

4. SISTEM DE PROTECȚII ELECTRICE PRIN RELEE AFERENT TRANSFORMATOARELOR DE PUTERE

4.1. NOȚIUNI INTRODUCATIVE

Deoarece transformatoarele sunt echipamente scumpe și importante ele trebuie protejate astfel încât curentul de defect să fie întrerupt înaintea defecării lor.

În acest caz curentul de defect în drumul său de la sursă până la locul de defect traversează transformatoarele producând solicitări electrice și termice care le pun în pericol.

Defectele ce pot apărea la transformatoare pot fi: *defecte externe și defecte interne*.

Defectele externe sunt caracterizate de scurtcircuitul produse în alte elemente de sistemul la care este conectat transformatorul.

Pentru că protecția împotriva *defectelor externe* trebuie să funcționeze numai în situația în care protecția proprie a elementului în care s-a produs defectul nu a funcționat (protecția de rezervă la distanță), ea va funcționa întotdeauna temporizat.

Protecția împotriva defectelor externe este o protecție maximală de curent temporizată.

Defectele interne se pot produce în interiorul transformatorului și sunt caracterizate de:

- *scurtcircuitul între spirele aceleași faze;*
- *scurtcircuite între înfășurări;*
- *scurtcircuite între înfășurări și cuvă, sau la bornele transformatorului;*

Protecția care acționează la defecte interioare și exterioare se execută pentru a comanda declanșarea tuturor întreruptoarelor transformatorului, cu sensibilitate cât mai mare și cu acțiune cât mai rapidă, prin aceasta reducându-se proporțiile defecării transformatorului și asigurându-se o funcționare stabilă a sistemului energetic în caz de scurtcircuit.

4.2. DESCRIEREA STANDULUI DE PROTECȚII AFERENTE TRANSFORMATORULUI DE PUTERE

Standul experimental a fost conceput cu scopul de a pune în evidență modul de realizare și funcționare al sistemului de protecții prin relee al unui transformator de putere alimentat într-o singură direcție dintr-un ATR pentru a realiza protecția maximală temporizată cu blocaj la minimă tensiune, protecția minimală și maximală de tensiune cât și alte protecții.

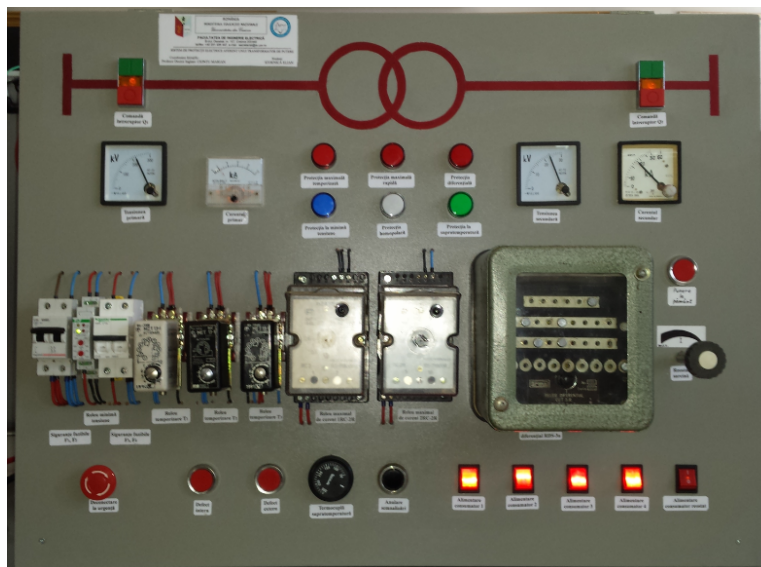


Fig. 4.1. Stand protecții transformator de putere

a) Circuite de forță:

- siguranțe automate F_1 și F_2 , asigură alimentarea cu tensiune a standului;
- întreruptorul Q_1 ce alimentează cu tensiune înfășurarea primară;
- transformatorul de putere;
- întreruptorul Q_2 pe înfășurarea secundară ce alimentează consumatorii;
- întreruptorul Q_3 pentru realizarea defectului intern (scurtcircuit între înfășurările transformatorului);
- întreruptorul Q_4 pentru realizarea defectului extern (scurtcircuit pe barele transformatorului spre consumatori);
- întrerupătoare pentru alimentarea consumatorilor în vederea ridicării sarcinii pe transformator;

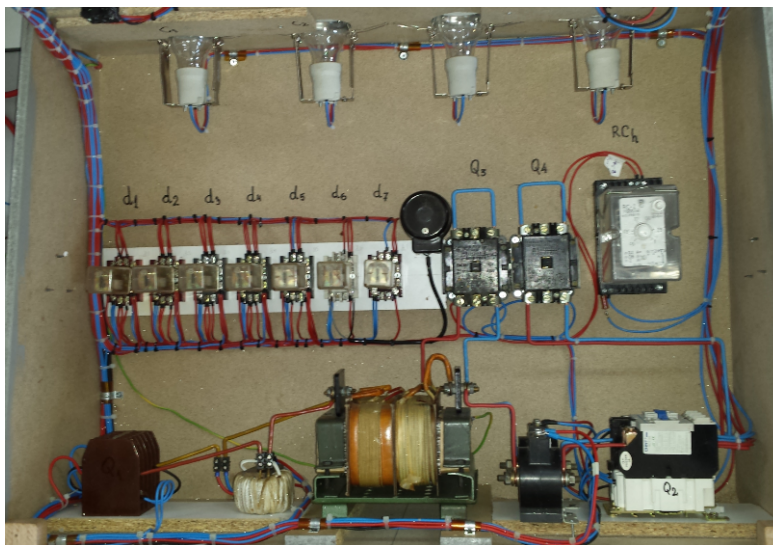


Fig. 4.2. Circuite de forță, relee intermediare și consumatori

b) Circuite de supraveghere și măsură a mărimilor electrice:

- pentru măsurarea tensiunii, kV (kilovoltmetru) pentru tensiunea primară și pentru tensiunea secundară;
- pentru măsurarea curentului, kA (kiloampermetru) pentru curentul primar și curentul secundar;
- transformatoare de curent TC_1 și TC_2 ;
- relee minimal-maximal de tensiune CP-710;
- relee maxime de curent RC-2-RS-71900-A;
- releul diferențial RDS-3a;
- releul de curent homopolar 3RCh - 0,2 A;
- relee de temporizare RS-76500 MET13-1 la acționare, T_1 , T_2 și T_3 .

c) Circuite secundare de comandă:

- siguranțe automate F_3 și F_4 ce asigură alimentarea cu tensiune a circuitelor de comandă;
- comandă anclanșat/declanșat a întreruptorului primar și secundar (Q_1 , Q_2);
- comandă defect intern, extern și punere la pământ;
- comandă declanșare urgență;
- comandă anulare semnalizări;
- relee intermediare RI-13-220Vc.a., ($d_1 \div d_7$) ce asigură deconectarea transformatorului și semnalizările acționării protecțiilor.

d) Circuite secundare de semnalizare:

- lampa h_1 încorporată în comanda anclanșat/declanșat a întreruptorului primar Q_1 , se aprinde la comanda anclanșat;
- lampa h_2 încorporată în comanda anclanșat/declanșat a întreruptorului secundar Q_2 , se aprinde la comanda anclanșat;
- lampa h_3 semnalizează protecția la minimă/maximă tensiune;
- lampa h_4 semnalizează protecția maximală temporizată;
- lampa h_5 semnalizează protecția diferențială;
- lampa h_6 semnalizează protecția maximală rapidă;
- lampa h_7 semnalizează protecția la supratemperatură;
- lampa h_8 semnalizează protecția homopolară;

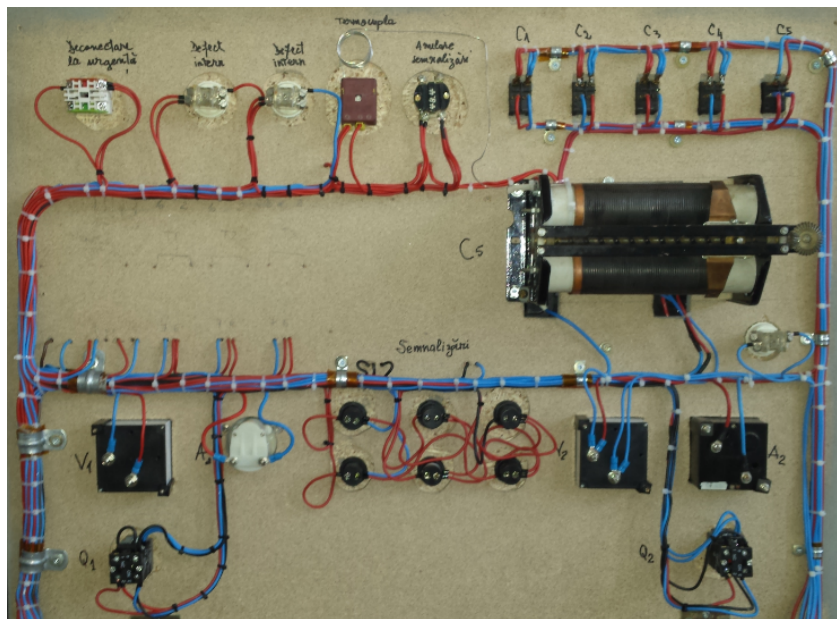


Fig. 4.3. Parte spate panou frontal

4.3. CONDIȚII INIȚIALE DE FUNCȚIONARE A STANDULUI

În vederea punerii sub tensiune a standului și alimentarea consumatorilor se procedează astfel;

1. se pune sub tensiune ATR-ul și se ridică cursorul până la indicația 220 kV;
2. se conectează siguranța automată F_1/F_2 , se urmărește kilovoltmetru ce indică *tensiunea primară* reglând din ATR tensiunea la 220 kV, astfel asigurându-se alimentarea circuitelor de forță;
3. se conectează siguranța automată F_3/F_4 , astfel se alimentează cu tensiune circuitul de comandă al standului;
4. se dă comanda de *anclanșat (I)* a întreruptorului Q_1 și se urmărește aprinderea lămpii h_1 inclusă în butonul de comandă;
5. se dă comanda de *anclanșat (I)* a întreruptorului Q_2 și se urmărește aprinderea lămpii h_2 inclusă în butonul de comandă; În acest moment transformatorul este pus sub tensiune în regim de mers în gol.
6. se conectează consumatorii prin închiderea întreruptoarelor *alimentare consumatori 1 ÷ 4*.

În acest caz, sunt realizate *condițiile inițiale* de funcționare, transformatorul se găsește în regim normal de funcționare și se pot efectua protecțiile pentru studiul protecțiilor împotriva *defectelor interne și externe*.

4.4. PROTECȚIA LA MINIMĂ TENSIUNE

a. Protecțiile de tensiune sunt protecții simple, alimentate cu o singură mărime electrică și anume tensiunea.

Protecțiile minimale de tensiune sunt cele mai frecvent utilizate și acționează în cazul scăderii tensiunii, care are loc la apariția unui scurtcircuit.

Releele minimale de tensiune acționează (cele realizate ca relee cu contacte își închid contactele) atunci când tensiunea U din circuitul protejat scade sub valoarea stabilită pentru acționarea protecției, numită tensiune de pornire a protecției U_{pp} .

Pentru acționarea protecției este necesară relația

$$U < U_{pp} \quad (2.1)$$

Pentru ca protecția să nu acționeze în regim normal, este necesar ca tensiunea de pornire să fie mai mică decât tensiunea nominală U_{nom} și decât tensiunea minimă care poate apărea în exploatare $U_{min.exp.}$, deci, în regim normal de funcționare relațiile sunt:

$$U_{pp} < U_{nom} ; U_{pp} < U_{min.exp.} \quad (2.2)$$

$$U_n = 220kV$$

$$U_{min.exp.} = 0,9 \cdot 220 = 198kV$$

$$U_{pp} = \frac{U_{min.exp.}}{k_{sig.} \cdot k_{rev.}} = \frac{198}{1,1 \cdot 1,01} = \frac{198}{1,1} = 180kV$$

Protecțiile minimale de tensiune nu pot fi selective, întrucât la apariția unui scurtcircuit scăderea tensiunii se resimte și în exteriorul instalației în care a apărut defectul.

Aceste protecții permit însă deosebirea unui scurtcircuit de o suprasarcină, întrucât scăderea tensiunii este mult mai pronunțată în cazul unui scurtcircuit și deci protecțiile minimale de tensiune acționează.

b. Modul de lucru

Pentru acționarea *protecției minimale de tensiune* se reduce tensiunea de alimentare din ATR, observând aprinderea ledului roșu U_1 la valoarea reglată $U_{pp}=180$ kV de pe releul de minimă tensiune (pornește temporizarea).

Dacă tensiunea de alimentare supravegheată revine la valoarea nominală înaintea parcurgerii temporizării releul de minimă tensiune nu va mai transmite comanda de declanșare, astfel, standul rămâne în regim normal de funcționare.

După trecerea temporizării releului (3 s) întreruptorilor Q_1, Q_2 le este dată comanda de declanșare, astfel transformatorul este deconectat atât în circuitul primar cât și în cel secundar.

Deconectarea transformatorului este semnalizată acustic și luminos prin aprinderea lămpii h_3 „Protecția la minimă tensiune”, avertizările acționării protecției rămânând în această stare până la anularea semnalizării.

4.5. PROTECȚIA MAXIMALĂ DE CURENT TEMPORIZATĂ CU BLOCAJ DE TENSIUNE MINIMĂ

a. Funcționare protecție. Această protecție se utilizează pentru protecția transformatoarelor față de curenții de scurtcircuit ce apar pe liniile ce pleacă de la secundarul transformatorului.

Deoarece aceste linii sunt prevăzute și cu alte protecții, din motive de selectivitate releul de timp trebuie reglat cu o treaptă peste cea mai mare treaptă de temporizare din rețea.

Prin reglarea astfel a temporizării protecției, schema nu funcționează decât în cazul unui refuz de funcționare al protecțiilor rețelelor sau dacă scurtcircuitul are loc la barele transformatorului.

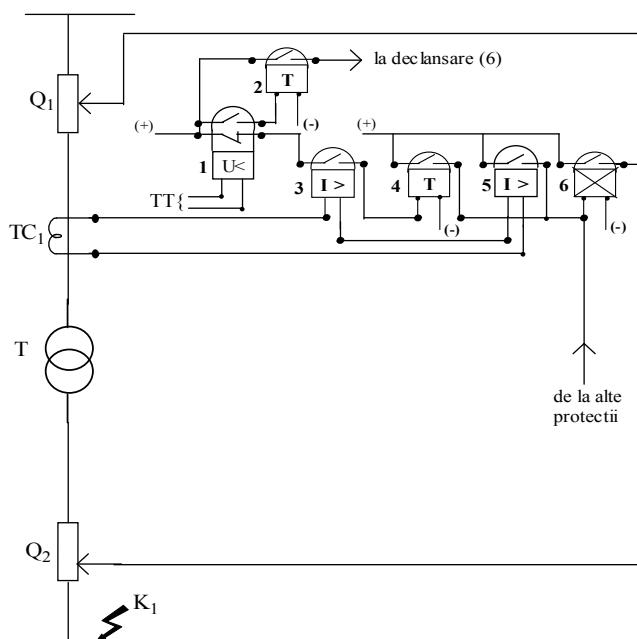


Fig. 4.4. Protecția maximală de curent temporizată cu blocaj de tensiune minimă

Schema electrică desfășurată monofilară a acestei protecții este prezentată în figura A.4 și conține releul maximal de curent 3, releul de timp 2, releul intermediar 6 și releul minimal de tensiune 1.

$$I_{pp} = \frac{k_{sig}}{k_{rev}} \cdot I_{sarc.max.} \quad (2.4)$$

unde

$$\begin{cases} k_{sig} = 1,2 \div 1,25 \\ k_{rev} = 0,85 \end{cases}$$

$$I_{sarc.max.} = 1,2 \div 1,4 \cdot I_{n1} \quad (2.5)$$

$$I_{pr} = \frac{I_{pp}}{n_{TC1}} \quad (2.6)$$

$$t = t_{aval} + \Delta t \quad (2.7)$$

$$k_{sens} = \frac{I_{sc.min}}{I_{pp} \cdot n_{TC1}} \geq 1,5 \div 2,5$$

Releul minimal de tensiune 1 are rolul de a împiedica pornirea protecției în cazul suprasarcinilor sau scurtcircuitelor îndepărtate, care nu provoacă în paralel cu creșterea curenților și o însemnată scădere a tensiunii pe bare, astfel că în aceste situații releul 1 rămâne acționat și contactul său este deschis până la revenirea tensiunii și chiar dacă releul 3 lucrează nu provoacă declanșarea întreruptoarelor.

În acest fel curentul de pornire al protecției se poate regla la valori apropiate de curentul nominal, ceea ce face ca sensibilitatea schemei de protecție să crească.

b. Modul de lucru

Plecând de la condițiile inițiale de funcționare, pentru simularea suprasarcinilor transformatorului se parcurg următorii pași:

- se închide întrerupător Alimentare consumator 5;
- se crește fin curentul urmărindu-se kilovoltmetrul Curentul primar prin rotirea spre stânga a acționării reostatului de sarcină până se depășește valoarea nominală a curentului de pornire al protecției I_{pp}

$$I_{n1} = 2,8kA$$

$$I_{pp} = \frac{k_{sig}}{k_{rev}} \cdot I_{n1} = \frac{1,1}{0,85} \cdot 2,86A = 3,72kA$$

$$I_{pr} = \frac{I_{pp}}{n_{TC1}} = \frac{3,72}{\frac{10}{5}} = 1,24A$$

$$t_1 = t_{aval} + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2s$$

La atingerea valorii I_{pp} se urmărește aprinderea ledului galben de pe releul de temporizare T_2 care semnalizează pornirea temporizării de 2s. Dacă în acest interval curentul scade sub valoarea I_{pp} protecția maximală temporizată nu intră în funcțiune iar ledul galben se stinge revenindu-se automat la condiții inițiale.

Dacă suprasarcina se menține sau continuă să crească, releul de temporizare T_2 își termină temporizarea apoi comandă declanșarea întreruptoarelor Q_1 , Q_2 prin intermediul releului intermediar d_6 . Acționarea protecției este semnalizată acustic și luminos prin aprinderea lămpii roșii *Protecția maximală temporizată* (h_4).

Pentru efectuarea protecțiilor următoare se anulează semnalizarea protecției efectuate se revine cu *reostatul de sarcină la minim* rotind spre dreapta și apoi se revine cu standul la condițiile inițiale de funcționare [A.3.] punctele 4 și 5.

4.6. PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ LONGITUDINALĂ AFERENTĂ TRANSFORMATOARELOR

a. Protecția diferențială longitudinală este cea mai completă protecție împotriva defectelor interne pentru transformatoarele de putere. Se aplică la toate transformatoarele cu puteri mari, cât și la transformatoarele de puteri medii care au o funcționare importantă pentru consumatori.

Principiul protecției diferențiale – longitudinale a transformatoarelor de putere constă în instalarea transformatoarelor de măsură (TC) în primarul și secundarul transformatorului de putere și supravegherea diferenței curenților secundari.

Supravegherea diferenței constă în compararea valorilor și sensurile curenților acelorași faze (principiul comparării curenților). Pentru schema monofilară din *figura A.5*, releul va măsura diferența:

$$I_r = I_{s1} - I_{s2} \quad (2.8)$$

La funcționarea normală sau la scurtcircuite exterioare schema protecției trebuie să asigure egalitatea curenților secundari $I_{s1} = I_{s2}$, deci curentul prin releu să fie $I_r = 0$, și acesta să nu acționeze.

În cazul scurtcircuitului în zona protejată (sensul cu săgeți punctate), curentul prin releu este egal cu suma:

$$I_r = I_{s1} + I_{s2} \quad (2.9)$$

Dacă I_{pr} este curentul de pornire al releului și dacă $I_r \geq I_{pr}$, releul acționează și comandă deconectarea transformatorului.

Transformatoarele de putere prezintă unele particularități în cazul protecției diferențiale – longitudinale:

- *curentul de magnetizare al transformatoarelor protejate* trece numai prin înfășurarea de pe partea sursei de alimentare, valorile lui în regim normal fiind de numai (3...5) % din curentul nominal.
- *diferența de fază dintre curenții primari ai protecției și compensarea acesteia.*

La transformatoare cu conexiuni Y/ Δ curenții I_{pI} și I_{pII} ai celor două înfășurări au unghiuri de fază diferite, între acești curenți primari existând un defazaj de 30° sau multiplu de 30°.

De aceea dacă se presupune $I_{pI} = I_{pII}$ se realizează o acționare greșită a protecției.

- *inegalitatea curenților secundari și egalizarea lor.*

Cu toate că raportul de transformare al transformatorului de curent se alege în funcție de curenții nominali ai transformatorului de forță, în majoritatea cazurilor curenții din circuitul secundar al protecției diferențiale nu sunt egali, din cauza nepotrivirii dintre curenții nominali ai transformatorului de forță și cei ai transformatoarelor de curent, care au valori standardizate.

Când între curenții secundari rezultați în circuitele protecției diferențiale există o diferență mai mare decât 5% din valoare lor, trebuie folosite mijloace auxiliare de egalizare.

Curenții de dezechilibru apar din cauza diferenței între curenții de magnetizare I_m ai TC care alimentează releele protecției

$$I_{dez} = I_{dez.tot.TC} + I_{dez.mT} = I_{dez.e} + I_{dez.r} \quad (2.10)$$

$I_{dez.mT}$ - curentul de magnetizare al transformatorului de forță;

$I_{dez.e}$ - eroarea de egalizare a curenților secundari care dau un curent (datorită inegalității curenților secundari sau erorilor introduse de transformatorul de egalizare).

$I_{dez.r}$ - dezechilibru care apare datorită reglajului raportului de transformare al transformatorului de forță, care modifică valoarea curenților secundari.

Desensibilizarea protecției diferențiale față de curenții de dezechilibru se realizează reglând protecția cu $I_{pr} > I_{dez}$, iar releele de curent se leagă direct în circuitul diferențial. Această soluție are dezavantajul unei sensibilități reduse, deoarece curenții de dezechilibru ai transformatorului sunt mai mari decât ai altor instalații.

Această protecție este utilizată pe scară largă ca o completare a protecției de gaze, contra scurtcircuitelor interne sau la bornele transformatorului. Principiul de funcționare este cel al compensării curenților și este prezentat în schema electrică monofilară din *figura 2.5*.

Releul diferențial compară valorile și sensurile curenților acelorași faze din cele două înfășurări ale transformatorului de protejat T, prin intermediul transformatoarelor de curent TC₁ și TC₂. Cele două transformatoare de curent sunt astfel alese încât tensiunile induse în înfășurările lor secundare să fie egale.

Aplicând principiul suprapunerii efectelor, în funcționarea normală releul diferențial RDS-3a este parcurs de diferența curenților dați de cele două transformatoare de curent:

$$I_{rel} = I_{s1} - I_{s2}$$

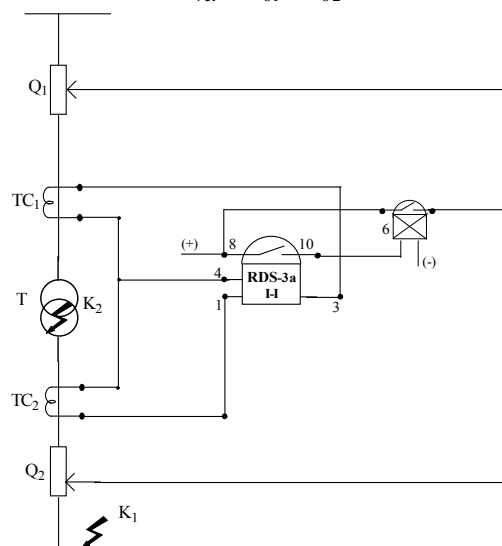


Fig. 4.5. Schema electrică monofilară a protecției diferențiale

În cazul unui scurtcircuit exterior al transformatorului, curenții de scurtcircuit sunt mari atât în primarul cât și în secundarul transformatorului T dar releul diferențial RDS-3a măsoară un curent de zero sau practic foarte mic.

Rezultă că, schema de protecție nu funcționează la defecte externe. În cazul unui scurtcircuit din interiorul transformatorului T, se schimbă sensul de circulație al curentului din secundarul transformatorului și ca urmare releul va fi parcurs de un curent mai mare decât curentul de pornire al releului și se produce acționarea acestuia.

Releul diferențial RDS-3a își închide contactul, alimentează releul intermediar 6 care provoacă declanșarea instantanee a acelor două întreruptoare Q₁ și Q₂.

$$I_{n1} = 2,86kA$$

$$n_{TC1} = \frac{10}{5} = 2$$

$$I_{n2} = 26,25kA$$

$$n_{TC2} = \frac{30}{5} = 6$$

$$I_{rel} = I_{s1} - I_{s2} \cong \frac{I_{n1}}{n_{TC1}} - \frac{I_{n2}}{n_{TC2}} \Rightarrow I_{rel} = \frac{2,86}{2} - \frac{26,25}{6} = 1,43 - 4,37 = -2,94$$

$$\frac{I_{s1} - I_{s2}}{I_{s2}} * 100 \leq 5\%$$

$$\Rightarrow \frac{1,43 - 4,37}{1,43} \cdot 100 \leq 5\% \Rightarrow -205,6 \ll 5\%$$

$$w_l * (I_{s1} - I_{s2}) + w_{eg} * I_{s2} = w_s * I_{rel}$$

$$w_l = 20spire$$

$$20 \cdot (1,43 - 4,37) + w_{eg} \cdot 4,37 = 0$$

$$-58,8 + w_{eg} \cdot 4,37 = 0 \Rightarrow w_{eg} = \frac{58,8}{4,37} = 13,45spire$$

Se alege 14 spire pentru înfășurarea de egalizare.

b. Modul de lucru

Plecând de la condițiile inițiale de funcționare, pentru simularea protecției diferențiale se apasă comanda Defect intern moment în care întreruptorul Q₃ primește comanda de anclanșat realizând scurtcircuit între spirele din înfășurarea secundară a transformatorului.

În acest caz releul RDS-3a sesizează diferența curenților de la capetele zonei protejate, protecția diferențială lucrează și trimite comanda declanșat întreruptorilor Q₁ și Q₂ semnalizând acustic și luminos prin aprinderea lămpii roșii Protecția diferențială h₅.

Pentru efectuarea protecțiilor următoare se anulează semnalizarea protecției efectuate și se revine cu standul la condițiile inițiale de funcționare [2.3.] punctele 4 și 5.

4.7. PROTECȚIA MAXIMALĂ INSTANTANEE

a. Protecția maximală instantanee acționează în cazul creșterii curentului în circuitul protejat prin apariția scurtcircuitelor exterioare.

Este realizată cu releul de curent 2RC-2.

$$k_{sig} = 1,5$$

$$k_{rev} = 0,85$$

$$I_{pp} = \frac{k_{sig}}{k_{rev}} \cdot I_{n1} = \frac{1,5}{0,85} \cdot 2,86 = 5kA$$

$$I_{pr} = \frac{I_{pp}}{n_{TC1}} = \frac{5}{2} = 2,5A$$

b. Modul de lucru

Plecând de la *condițiile inițiale de funcționare*, pentru simularea protecției maxime instantanee se apasă comanda *Defect extern* moment în care întreruptorul Q₄ primește comanda de *anclanșat* realizând scurtcircuit pe barele transformatorului pe nivelul de 24 kV.

În acest caz *releul de curent 2RC-2* este parcurs de curent își închide contactul și trimite comanda *declanșat* întreruptorilor Q₁ și Q₂ semnalizând *acustic și luminos* prin aprinderea lămpii roșii *Protecția maximală rapidă h₃*. Pentru efectuarea protecțiilor următoare se anulează semnalizarea protecției efectuate și se revine cu standul la condițiile inițiale de funcționare [2.3.] punctele 4 și 5.

4.8. PROTECȚIA LA SUPRATERATURĂ

a. Modul de lucru

Plecând de la *condițiile inițiale de funcționare*, pentru simularea protecției la supratemperatură se închide întrerupătorul *alimentare consumator 5*, se rotește spre stânga reostatul de sarcină pentru a crește curentul către o valoare apropiată de I_{n1}, termocupla va sesiza creșterea temperaturii, va comanda releul de temporizare T₃, moment în care începe temporizarea iar după 60 s întreruptoarele Q₁ și Q₂ primesc comanda de *declanșat*, semnalizând *acustic și luminos* prin aprinderea lămpii albe *Protecție supratemperatură h₇*.

Pentru efectuarea altor protecții se anulează semnalizarea protecției efectuate și se revine cu standul la condițiile inițiale de funcționare [2.3.] punctele 4 și 5.

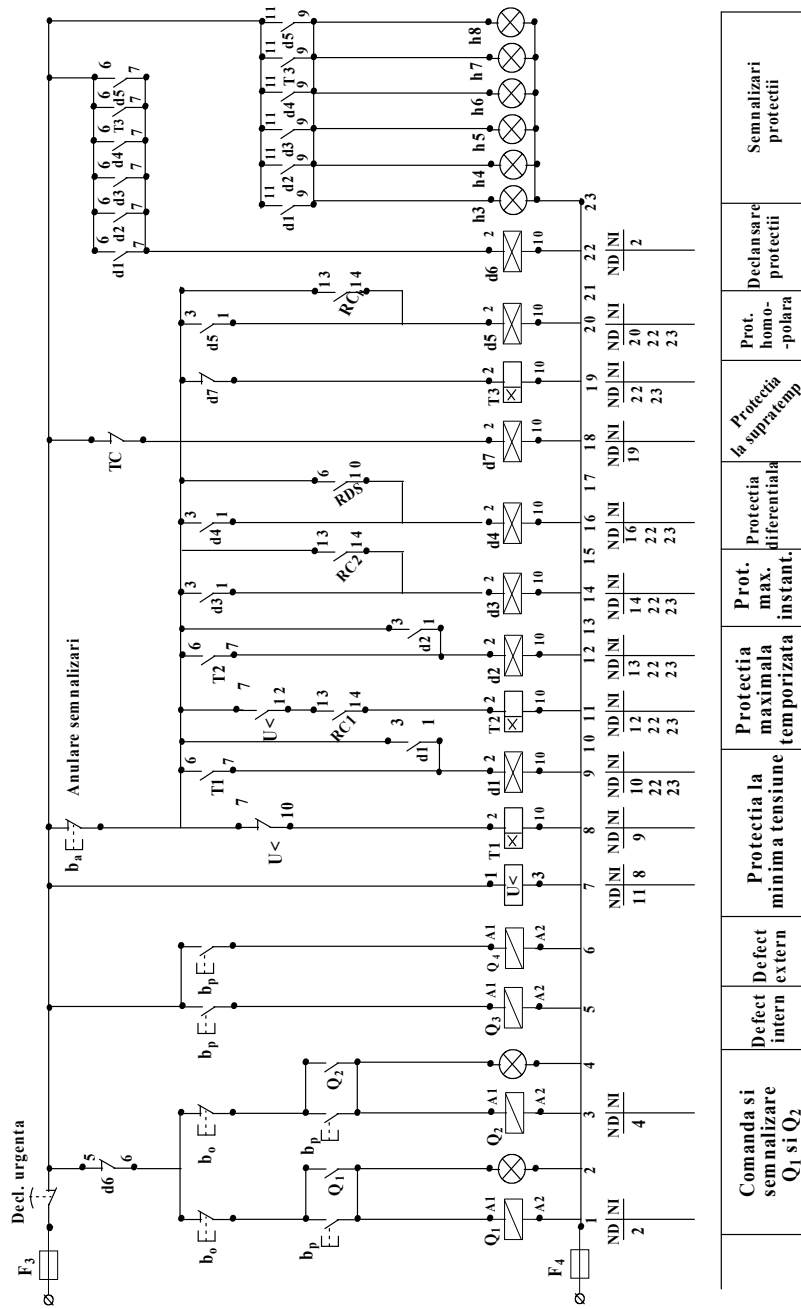
4.9. PROTECȚIA HOMOPOLARĂ

a. Protecția homopolară, prevăzută pentru sesizarea punerilor la pământ. În cazul defectelor cu punere la pământ apare componenta de secvență homopolară a curentului și tensiunii. Conectând relee de curent și/sau de tensiune prin intermediul unor filtre de secvență homopolară, se poate asigura funcționarea protecțiilor numai în cazul acestor defecte.

b. Modul de lucru

Se pleacă de la *condițiile inițiale de funcționare*, pentru simularea protecției homopolară se apasă butonul *punere la pământ*, releul de curent 3RCh-2-0,2A sesizează un curent reglat la 0,02 A, își închide contactul iar întreruptoarele Q₁ și Q₂ primesc comanda *declanșat*, semnalizând *acustic și luminos* prin aprinderea lămpii verde *Protecție homopolară h₈*.

Pentru efectuarea protecțiilor următoare se anulează semnalizarea protecției efectuate și se revine cu standul la condițiile inițiale de funcționare [2.3.] punctele 4 și 5.



Schema de comanda si semnalizare Protectii Transformator.