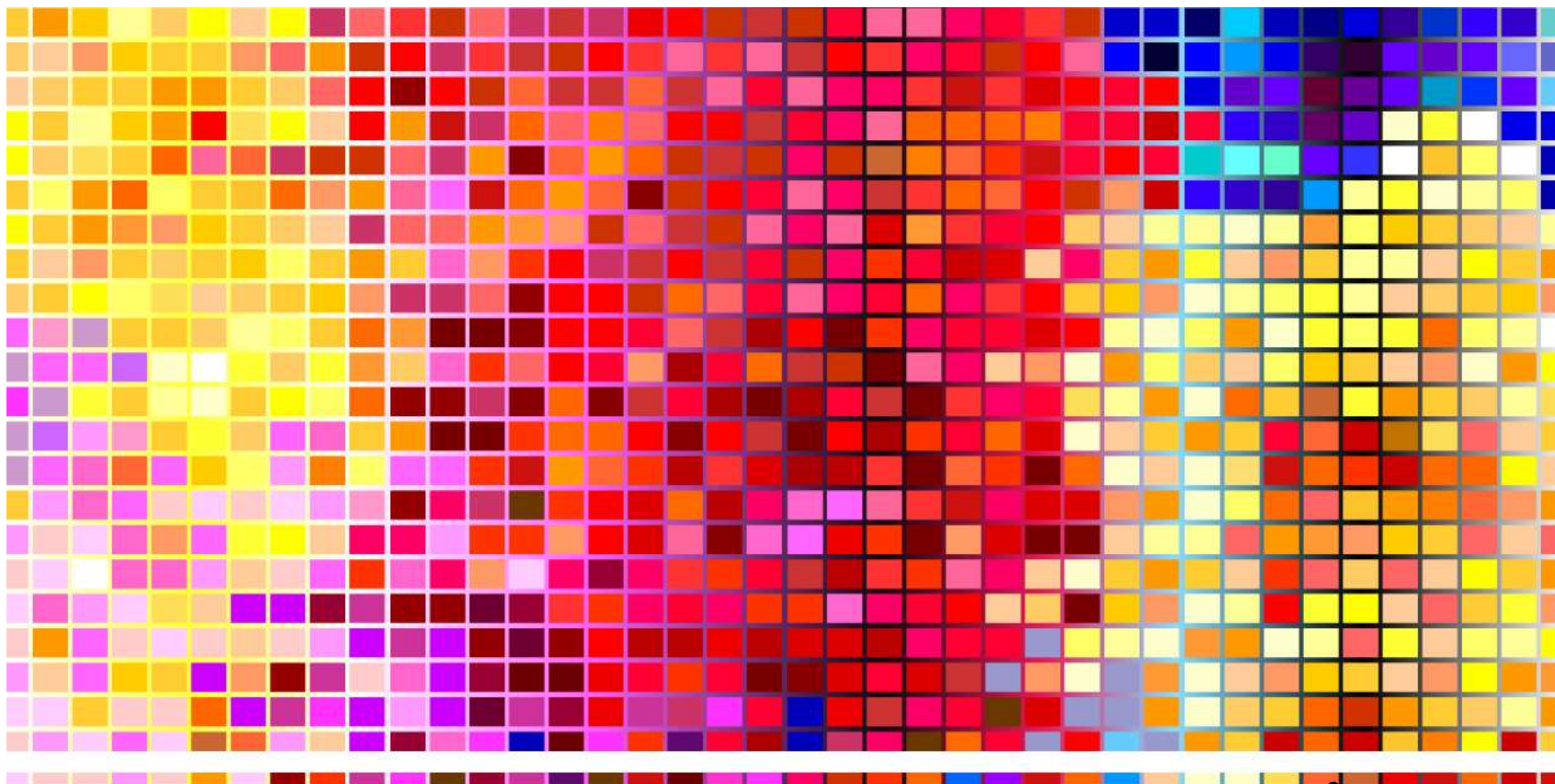




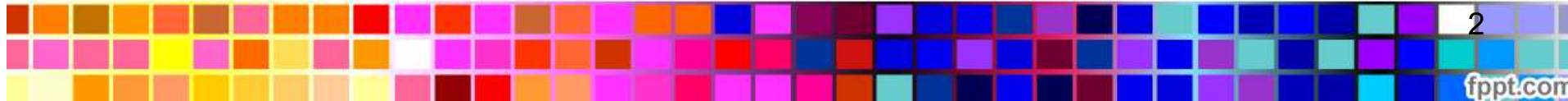
Automatizarea sistemelor electroenergetice

Şef lucrări dr.ing. Oana Beniugă

NOTE DE CURS

Definirea și obiectivele automatizării

- Prin *AUTOMATIZAREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE* se înțelege aplicarea principiilor și metodelor automaticii în conducerea și exploatarea acestora.
- În cadrul automatizării o importanță mare o are reglarea automată, care urmărește asigurarea în exploatare a valorilor optime pentru diferite mărimi (tensiune, frecvență, turație etc.).



Sistemul electroenergetic

- Sistemul electroenergetic (SEE) este format din elemente trifazate care asigură producerea, transportul, transformarea, distribuția și alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.
- Protecția prin releee este una din principalele forme ale automatizării sistemelor electroenergetice având drept scop principal detectarea avariei și deconectarea elementului avariat în vederea evitării extinderii avariei și a revenirii cât mai rapide la regimul normal de funcționare pentru restul sistemului.



Cerințe impuse în funcționarea SEE

□ Continuitatea în alimentarea cu energie electrică

Satisfacerea acestei cerințe înseamnă a asigura alimentarea practic fără întrerupere sau la un nivel de întrerupere admis a consumatorilor.

Un SEE trebuie astfel proiectat încât să fie puțin probabil ca un consumator să fie lăsat fără alimentare.

Asigurarea continuității în alimentarea cu energie electrică este în mare parte o problemă de configurație a rețelelor electrice și de siguranță în funcționare a elementelor de sistem, adaptate cerințelor și consumatorilor deserviți.



□ Calitatea energiei electrice

Nivelul de calitate al energiei electrice este apreciat prin intermediul unor indicatori specializați în funcție de respectarea condițiilor referitoare la caracteristicile unde de tensiune. Există următoarele perturbații care afectează calitatea energiei electrice:

- ✓ Variațiile de frecvență
- ✓ Variațiile amplitudinii unde de tensiune
- ✓ Modificarea formei de undă a tensiunii
- ✓ Nesimetria sistemului trifazat



a. Variațiile de frecvență.

În regim normal de funcționare, variațiile de frecvență sunt datorate reglajului realizat la nivelul SEN ce nu poate fi influențat prin acțiuni locale.

b. Variațiile amplitudinii unde de tensiune.

Calitatea energiei electrice la bornele consumatorului este admisibilă, din punct de vedere al tensiunii, dacă tensiunea la bornele consumatorului:

$$U = U_{\text{nom}} \pm \Delta U_{\text{adm}} \text{ (V)}$$



c. Modificarea forme de undă a tensiunii.

Regimul de funcționare al SEE în care undele de tensiune și de curent sunt periodice iar cel puțin una dintre ele este nesinusoidală se numește regim deformant.

Curbele nesinusoidale de tensiune și curent conțin, pe lângă oscilația fundamentală o serie de oscilații parazite numite armonici superioare sau inferioare.

Regimul deformant este produs de elemente deformante - redresoare, transformatoare, alte elemente neliniare - fiind apoi propagat și amplificat prin rețelele electrice de transport și distribuție. Cerința de puritate a undei de tensiune presupune lipsa armonicilor de tensiune sau limitarea acestora la un nivel redus.



- d. Nesimetria sistemului trifazat.

Funcționarea SEE în regim nesimetric este provocată de gradul de încărcare inegal al celor trei faze ale sistemului.

Neîndeplinirea condițiilor de simetrie a sistemului trifazat de tensiuni sau existența unei rețele dezechilibrate conduce la regimuri nesimetrice.



Protecțiile prin relee

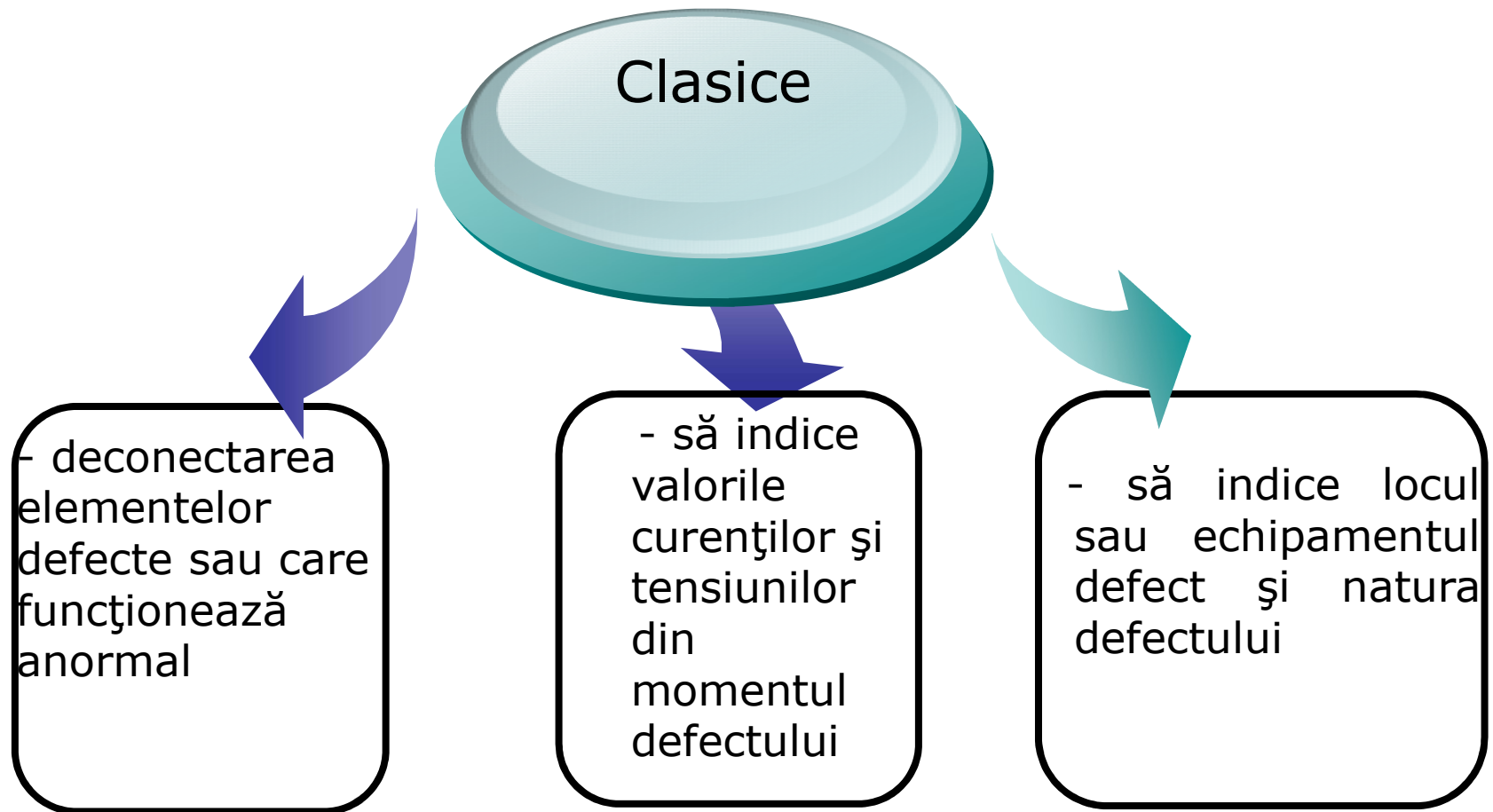
- ✓ Protecția prin relee este formată din ansamblul aparatelor și dispozitivelor destinate să comande automat deconectarea instalației electrice protejate în cazul apariției unui defect sau a unui regim anormal periculos și/sau să semnalizeze apariția regimului respectiv



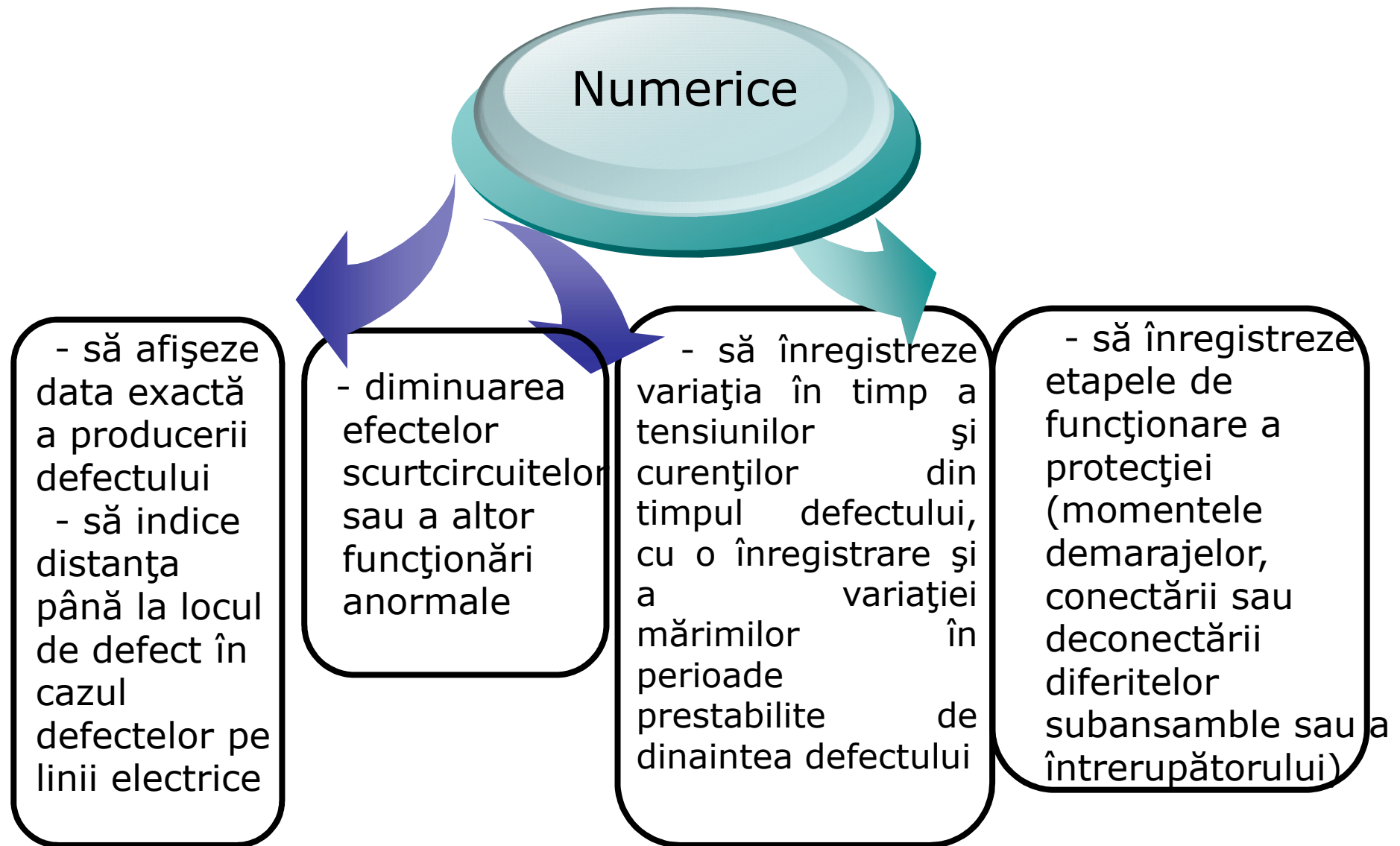
- Sistemele de protecție sunt ansamble de dispozitive automate simple sau complexe, realizate de regulă cu relee de comutație dinamică sau statică, sau cu sisteme de calcul, instalate pe echipamentele sistemelor energetice (SE), cum sunt generatoare, transformatoare, bare colectoare, linii etc., cu rolul de a supraveghea funcționarea acestora.



Funcțiile protecției prin relee:



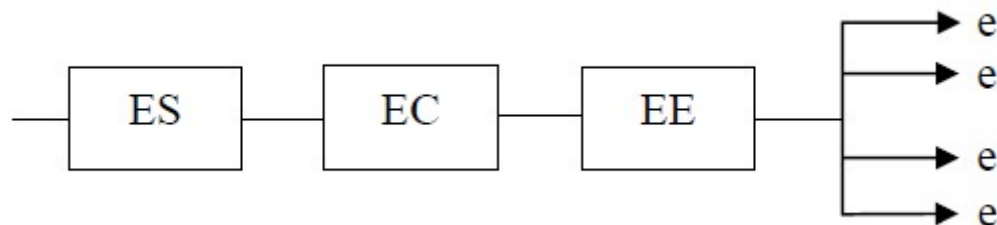
Funcțiile protecției prin relee:



Obiectivele separării automate a echipamentului defect

- Să împiedice dezvoltarea defectului, respectiv extinderea efectelor acestuia asupra altor instalații din SE și eventuala transformare a acestuia într-o avarie de sistem; în timpul scurtcircuitelor, datorită scăderilor de tensiune și a descărcării generatoarelor sincrone (GS) de putere activă poate fi perturbată stabilitatea în funcționare a GS și a centralelor care funcționează în paralel, cu toate consecințele tehnice și economice asupra SE și a consumatorilor.
- Să restabilească un regim normal de funcționare pentru restul SE, asigurând continuitatea în alimentare a consumatorilor în condiții cât mai bune.
- Să limiteze deteriorarea prin efectele termice și electrodinamice ale curenților de scurtcircuit a elementelor în care s-a produs defectul. Aceste deteriorări pot avea consecințe economice deosebit de grave datorită costului ridicat al echipamentelor SE actuale, în special al generatoarelor și compensatoarelor sincrone și al transformatoarelor și autotransformatoarelor.

Părțile componente ale unui releu:

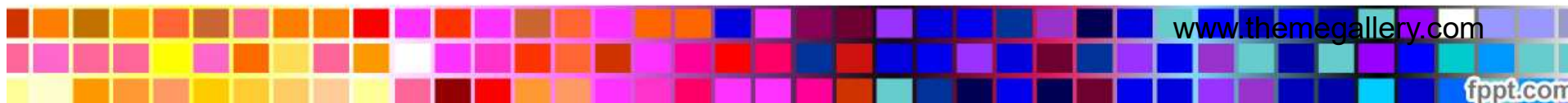


ES – elementul sensibil sau elementul de intrare;

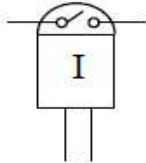
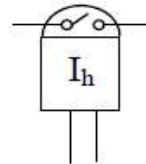
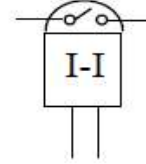
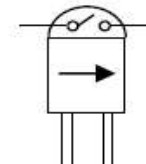
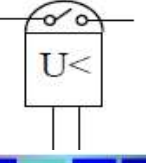
EC – elementul de comparație sau elementul de prelucrare logică a informației și de decizie;

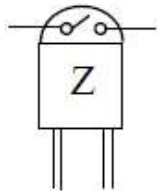
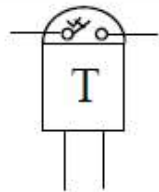
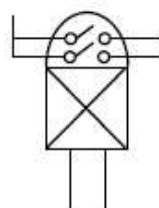
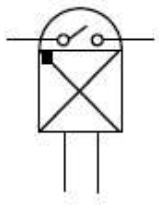
EE – elementul de execuție sau elementul de ieșire.

Releele electrice sunt aparate automate care sub acțiunea unui parametru electric de intrare produc variația bruscă (în salt) a parametrului de ieșire, la o anumită valoare a parametrului de intrare.

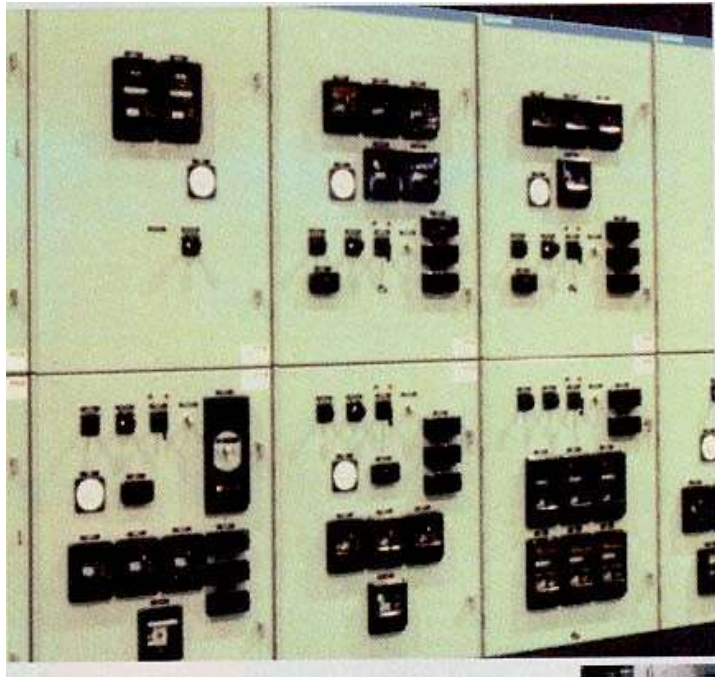


Simbolizarea tipurilor de releee:

Tipul releului	Simbol
Releu maximal de curent	
Releu maximal de curent homopolar	
Releu diferențial de curent	
Releu direcțional de putere	
Releu minimal de tensiune	

Releu de distanță de impedanță	
Releu de timp	
Releu intermediar	
Releu de semnalizare	

Evoluția releelor de protecție



**Dulapuri clasice cu relee analogice si
elemente de comanda
traditionale**



**Dulapuri moderne de
protectie, cu relee numerice
multifunctionale**



Parametrii principali ai releelor:

- *Curentul și tensiunea nominală* = valorile curentului și tensiunii pe care bobinele releului le pot suporta, în bune condiții, un timp oricât de îndelungat.
- *Valoarea de pornire (de acționare sau de lucru)* = acea valoare limită a parametrului controlat de releu, la care, în cazul releelor cu elemente mobile și contacte, sistemul mobil al releului se pune în mișcare și închide, respectiv deschide contactele sale (în funcție de tipul releului: cu contacte normal deschise, respectiv normal închise). În cazul releelor cu tranzistoare, care nu au elemente mobile, valoarea de pornire este valoarea parametrului controlat la care releul comandă variația în salt a mărimii din circuitul de ieșire.



- *Valoarea de revenire* = acea valoare limită a parametrului controlat de releu la care sistemul mobil al releului începe să se deplaseze în sensul invers celui de acționare și continuă această deplasare până la poziția inițială de repaus. La releele cu comutație statică, valoarea de revenire, reprezintă valoarea parametrului controlat la care releul comandă variația în sens invers (în raport cu variația din momentul acționării la mărimi din circuitul de ieșire).
- *Factorul de revenire (k_{rev})* = raportul dintre valoarea de revenire și valoarea de pornire. Cu cât k_{rev} este mai apropiat de 1, cu atât releul este de calitate mai bună. La releele maximale, factorul de revenire este < 1 ($k_{rev} = 0,75 \dots 0,95$), iar la releele minimale, factorul de revenire este supraunitar ($k_{rev} > 1$) ($k_{rev} = 1,05 \dots 1,2$).



Calitățile unui releu performant

1

SIGURANȚA ÎN FUNCȚIONARE =
acea calitate a
releului care
asigură
funcționarea
acestuia în toate
condițiile pentru
care a fost prevăzut
să funcționeze,
neexistând deci nici
refuzuzi în
funcționare în caz
de defect în
instalație, dar nici
acționări false ale
releului, în absența
unui defect.

2

**CONSUM MIC DE
ENERGIE** = calitate
care pe lângă aspectul
economic al
consumului redus,
conduce și la
reducerea spațiului
aferent
transformatoarelor de
măsură.

3

**FIDELITATE ȘI
PRECIZIE** =
urmărește ca
dispersia pragului
de funcționare să
fie mai mică la
solicitări de
același mod și în
aceleași condiții
ale mediului
ambiant.

4

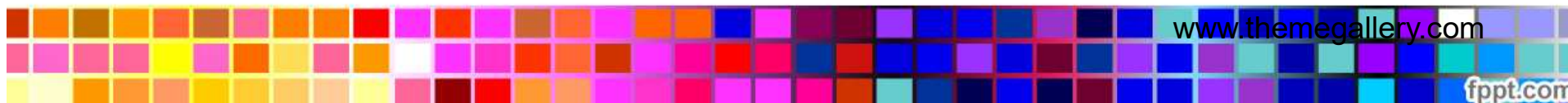
**RAPIDITATE ÎN
FUNCȚIONARE** = calitate
necesară, având în vedere
că o deconectare rapidă a
elementelor defecte prezintă
o serie de avantaje
cunoscute.

SENSIBILITATEA RELEULUI
= aceea calitate care asigură
intrarea în funcțiune a
releului la cea mai mică
modificare a parametrului
controlat.



Obiectivele separării automate a echipamentului defect

- Să împiedice dezvoltarea defectului, respectiv extinderea efectelor acestuia asupra altor instalații din SE și eventuala transformare a acestuia într-o avarie de sistem; în timpul scurtcircuitelor, datorită scăderilor de tensiune și a descărcării generatoarelor sincrone (GS) de putere activă poate fi perturbată stabilitatea în funcționare a GS și a centralelor care funcționează în paralel, cu toate consecințele tehnice și economice asupra SE și a consumatorilor.
- b. Să restabilească un regim normal de funcționare pentru restul SE, asigurând continuitatea în alimentare a consumatorilor în condiții cât mai bune.
- c. Să limiteze deteriorarea prin efectele termice și electrodinamice ale curenților de scurtcircuit a elementelor în care s-a produs defectul. Aceste deteriorări pot avea consecințe economice deosebit de grave datorită costului ridicat al echipamentelor SE actuale, în special al generatoarelor și compensatoarelor sincrone și al transformatoarelor și autotransformatoarelor.

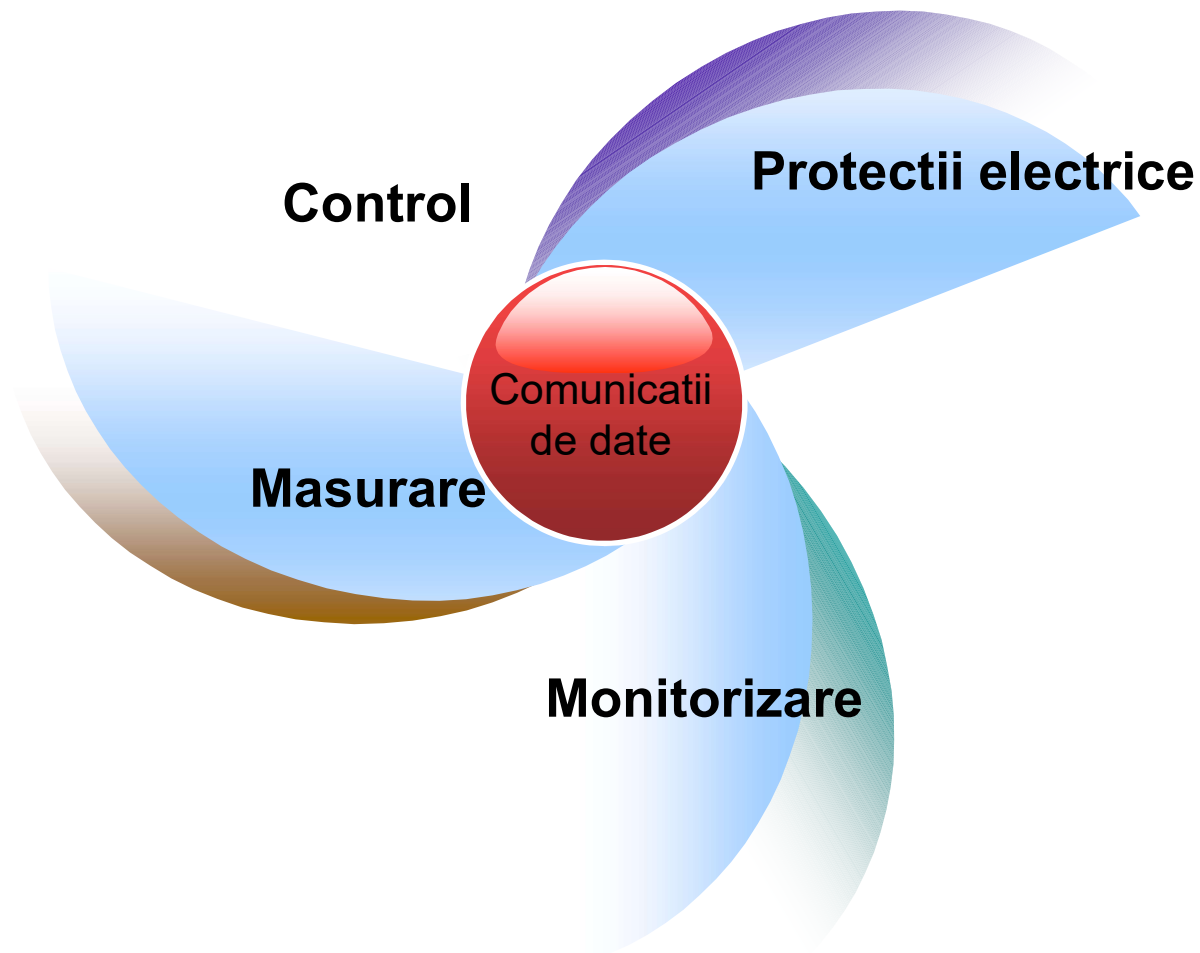


Beneficiile automatizarii SE

- ☐ Furnizarea unor servicii de calitate
- ☐ Reducerea fortei de munca necesare
- ☐ Fiabilitate crescuta a sistemului
- ☐ Intretinere si costuri de exploatare reduce
- ☐ Optiuni de facturare flexible
- ☐ In eventualitatea unui defect, reducerea timpului de intrerupere a serviciilor la client
- ☐ Posibilitatea utilizarii informatiilor stocate pentru elaborarea unor planificari, statistice, rapoarte



Structura sistemului de automatizare al SE



□ Protectia electrica

Este cel mai important concept din ASE utilizat pentru protectia echipamentelor si a personalului si pentru limitarea daunelor in cazul aparitiei unui defect.

Este o functie locala si, daca este necesar, are capabilitatea de a functiona independent de schema de automatizare.



□ Control

Aplicatiile de control permit controlul local sau de la distanta.

Controlul local consta in actiuni pe care dispozitivul de comanda le poate lua in mod logic (secvente de comutare, verificarea sincronizarii, blocare)

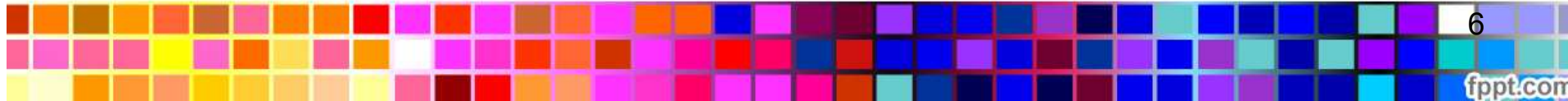
Functiile de control de la distanta permit comanda echipamentelor (deschiderea/inchiderea intrerupatoarelor, setarea parametrilor releelor).



❑ Măsurare

Aceasta functie permite colectarea si afisarea in timp real in centrul de control a informatiilor privind un echipament sau o substatie.

Informatiile pot fi stocate in baze de date si utilizate pentru procesari ulterioare sau realizarea unor studii de retea: planificari, prevenirea perturbatiilor in reseaua electrica, analiza fluxului de incarcare.



❑ Monitorizarea

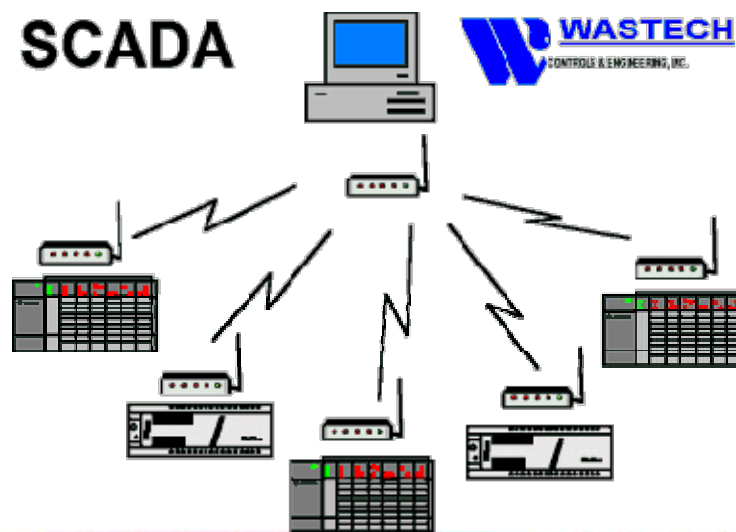
Este un termen specific mentenantei in ASE. Pot fi monitorizate:

- secvente de inregistrari
- starea sistemului
- parametrii releelor

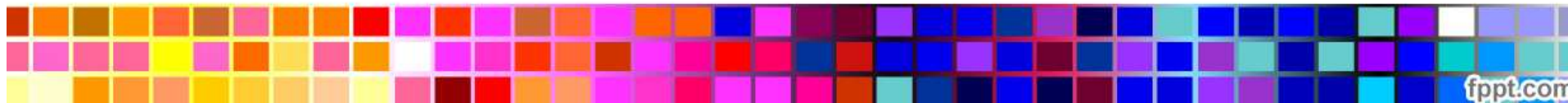
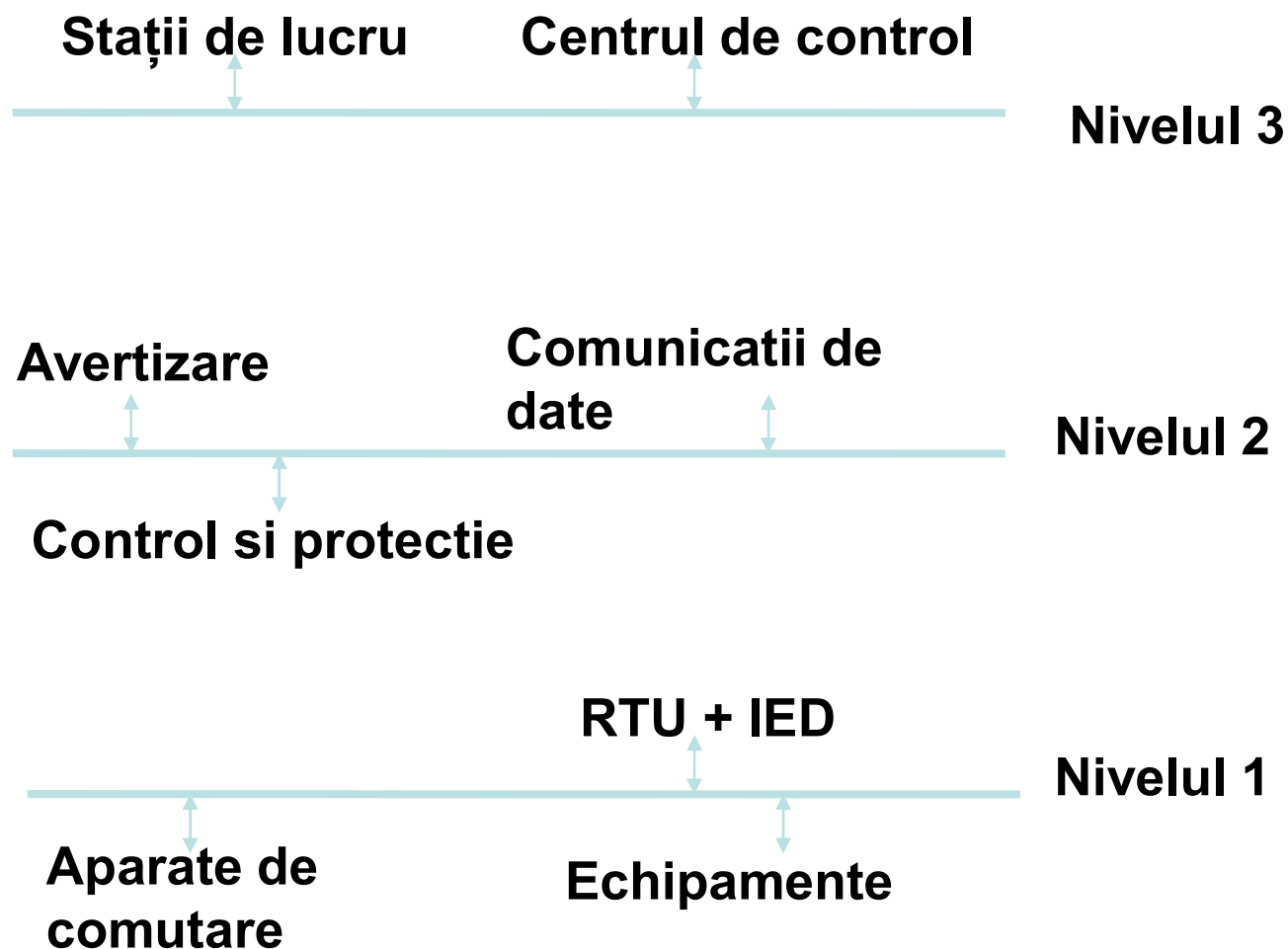


❑ Comunicatia de date

Fara comunicatie de date, functiile de protectie pot fi actionate individual, dar nu mai poate fi vorba de un sistem energetic automatizat.



Arhitectura unui sistem energetic automatizat



Indicatori de calitate (en.el. furnizată)

- I. Menținerea cât mai constantă a frecvenței în rețea
- II. Menținerea cât mai constantă a tensiunii în nodurile rețelei
- III. Continuitatea și siguranța în furnizarea energiei electrice la parametri nominali



Reglarea automată a tensiunii în SE

- ❖ Pentru a asigura o repartiție de putere convenabilă consumatorilor, concomitent cu o producție rațională a energiei electrice este absolut necesar ca tensiunea la consumatori, deci și la nodurile generatoare ale sistemului energetic (SE), să fie cât mai constantă posibil.
- ❖ În funcționarea normală a unui SE se produc însă, permanent variații ale sarcinilor active și reactive, care determină variații de tensiune la barele consumatorilor de energie electrică, cât și în nodurile de distribuție sau generatoare.
- ❖ Deranjamentele din rețelele electroenergetice sunt de asemenea însoțite de variații importante ale tensiunii.
- ❖ Obiectul RAT este deci menținerea constantă sau, cel puțin, între valori limită prestabilite, a tensiunii în nodurile generatoare (și implicit la consumatori), independent, sau slab dependent de perturbații (variațiile sarcinii active).



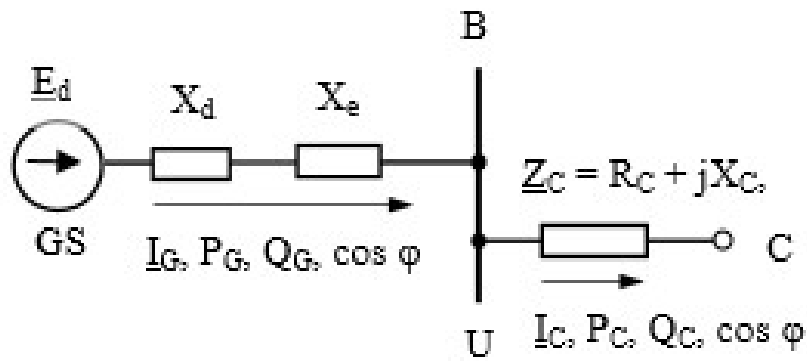
Metode de reglare automată a tensiunii (RAT) și puterii reactive

- Prin reglarea automată a excitației mașinilor sincrone din SE
- Prin reglarea automată a raportului de transformare al transformatoarelor
- Prin reglarea automată a capacității bateriilor de condensatoare prevăzute pentru compensarea puterii reactive și reglarea tensiunii.



Necesitatea RAT

Se consideră schema echivalentă a unui generator sincron (GS) care debitează pe sistemul de bare B la care este conectat consumatorul C:



X_d - reactanța sincronă longitudinală a GS;

X_e - reactanța elementelor dintre generator și bare;

$\underline{Z}_C = R_C + jX_C$ - impedanța consumatorului C;

$\underline{E}_d$ - t.e.m. efectivă pe fază a GS;

$\underline{U}$ - tensiunea efectivă pe fază a GS;

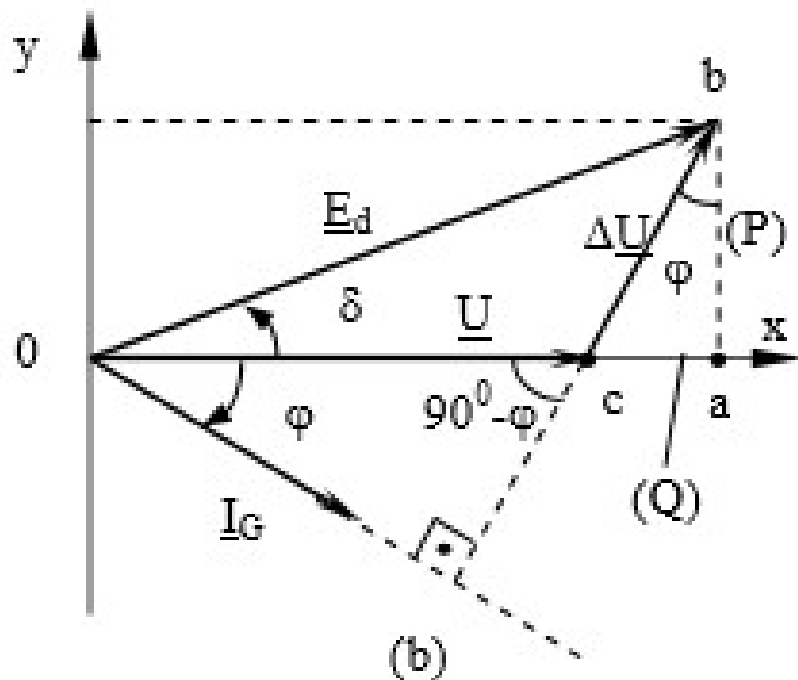
δ - unghiul electric intern al GS (defazajul dintre $\underline{U}$ și $\underline{E}_d$);

$\underline{I}_G$ - valoarea efectivă a curentului debitat de GS;

P_G, Q_G - puterea activă, respectiv reactivă debitate de GS;

P_C, Q_C - puterea activă, respectiv reactivă consumate de C;

$\cos \varphi$ - factorul de putere, presupus identic la GS și C.



Din diagrama fazoriala:

$$\underline{E}_d = \underline{U} + \Delta \underline{U} \quad (1)$$

$$\Delta \underline{U} = j (X_d + X_e) * I_G \quad (2)$$

$$X_d + X_e = X \quad (3)$$

Din proiectia relatiei (1) pe 0x si 0y:

$$E_d \cos \delta = U + X * I_G \cos (90^\circ - \varphi), \quad (4)$$

$$E_d \sin \delta = X * I_G \cos \varphi, \quad (5)$$

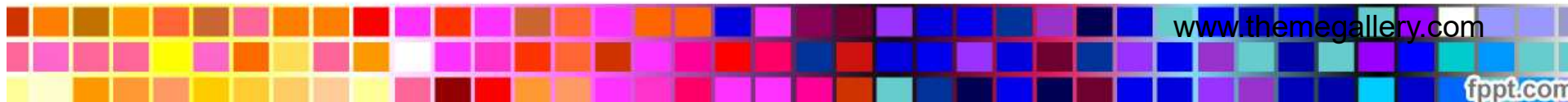
$I_G \cos(90^\circ - \varphi) = I_G \sin \varphi = I_{Gr}$ — componenta reactivă a curentului generat

Din ec.(5) rezulta:

$$I_G = \frac{E_d \sin \delta}{X \cos \varphi}$$

$$P_G = U I_G \cos \varphi$$

$$Q_G = U I_G \sin \varphi$$



Metode de reglare automata a tensiunii

$$U = E_d \cos \delta - X^* I_{Gr} \quad (2) \quad \text{Daca } X_e = 0, \text{ atunci } X = X_d \text{ iar } U = U_G$$

$$U_G = E_d - X_d^* I_{Gr} \quad (3)$$

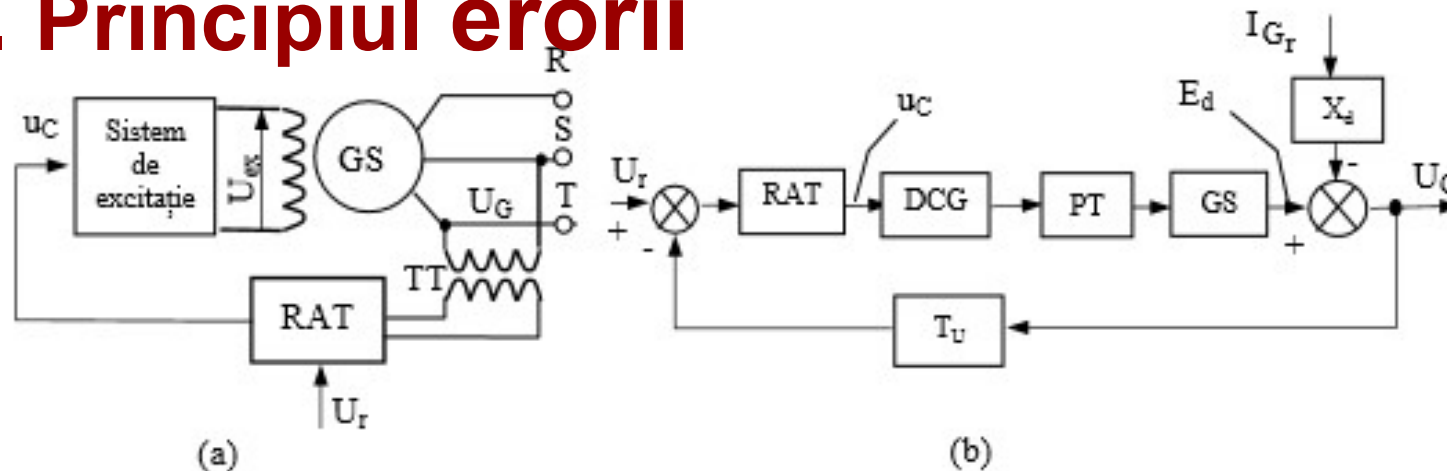
Rezulta doua posibilitati de reglare a tensiunii la bornele GS:

- ❑ modificarea t.e.m. E_d (E_d și δ variabile) astfel încât să fie compensată căderea de tensiune internă în GS, prin reglarea curentului de excitație al generatorului;
- ❑ modificarea reactanței de legătură X (X și δ variabile), astfel încât $X^* I_{Gr} \cong \text{ct.}$ la modificarea lui I_{Gr} , prin reglarea raportului de transformare al transformatoarelor prevăzute cu reglaj sub sarcină a tensiunii.

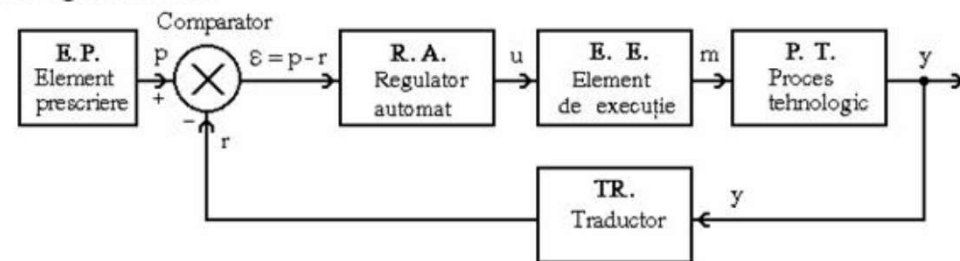


1. Metode bazate pe modificarea t.e.m. E_d

a. Principiul erorii



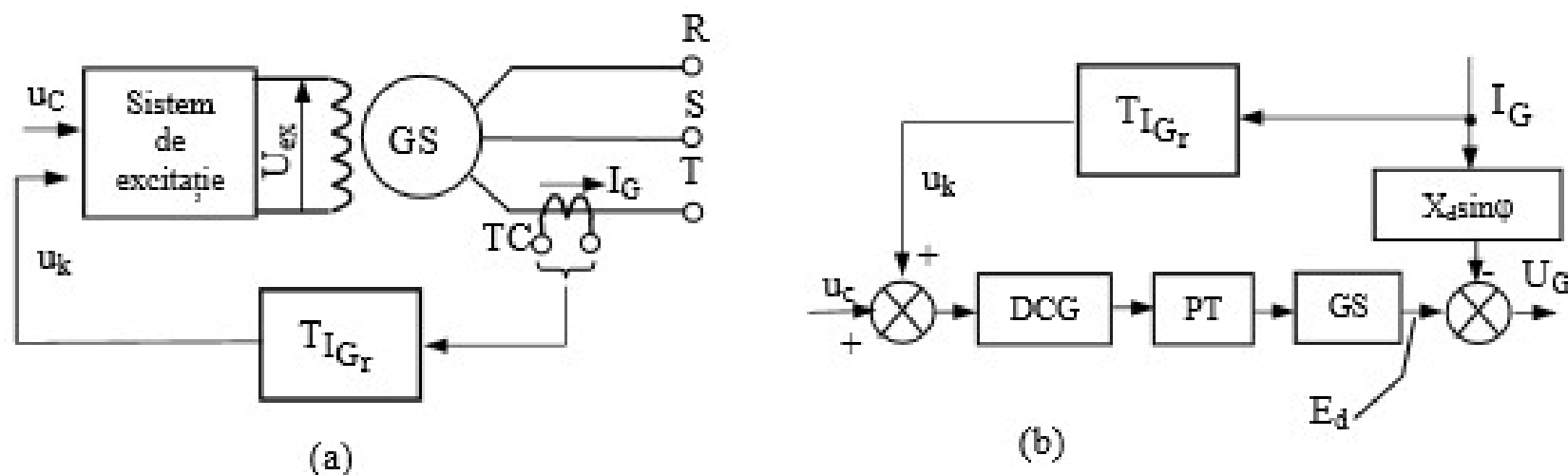
Schema de principiu (a) și schema bloc (b) a unui sistem de reglare a tensiunii realizat pe principiul erorii



LEGENDĂ:

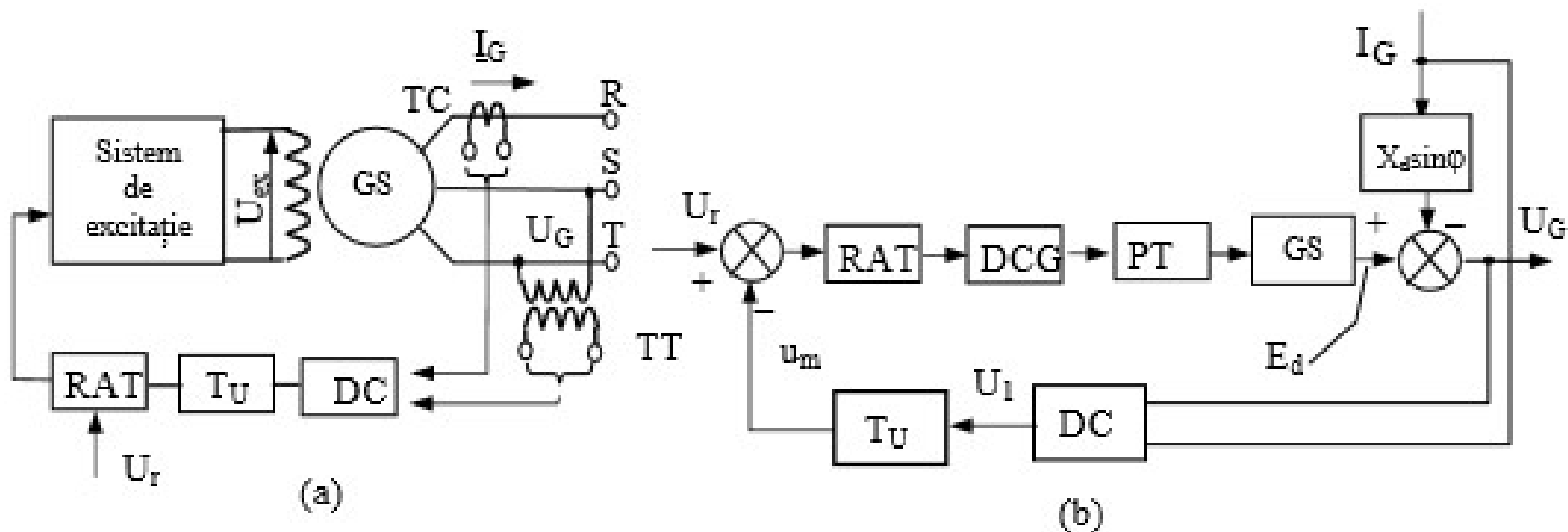
p - mărimea prescrisă;
 r - mărimea de reacție;
 ε - abatere (eroare de reglaj);
 u - mărimea de comandă;
 m - mărimea de execuție;
 y - mărime de ieșire din proces;

b. Principiul compensării efectului perturbației sau al compundării



Schema de principiu (a) și schema bloc (b) a unui sistem de compensare a efectului perturbației

c. Principiul reglării combinate



Schema de principiu (a) și schema bloc (b) a unui sistem de reglare combinată a tensiunii

Metode de reglare automata a tensiunii

$$U = E_d \cos \delta - X^* I_{Gr} \quad (2) \quad \text{Daca } X_e = 0, \text{ atunci } X = X_d \text{ iar } U = U_G$$

$$U_G = E_d - X_d^* I_{Gr} \quad (3)$$

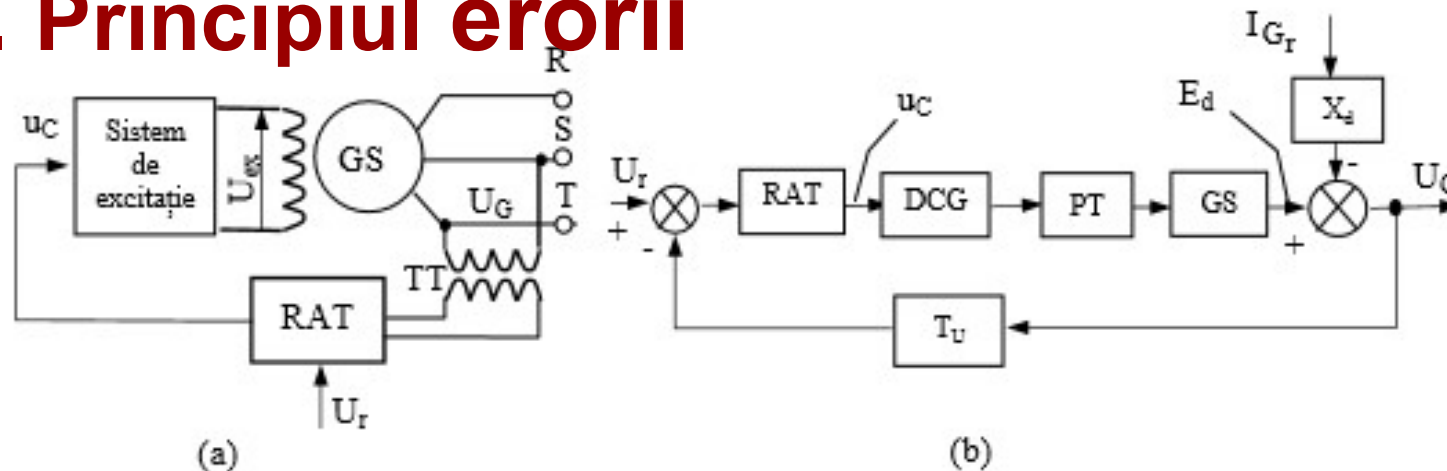
Rezulta doua posibilitati de reglare a tensiunii la bornele GS:

- ❑ modificarea t.e.m. E_d (E_d și δ variabile) astfel încât să fie compensată căderea de tensiune internă în GS, prin reglarea curentului de excitație al generatorului;
- ❑ modificarea reactanței de legătură X (X și δ variabile), astfel încât $X^* I_{Gr} \cong \text{ct.}$ la modificarea lui I_{Gr} , prin reglarea raportului de transformare al transformatoarelor prevăzute cu reglaj sub sarcină a tensiunii.

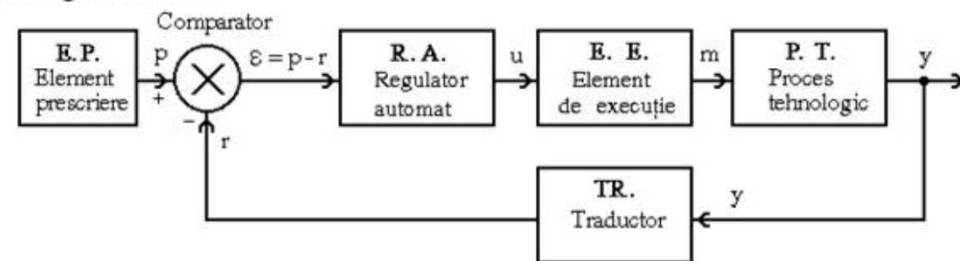


1. Metode bazate pe modificarea t.e.m. E_d

a. Principiul erorii



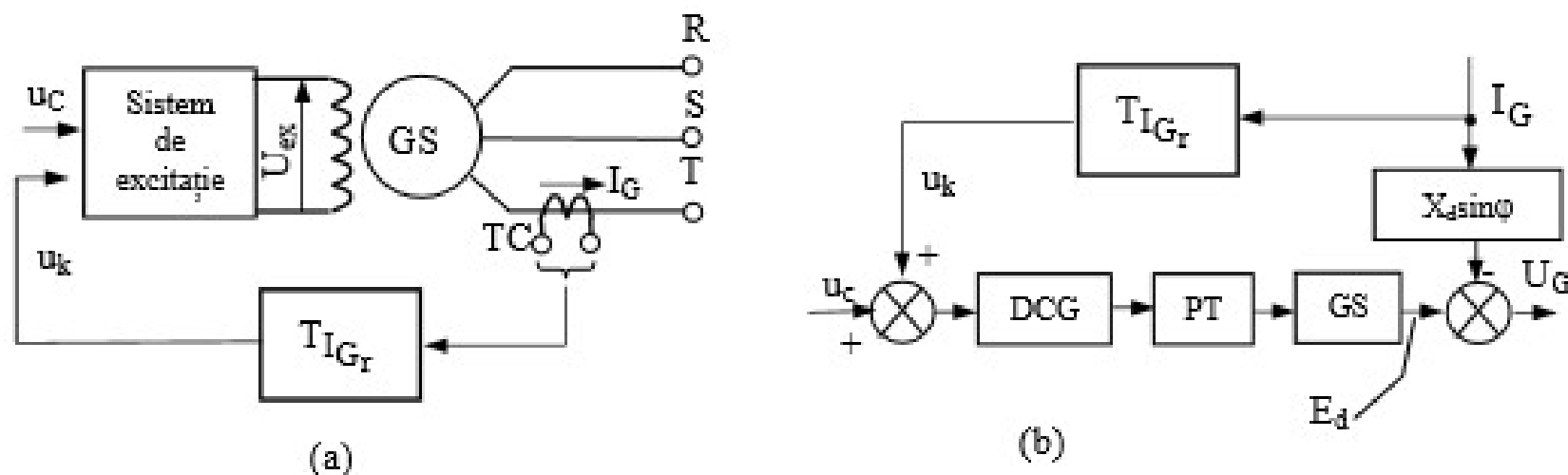
Schema de principiu (a) și schema bloc (b) a unui sistem de reglare a tensiunii realizat pe principiul erorii



LEGENDĂ:

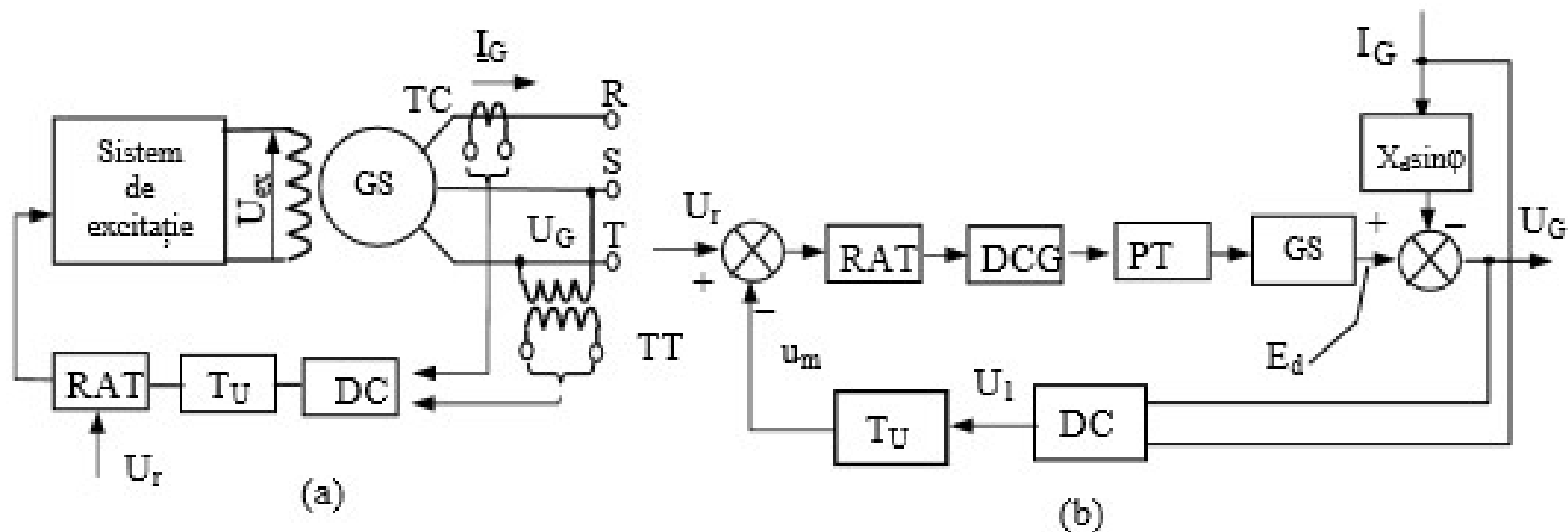
p - mărimea prescrisă;
 r - mărimea de reacție;
 ε - abatere (eroare de reglaj);
 u - mărimea de comandă;
 m - mărimea de execuție;
 y - mărime de ieșire din proces;

b. Principiul compensării efectului perturbației sau al compundării



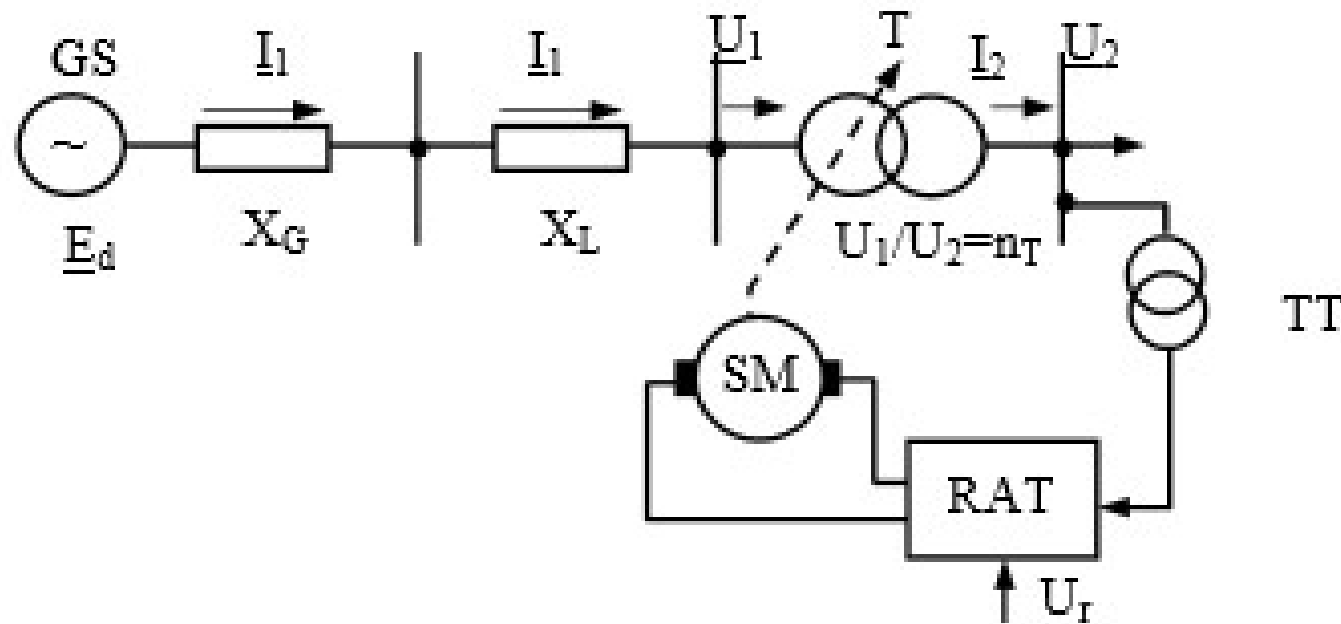
Schema de principiu (a) și schema bloc (b) a unui sistem de compensare a efectului perturbației

c. Principiul reglării combinate



Schema de principiu (a) și schema bloc (b) a unui sistem de reglare combinată a tensiunii

2. Metode bazate pe modificarea reactanței de legătură X



$$n_T = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\underline{U}_2 = \left[\underline{E}_d - j\underline{I}_1(X_G + X_L) \right] \frac{1}{n_T} - j\underline{I}_2 X_{T2},$$

$$\underline{U}_2 = \frac{\underline{E}_d}{n_T} - j\underline{I}_2 \left(\frac{X_G + X_L}{n_T^2} + X_{T2} \right)$$

Sistemele de reglare automata a excitatiei generatoarelor sincrone (SRAE)



Clasificarea sistemelor de excitație

1. După *principiul de funcționare a sistemului de excitație*, sunt următoarele posibilități:

- principiul erorii;
- principiul compensării efectului perturbației;
- principiul reglării combinate.

2. După *caracterul dinamic al elementelor componente ale sistemului*:

- sisteme electromecanice, cu elemente în mișcare;
- sisteme statice realizate cu amplificatoare magnetice sau cu redresoare comandate.

3. După *modul de obținere a tensiunii continue pentru excitarea mașinii sincrone*:

- sisteme de excitație cu mașini de curent continuu funcționând ca generator de c.c.;
- sisteme de excitație cu mașini de curent alternativ, montate pe axul GS sau separate, cu redresoare necomandate sau comandate;
- sisteme de excitație fără mașini excitatoare, excitația GS fiind asigurată de punți redresoare comandate alimentate de la bornele generatorului sau de la SE.



Performanțele SRAE

- timpul de răspuns – $t_{r\ ex}$;
- plafonul tensiunii de excitație – p_{ex} ;
- viteza medie de răspuns a sistemului de excitație – $v_{med.ex.}$;
- durata dezexcitării rapide.



- $t_{r\ ex}$

Tipul SRAE	Timpul de răspuns [s]
1. Electromecanic	0,2 – 0,4
2. Static, cu amplificatoare magnetice	0,05 – 0,07
3. Static, cu redresoare comandate	0 – 0,01

❖ p_{ex}

$$p_{ex} = \frac{U_{ex\ max}}{U_{ex\ nom}}$$

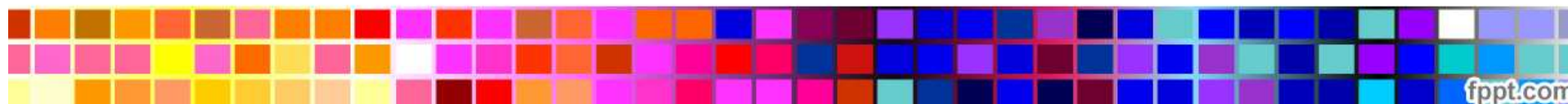
❖ $v_{med\ ex}$

$$v_{med\ ex} = \left. \frac{du_{ex}}{dt} \right|_{med}$$

Caracteristicile și performanțele sistemelor de excitație ale GS din SEN

Tabloul 1.4

Puterea nominală a GS [MW]	50(60)	50	100	150(160)	200	315(330)
Tensiunea de excitație nominală $U_{ex.nom.}$ [V]	250	350	360	270	316	360
Tensiunea de excitație maximă $U_{ex.max.}$ [V]	500	780	720	540	632	842
Plafonul tensiunii de excitație p_{ex}	2	2,25	2	2	2	2,34
Durata maximă de forțare a excitației [s]	20	5	4	20	20	8
Viteza medie de răspuns a excitației, pentru $\Delta t=0,5s$	-	2,5	2,2	2	2	2,75
Domeniul de reglaj pentru gradul de statism [%]	-	0-10%	0-10%	-	0-5%	0-8%
Timpul de răspuns [s]	0	0,05	0,05	-	0,03	0,01
Gradul de insensibilitate al RAT [%]	-	-	-	-	0,5	0



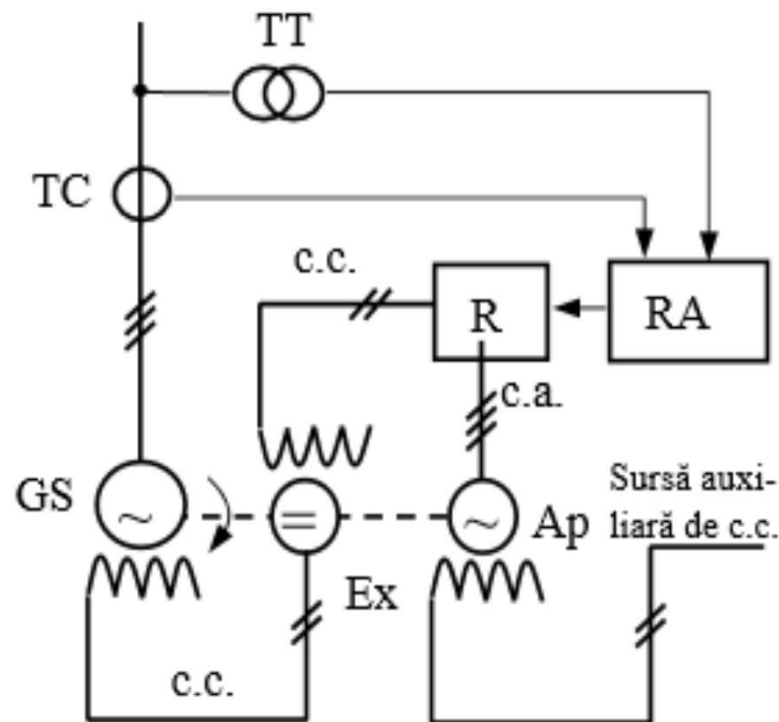
Funcțiile SRAE

- Creșterea stabilității dinamice și statice a GS
- Menținerea constantă a tensiunii
- Reglarea puterii reactive Q
- Performanța motoarelor asincrone și a instalațiilor de protecție

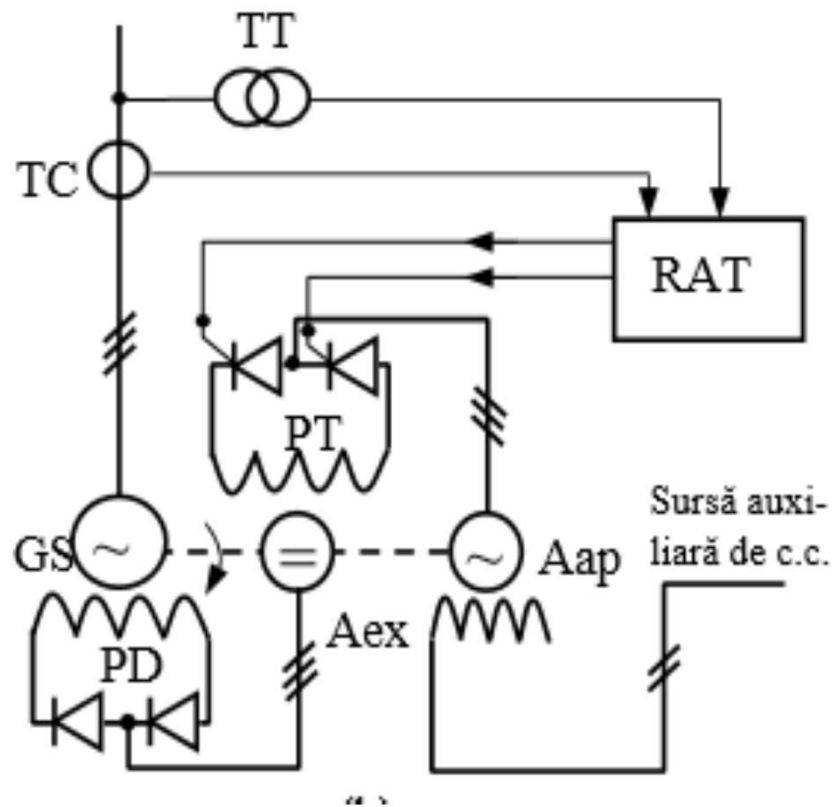


Sisteme analogice de reglare automată a excitației GS

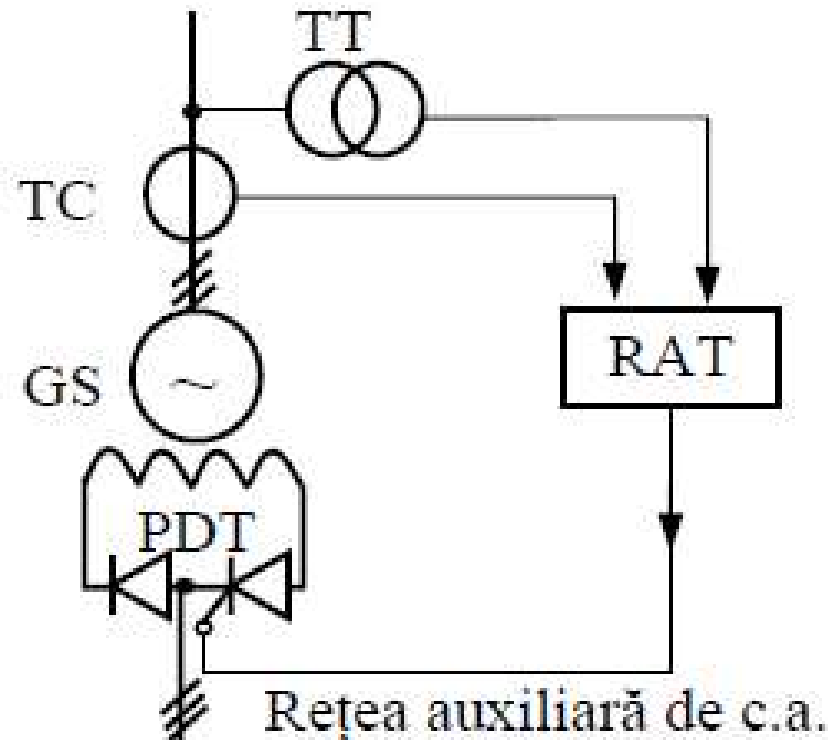
- **Sisteme de reglare automată a tensiunii cu alternator pilot și excitatoare**



- **Sisteme de reglare automată a tensiunii cu alternator pilot și alternator de excitație**



Sisteme de reglare automată a tensiunii cu redresoare de putere comandate, montate în circuitul de excitație al GS



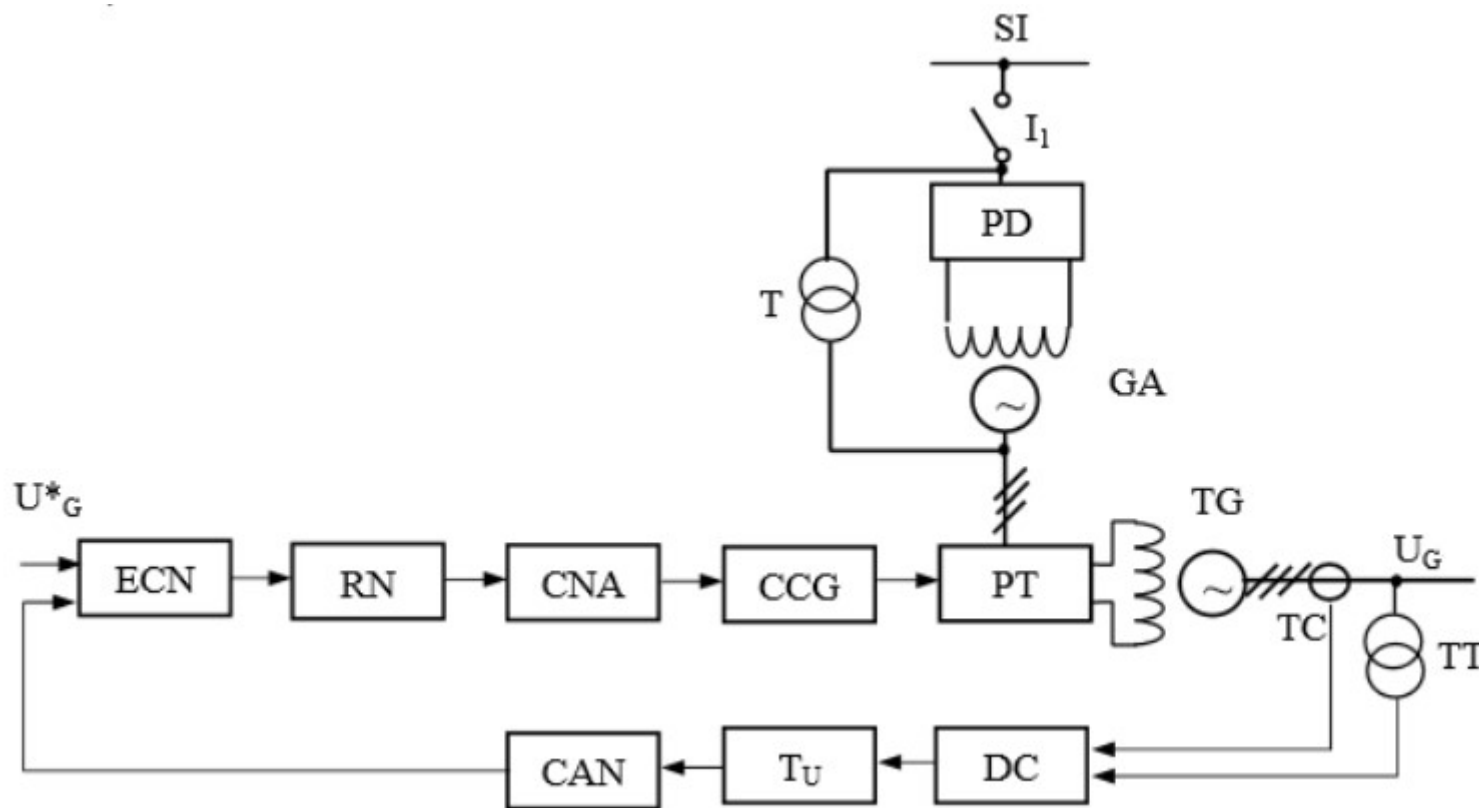
Sisteme numerice de reglare automată a excitației GS

Avantajele SNRAE:

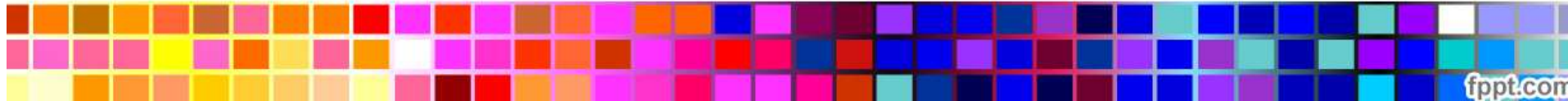
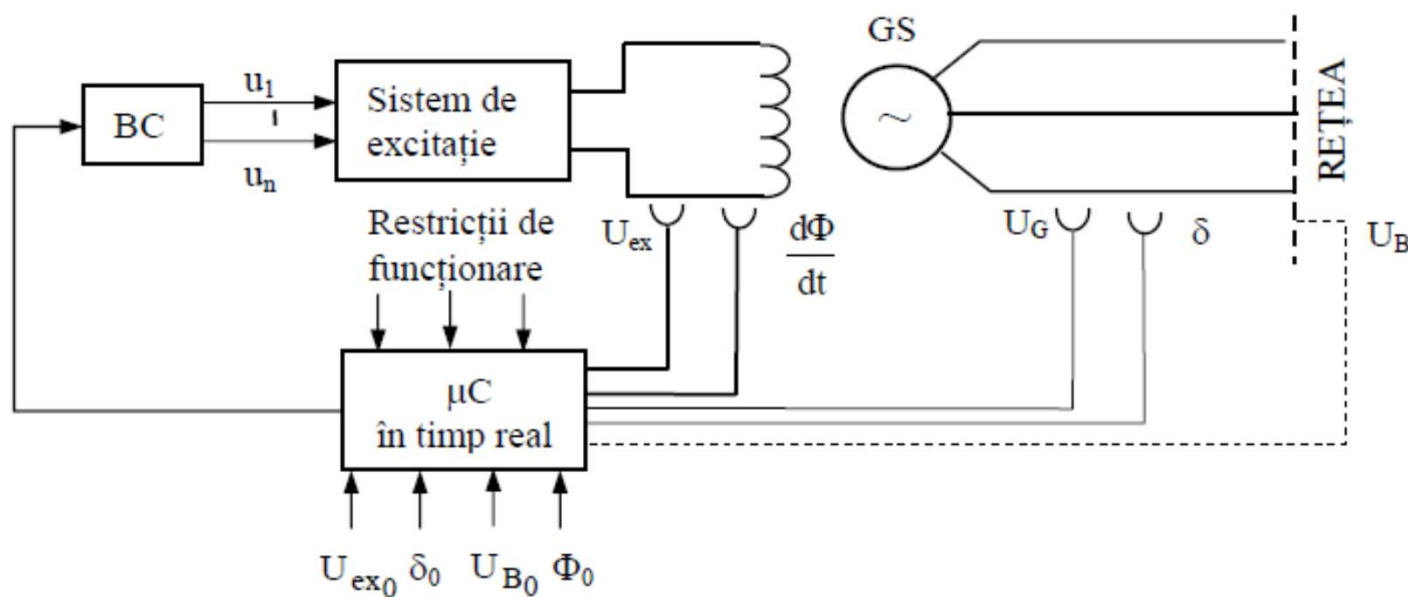
- transmiterea datelor în cadrul sistemelor numerice de comandă și reglare automată este sigură, iar influența perturbațiilor și zgomotelor este mult mai mică;
- memorarea datelor pentru intervale de timp oricât de mari;
- posibilitatea implementării unor algoritmi de conducere evoluți, care să asigure performanțe ce nu pot fi obținute prin sisteme analogice;
- posibilitatea realizării unor sisteme unificate miniaturizate;
- interconectarea simplă cu sisteme de la același nivel ierarhic sau cu sisteme de conducere situate la nivele ierarhice diferite.



Sistem numeric de reglare automată a tensiunii GS



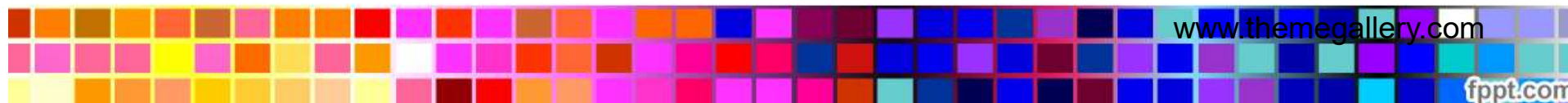
Sistem de reglare optimală a excitației GS



Reglarea automată a tensiunii și puterii reactive (RAT-Q) în sistemele energetice

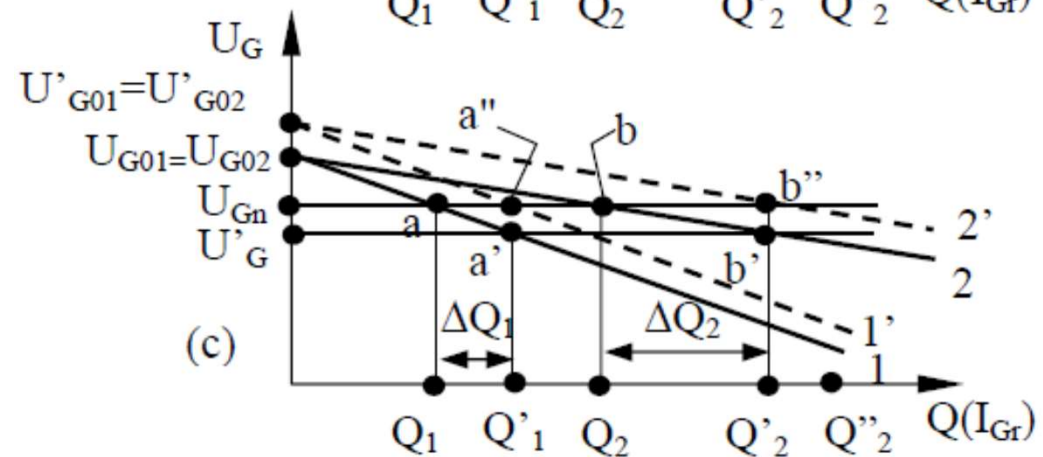
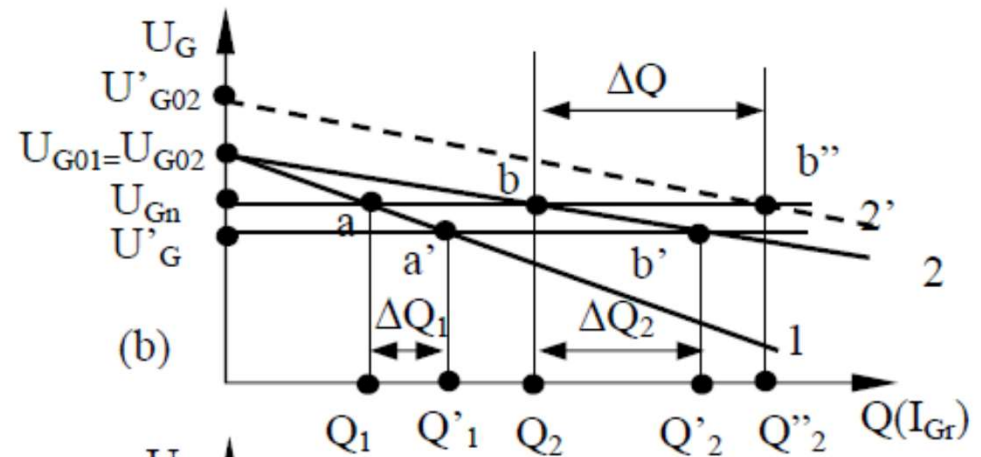
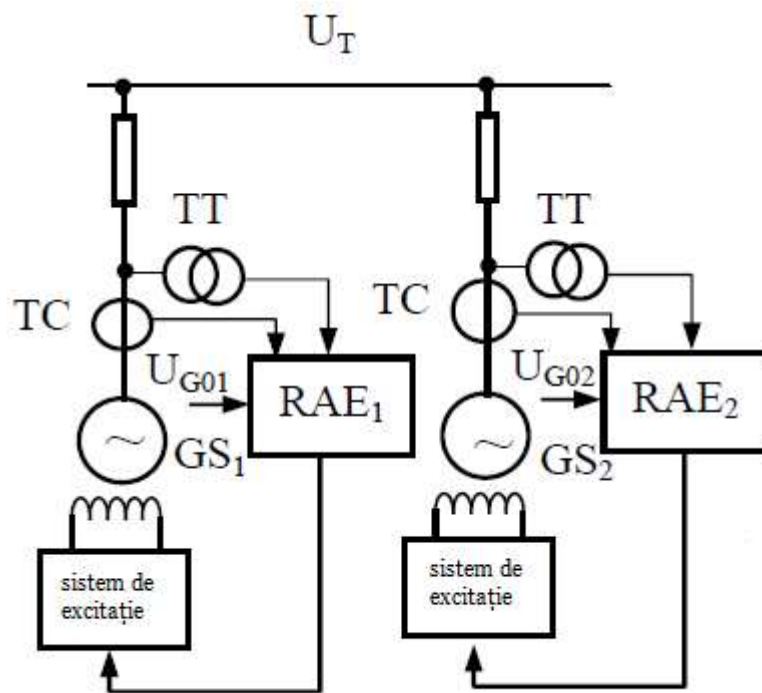
Metode:

- reglarea automată a excitației generatoarelor și compensatoarelor sincrone;
- reglarea automată a raportului de transformare sub sarcină a transformatoarelor;
- reglarea automată a capacității bateriilor de condensatoare;



Reglarea automată a tensiunii și puterii reactive cu reglatoare automate de excitație (RAE)

- *Cazul GS conectate direct la bare*



Reglajul primar, reglajul secundar și reglajul terțiar de tensiune și putere reactivă

1. Intervenția reglatoarelor automate de tensiune ale GS și ale transformatoarelor prevăzute cu reglaj sub sarcină, care realizează o primă etapă în restabilirea rapidă a echilibrului producție – consum de putere reactivă:

$$Q_{Gj} = Q_{Cj} \quad (j \in 1, 2, \dots, n).$$



2. Modificarea mai importantă a acestor valori medii, corespunzător unei noi stări de echilibru impune stabilirea unor noi puncte de funcționare, aflate în interiorul restricțiilor definite mai sus și, eventual, o restructurare a topologiei rețelei.

$$Q_{Gk} = Q_{Ck} \quad (k \in \overline{1, 2 \dots n}),$$



3. În perspectiva dezvoltării SE, reglajele secundare de tensiune introduse în mod progresiv, în diferite zone ale acestora, vor trebui să fie coordonate de *un reglaj terțiar, centralizat, la nivelul dispecerului energetic național.*



Reglarea automată a frecvenței și puterii active (RAF-P) în sistemele energetice



1. Probleme generale privind reglarea automată a frecvenței și puterii active

- a. Reglarea frecvenței în cadrul sistemului energetic propriu
- b. Reglarea puterilor de schimb pe liniile de interconexiune cu rețelele vecine
- c. Repartiția puterilor active între centralele reglante care participă la reglarea frecvenței și puterii de schimb



2. Necesitatea și avantajele introducerii reglării automate a frecvenței și puterii active în SE

Abatere admisibilă de frecvență în sistemele europene ($\pm 0,2$ Hz):

$$\Delta f^*_{\text{adm}} [\%] = \frac{\Delta f_{\text{max}}}{f_n} \cdot 100 \leq 0,4\%. \quad (\text{eq.1})$$

1. Din punctul de vedere al dependenței puterii active de frecvență:

$$P_C = P_{C_n} \left(\frac{f}{f_n} \right)^q, \quad q = 0,1,2 \dots 7, \quad (\text{eq.2})$$



- Categoria I de consumatori: $q = 0$,
 $P_C = P_{C_n} = \text{constant}$;
- Categoria II de consumatori: $q = 1$,
 $P_C = P_{C_n} * f/f_n$;

$$P_C = M_R \cdot \omega = K \cdot f \quad (\text{eq.3})$$

- Categoria III de consumatori: $q = 3$,

$$P_C = P_{C_n} \left(\frac{f}{f_n} \right)^3 \quad (\text{eq.4})$$

$$M_R = M_{R_0} + K \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 \quad (\text{eq.5})$$

$$P_C = P_{C_n} \left(\frac{n}{n_n} \right)^3 = P_{C_n} \left(\frac{f}{f_n} \right)^3 \quad (\text{eq.6})$$

- Categoria IV de consumatori: $q > 3$,

$$P_C = P_{C_n} \left(\frac{f}{f_n} \right)^q, \quad (\text{eq.7})$$

În SE, exponentul q se apropie, în medie, de valoarea 2.

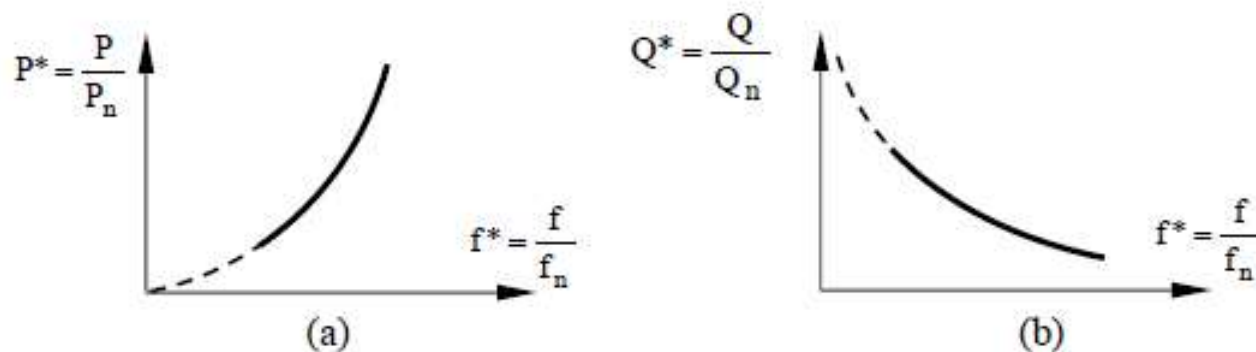
$$P = P_n \left(\frac{f}{f_n} \right)^2, \quad (\text{eq.8})$$



II. Din punctul de vedere al dependenței puterii reactive de frecvență,

$X_{SE} = L \cdot \omega$ și consumă

$$Q = \frac{U^2}{X_{SE}} = \frac{U^2}{L\omega}, \text{ sau } Q = Q_n \frac{f_n}{f}. \quad (\text{eq.9})$$



Dependența puterii active (a) și a puterii reactive (b) de frecvență



III. Pierderile globale de putere activă în SE

Pierderile în fier se neglijează și »

$$\Delta P_{SE} \approx \Delta P_{Cu} = RI^2 = R(I_a^2 + I_r^2) = R \left[\left(\frac{P}{\sqrt{3}U_n} \right)^2 + \left(\frac{Q}{\sqrt{3}U_n} \right)^2 \right], \quad (\text{eq.10})$$

Înlocuind P și Q »

$$P = P_n \left(\frac{f}{f_n} \right)^2, \quad Q = Q_n \frac{f_n}{f}, \quad \Delta P_{SE} = R \left\{ \left[\frac{P_n \left(\frac{f}{f_n} \right)^2}{\sqrt{3}U_n} \right]^2 + \left[\frac{Q_n \frac{f_n}{f}}{\sqrt{3}U_n} \right]^2 \right\}. \quad (\text{eq.11})$$

$$\Delta P_{SE} \approx K_{SE} f^4. \quad (\text{eq.12})$$

3. Caracteristicile statice ale turbinelor de antrenare a GS

$$f = \frac{pn}{60}, \quad (\text{eq.13})$$

f este frecvența energiei generate;

n – turația agregatului;

p – numărul de perechi de poli ai GS.

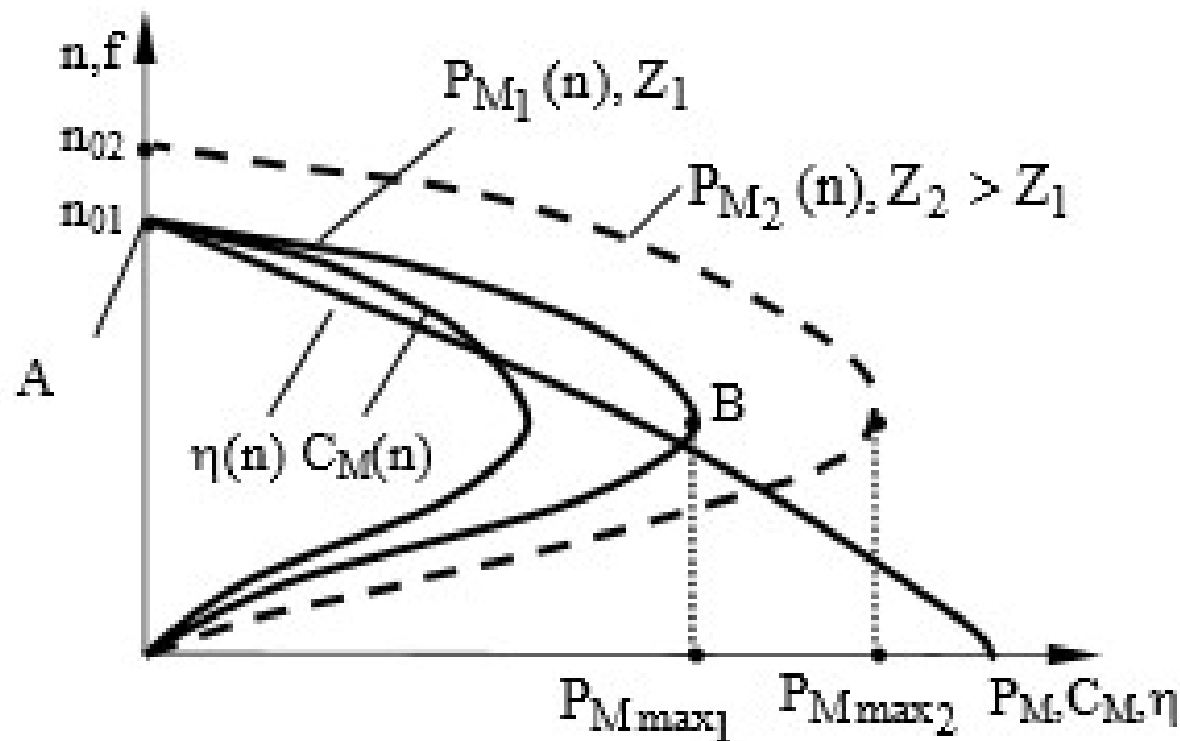
Notatii:

- P_M puterea mecanică dezvoltată la arborele mașinii primare (de antrenare) a GS,
- C_M cuplul dezvoltat la arbore,
- η randamentul
- Z admisia de agent motor (abur, apă etc.) la mașina primară (turbină cu abur, hidraulică)

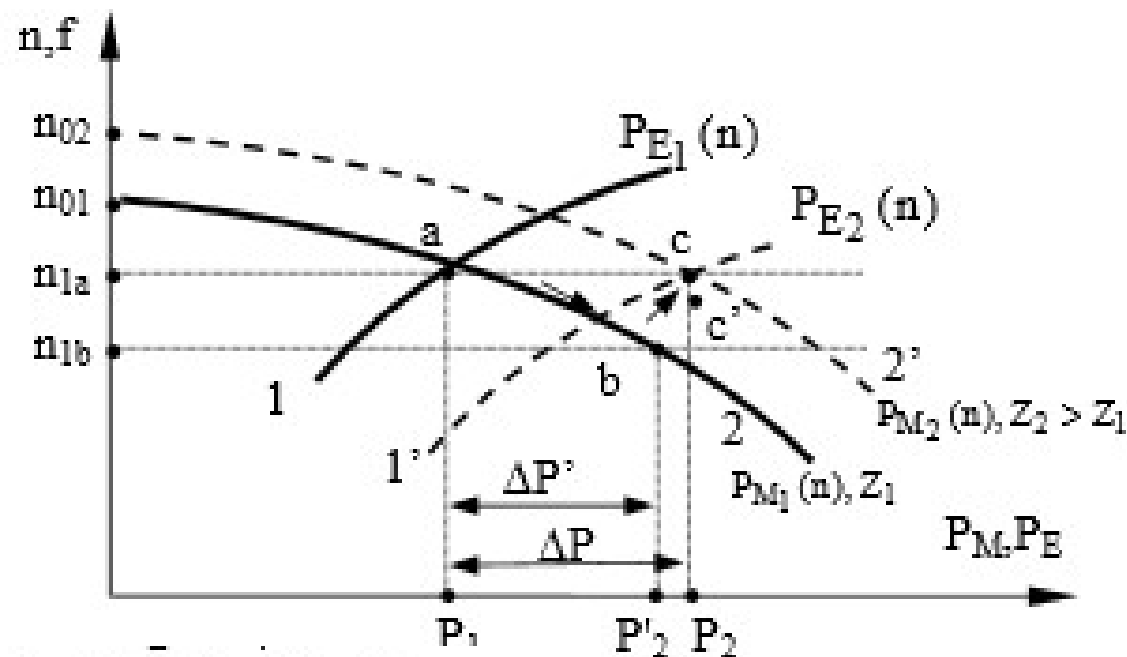
Dependența acestor mărimi de turația turbinei, respectiv frecvența GS sunt cele reprezentate în figura următoare:



Dependența $P_M(n)$, $C_M(n)$, $\eta(n)$



4. Principiul reglării automate a vitezei turbinelor



$$P_{E1}(n_{1a}) = P_{M1}(n_{1a}) = P_1.$$

$$P_{E2}(n_{1b}) = P_{M1}(n_{1b}) = P'_2.$$

(eq.14)

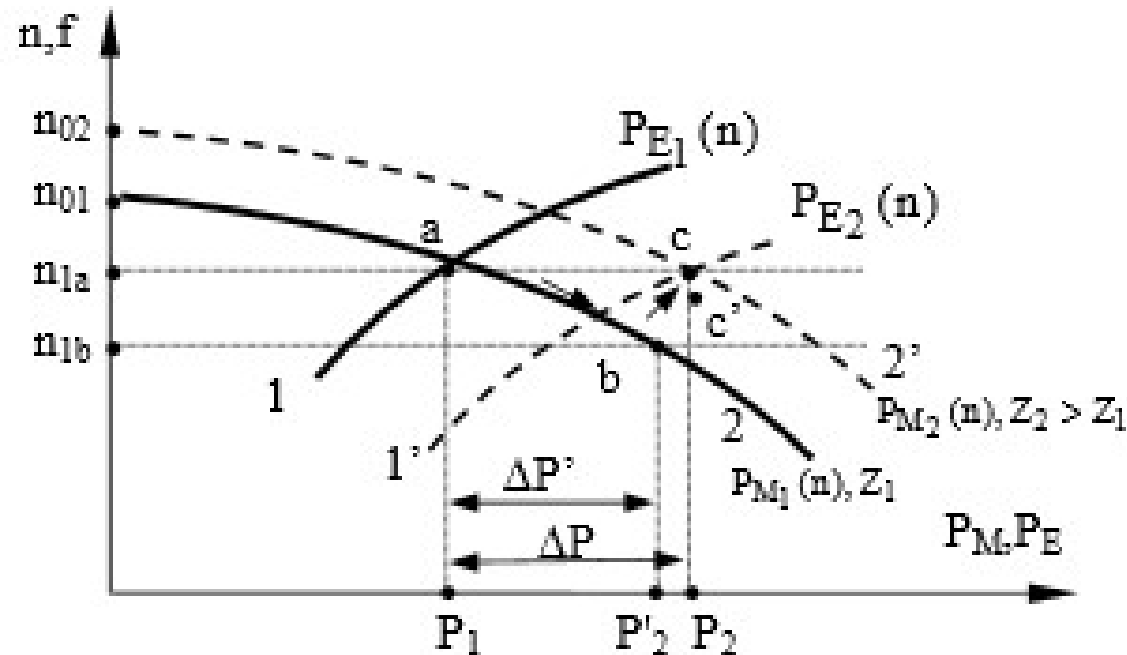
$$P_{E2}(n_{1a}) = P_{M2}(n_{1a}) = P_2.$$

www.themegallery.com

Reglarea automată a frecvenței și puterii active (RAF-P) în sistemele energetice



Principiul reglării automate a vitezei turbinelor



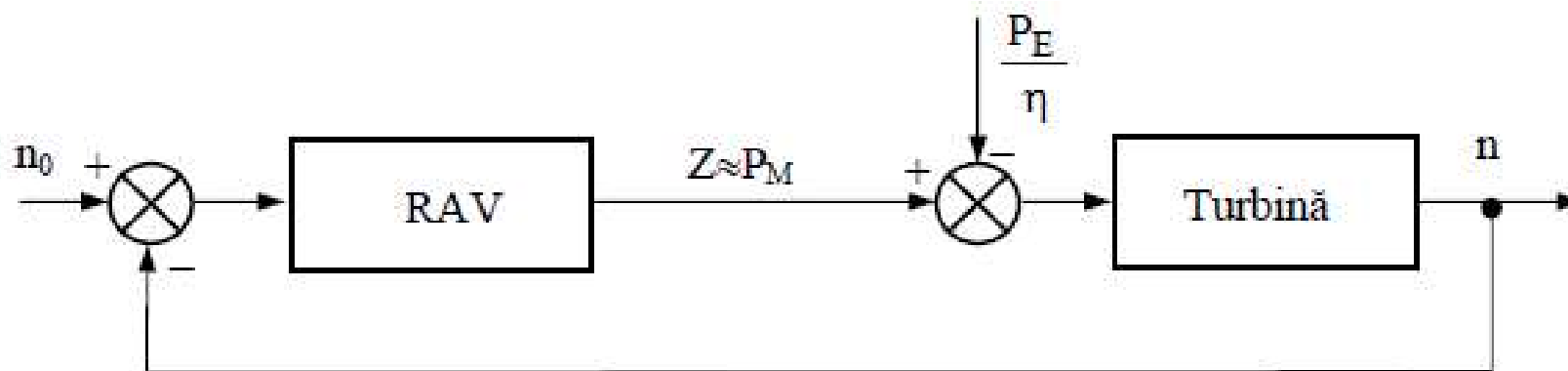
$$P_{E1}(n_{1a}) = P_{M1}(n_{1a}) = P_1.$$

$$P_{E2}(n_{1b}) = P_{M1}(n_{1b}) = P'_2.$$

$$P_{E2}(n_{1a}) = P_{M2}(n_{1a}) = P_2.$$

Reglarea vitezei agregatelor generatoare

Reglarea vitezei (turatei) se face cu ajutorul RAV:



unde:

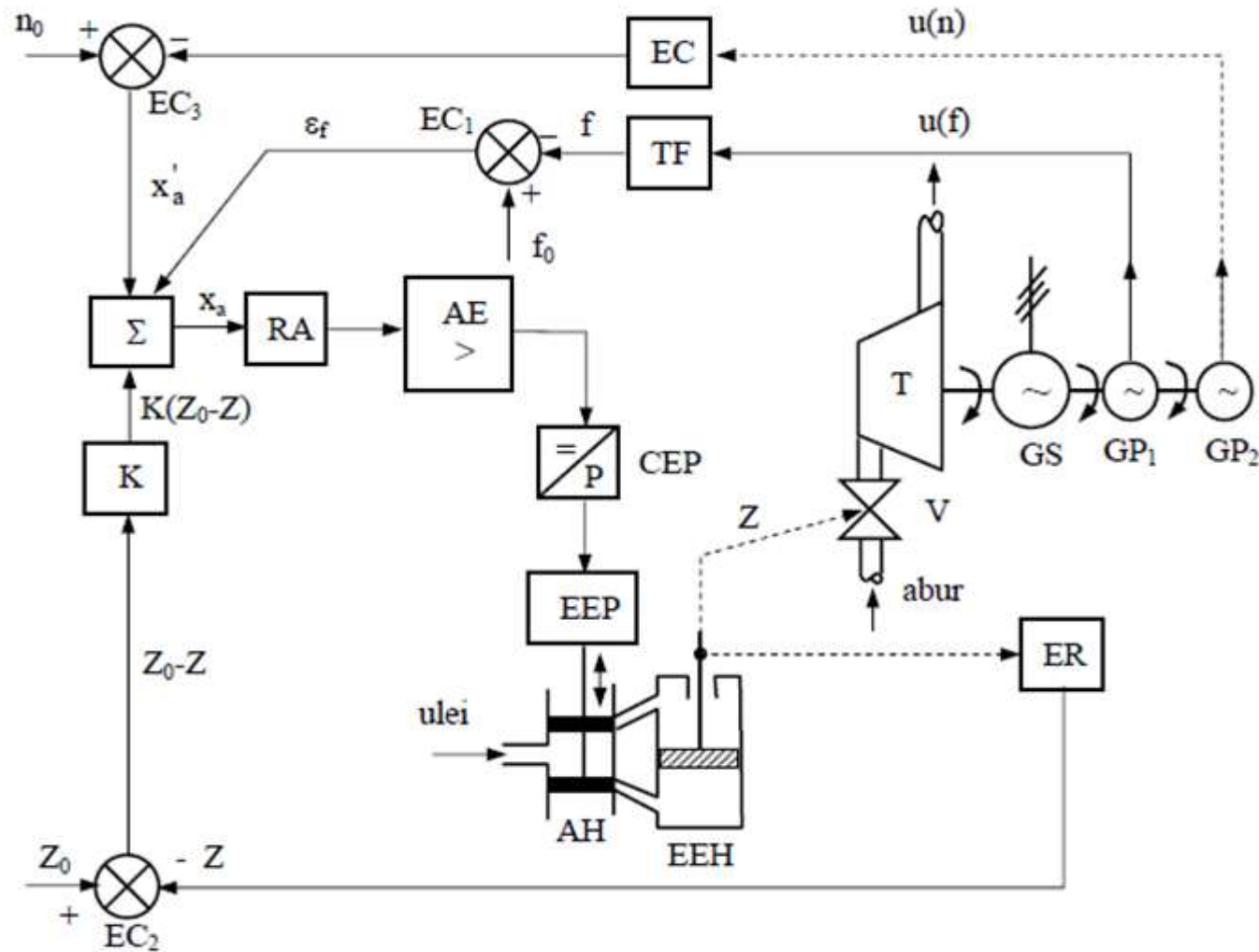
Z - admisia de agent motor (abur, apa)

P_M - *puterea mecanică dezvoltată la arborele mașinii primare (de antrenare) a GS,*

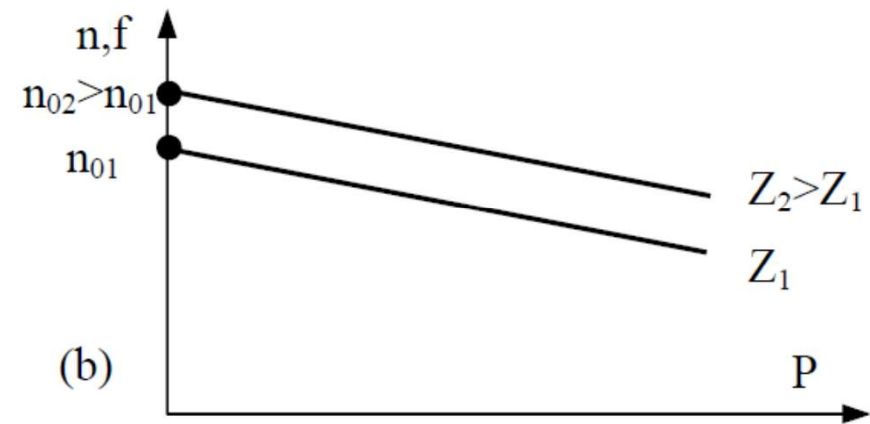
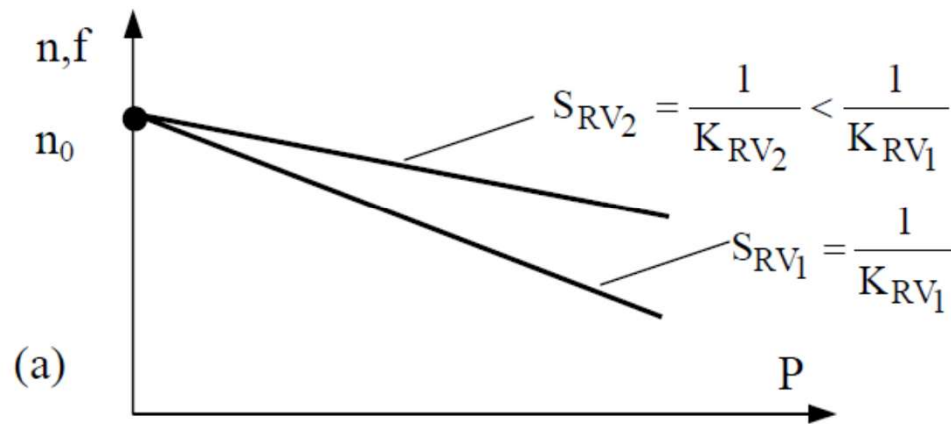
P_E - puterea electrica activa consumata de la GS antrenat de turbină

η - randamentul

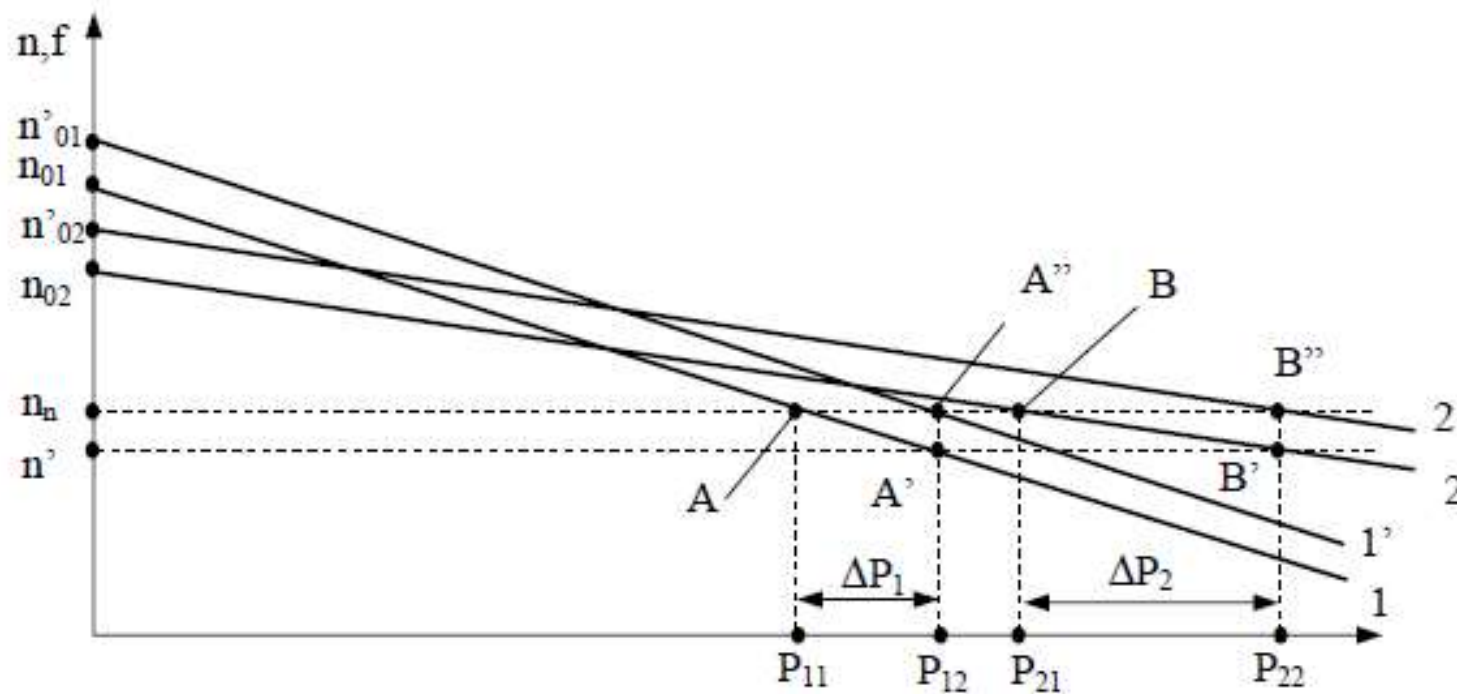
Schema de principiu a SRAV electrohidraulic



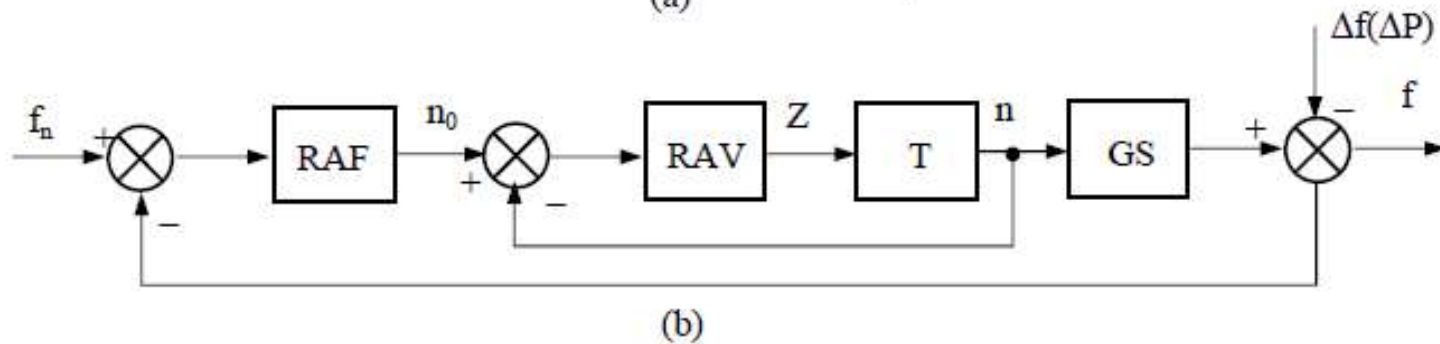
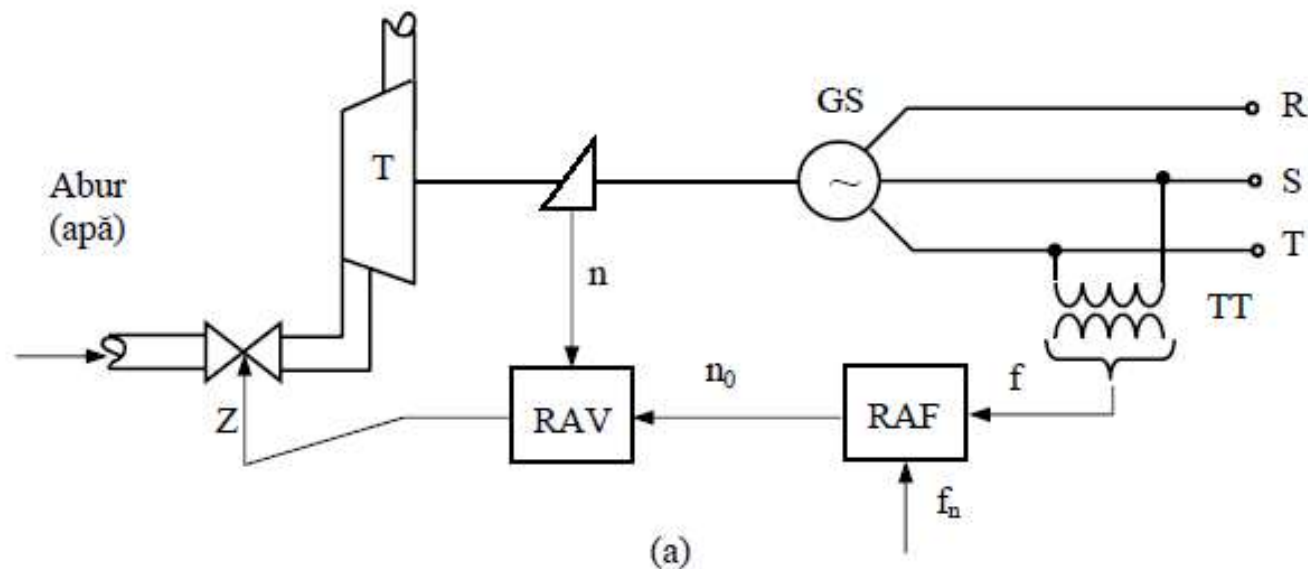
Caracteristica statică a grupului generator



Principiul metodelor de reglare automată *frecvență-putere activă*



Schema structurală a SRAF-P (a) și schema bloc funcțională (b)



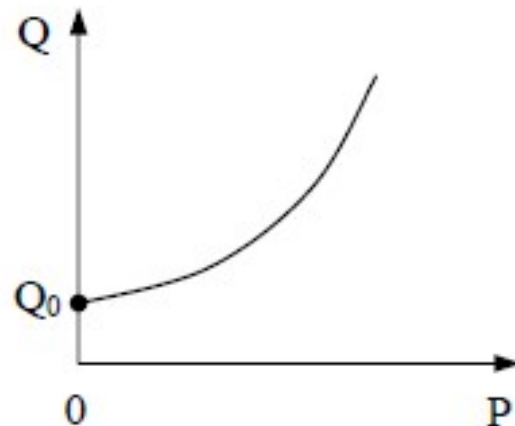
Alegerea agregatelor (centralelor) reglante într-un SE

$$Q = Q_0 + K_1 P^{K_2}$$

Q_0
 K_1, K_2

este consumul pentru funcționarea în gol;
constante de dependente de agregat.

Dependența consumului de combustibil de puterea activă generată:



- Pentru n agregate conectate în paralel:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n Q_{0i} + \sum_{i=1}^n K_{1i} P_i^{K_{2i}}$$

Diferențele între consumurile specifice corespunzătoare funcționării în gol ale diferitelor blocuri nu sunt esențiale; în aceste condiții, se poate considera că minimul expresiei de mai sus are loc pentru:

$$\frac{dQ_1}{dP_1} = \frac{dQ_2}{dP_2} = \dots = \frac{dQ_n}{dP_n} \quad \gg \quad Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n.$$



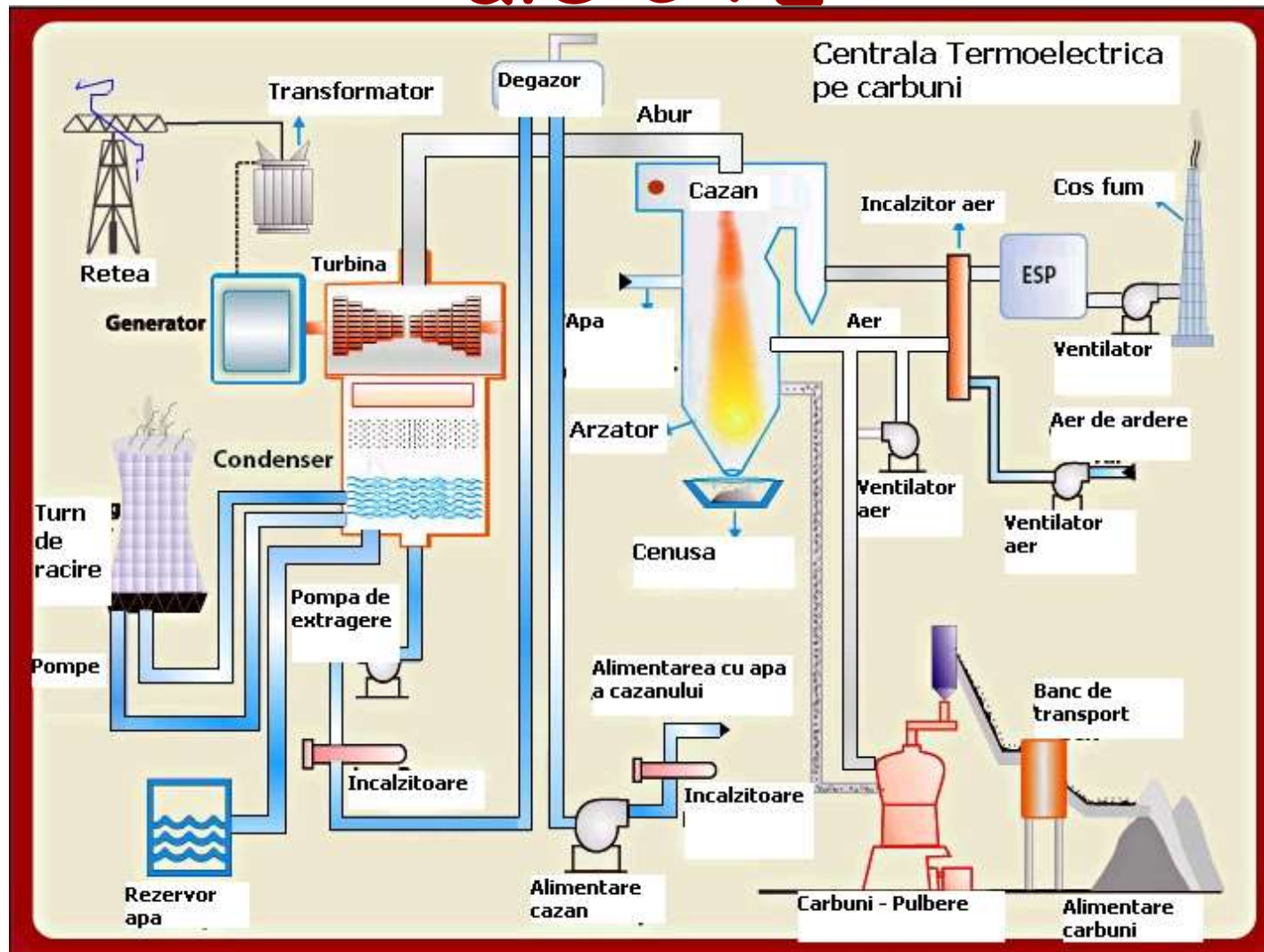
Din punctul de vedere al capacității de preluare a variațiilor de sarcină, agregatele generatoare din SE au următoarele particularități:

- *Cazanele din centralele termoelectrice*
- *Turbinele cu abur*
- *Turbinele hidraulice*

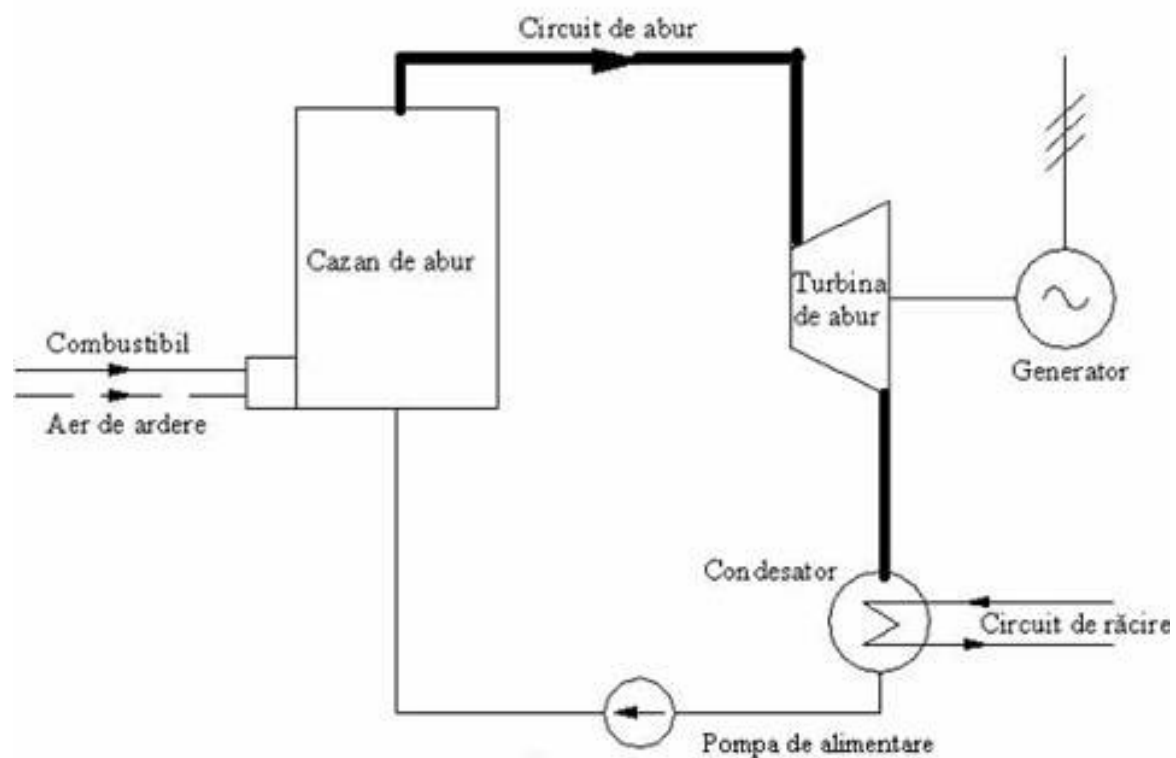
Reglarea automată a proceselor termice din centralele termoelectrice



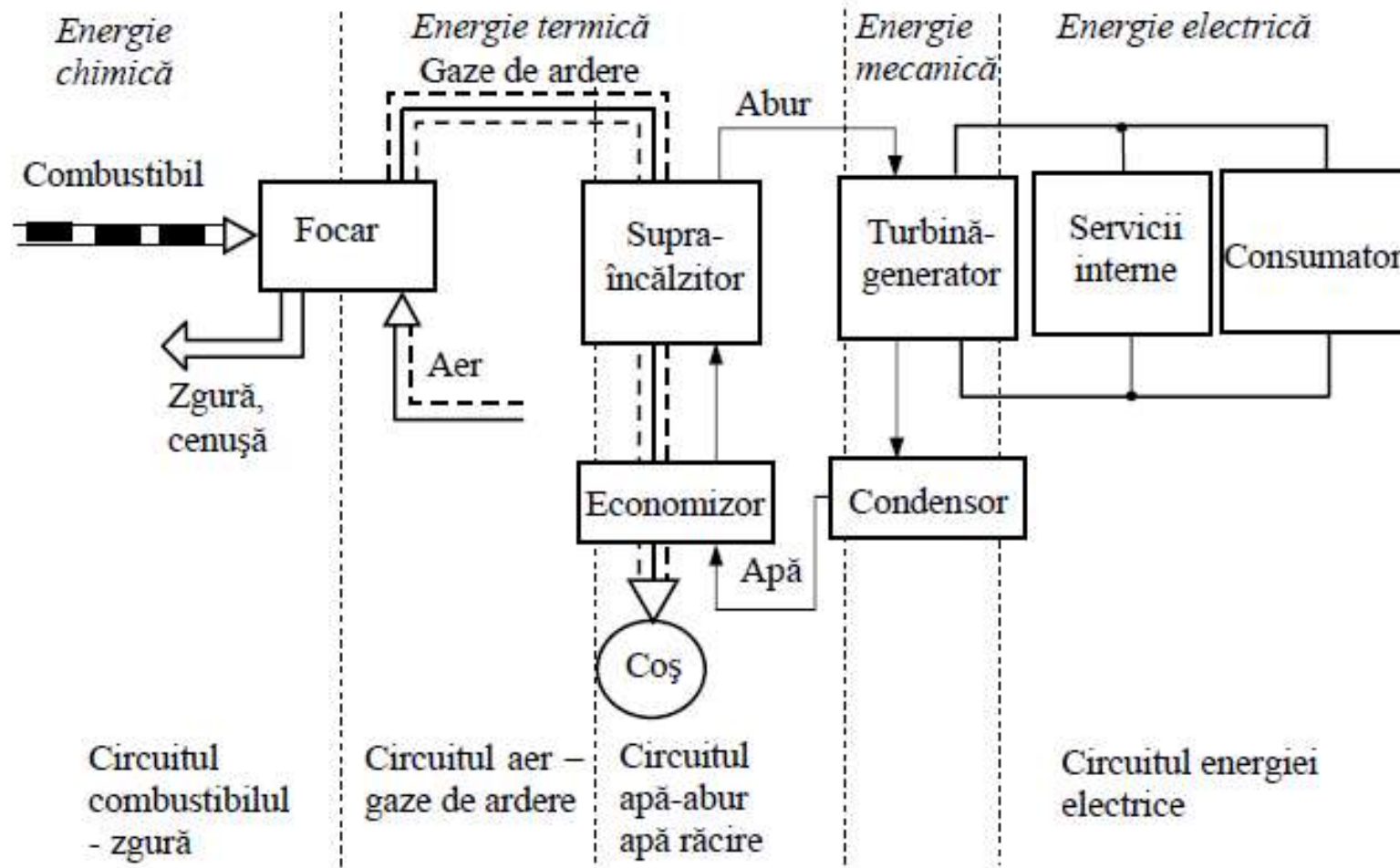
Principalele parti componente ale CTE



Schema bloc a unei CTE



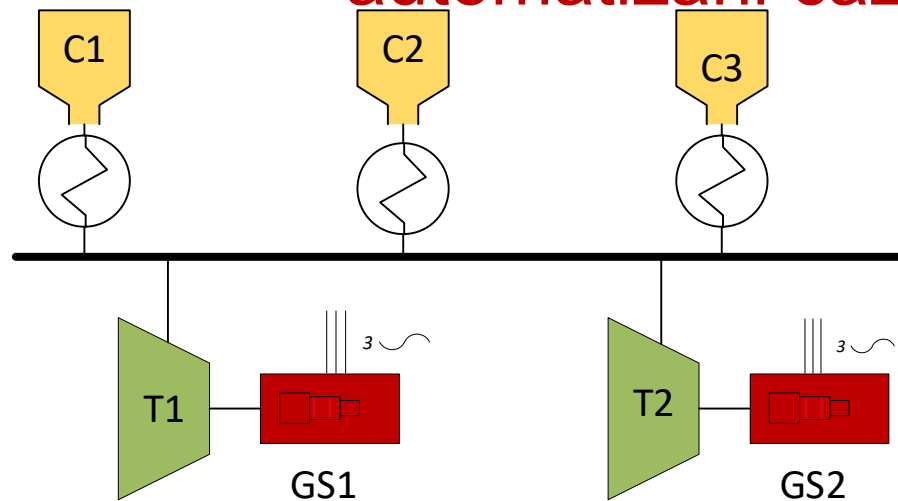
Principalele circuite ale unei CTE



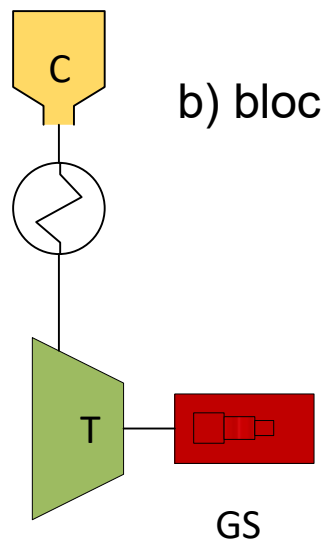
Condiții impuse sistemelor de reglare automată din CTE

- *Asigurarea unei egalități permanente între puterea activă generată de GS cu cea cerută de consumatori*
- *Asigurarea unei egalități permanente între puterea reactivă furnizată de GS și cea consumată.*
- *Asigurarea unei egalități permanente între debitul de abur produs de cazan și cel consumat de turbină.*
- *Asigurarea unei egalități permanente între debitul de apă de alimentare și debitul de abur produs de cazan*
- *Evitarea pătrunderii apei în corpul turbinei*
- *Mentținerea vidului și evitarea creșterii excesive a nivelului de condensat în condensator.*
- *Asigurarea degazării apei și evacuarea gazelor rezultate, precum și un nivel constant al apei în rezervorul degazorului*
- *Asigurarea unui debit de abur la valoarea cerută de consumatori, la o temperatură și presiune constante*

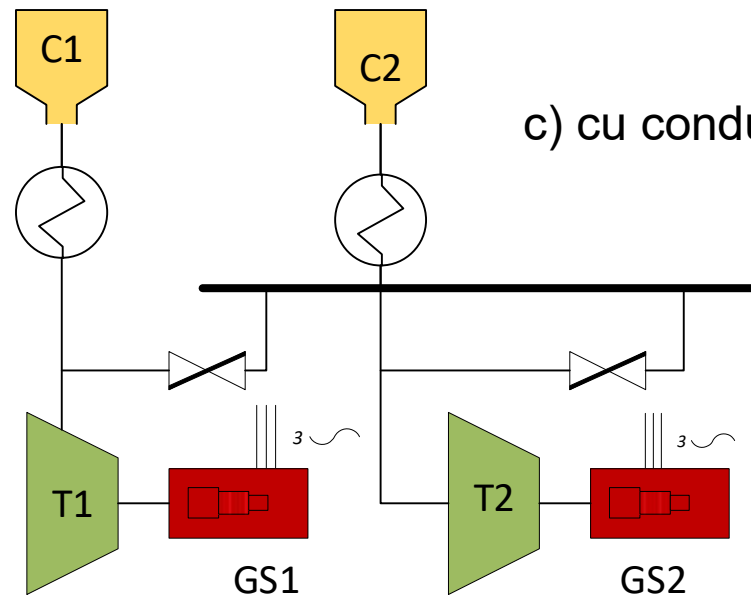
Influența circuitului termic al centralei asupra automatizării cazanelor de abur



a) cu conductă colectoare



b) bloc



c) cu conductă de ajutor

Perturbații în raport cu un SRA

- Perturbații externe
- Perturbații interne
 - Cantitative
 - Calitative



Automatizarea cazanelor de abur cu tambur

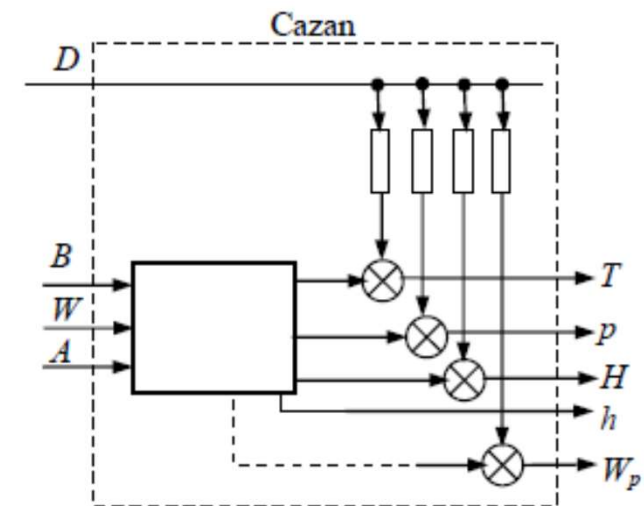
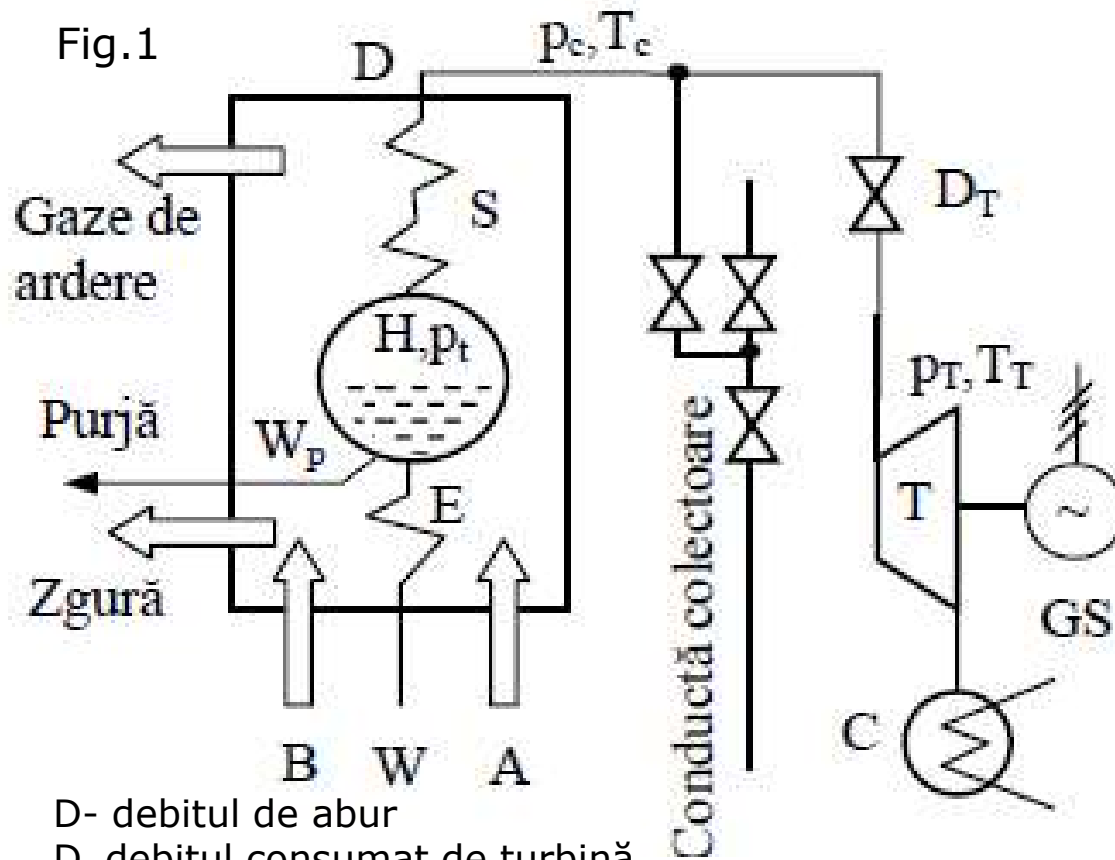


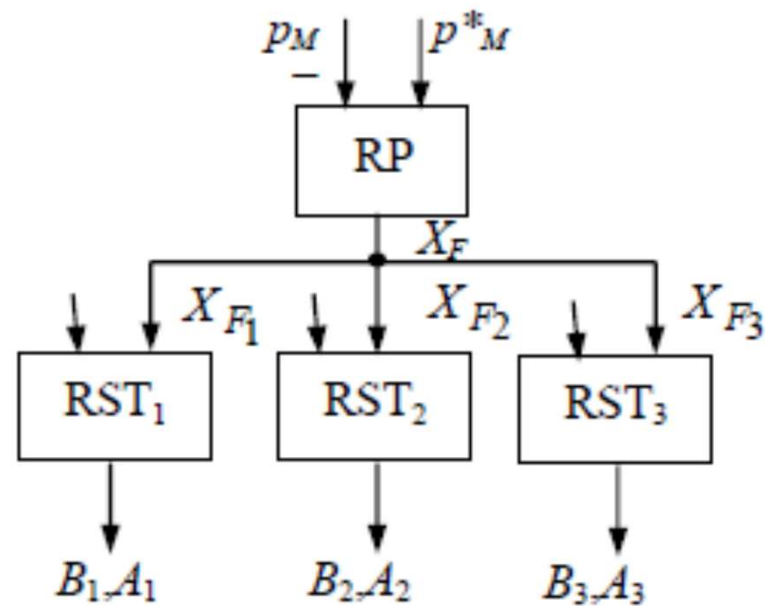
Fig.2

Condiții asigurate de cazanul de abur cu tambur

- Condiții tehnologice
- Condiții economice
- Condiții de siguranță



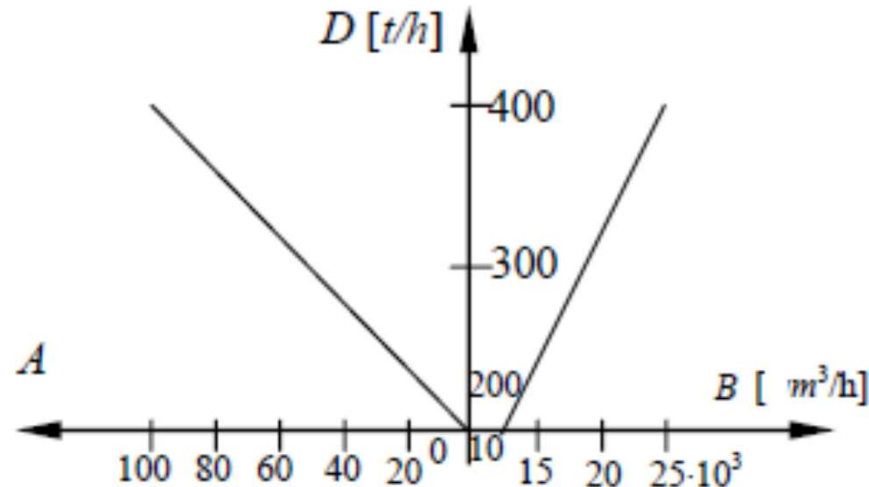
Reglarea automată a sarcinii cazanelor cu tambur



Reglarea automată a procesului de ardere

- Cantitatea de aer teoretica

$$A_{teor} = B \left(a \frac{P_{Ci}}{1000} + b \right) \quad A = \alpha \cdot A_{teor}$$



Controlul arderii

- **Controlul indirect** - mentinerea constanta a raportului A/D

$$Q = D \cdot (i_1 - i_2) = B \cdot P_{Ci} \cdot \eta_C$$

$$A_{teor} = B \left(a \frac{P_{Ci}}{1000} + b \right)$$

$$A = \alpha \cdot A_{teor}$$

- Pentru $b=0$ rezulta debitul de aer real

$$A = \alpha \cdot B \cdot a \frac{P_{Ci}}{1000}$$

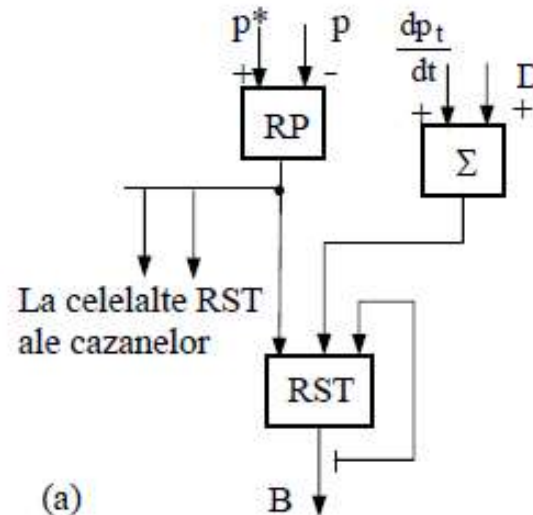
$$\alpha = \frac{1000}{a \cdot (i_1 - i_2)} \cdot \frac{A}{D} \cdot \eta_C$$

- **Controlul direct** — mentinerea constanta a continutului de oxigen in gazele de ardere

Reglarea automată a procesului de ardere

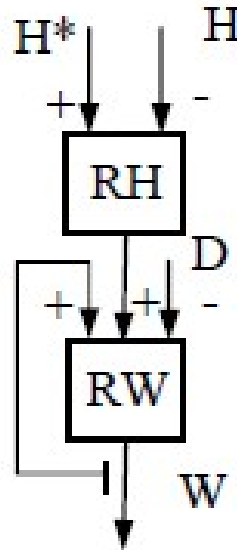
În reglarea procesului de ardere intervin ca mărimi de ieșire:

- presiunea p a aburului, reglată prin debitul de combustibil B ;
- raportul aer-combustibil (economicitate), reglat prin debitul de aer A ;
- depresiunea în focar h , reglată prin debitul gazelor de ardere G



Reglarea automată a nivelului apei în tambur

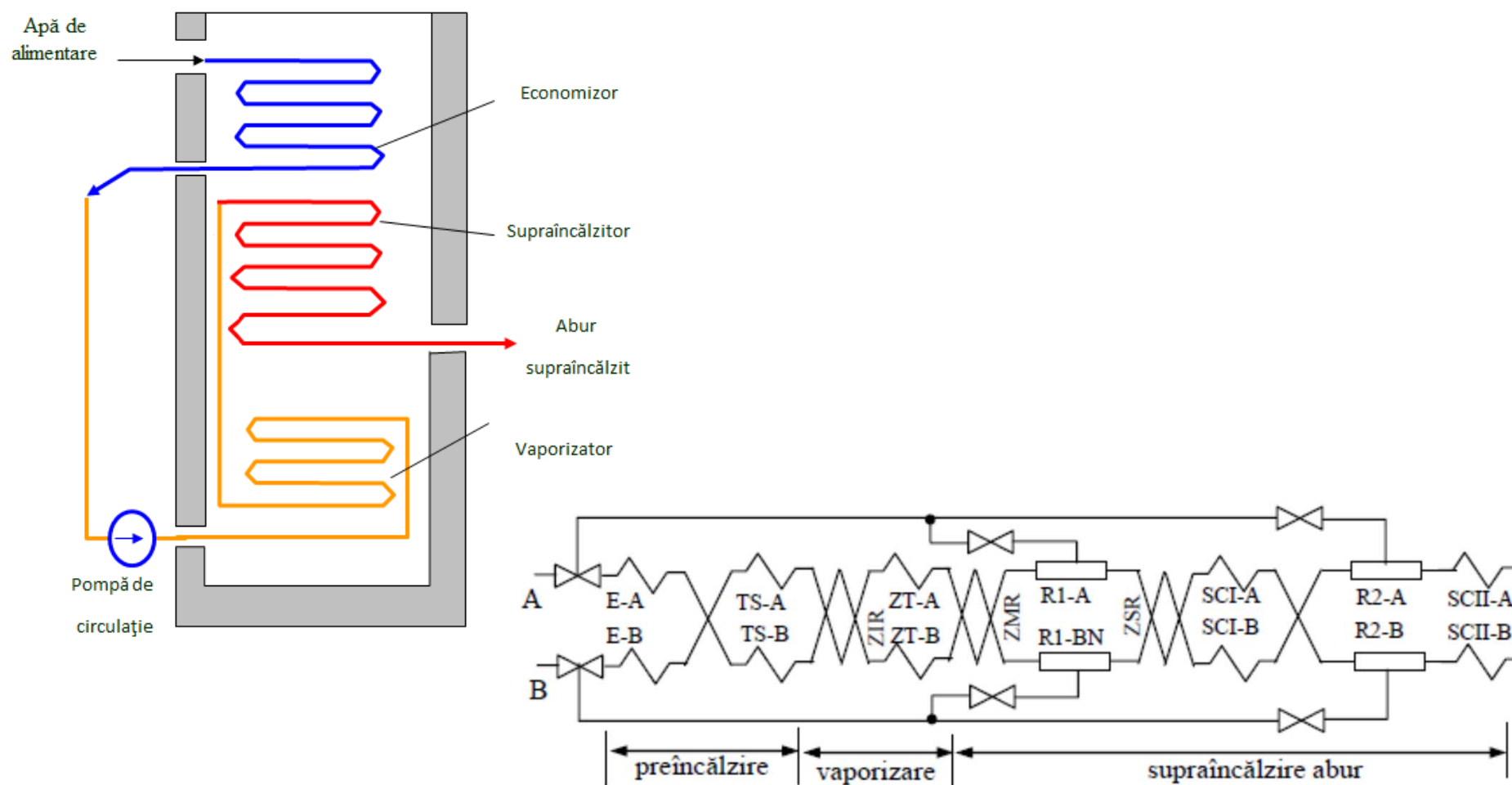
- Mărimea prin care se realizează reglarea nivelului este debitul de apă de alimentare care poate fi modificat prin ventilul de reglare sau prin turația pompei de alimentare.
- Perturbația principală este reprezentată de debitul de abur furnizat de cazan



Automatizarea cazanelor de abur cu străbaterie forțată

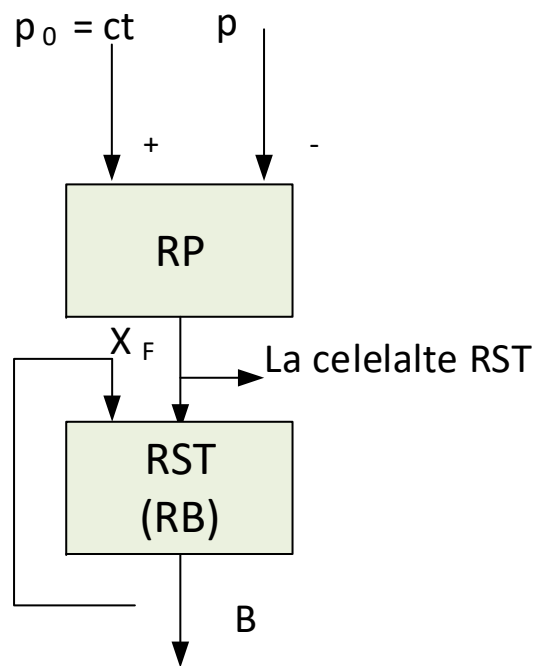


Cazan de abur cu străbatere forțată

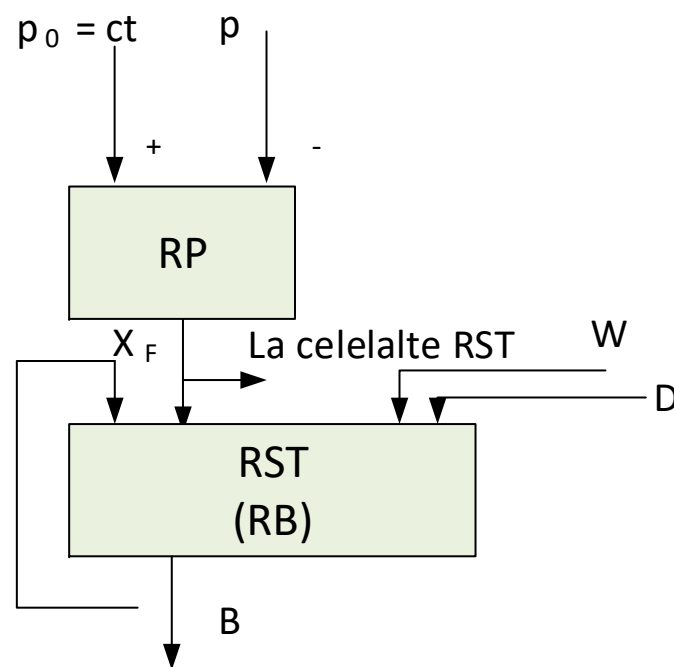


Schema de de principiu a unui cazan cu străbatere forțată

1. Reglarea automată a sarcinii cazanelor de abur cu străbatere forțată



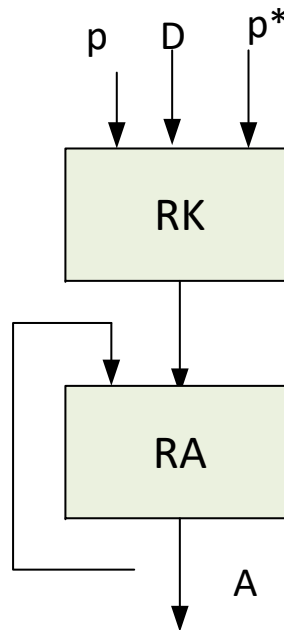
a



b

Scheme de reglare a debitului de combustibil la cazanele cu străbatere forțată

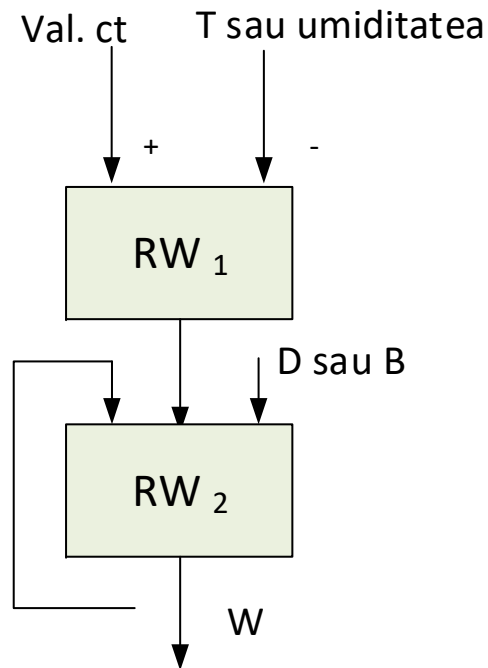
2. Reglarea automată a procesului de ardere



Scheme de reglare a arderii la cazanele cu străbatere forțată

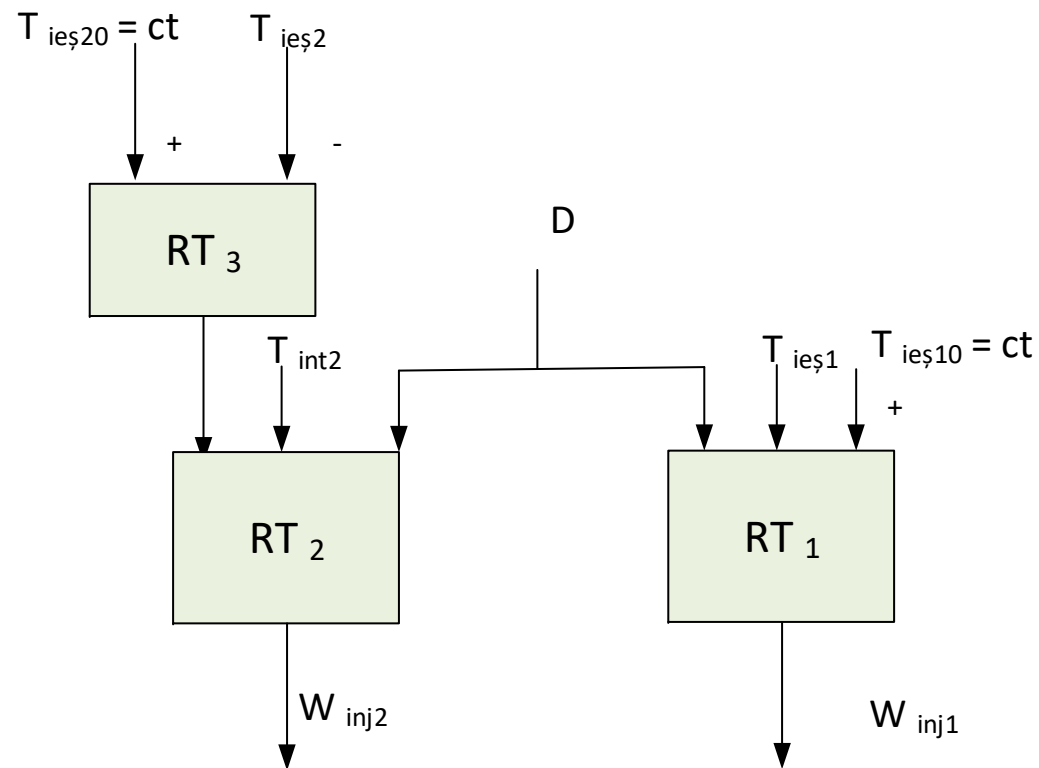


3. Reglarea automată a debitului apei de alimentare



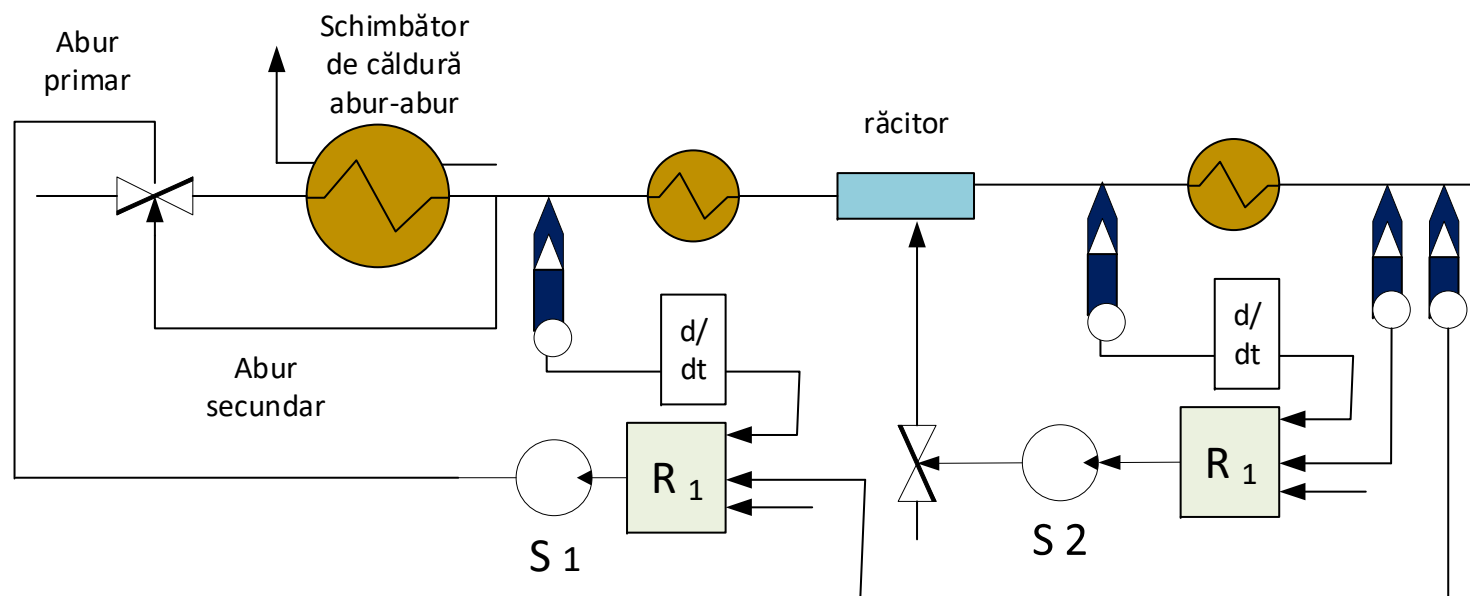
Scheme de reglare a debitului de apă la cazanele cu străbatere forțată

4. Reglarea automată a temperaturii aburului supraîncălzit



Scheme de reglare a temperaturii aburului supraîncălzit la cazanele cu străbatere forțată

Metoda reglării temperaturii aburului supraîncălzit prin schimb de căldură cu aburul principal



Elementul de execuție în procesul de reglare a temperaturii este un ventil cu trei căi care permite ocolirea schimbătorului de căldură abur-abur. Prin acest ventil o cantitate variabilă de abur secundar primește căldură de la aburul primar. Prin modificarea raportului debitelor de abur secundar prin cele două căi se asigură temperatura dorită în punctul de amestec.

Sistemele de reglare automată a turbinelor cu abur

a) Turbinele cu condensatie

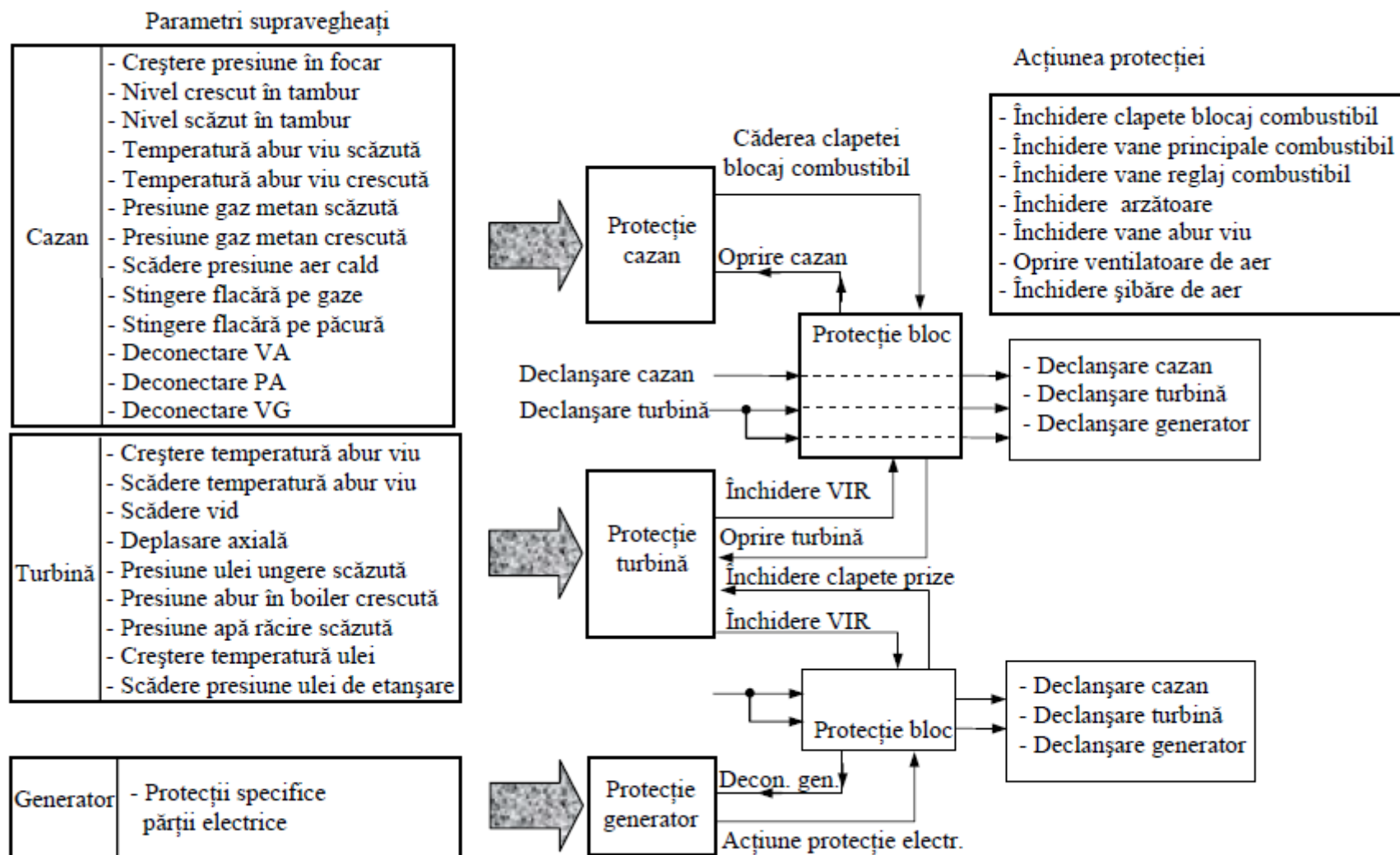
b) Turbinele cu contrapresiune

- *Regimul de sarcină termică*
- *Regimul de sarcină electrică*

c) Turbinele cu condensatie și priză reglabilă



Protecția instalațiilor din centralele termoelectrice



Dispozitive automate de siguranță a SE



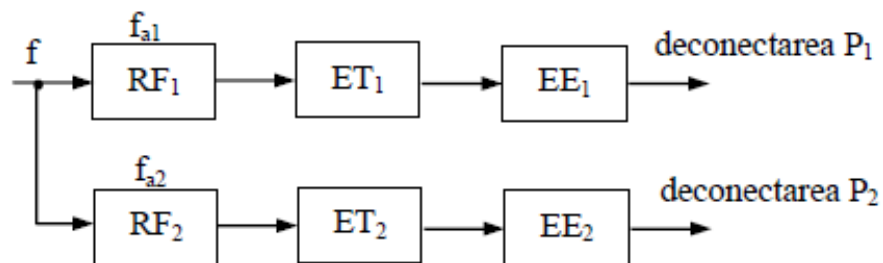
Exemple:

- a. instalațiile de protecție (IP) a echipamentelor SE;
- b. dispozitivele de descărcare automată a sarcinii (DAS);
- c. dispozitivele de reanclanșare automată rapidă (RAR);
- d. dispozitivele de anclanșare automată a rezervei (AAR);
- e. dispozitivele de pornire automată a grupurilor din centrale;
- f. dispozitivele de separare automată a sistemelor electrice interconectate;

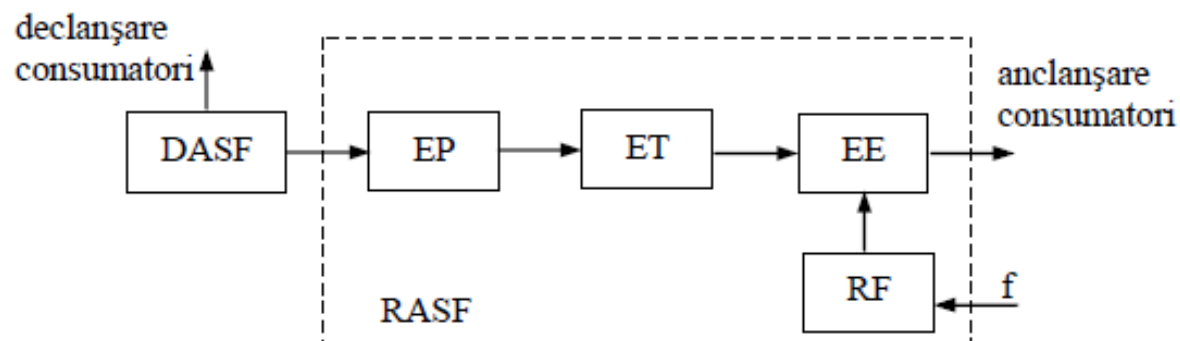


Dispozitive de descărcare automată a sarcinii la scăderea frecvenței (DASF)

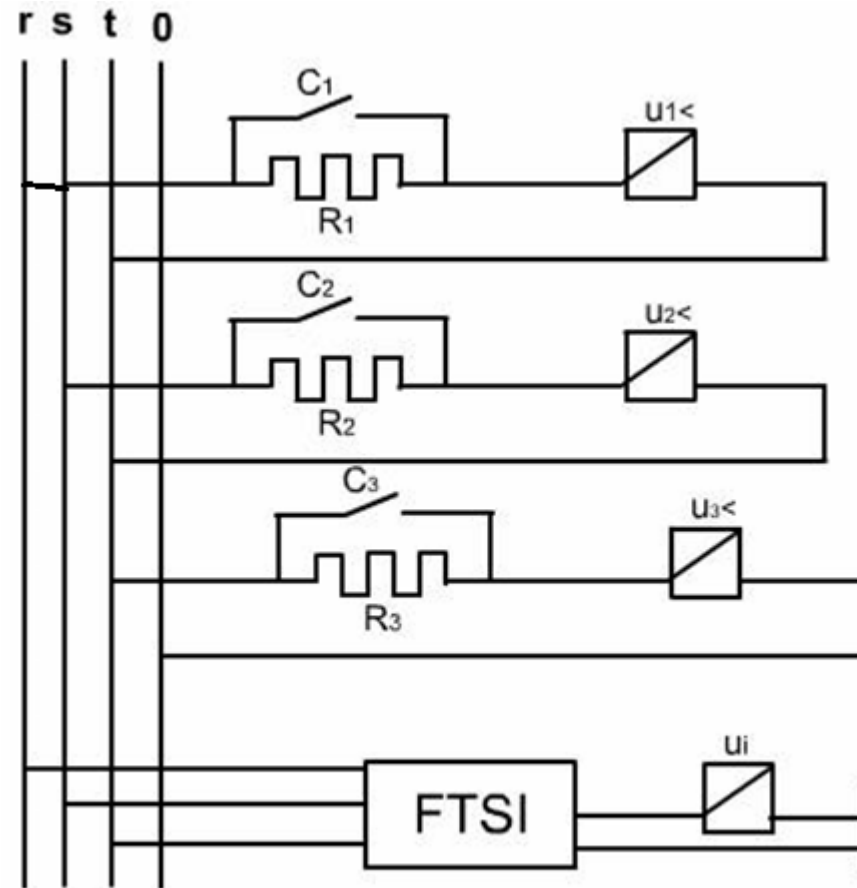
Schema bloc a dispozitivului DASF cu două tranșe de sacrificiu



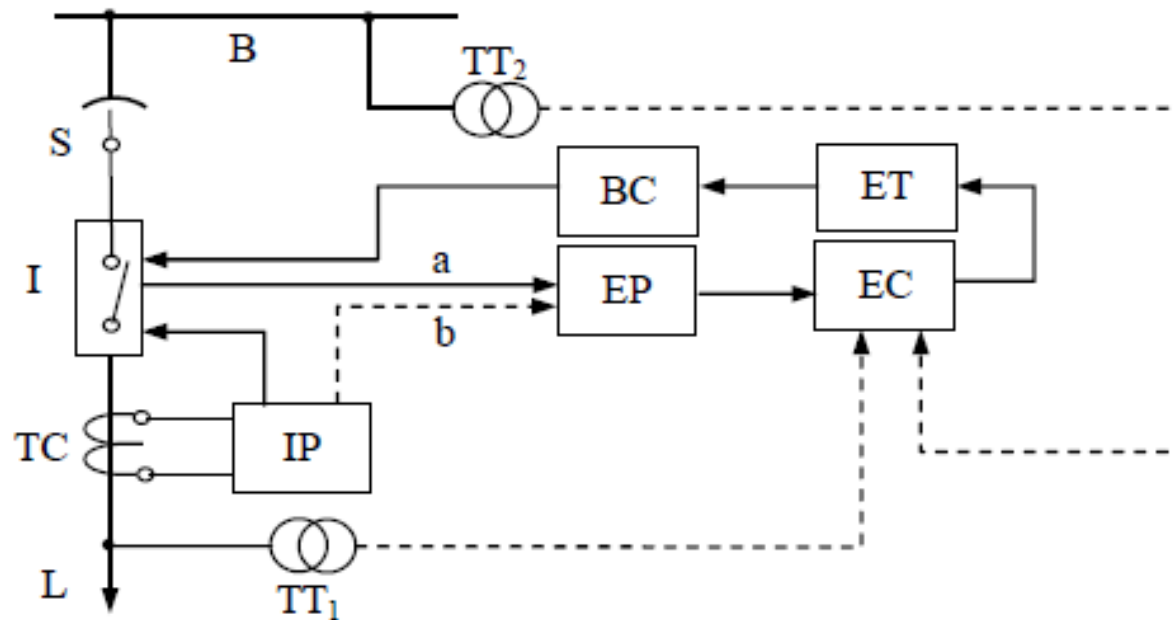
Schema bloc a dispozitivului RASF



Dispozitive de descărcare automată a sarcinii la scăderea tensiunii (DASU)



Reanclanșarea automată rapidă (RAR)



Timpul total de întrerupere pe durata RAR, t_{RAR}

- a) *La liniile radiale sau cu alimentare unilaterală, t_{RAR}*

$$t_{RAR} = t_s + t_a > t_{di}$$

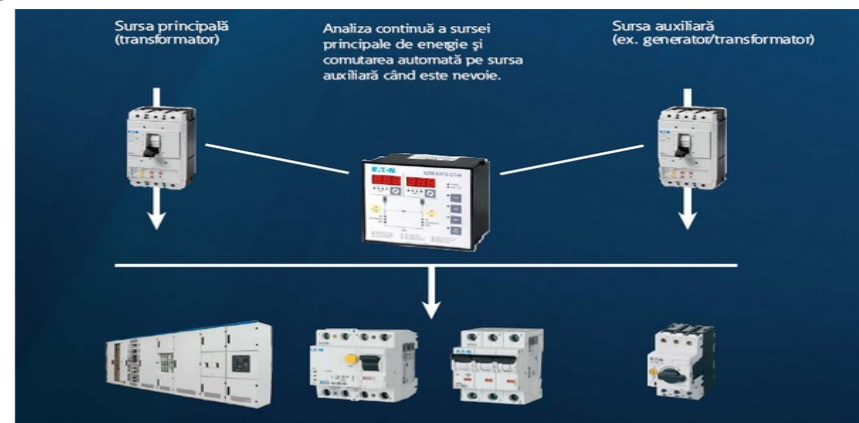
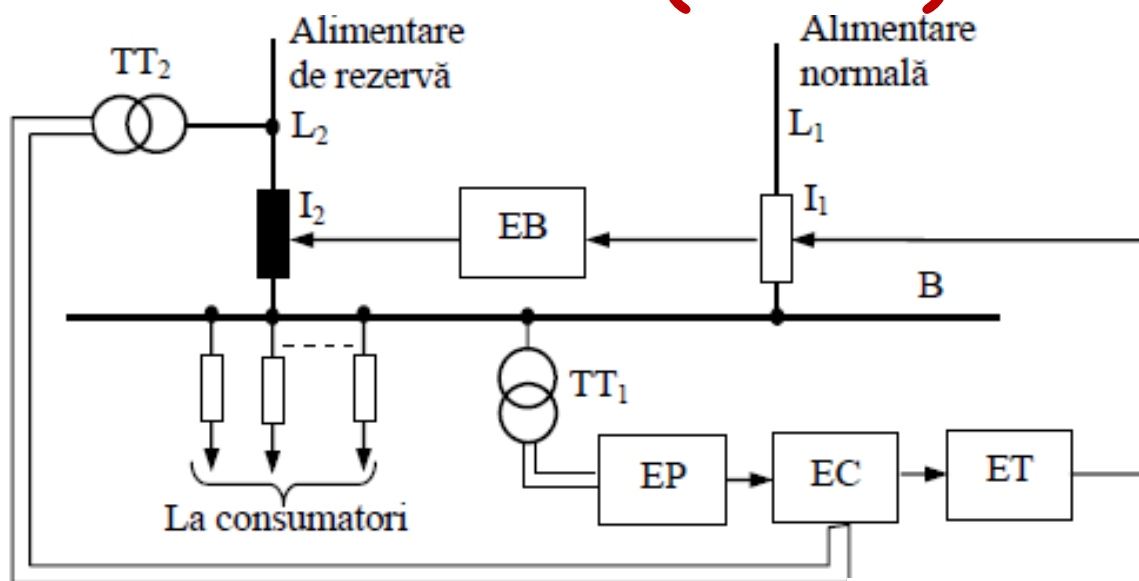
- ❖ b) *La liniile cu alimentare bilaterală*

$$t_s > (t_2 - t_1) + t_{di}$$

- ❖ Timpul total de intrerupere t_{RAR}

$$t_{ti} = t_{IP} + t_d + t_{RAR}$$

Anclanșarea automată a rezervei (AAR)



Bibliografie

- Asandei Dumitru, Automatizarea sistemelor electroenergetice
- <http://shiva.pub.ro/new/wp-content/uploads/2015/04/Curs6-CAIE-2015-DAS-site.pdf>

