

PROTECȚIA PRIN DECONECTAREA AUTOMATĂ A SECTORULUI DEFECT

1. Protecția împotriva electrocutării

Normativele de tehnica securității muncii deosebesc două categorii de accidente prin electrocutare. Acestea sunt produse prin:

- **atingerea directă** a unor elemente conductoare care:
 - se află în mod normal sub tensiune;
 - au fost scoase de sub tensiune, dar:
 - au rămas încărcate cu sarcină capacitivă;
 - pe care pot apare tensiuni induse electromagnetice.
- **atingerea indirectă**, adică atingerea unor elemente conductoare, care în mod normal nu sunt sub tensiune, dar pot veni în contact cu elemente sub tensiune ca urmare a unui defect de izolație.

Prevenirea electrocutării prin atingere directă necesită următoarele măsuri asupra elementelor sub tensiune:

- marcarea lor prin inscripții vizibile și/sau culoare (de obicei galben sau portocaliu);
- protejarea lor prin izolații (de exemplu bornele sau aparatele);
- protejarea lor prin închidere (ca în cazul tablourilor de tip deschis care se introduc în cutii sau în încăperi speciale);
- utilizarea aparatelor cu grad de protecție mărit în instalații sau încăperi deservite de personal necalificat;
- măsuri organizatorice de acces condiționat în instalațiile cu pericol crescut;
- utilizarea mijloacelor individuale de protecție;
- sisteme de avertizare și/sau deconectare automată în cazul accesului unor persoane în zona periculoasă (de obicei, avertizarea este acustică cu buzere, sonerii, hupe), etc.

Prevenirea electrocutării prin atingere indirectă se bazează pe trei categorii de măsuri asupra părților metalice protejate:

- legarea la nulul de protecție;
- legare la priza de pământ (excepție fac corpurile de iluminat)
- utilizarea la alegere a uneia dintre măsurile suplimentare de protecție, dintre următoarele:

- utilizarea tensiunilor reduse, obținute prin separare galvanică față de rețeaua de alimentare;
- izolare suplimentară de protecție;
- egalizarea potențialelor părților metalice ce pot fi atinse simultan;
- *deconectarea automată a sectorului defect.*

În funcție de gradul de pericol, se folosesc în ordinea dată, una, două sau toate trei categoriile.

2. Legarea la nulul de protecție sau la priza de pământ

Elementele conductoare, de regulă carcase metalice, ale echipamentelor electrice sunt legate la nulul de protecție (care este diferit de nulul de lucru) sau la priza de pământ.

Aceste instalații de protecție sunt destinate receptoarelor, utilajelor, tablourilor electrice, etc. a căror alimentare provine de la transformatoare cu nulul secundarului legat la o priză de pământ. În anumite condiții, legarea la pământ poate fi folosită ca mijloc principal de protecție și în cazul rețelelor cu nulul izolat de pământ.

Aceste protecții beneficiază de existența aparatelor de protecție la scurtcircuit (siguranțe fuzibile, relee electromagnetice sau declanșatoare) și uneori de prezența aparatelor de protecție la suprasarcină (relee termice ale receptoarelor sau ale prizelor de la care acestea sunt alimentate).

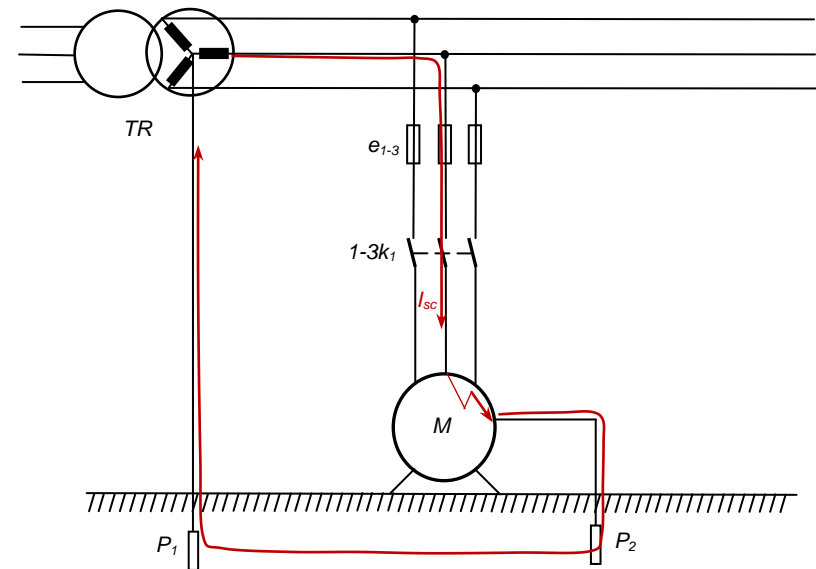


Fig. 13.1 Legarea la priza de pământ

Transformatorul coborâtor de tensiune din postul de transformare are de regulă secundarul conectat în stea cu nulul legat la priza de pământ P_1 , așa cum se observă în figura 13.1. Legând carcasa receptorului sau utilajului M la priza de pământ P_2 , contactul direct dintre carcasă și o cale de curent sub tensiune

determină circulația unui curent de scurtcircuit, produs de tensiunea de fază a sursei. Acest curent se închide după următorul circuit: faza respectivă - aparatul de protecție la scurtcircuit – legătura electrică defectă conectată la carcasa – priza de pământ $P2$ – priza de pământ $P1$ – nulul rețelei.

Curentul de scurtcircuit determină acționarea aparatului de protecție de pe faza respectivă. Carcasa receptorului va fi scoasă de sub tensiune și pericolul va fi îndepărtat.

Acest sistem este folosit atât pentru receptoare sau utilaje având elemente metalice ale carcasei, atât pentru cele cu alimentare trifazată, cât și pentru cele cu alimentare monofazată, la care există pericolul producerii de accidente prin atingere indirectă.

Sistemul are următoarele dezavantaje:

- izolarea prizei de pământ sau întreruperea circuitului de legare la priză mărește pericolul de electrocutare;
- creșterea rezistenței prizei de pământ sau un contact nesatisfăcător pe calea de curent poate determina curenți reduși de scurtcircuit, care nu declanșează aparatul de protecție, dar determină o creștere inutilă a consumului specific de energie electrică și eventual încălzirea izolației, urmată de defecte mai importante și chiar incendii;
- sistemul nu lucrează în cazul tensiunilor induse.

Aceste dezavantaje au determinat aplicarea măsurilor suplimentare de protecție menționate.

3. Sisteme suplimentare de protecție

Sistemele suplimentare de protecție sunt:

- ❖ separarea de protecție;
- ❖ izolarea suplimentară de protecție;
- ❖ alimentarea cu tensiune redusă
- ❖ egalizarea potențialelor;
- ❖ protecția prin deconectarea sectorului defect.

3.1 Separarea de protecție

Receptorul este alimentat prin intermediul unui transformator de separare sau de la un grup motor-generator. Dacă mediul prezintă umiditate ridicată sau particule conductoare depuse sau în suspensie, tensiunea de alimentare a receptoarelor este sub 50V.

Transformatorul de separare va avea înfășurarea secundară izolată față de pământ. Atât circuitul primar, cât și cel secundar sunt prevăzute cu siguranțe fuzibile.

3.2 Izolarea suplimentară de protecție

Izolarea suplimentară de protecție se aplică:

- echipamentelor, și constă în acoperirea cu materiale izolante a elementelor care ar putea ajunge sub tensiune în caz de defect, respectiv în întărirea izolației pe elementele aflate sub tensiune și care sunt susceptibile de a fi atinse;
- asupra locului de muncă, și constă în izolarea elementelor metalice cuprinse în zona de manipulare (delimitată la o rază de 1,25 m în jurul locului de muncă).

3.3 Egalizarea potențialelor

Egalizarea potențialelor se folosește în spațiile de lucru unde este posibilă apariția unor diferențe de potențial electric între carcasa unor echipamente legate la pământ. Se realizează prin legături electrice directe între obiectele metalice care pot fi atinse simultan.

3.4 Deconectarea automată a sectorului defect

Acest sistem suplimentar de protecție presupune sisteme de detectare (pentru depistarea defectului) și comanda întreruperii alimentării cu energie electrică în zona defectului. Fiind sisteme mai complicate și cuprinzând aparate cu contacte mobile, sunt mai puțin fiabile și mai scumpe decât mijloacele anterioare.

Chiar dacă corecta lor funcționare nu trebuie supravegheată, ea trebuie testată periodic. În consecință, sunt dotate cu dispozitive de control, care presupun alte contacte mobile. La conceperea dispozitivului de control se ia în considerare să nu se creeze stări periculoase pentru personalul de deservire. În consecință, cel puțin legătura la obiectul protejat nu poate fi controlată direct pe această cale.

Dezavantajele menționate au făcut să nu fie utilizate decât dacă metodele anterioare nu sunt satisfăcătoare, în sectoare unde pericolul este mare sau dacă echipamentele protejate sunt de valoare mare.

4. Instalații pentru deconectarea automată a sectorului defect

Utilizarea acestui tip de protecție se află în continuă extindere. Aceste instalații sunt folosite ca un sistem de rezervă pentru instalațiile de protecție prin legare la pământ sau la nulul de protecție.

După destinație, aceste instalații de protecție automată se împart în:

- protecția automată care acționează la apariția unor tensiuni de atingere periculoase (PATA);
- protecția automată care acționează la apariția unor curenți de defect periculoși (PACD);

Instalațiile din prima categorie intervin direct împotriva pericolului de electrocutare prin atingere indirectă.

Cele din a doua categorie intervin direct împotriva pericolelor de distrugere a utilajului sau receptorului, de generare a incendiilor, precum și împotriva creșterii inutile a consumului specific de energie electrică. De asemenea, acționează indirect împotriva pericolului de electrocutare prin atingere indirectă și previn electrocutarea prin tensiune de pas.

4.1. Protecția automată în cazul apariției unor tensiuni de atingere periculoase (PATA)

Protecția PATA are rolul de a detecta apariția unei tensiuni periculoase la atingere pe elementele metalice ce nu fac parte din circuitele electrice și de a comanda deconectarea echipamentului defect. Această acțiune trebuie să se realizeze în maximum 0,2 secunde.

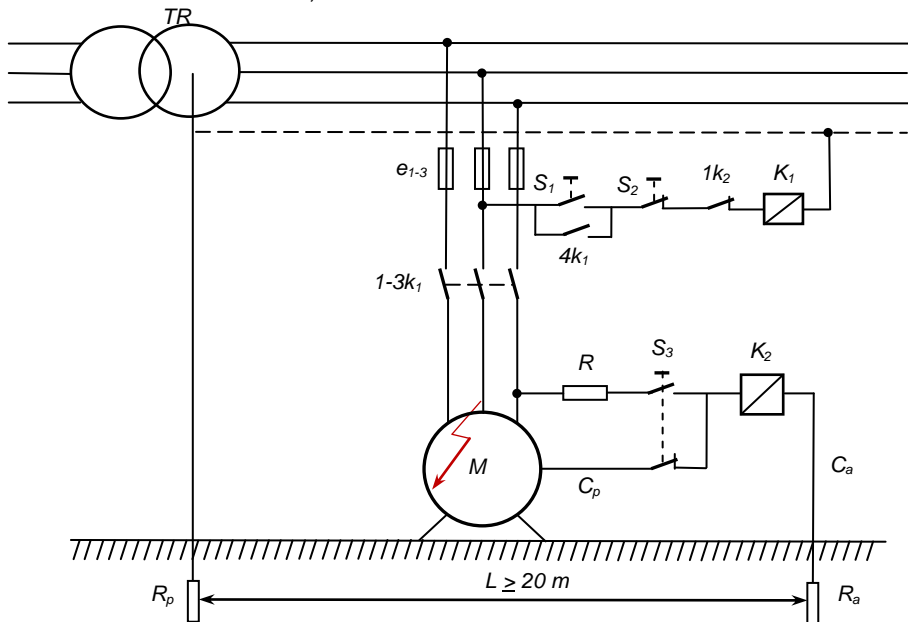


Fig.13.2 Protecția automată la apariția tensiunilor de atingere periculoase

Protecția PATA intervine atunci când echipamentul protejat nu are legătură cu prizele de pământ, ori această legătură a fost deteriorată.

Schema electrică de principiu este prezentată în figura 13.2. Instalația de protecție se compune din: contactorul K_1 de conectare/deconectare al receptorului sau utilajului M , releul de protecție K_2 , dispozitivul de control S_3 al bunei funcționări a protecției, toate acestea fiind adeseori montate în aceeași carcasă. Instalația mai cuprinde: prizele de pământ auxiliare R_a , amplasate într-o zonă de potențial nul, conductorul C_a pentru legarea bobinei releului K_2 la priză și conductorul C_p pentru legarea aceleiași bobine la carcasa utilajului. Așadar bobina releului de protecție K_2 este montată între carcasa utilajului și prizele auxiliare R_a , acționând la apariția tensiunii de defect (sau de atingere).

La apariția unei tensiuni periculoase pe carcasa utilajului M în raport cu propria priză de legare la pământ R_a , releul K_2 va acționa. Protecția funcționează numai în rețelele cu nulul pus la pământ, în care circuitul bobinei K_2 poate fi închis. La acționarea releului K_2 , contactul normal-închis $1k_2$ se deschide întrerupând circuitul bobinei contactorului K_1 . Contactele principale ale acestuia - $1..3 k_1$ - se vor deschide, deconectând utilajul pe a cărui carcasă a apărut o tensiune periculoasă.

Releul K_2 trebuie să deconecteze la o tensiune de defect de cel mult 24V dacă rezistența prizei auxiliare de pământ este de 200Ω . În general tensiunile la care intervine declanșarea sunt mai mici (fig.13.3).

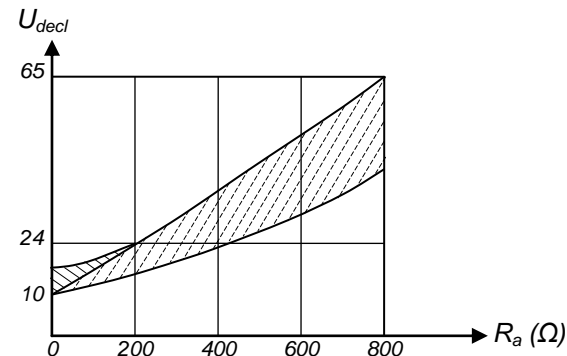


Fig.13.3 Domeniul de declanșare al releului de protecție în funcție de rezistența prizei auxiliare

În figura 13.4 este indicată diagrama vectorială a tensiunii de anclanșare a releului de protecție, montat într-o rețea cu nulul pus la pământ.

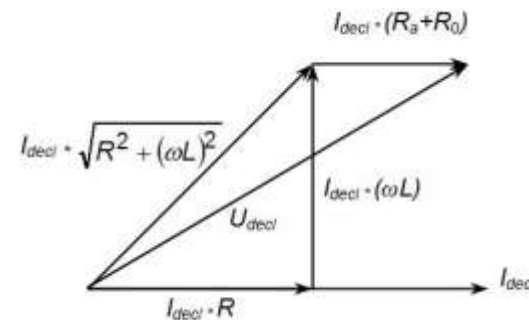


Fig.13.4 Diagrama vectorială a tensiunii de declanșare a releului de protecție

Deci:

$$U_{decl} = I_{decl} \sqrt{(R + R_a + R_0)^2 + (\omega \cdot L)^2} \quad \text{unde:}$$

R – rezistența bobinei releului de protecție, $[\Omega]$

R_0 – rezistența prizei de pământ a nulului rețelei, $[\Omega]$

R_a – rezistența prizei de pământ auxiliare, $[\Omega]$

ωL – reactanța bobinei releului K_2 , $[\Omega]$

I_{decl} – curentul de declanșare, $[A]$, a cărui valoare este cuprinsă între 12÷60 mA (în general, $I_{decl} = 40\text{mA}$).

Dar $R_0 \ll R + R_a$, deci tensiunea de declanșare se poate scrie:

$$U_{decl} = I_{decl} \sqrt{(R + R_a)^2 + (\omega L)^2} \quad [V]. \quad \text{În general, } U_{decl} = 10 \div 24 \text{ V.}$$

Timpul total de deschidere a contactului normal-închis (timpul propriu de deschidere plus durata arcului electric) al releului de protecție depinde de valoarea tensiunii de defect. Astfel, dacă tensiunea este mai mică de 30V, declanșarea se face în cel mult 0,5 secunde; la o valoare mai mare sau egală cu 30V, declanșarea se face în mai puțin de 0,2 secunde. Releele care pot fi folosite pentru protecție împotriva tensiunilor de atingere trebuie să aibă timpul de declanșare sub 0,1 secunde, deci se poate considera că acționează instantaneu, ceea ce constituie un avantaj esențial al acestui tip de protecție.

Dispozitivul de control S_3 este compus dintr-un buton de comandă cu contact dublu și o rezistență de limitare R . Acest dispozitiv se folosește pentru testarea periodică a sistemului. Prin apăsarea butonului este simulat defectul, prin legarea unei faze la bobina releului K_2 , rezistența R limitând curentul de simulare. Prin cel de-al doilea contact al butonului S_3 este luată și măsura de protecție împotriva apariției tensiunii de defect (de probă) pe carcasa utilajului. Dacă instalația de protecție se găsește în stare bună, se produce declanșarea. În acest fel sunt verificate: contactul $1k_2$ al releului, bobina lui, contactorul K_1 , priza de pământ auxiliară, conductorul dintre releul K_2 și priza auxiliară. Se recomandă efectuarea unui control odată pe lună.

În ceea ce privește executarea instalației de protecție, priza de pământ auxiliară trebuie plasată într-o zonă de potențial nul. În caz contrar se șuntează bobina releului de protecție. În general este suficient ca priza auxiliară să fie instalată la 20m de priza la care sunt legate carcasa utilajelor. Se recomandă ca rezistența prizei auxiliare să nu depășească 200Ω . Doar în cazuri excepționale, de exemplu în pământ stâncos sau nisipos se admite și 800Ω , dar declanșarea are loc la o tensiune de defect de 65V (fig. 13.3).

4.2 Protecția automată în cazul apariției unor curenți de defect periculoși (PACD)

Acest tip de protecție intervine atunci când pe un traseu fază-carcasă-pământ apare un curent superior valorii curentului de sarcină și inferior curentului de declanșare a protecției maxime.

Avantajele principale ale acestei protecții sunt:

- ❖ evită menținerea unor tensiuni de atingere pe elementele metalice ce nu fac parte din circuitul curenților de lucru și care prezintă o rezistență prea mare în legătura lor cu priza de pământ: $R_p \geq \frac{U_{a.ad}}{I_d}$, unde $U_{a.ad}$ este tensiunea de atingere admisă, iar I_d este curentul de defect;
- ❖ evită accidente produse prin atingere directă, dacă sensibilitatea protecției permite o declanșare mai rapidă de 0,2 secunde în cazul decelării unui curent de atingere de maxim 30 mA;
- ❖ elimină consumul suplimentar de energie electrică produs de curentul de defect;
- ❖ permite uneori depistarea mult mai rapidă a locului defectului;

- ❖ previne extinderea defectului, datorită deconectării rapide la curenți de defect reduși;
- ❖ protejează un utilaj (receptor) sau o anumită zonă.

Principiile ce stau la baza conceperii schemelor PACD sunt:

- detectarea unui curent suplimentar;
- detectarea unui dezechilibru în alimentarea echipamentului protejat.

4.2.1 Detectarea curentului suplimentar

Poate fi măsurat orice curent care apare sau a cărui valoare se modifică ca urmare a defectului.

În consecință vom deosebi soluțiile:

- detectarea curentului de defect;
- detectarea unui curent operativ;
- detectarea curentului homopolar.

4.2.1.1 Detectarea curentului de defect

Aceste scheme se folosesc în cazul rețelelor cu nulul izolat față de pământ și se bazează pe deplasarea nulului sistemului trifazat de alimentare la apariția unui defect. Între nulul de lucru al rețelei de alimentare și pământ se înscriează un releu de curent care poate fi legat direct sau prin intermediul unui transformator de curent.

Deoarece rețelele de joasă tensiune au, de regulă, nulul legat la pământ, pentru folosirea acestei protecții în această situație este necesar ca alimentarea receptoarelor sau utilajelor protejate să se realizeze printr-un transformator de separație TR (figura 13.5) cu raport de transformare 1:1 și cu secundarul conectat în stea. Detectarea curentului de defect este realizată de releul de curent K_2 înseriat la legătura cu pământul a nulului secundarului transformatorului de alimentare TR . Zona protejată poate fi redusă introducând un alt transformator de separație la intrarea acesteia.

Deficiențele acestei soluții, care au limitat utilizarea ei în practică:

- protecția acționează în funcție de raportul valorilor rezistențelor de izolație ale fazelor și nu în funcție de valorile lor absolute (în consecință, dacă scăderea rezistențelor de izolație este echilibrată sau are loc un scurtcircuit trifazat la carcasa legată la pământ, releul nu decelează un curent de defect);
- nu este selectivă, deoarece nu localizează defectul, întrerupând alimentarea tuturor receptoarelor din zonă;
- soluția poate fi aplicată și la rețele cu nulul izolat numai dacă se realizează un nul artificial (figura 13.6) cu reactanțele X_{f1} , X_{f2} și X_{f3} , fapt ce antrenează alte dezavantaje, și anume:
 - înrăutățește izolația rețelei respective față de pământ, deoarece impedența elementelor ce constituie nulul artificial sau impedența elementelor care sunt legate între nulul artificial și pământ, nu poate fi suficient de mare;
 - mărirea curentului detectat depinde de valoarea și modul de dezechilibru al capacităților fazelor rețelei în raport cu pământul;
 - tensiunea carcasă-pământ depinde de raportul impedențelor carcasă-pământ, respectiv nul artificial-pământ.

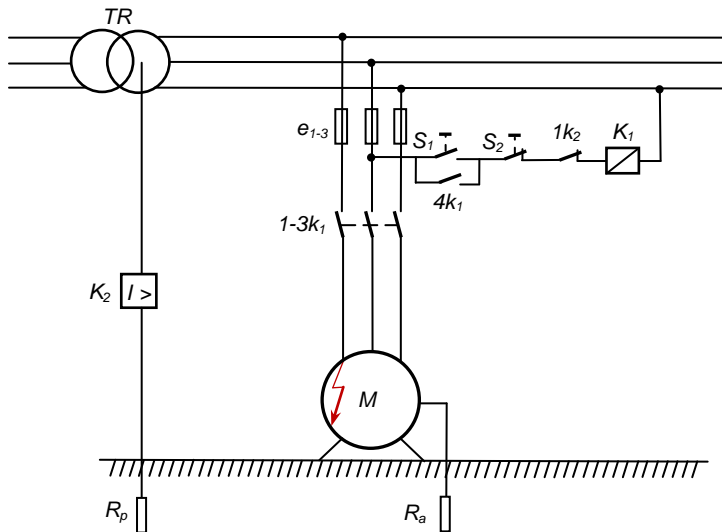


Fig.13.5 Schema PACD de detectarea curentului de defect

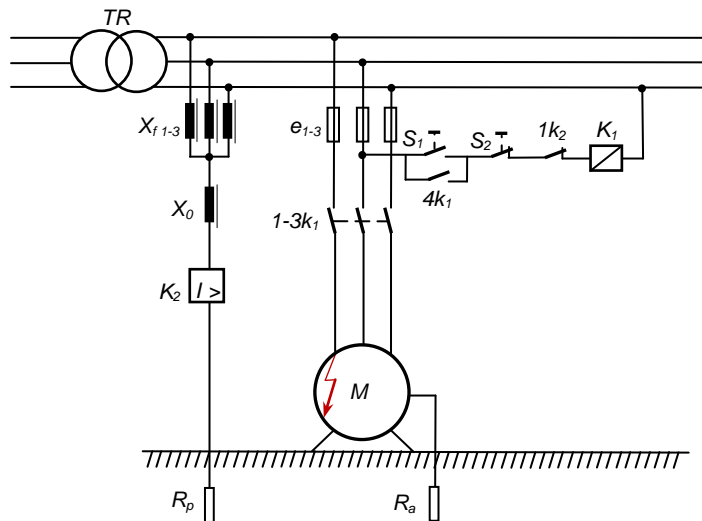


Fig. 13.6 Schema PACD de detectarea curentului de defect cu realizarea de nul artificial

Nulul artificial se realizează, de obicei, cu inductanțe egale pentru a limita pierderile active de energie (prin efect Joule-Lenz). Spre deosebire de schema anterioară, protecția acționează și în funcție de valorile absolute ale rezistențelor de izolație ale fazelor.

Există și posibilitatea realizării nulului artificial cu trei voltmetre (schema de semnalizare, fără releu). În acest caz, la apariția unui curent de defect pe calea carcasa-pământ-nul artificial, voltmetrul de pe faza defectă indică o tensiune mai

mică, cuprinsă în domeniul $0 - U_f$, iar restul voltmetrelor vor indica o tensiune cuprinsă în domeniul $U_f - \sqrt{3} U_f$. Evident, în acest caz, detectarea defectului depinde de calitatea observației operatorului.

Dezavantajele acestor scheme constau în:

- folosirea doar în rețele cu nulul bine izolat față de pământ, dar cu acces la acest nul; pentru folosirea în rețele cu nulul pus la pământ sunt necesare transformatoarele de separație;
 - rezistența releului de protecție K_2 trebuie să fie mare, pentru a putea decupla la curent mic de defect ($I_d \leq 30\text{mA}$) și la o tensiune de atingere sub 40V.
- Ca urmare, utilizarea în practică a acestor scheme este limitată.

4.2.1.2 Detectarea unui curent operativ

Schema de protecție ce folosește un curent operativ (figura 13.7) pleacă de la schema anterioară, cu nul artificial, și se utilizează tot în rețelele cu nul izolat.

Această protecție are ca principiu aplicarea între nulul artificial și pământ, a unei surse de tensiune continuă, numită sursă de tensiune operativă (STO), care crește mult sensibilitatea protecției. Curentul care se stabilește prin acest circuit în regim de defect se numește *curent operativ*.

În lipsa defectului de izolație curentul operativ este nul, deoarece cele trei faze sunt complet izolate față de pământ. Când rezistența de izolație scade sub limita admisă, curentul operativ crește și releul K_2 anclanșează. Un contact al releului K_2 comandă deschiderea contactelor K_1 ale unui întrerupător sau contactor de linie, deci deconectarea zonei cu defect de izolație.

Avantajul schemei constă în aceea că se pot controla atât valorile relative, cât și cele absolute ale rezistenței de izolație.

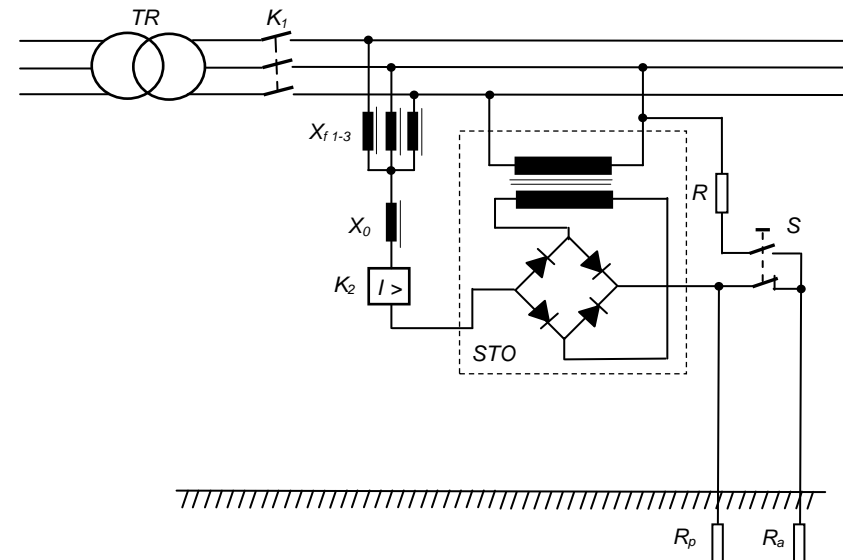


Fig. 13.7 Schema PACD cu curent operativ

Pentru a limita circulația curenților capacitivi (deoarece valoarea curențului de măsurat, operativ, depinde numai de rezistența de izolație, nu și de capacitățile fazelor rețelei față de pământ), sursa *STO* este de curent continuu (se folosește o punte redresoare). În serie cu aceasta se montează o impedanță de netezire X_0 pentru reducerea efectelor curenților capacitivi datorati componentei alternative a curențului redresat. La fel ca și $X_{f1..3}$, X_0 are rezistența electrică mică și inductanța mare (de altfel, ca și în schema din fig. 13.6).

Defectul nu poate fi localizat nici în acest caz. În consecință, schema deconectează sursa de alimentare pentru întreaga zonă protejată. Soluția este preferată pentru acționarea întrerupătoarelor din postul de transformare sau din punctele de distribuție mai importante, în rețele cu nulul izolat, respectiv a întrerupătorului de pe primarul transformatorului se separație a zonei protejate cu nulul izolat.

Întreruperea legăturii la pământ scoate din funcțiune această protecție. În consecință, pe lângă o atenție deosebită dată realizării acestei legături, se impune și verificarea periodică, printr-un circuit de simulare a defectului de punere la pământ (folosind butonul de comandă *S*).

Alte dezavantaje: gabarit mare, cost ridicat, posibilitatea de utilizare numai la rețele de alimentare cu nulul izolat.

4.2.1.3 Detectarea curențului homopolar

Detectarea curențului homopolar este posibilă dacă între nulul receptorului sau utilajului și nulul de lucru al rețelei de alimentare se înseriază un releu de curent. După necesități, acesta poate fi legat direct sau prin intermediul unui transformator de curent (figura 13.8).

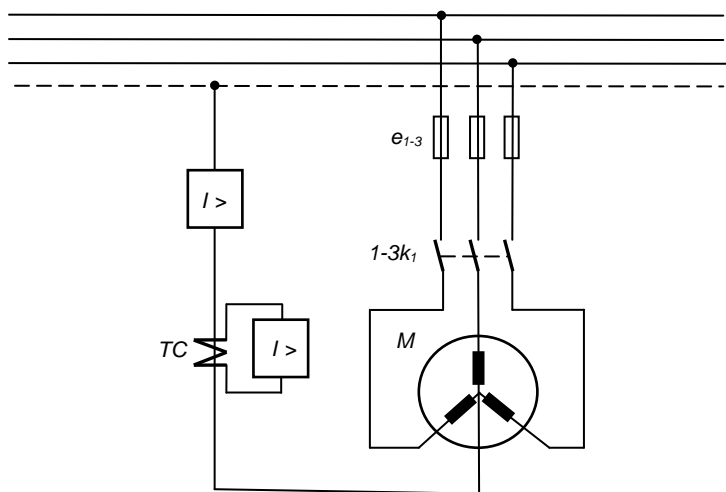


Fig. 13.8 Schema PACD cu detectarea curențului homopolar

Curențului homopolar apare în momentul producerii unui dezechilibru al curenților de lucru de pe cele trei faze, deci la apariția unui curent de defect.

Sistemul dezechilibrat al curenților pe cele trei faze se descompune în trei sisteme: direct, invers și homopolar. Dintre aceste trei sisteme, doar sistemul homopolar nu are rezultantă nulă, componentele homopolare închizându-se prin firul neutru.

Soluția este simplă și eficientă și se aplică individual receptoarelor trifazate cu conexiune în stea cu fir neutru.

Principale dezavantaje ale acestei scheme sunt:

- soluția nu este aplicabilă la receptoare monofazate sau trifazate în triunghi;
- receptoarele trifazate alimentate prin mutatoare (în acest caz legătura între nuluri este impusă pentru îmbunătățirea funcționării mutatorului) nu pot fi protejate;
- receptoarele trifazate cu regimuri dezechilibrate pot impune un prag de sensibilitate prea mare protecției;
- este necesar accesul la nulul sursei de alimentare printr-un circuit sigur, de rezistență electrică cât mai mică.

Dezavantajele menționate mai sus fac ca această soluție să fie mai eficientă pentru punerea în evidență a gradului de dezechilibru dintre impedanțele fazelor unui receptor trifazat.

4.2.2. Detectarea dezechilibrelor

Dezechilibrul dintre curenții unui receptor se evidențiază comparând direct acești curenți. Aceasta nu presupune existența unei legături la pământ. Zona protejată este delimitată între punctele de comparație și va fi riguros determinată. De aceea astfel de soluții se aplică atât la elemente sursă (generatoare în centrale electrice sau transformatoare în stații sau posturi de transformare), cât și la elementele receptor.

Vor fi tratate două tipuri de protecții cu detectarea dezechilibrelor:

- protecția diferențială;
- protecția la dezechilibru cu transformatoare speciale.

4.2.2.1 Protecția diferențială

Protecția diferențială presupune compararea mărimii curenților electrici de intrare și ieșire din zona protejată. Atât timp cât izolația este corespunzătoare (curențului de defect este nul), nu există diferență între curențului de intrare și cel de ieșire. Existența unei diferențe determină declanșarea acestei protecții. Fiind vorba de diferența între valorile a doi curenți, releul de protecție, care detectează această diferență, va fi un releu de curent. Compararea se realizează obligatoriu prin intermediul unor transformatoare de curent identice (la schema cu o singură tensiune), respectiv cu raport prestabilit (la schema cu două tensiuni sau cu conexiune stea/triunghi).

Protecția diferențială monofazată (figura 13.9) poate atinge un grad de sensibilitate ridicat și este simplă. În Germania este obligatorie pentru toate instalațiile monofazate, inclusiv circuitele din băile locuințelor, unde pardoseala din material conductor și umiditatea ridicată cresc pericolul de electrocutare (la mașinile de spălat sau de bărbierit).

După cum se observă în figura 13.9, curenții electrici de intrare și de ieșire ai echipamentului *C* trec prin înfășurările primare ale transformatoarelor de curent TC_1 și TC_2 . În secundarele lor (conectate în derivație) se găsește bobina releului de

protecție K_2 . Dacă nu există un defect de izolație, în orice moment curentul de intrare este egal cu cel de ieșire, dar de sens contrar (defazaj la 180°). Așadar și curenții prin secundarele transformatoarelor de curent sunt egali și opuși, determinând o rezultantă nulă prin bobina releului K_2 .

Dacă, însă, la un echipament legat la pământ apare un defect de izolație, echilibrul este perturbat din cauza curentului de defect spre pământ. Curentul la intrare va fi mai mare decât cel de ieșire, iar curentul rezultat prin bobina K_2 va fi diferit de zero. Dacă curentul diferențial prin bobina K_2 ajunge la o anumită intensitate, denumită *intensitatea curentului de defect nominal*, are loc deschiderea contactului normal-închis $1k_2$, iar declanșarea contactorului K_1 se face într-o fracțiune de secundă. Deci declanșarea schemei depinde de existența unui anumit curent de defect și nu de existența unei tensiuni de defect.

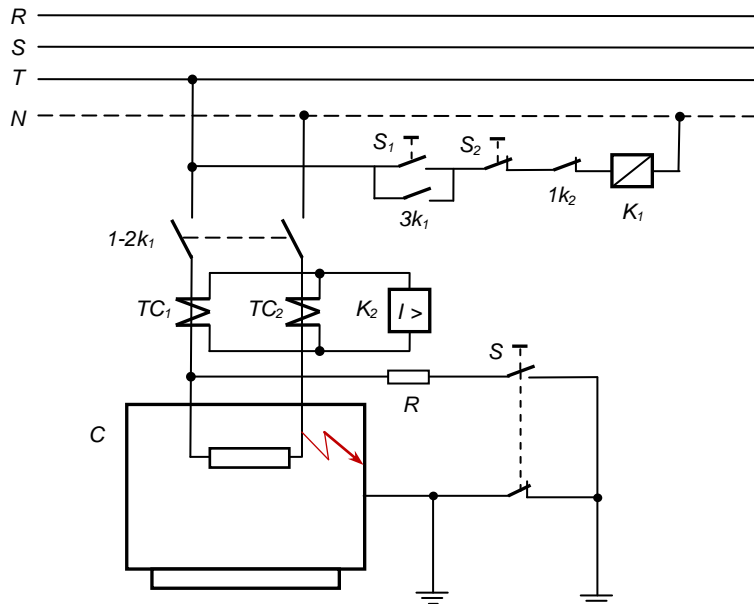


Fig. 13.9 Protecție diferențială monofazată

Schema este prevăzută și cu dispozitiv de control S.

Transformatoarele TC_1 și TC_2 trebuie să satisfacă condiții severe în ceea ce privește simetria și precizia. Mecanismul de declanșare al releului K_2 trebuie să fie în perfectă stare de funcționare. De asemenea, pentru ca să poată exista o circulație de curenți de defect, este necesar ca toate echipamentele protejate să fie *legate la pământ*, chiar la prize naturale (conducte de apă, etc.). Prin aceasta PACD se deosebește esențial de PATA, unde racordarea echipamentelor electrice la prize de pământ naturale este în general nedorită (priza auxiliară putând intra în zona de potențial a prizei naturale).

Valoarea rezistenței instalației de legare la pământ este limitată de raportul dintre valoarea maximă admisă a tensiunii de atingere și curentul de defect nominal al releului de protecție K_2 , de exemplu:

$$R_p \leq \frac{U_{a.ad}}{I_{dn}} = \frac{24}{0,03} = 800\Omega, \text{ deci } R_p \leq 800\Omega.$$

Pentru a se mări siguranța protecției, se recomandă realizarea unei legături electrice între carcusele utilajelor protejate prin PACD.

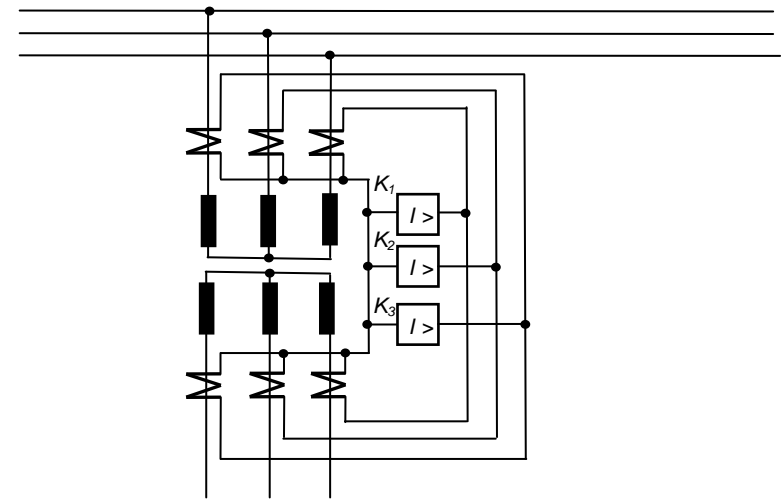


Fig. 13.10 Protecție diferențială trifazată

Protecția diferențială trifazată, cu trei rele de curent (figura 13.10), se folosește la echipamente cu preț ridicat (generatoarele din centralele electrice, transformatoarele de putere, în instalațiile industriale cu pericol crescut). Releul K_1 sesizează un defect de izolație pe prima fază, atât în primarul, cât și în secundarul transformatorului. Rolul releelor K_2 și K_3 este similar.

Dezavantajul principal al protecției este că nu acționează la diferențe între curenții pe 2 faze (dezechilibre).

În cazul protecției din figura 13.10, dacă r_1 , r_2 și r_T sunt rapoartele de transformare ale transformatoarelor de curent din primarul, secundarul transformatorului T , respectiv raportul de transformare al transformatorului T , este necesară îndeplinirea relației: $r_2 = r_1 \cdot r_T$

Protecția PACD diferențială este cea mai utilizată dintre toate schemele de protecție de tip PACD.

4.2.2.2 Protecția la dezechilibru cu transformatoare speciale

Această protecție compară curenții absorbiți de un receptor folosind transformatoare de curent de construcție specială având mai multe circuite primare și un circuit secundar.

Acest tip de protecție poate exista atât în variantă trifazată cât și monofazată. Zona protejată se referă exclusiv la receptorul dat.

În figura 13.11 este prezentată o schemă de principiu în variantă trifazată. Este folosit un transformator de curent de construcție specială, având trei înfășurări primare și o înfășurare secundară.

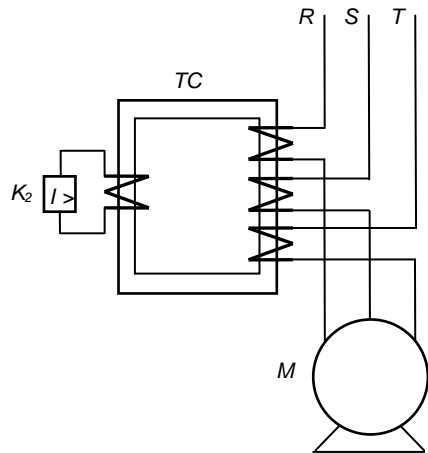


Fig. 13.11 Schema PACD cu detectarea dezechilibrelor

După cum se observă în fig. 13.11, curentul de lucru al receptorului M trece prin înfășurările primare ale transformatorului de curent TC . În secundarul acestuia se găsește bobina releului de protecție K_2 .

În regim normal de funcționare, înfășurările primare induc în miezul transformatorului de curent trei fluxuri magnetice, egale în amplitudine și defazate la 120° . Fluxul magnetic rezultat în miez este nul, deci în circuitul secundarului nu se induce curent electric. Releul de protecție nu va fi activat.

În regim de defect, curentul pe faza cu rezistența de izolație deficitară va fi mai mare, fluxul magnetic creat de acest curent va fi mai mare decât celelalte două fluxuri magnetice. Fluxul magnetic rezultat diferă de zero, deci

în secundarul transformatorului va apărea o tensiune indusă care determină circulația unui curent prin bobina releului de protecție.

Dacă curentul diferențial din înfășurările primare ale transformatorului T ajunge la intensitatea curentului de defect nominal, prin deschiderea unui contact normal-închis al releului K_2 în circuitul contactorului (întrerupătorului) de alimentare se realizează deconectarea receptorului într-o fracțiune de secundă. Deci declanșarea schemei depinde de existența unui anumit curent de defect și nu de existența unei tensiuni de defect.

Avantaje:

- funcționează identic pentru receptoare în conexiune stea sau triunghi;
- acționează la orice tip de dezechilibru: de amplitudine, de fază, mixtă.

Deficiența principală se datorează scăderii sensibilității în cazul unui dezechilibru natural al impedanțelor receptorului sau al tensiunilor de alimentare. Unele motoare nu permit utilizarea acestei soluții.

Observație: Uneori această protecție este considerată protecție cu detectarea curentului homopolar, iar alteori protecție diferențială trifazată. Ambele denumiri sunt eronate deoarece:

- în cazul receptoarelor trifazate dezechilibrate în conexiune triunghi, curentul homopolar nu are acces în afara receptorului, dar asimetria curenților de alimentare este sesizată de schemă;
- conceptul "diferențial" se referă la amplitudini diferite, în timp ce această soluție reacționează și la defazaje diferite.

Varianta monofazată presupune folosirea unui transformator de curent cu două înfășurări primare, parcurse de curentul de intrare, respectiv de curentul de

ieșire din receptor. Fluxurile magnetice prin miezul magnetic, produse de cei doi curenți, sunt opuse. La egalitatea curenților, fluxul magnetic rezultat este nul, iar tensiunea indusă în secundar este nulă. Dacă se crează o diferență între valorile efective ale curenților, fluxul magnetic rezultat nenul va determina existența unei tensiuni induse, deci a unui curent prin secundarul transformatorului conectat la un releu de curent de protecție.

Avantajul schemelor PACD față de PATA constă în selectivitatea lor dacă se montează pentru fiecare echipament electric protejat în parte. De asemenea a aceste scheme nu există un conductor de legătură între carcasa echipamentelor electrice și instalația de protecție.

5. Desfășurarea lucrării de laborator

Se folosește un stand de laborator care materializează principalele tipuri de protecții expuse în lucrare.

5.1 Se studiază schema electrică prezentată în cadrul planșelor 1, 2 și 3 și se identifică elementele schemei cu elementele standului de laborator.

5.2 Se realizează punerea în funcțiune a primei instalații prin apăsarea butonului de comandă b_1 . Receptorul trifazat este constituit din trei rezistențe de putere R_1 , R_2 și R_3 , conectate în stea.

După anclanșarea contactoarelor C_1 , C_3 , C_4 și a releului d_1 , este realizată alimentarea receptorului trifazat, iar curenții de fază (aproximativ egali) sunt indicați de ampermetrele A_1 , A_2 , A_3 .

Releele de curent RC_1 , RC_2 și RC_3 , care supraveghează regimul echilibrat al receptorului, sunt conectate în secundarele transformatorului de curent f_1 . Transformatorul de curent este realizat în variantă trifazată, cu trei transformatoare de curent în aceeași carcasă.

Simularea regimului de defect – întreruperea unei faze, se realizează prin apăsarea butonului de comandă DC_1 .

Se va explica funcționarea schemei de protecție în această situație.

5.3 Se realizează punerea în funcțiune a celei de-a doua instalații de protecție – protecția diferențială, prin apăsarea butonului de comandă b_2 . Receptorul monofazat este constituit din două rezistențe de putere R_2 și R_3 înseriate, conectate la tensiunea de linie.

După anclanșarea contactoarelor C_1 , C_2 , C_3 și C_4 , este realizată alimentarea receptorului monofazat, iar curenții de intrare și ieșire egali sunt indicați de ampermetrele A_2 și A_3 .

Simularea regimului de defect – dezechilibrul curenților, se realizează prin apăsarea butonului de comandă DC_2 . Alimentarea releului d_2 va conduce la conectarea în paralel cu rezistența R_2 a rezistenței R_1 , deci prin rezistența R_3 va trece un curent electric mărit.

Se va explica funcționarea schemei de protecție în această situație.

5.4 Se realizează punerea în funcțiune a celei de-a treia instalații de protecție prin apăsarea butonului de comandă b_3 . Receptorul trifazat este constituit din trei lămpi cu incandescentă h_{3-1} , h_{3-2} și h_{3-3} , conectate în stea.

Alimentarea receptorului trifazat se realizează după anclanșarea contactorului C_5 . Releele de curent RC_5 , RC_6 și RC_7 , care supraveghează regimul echilibrat al receptorului, sunt conectare direct în circuit.

Simularea regimului de defect – scăderea curentului electric pe o fază, se realizează prin apăsarea butonului de comandă DC_3 .

Se va explica funcționarea schemei de protecție în această situație.

5.5 Se realizează punerea în funcțiune a celei de-a patra instalații de protecție – protecția PATA, prin apăsarea butonului de comandă b_4 . Receptorul trifazat este constituit din trei lămpi cu incandescentă h_{4-1} , h_{4-2} și h_{4-3} , conectate în stea.

Alimentarea receptorului trifazat se realizează după anclanșarea contactorului C_6 . Releul de curent RC_8 , care supraveghează curentul creat de tensiunea de atingere periculoasă, este conectat între carcasa receptorului și pământ.

Simularea regimului de defect – punerea carcasei la potențialul unei faze, se realizează prin apăsarea butonului de comandă DC_4 .

Se va explica funcționarea schemei de protecție în această situație.

5.6 Se realizează punerea în funcțiune a celei de-a cincea instalații de protecție – protecția la dezechilibru cu transformatoare speciale, prin apăsarea butonului de comandă b_5 . Receptorul trifazat este constituit din trei rezistențe de putere R_5 , R_6 și R_7 , conectate în stea.

După anclanșarea contactoarelor C_7 , C_8 și C_{10} , este realizată alimentarea receptorului trifazat, iar curenții de fază (aproximativ egali) sunt indicați de ampermetrele A_1 , A_2 , A_3 .

Transformatorul special f_6 are trei primare și un secundar. Tensiunea de dezechilibru indusă în secundar convertită în tensiune continuă (prin redresare), apoi comparată cu o tensiune de referință pentru ca protecția să acționeze doar la un anumit nivel al dezechilibrului. La depășirea tensiunii de referință ieșirea comparatorului trece la un potențial ridicat și printr-un amplificator de putere alimentează releul de tensiune RU . Blocul SCS reprezintă o sursă de tensiune continuă de alimentare a comparatorului și amplificatorului.

Simularea regimului de defect – dezechilibrul curenților, se realizează cu ajutorul cheii de comandă DC_5 . Această cheie are două poziții active. Pe prima poziție se deschide contactul $DC5-1$, având ca efect înserierea rezistențelor R_7 și R_8 pe faza a treia. Impedanța electrică a fazei crește, iar curentul electric scade. Pe a doua poziție activă a cheii de comandă se închide contactul $DC5-2$, având ca efect punerea în paralel a rezistențelor R_7 și R_9 pe faza a treia. Impedanța electrică a fazei scade, iar curentul electric crește.

Se va explica funcționarea schemei de protecție în această situație.

5.7 Se realizează punerea în funcțiune a celei de-a șasea instalații de protecție – detectarea unui curent operativ, prin apăsarea butonului de comandă b_6 .

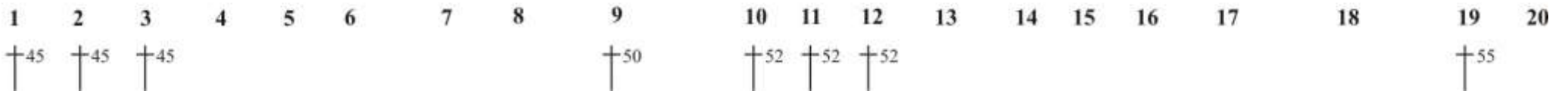
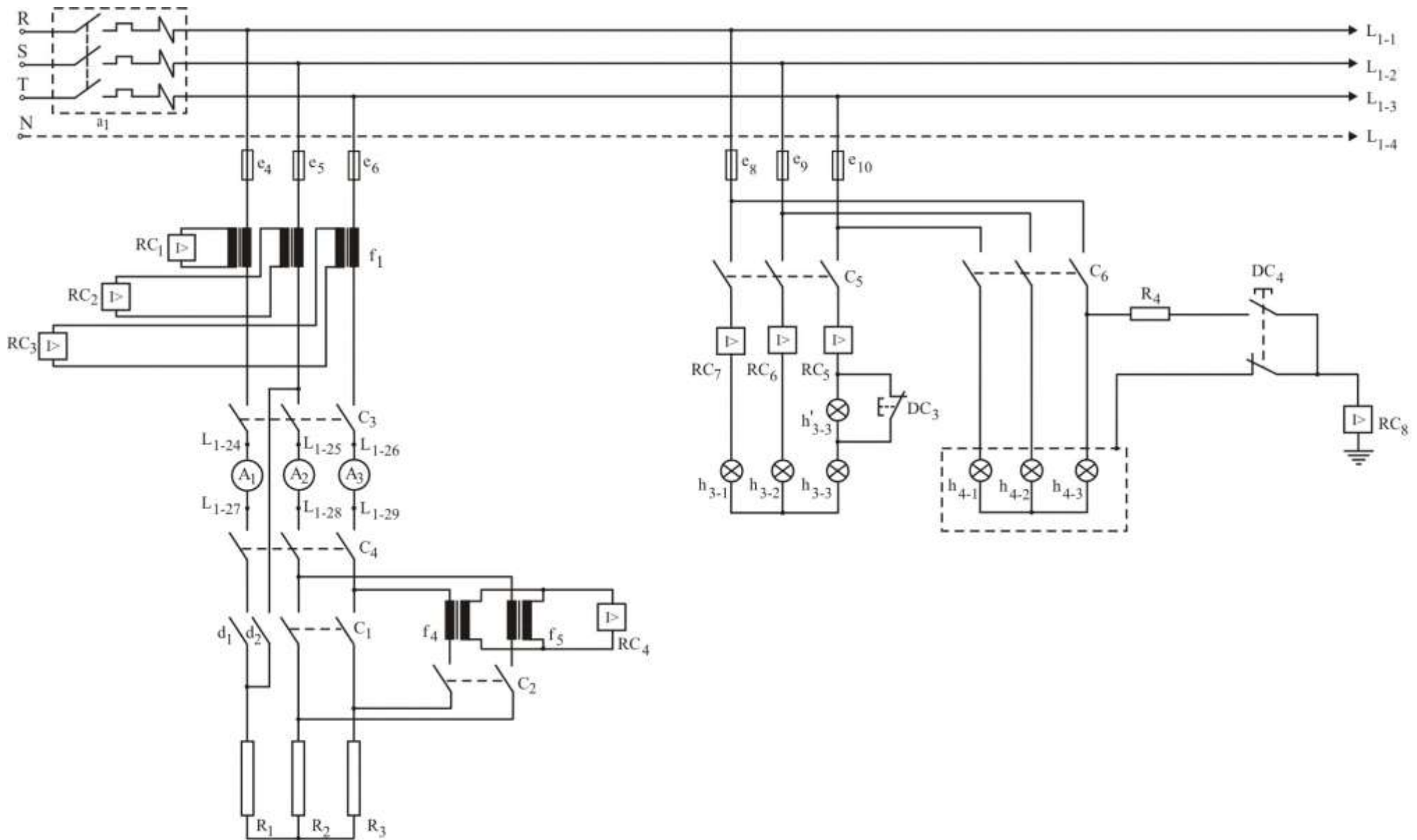
După anclanșarea contactorului C_9 , este alimentată o zonă protejată situată în aval de contactele principale C_9 .

Sursa de curent operativ este constituită din redresorul PR conectat în secundarul transformatorului m_4 . Nulul artificial este realizat cu inductanțele L_{f1} , L_{f2} și L_{f3} . Netezirea curentului operativ se realizează prin inductanța L_0 .

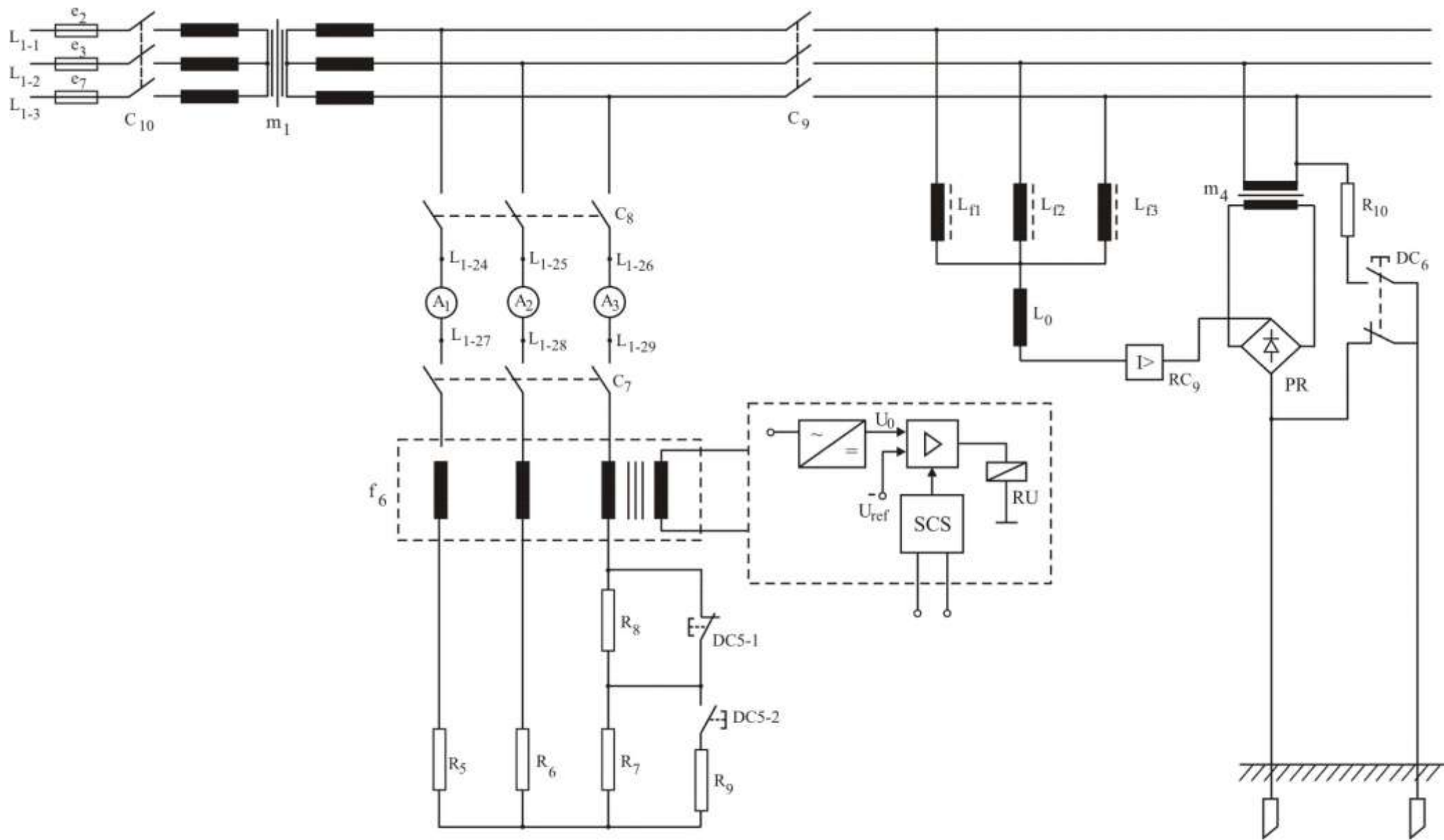
Simularea regimului de defect – scăderea izolației electrice a unei faze față de pământ, se realizează cu ajutorul butonului de comandă DC_6 .

Se va explica funcționarea schemei de protecție în această situație.

5.8 Se va explica funcționarea schemei electrice de semnalizare, realizată cu lămpile h_0 , h_1 , ..., h_6 .



Planşa 1



21

25

26

27

28

29

31

32

33

34

35

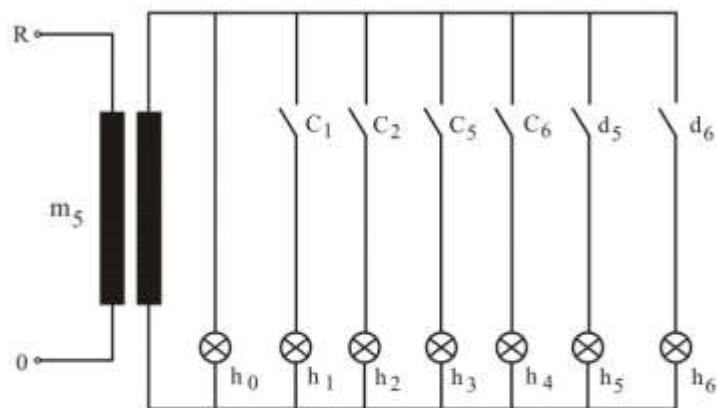
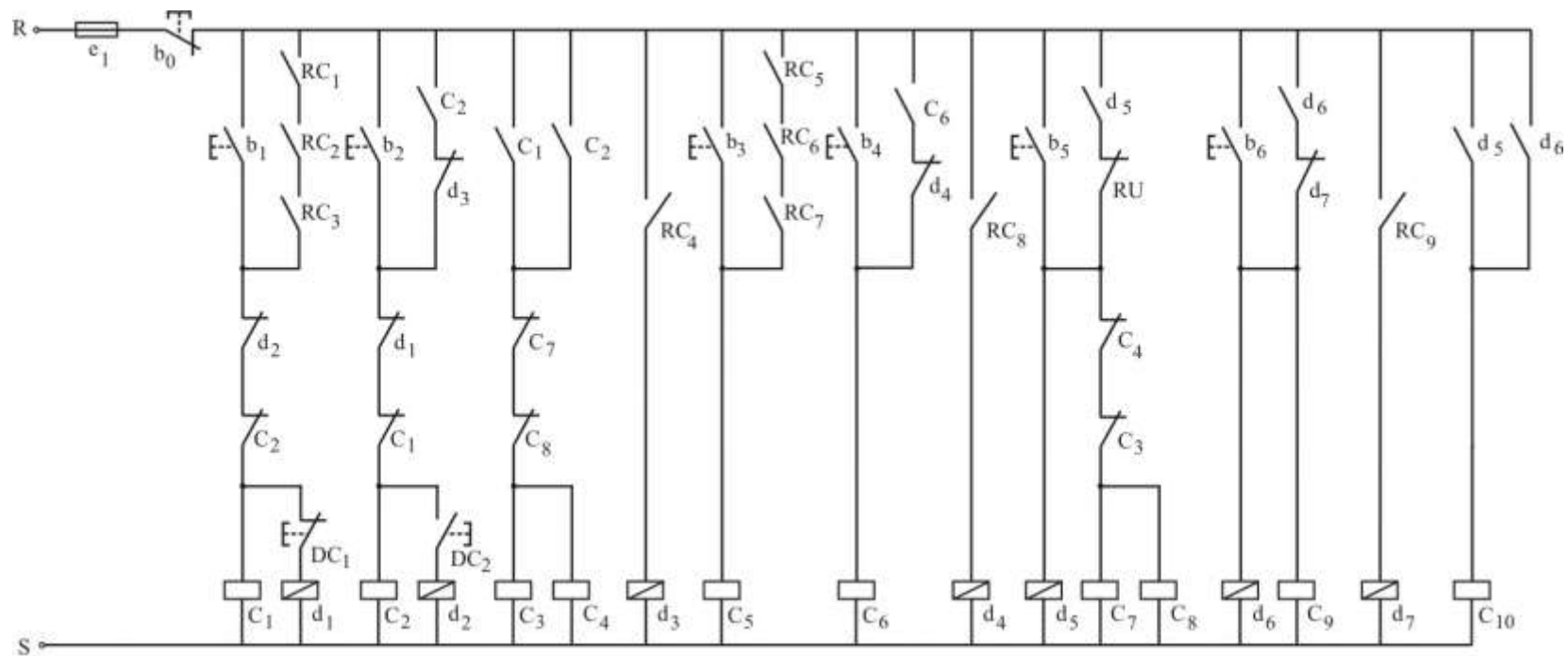
36

37

✱ 57

✱ 61

Planșa 2



41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
			5 6 46 46 48	4 46	7 8 44 47 49	4 44	4 5 6 57	4 5 6 57	47	10 11 12 48		14 15 16 49 54		54	50 57 62	25 26 27 48	25 26 27 48	51 60 63	29 29 29	60	21 21 21	

Planşa 3