

Rețele electrice

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Rețele electrice / Constantin Bulac, Ion Triștiu, Mihai Gavrițaș,
Adrian Pană. - București : Editura Academiei Oamenilor de
Știință din România, 2011
Bibliogr.
Index
ISBN 978-606-8371-21-4

I. Bulac, Constantin

II. Triștiu, Ion

III. Gavrițaș, Mihai

IV. Pană, Adrian

621.3

Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

Adresa: Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

Redactor: ing. Mihail CĂRUȚAȘU

Documentarist: ing. Ioan BALINT

Coperta: ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,
București, 2011**

Constantin Bulac

Ion Triștiu

Mihai Gavrilăș

Adrian Pană

Rețele electrice



Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

București

2011

Cuprins

Capitolul 1 Stadiul actual al dezvoltării rețelelor electrice	7
Locul și rolul rețelelor electrice în cadrul sistemelor electroenergetice	7
Tendințe privind evoluția rețelelor electrice	10
Clasificarea rețelelor electrice	11
Configurația rețelelor electrice	16
Capitolul 2 Elemente componente ale rețelelor electrice de transport și distribuție	27
Linii electrice	27
Transformatoare de putere	34
Capitolul 3 Calculul căderilor de tensiune și al circulațiilor de curenți / puteri în rețelele electrice	39
Calculul rețelelor electrice radiale și arborescente	39
Calculul rețelelor electrice simplu buclate	46
Calculul rețelelor electrice complex buclate	49
Pierderi de putere și energie electrică	53
Capitolul 4 Linii electrice de transport al energiei electrice	59
Ecuațiile liniilor de transport în regim permanent sinusoidal simetric	59
Scheme echivalente ale liniilor de transport	64
Regimuri particulare de funcționare a liniilor de transport	68
Capitolul 5 Reglarea tensiunii în rețelele electrice	77
Cauzele variațiilor tensiunii	77
Efectele variațiilor de tensiune	78
Limite admisibile ale variațiilor tensiunii	79
Estimarea nivelului de tensiune	80
Metode și mijloace de reglare a tensiunii	81
Reglarea centralizată a tensiunii	85
Reglarea locală a tensiunii	87
Reglarea tensiunii în puncte intermediare	88
Reglarea longo-transversală a tensiunii în rețelele de transport	89
Capitolul 6 Conceptul de “Rețele electrice inteligente – Smart Grids”	91
Conceptul de microrețea	94
Conceptul de “Casă/Clădire inteligentă – Smart Home/Building”	95
Măsurarea inteligentă – Smart metering	97
Automobilul electric	99
Generarea distribuită și sursele regenerabile de energie	101
Interoperabilitatea sistemelor electroenergetice	101

Capitolul 1

Stadiul actual al dezvoltării rețelelor electrice

Locul și rolul rețelelor electrice în cadrul sistemelor electroenergetice

Evoluția societății este strâns legată de consumul de energie în general și de energie electrică în special. Acest fapt a condus la apariția sistemelor energetice care urmăresc prospectarea și exploatarea resurselor de energie primară, transformarea în energie secundară, transportul, distribuția și utilizarea sub formă de energie utilă.

Într-un sistem energetic au loc o serie de transformări succesive în care se pleacă de la energia primară și se ajunge la energia finală (utilă). Pe tot lanțul de transformări este valabil principiul conservării energiei.

Energia electrică reprezintă o formă de energie secundară și este utilizată drept vector (agent) energetic. În prezent, este considerată ca fiind elementul esențial al dezvoltării economice și sociale a societății omenеști.

Motivele principale ale utilizării energiei electrice ca agent energetic sunt:

- creșterea costurilor hidrocarburilor și luarea în considerație a problemelor de mediu, energia electrică este mai puțin poluantă la transport, distribuție și utilizare;
- energia nucleară nu poate fi utilizată la ora actuală decât pentru producerea de energie electrică;
- energia hidrolică se convertește ușor și cu randamente ridicate în energie electrică;
- progresul tehnic actual și politicile energetice permit obținerea energiei electrice din forme de energie regenerabile.

Avantajele folosirii energiei electrice ca vector energetic sunt:

- se poate genera cu randamente ridicate din toate formele de energie primară;
- se poate transporta instantaneu în cantități mari și la mari distanțe, cu randamente ridicate, atât la tensiune alternativă cât și la tensiune continuă;
- este o energie „curată” atât în transportul și distribuție, cât și pentru utilizare; este forma de energie care se pretează cel mai bine pentru alimentarea marilor aglomerații urbane, putând fi distribuită în orice cantitate și pe orice suprafață;
- se poate produce din combustibili inferiori sau din energia nucleară, care nu pot fi utilizați în alte scopuri;
- se pretează la introducerea unor instalații de măsurare, comandă și control complexe care permit automatizarea și optimizarea proceselor.

Principalul dezavantaj al folosirii energiei electrice ca vector energetic constă în faptul că nu se poate stoca în cantități mari, nici măcar pe perioade scurte de timp.

În scopul identificării locului și rolului rețelilor electrice în cadrul sistemelor electroenergetice, se consideră figura 1.1.

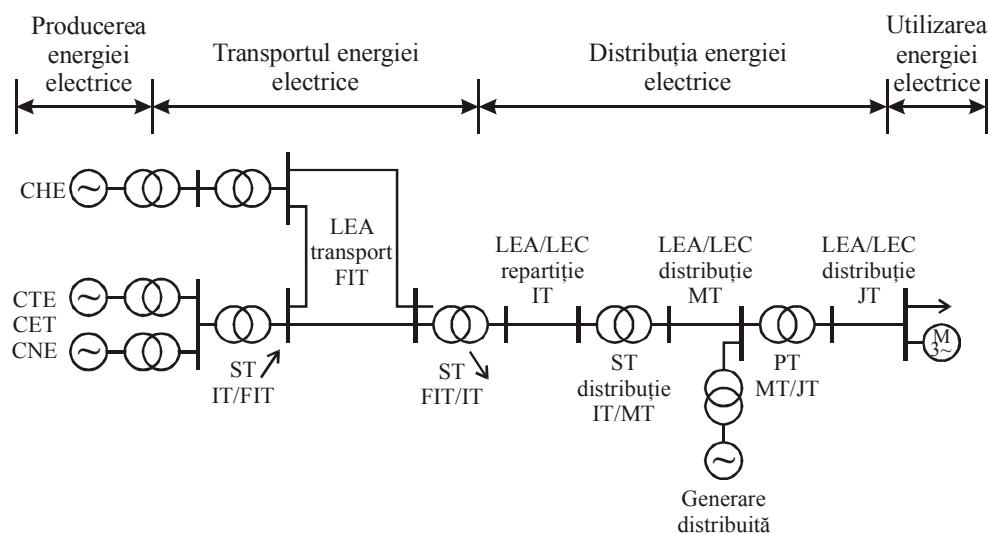


Figura 1.1: Definirea locului rețelilor electrice în cadrul sistemelor electroenergetice.

Pentru definirea elementelor din figura 5.1, se pleacă de la utilizarea energiei electrice către extracția energiei primare.

Receptorul de energie electrică, reprezintă elementul de circuit care realizează conversia energiei electrice în alte forme de energie (termică, mecanică, luminoasă, chimică etc.).

Din punctul de vedere al importanței, receptoarele pot fi clasificate în următoarele categorii:

- *receptoare standard*, care pot fi alimentate direct din rețeaua electrică (acceptă nivelul de siguranță în alimentare oferit de aceasta);
- *receptoare preferențiale*, care acceptă întreruperi de scurtă durată (de la câteva secunde la câteva minute);
- *receptoare critice*, care necesită o disponibilitate ridicată a alimentării cu energie electrică (disponibilitate de ordinul 99,999999%).

Consumatorul de energie electrică, reprezintă ansamblul receptoarelor dintr-un perimetru dat (o clădire, o întreprindere, o instituție, o locuință etc.) la care se adaugă și instalațiile electrice necesare alimentării acestora.

Din punct de vedere funcțional, consumatorii pot fi:

- consumatori industriali și similari;
- consumatori casnici;
- consumatori terțiari.

Din punct de vedere al puterii instalate, consumatorii pot fi clasificați în:

- categoria A, au puterea instalată $S_i > 50 \text{ MVA}$;
- categoria B: $7,5 \text{ MVA} < S_i \leq 50 \text{ MVA}$;
- categoria C: $2,5 \text{ MVA} < S_i \leq 7,5 \text{ MVA}$;
- categoria D: $0,1 \text{ MVA} < S_i \leq 2,5 \text{ MVA}$;
- categoria E: $0,03 \text{ MVA} < S_i \leq 0,1 \text{ MVA}$;
- categoria F: $S_i < 0,03 \text{ MVA}$;

Din punct de vedere al compatibilității electromagnetice, consumatorii pot fi:

- consumatori perturbatori (regim deformant, regim nesimetric, flicker);
- consumatori sensibili la perturbații;
- consumatori perturbatori și sensibili la perturbații.

Din punct de vedere al posibilității alegerii furnizorului de energie electrică, consumatorii pot fi:

- consumatori eligibili (liberi), își pot alege furnizorul de energie electrică;
- consumatori captivi, sunt legați de un singur furnizor

În funcție de zona de amplasare a centralelor de producere a energiei electrice în raport cu locul de amplasare al consumatorilor, apare necesitatea utilizării liniilor electrice.

Linia electrică reprezintă ansamblul echipamentelor destinate transmiterii energiei electrice la anumite distanțe.

Din punct de vedere funcțional, liniile electrice pot fi:

- linii electrice de interconexiune, realizează interconectarea sistemelor electroenergetice vecine și funcționează la foarte înaltă tensiune (750 kV, 400 kV, 220 kV) și mai rar la înaltă tensiune (110 kV);
- linii electrice de transport, transmit puteri de ordinul sute sau mii de MW la distanțe de ordinul zeci sau sute de kilometri, funcționând la foarte înaltă tensiune (400 kV, 220 kV);
- linii electrice de repartiție, au rol dublu: pe de o parte, constituie o rezervă pentru liniile electrice de transport, iar pe de altă parte asigură distribuția energiei electrice către marile zone de consum și funcționează la 110 kV;
- linii electrice de distribuție, preiau energia din liniile electrice de repartiție prin intermediul stațiilor electrice coborâtoare și o distribuie până la ultimii consumatori, direct sau prin intermediul posturilor de transformare. Funcționează la medie tensiune (20 kV, 10 kV, 6 kV) sau la joasă tensiune (0,4 kV).

Rețeaua electrică, se compune din linii electrice aeriene și subterane, la care se adaugă stațiile și posturile de transformare aferente.

Centrala electrică, reprezintă ansamblul instalațiilor care asigură condițiile conversiei energiei primare în energie electrică.

Sistemul electroenergetic, reprezintă ansamblul instalațiilor care asigură producerea, transportul, și utilizarea energiei electrice. Aceste instalații pot fi grupate în:

- *instalațiile din centrale electrice*, clasice (termoelectrice, hidroelectrice, nucleare) sau de generare dispersată sau distribuită (solare, eoliene etc.);
- *instalațiile de transport*, linii electrice aeriene și subterane, precum și stațiile de interconexiune;
- *instalațiile de distribuție*, linii electrice aeriene sau subterane, stații de transformare coborâtoare, posturi de transformare, tablouri electrice de distribuție;
- *instalațiile electrice de la consumatori*.

Sistemul energetic național, reprezintă sistemul electroenergetic la care se adaugă turbinele, cazanele, depozitele de cărbune, barajele și lacurile de acumulare, precum și mecanismele antrenate de receptoarele de energie electrică de la consumatori.

Tendențe privind evoluția rețelelor electrice

În dezvoltarea și extinderea rețelelor electrice trebuie să se țină seama de anumiți factori, dintre care cei mai importanți sunt:

- poluarea mediului înconjurător;
- ocuparea terenurilor agricole;
- influențe electrostatice și electromagnetice;
- perturbații radio-TV;
- zgomot acustic.

În sectorul energiei electrice se constată, pe plan mondial, unele tendințe impuse de statutul actual de evoluție și dezvoltare a societății.

La nivelul producției, transportului și distribuției energiei electrice, se constată următoarele tendințe:

- *deregularizarea sistemelor electroenergetice* prin trecerea de la o structură monopolistă, integrată pe verticală, la o structură bazată pe concurență la nivelul fiecărei activități (producere, transport și distribuție);
- *liberalizarea pieței de energie electrică*, bazată pe:
 - concurența la nivelul producției prin aplicarea mecanismului de cerere și ofertă;
 - libera alegere a furnizorului de către consumatori;
 - deschiderea pentru transportatori;
 - separarea producției de transport și distribuție.
- *promovarea surselor de producere dispersată (distribuită sau descentralizată)* a energiei electrice, având următoarele avantaje:
 - reducerea costurilor legate de transportul și distribuția energiei electrice;
 - îmbunătățirea calității energiei electrice prin reducerea duratei întreruperilor în alimentare și îmbunătățirea nivelului de tensiune la consumatori;
 - diversificarea și utilizarea rațională surselor de energie primară;

- utilizarea unor forme regenerabile de energie primară, având ca efecte reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și protecția mediului înconjurător.
- creșterea ponderii energiei regenerabile în ansamblul consumului de energie primară pentru producerea energiei electrice;
- interconexiunea sistemelor electroenergetice, având următoarele avantaje:
 - creșterea robusteții sistemului electroenergetic;
 - creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor;
 - posibilitatea aplatizării curbei de sarcină;
 - creșterea stabilității în funcționare.

La nivelul exploatării rețelelor electrice, se contată următoarele tendințe:

- conducerea proceselor cu ajutorul calculatorului;
- creșterea randamentului activităților de transport și distribuție a energiei electrice prin utilizarea echipamentelor performante și optimizarea proceselor;
- îmbunătățirea calității energiei electrice, în special prin reducerea duratei întreruperilor;
- calificarea corespunzătoare a personalului.

La nivelul utilizării energiei electrice, se constată următoarele tendințe:

- creșterea consumului pe cap de locuitor și scăderea intensității energetice (consum de energie / produs intern brut - [kWh / €]);
- îmbunătățirea eficienței utilizării energiei electrice.

Clasificarea rețelelor electrice

Rețelele electrice reprezintă ansamblul de format din linii electrice aeriene și subterane, precum și transformatoarele aferente din stațiile de transformare și posturile de transformare. Arhitectura unei rețele electrice reprezintă modul de dispunere a echipamentelor componente precum și legăturile dintre acestea. Alegerea arhitecturii unei rețele electrice se face în urma unei analize multicriteriale de tip tehnico-economic. Arhitectura rețelelor electrice influențează puternic economicitatea și siguranța în funcționare a sistemului electroenergetic. În alegerea arhitecturii rețelelor electrice se ține seama de mai multe condiții

- *funcționale*: continuitatea în alimentarea consumatorilor, pierderile de putere și energie, investițiile, daune de nealimentare;
- *auxiliare*: simplitate, elasticitate, automatizare, dotare cu personal
- *speciale*: poluarea mediului, estetică, perturbații electromagnetice produse în vecinătate, condiții climatice.

Pentru clasificarea rețelelor electrice se pot utiliza mai multe criterii, dintre care cele mai importante sunt:

- nivelul de tensiune;
- funcția îndeplinită (destinație);
- teritoriul ocupat;

- topologie;
- modul de tratare a neutrului.

Clasificarea rețelelor electrice după nivelul de tensiune

Tensiunea nominală este o mărime de referință folosită pentru identificarea și raportarea anumitor caracteristici tehnice și de funcționare. Tensiunea nominală este valoarea cantitativă atribuită de către constructorul de echipamente pentru anumite condiții de funcționare ale acestora.

Din punctul de vedere al nivelului de tensiune, rețelele electrice pot fi:

- *rețele electrice de joasă tensiune (JT)*, au tensiunea nominală $U_n \leq 1 \text{ kV}$ și sunt folosite pentru alimentarea consumatorilor casnici, publici, iluminat public sau a receptoarelor de puteri mici. În România, valorile standardizate sunt 400/230 V, în trecut s-au folosit valorile 380/220 V. Se preconizează ca, în viitor, prin creșterea consumului de energie electrică, să devină avantajoasă utilizarea sistemului 690/400 V;
- *rețele electrice de medie tensiune (MT)*, au $U_n = (1 \div 35) \text{ kV}$ și sunt utilizate pentru alimentarea rețelelor electrice de JT prin intermediul posturilor electrice de transformare (PT) MT/JT sau a unor receptoare cum ar fi motoarele electrice de putere mare. Se folosesc pentru: distribuție urbană (6 kV, 10 kV și 20 kV), distribuție rurală (10 kV și 20 kV) și distribuție industrială (6 kV, 10 kV și 20 kV);
- *rețele electrice de înaltă tensiune (IT)*, au $U_n = (35 \div 150) \text{ kV}$ și îndeplinesc rolul de repartiție zonală sau de distribuție urbană (în marile orașe);
- *rețele electrice de foarte înaltă tensiune (FIT)*, au $U_n > 150 \text{ kV}$ și au rolul de rețele electrice de transport, realizând legătura dintre nodurile importante ale SEE sau interconexiunea SEE

Tendențe privind nivelul de tensiune:

1. Utilizarea unui nivel de tensiune cât mai ridicat în scopul reducerii pierderilor de putere și energie (pierderile sunt invers proporționale cu nivelul de tensiune);
2. Reducerea numărului de trepte de tensiune din motive de normalizare a producției de serie a echipamentelor și pentru reducerea pierderilor prin transferuri succesive;
3. Trecerea unor rețele electrice de distribuție la tensiunea superioară.

Clasificarea rețelelor electrice după destinația și extinderea geografică.

Clasificarea rețelelor electrice după destinație este strâns legată de clasificarea după nivelul de tensiune.

Din punctul de vedere al destinației rețelele electrice pot fi: de interconexiune, de transport, de repartiție și de distribuție.

Din punctul de vedere al extinderii rețelele electrice pot fi: la nivel internațional, la nivel național, la nivel zonal (regional), la nivel urban, la nivel rural și la nivel industrial.

Rețelele electrice de interconexiune funcționează în general la FIT (în România la 750 kV, 400 kV, 220 kV) și realizează interconexiunea sistemelor electroenergetice vecine. Extinderea lor este la nivel internațional.

Rețelele electrice de transport, funcționează în România la 400 kV, 220 kV (uneori la 110 kV) și au rolul de a transporta puteri de ordinul sutelor sau miilor de MW la distanțe de ordinul sutelor de km., făcând legătura între nodurile importante ale sistemului electroenergetic. Extinderea lor este la nivel național.

Rețele electrice de repartiție, funcționează la IT (în România la 110 kV) și îndeplinesc un dublu rol, pe de o parte constituie o rezervă pentru rețelele electrice de transport, iar de pe altă parte au rol de distribuție pentru platformele industriale sau marile aglomerații urbane. Răspândirea lor este la nivel zonal (regional).

Rețelele electrice de distribuție, sunt constituite, în general, din două niveluri de tensiune (MT 20 kV, 10 kV și 6 kV) și (JT 0,4 kV). Asigură distribuția unor cantități relativ reduse de energie electrică pe distanțe scurte și la un ansamblu limitat de consumatori amplasați pe teritoriul orașelor (distribuție urbană), satelor (distribuție rurală), sau întreprinderilor (distribuție industrială). Extinderea lor este la nivel urban, rural sau industrial.

Clasificarea rețelelor electrice după topologie

Topologia unei rețele electrice este strâns legată de gradul de siguranță în alimentarea consumatorilor. Creșterea acestuia se poate obține prin dimensionarea puternică a circuitelor liniilor electrice și a echipamentelor sau prin creșterea numărului de circuite în paralel. Alegerea soluției de alimentare a consumatorilor se realizează în urma unei analize tehnico-economice.

Rețelele electrice pot avea următoarele configurații de principiu:

- *rețele electrice radiale sau arborescente*, sunt alimentate dintr-o singură sursă, de exemplu barele de joasă tensiune ale unui post de transformare. Au o structură simplă putând fi constituite din una sau mai multe ramificații (fig. 1.2). Sunt ieftine, ușor de exploatat, necesită echipament de protecție, simplu motiv pentru care se utilizează la JT, MT și IT. Au dezavantajul unui grad scăzut de siguranță în alimentarea consumatorilor (un defect într-un anumit loc conduce la întreruperea alimentării tuturor consumatorilor situați în aval).

- *rețele electrice simplu buclate*, sunt alimentate din două surse ceea ce conduce la creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor (fig. 1.3). Sunt mai scumpe decât rețelele radiale, necesitând elemente constructive mai multe și echipamente de protecție mai complexe. În general au pierderi de putere și energie mai reduse ca rețelele radiale iar nivelul tensiunii la consumatori este mai bun.

- *rețele electrice complex buclate*, au structura asemănătoare ochiurilor unei plase (fig. 1.4). Au o siguranță în alimentarea consumatorilor foarte bună, dar la un preț ridicat din cauza că fiecare linie electrică trebuie să fie proiectată pentru a

suporta suprasarcini și trebuie echipată la capete cu aparate de protecție corespunzătoare.

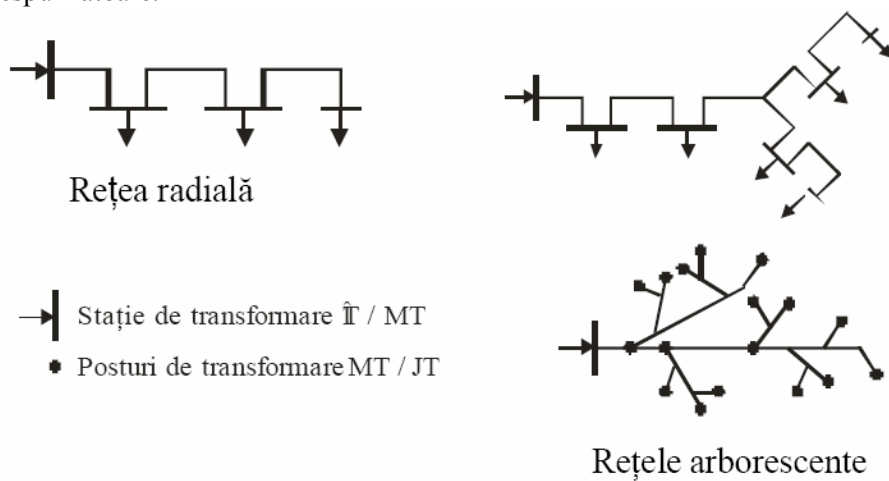


Figura 1.2: Rețele electrice radiale sau arborescente.

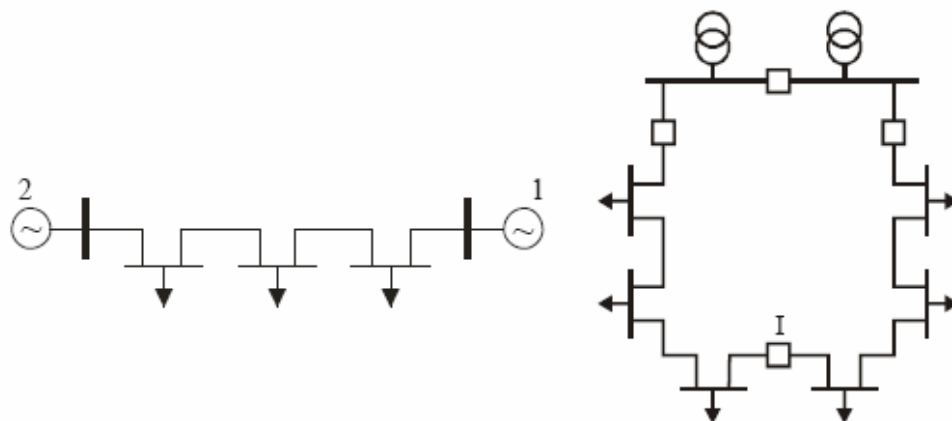


Figura 1.3: Rețele electrice simplu buclate.

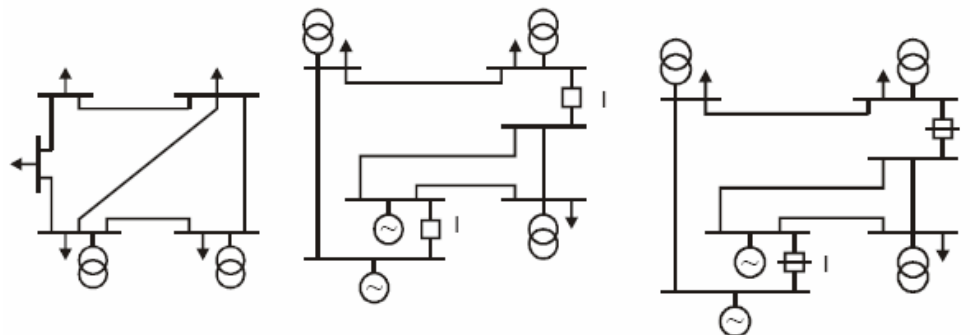


Figura 1.4: Rețele electrice complex buclate.

Clasificarea rețelelor din punctul de vedere al neutrului față de pământ.

Punctul neutru al unei rețele electrice este punctul comun al conexiunii în stea al înfășurărilor transformatoarelor de putere din rețelele electrice. În unele situații (de exemplu în rețelele de MT) neutrul nu există, el putând fi creat artificial.

Din punctul de vedere al situației neutrului față de pământ, există următoarele posibilități:

- rețele electrice cu neutrul izolat față de pământ;
- rețele electrice cu neutrul legat la pământ direct sau prin impedanță (rezistor sau bobină de compensare).

Necesitatea studierii situației neutrului față de pământ se datorează consecințelor care pot să apară prin punerea accidentală la pământ a unei faze. Pe de o parte, se urmărește neîntreruperea imediată a alimentării consumatorilor iar pe de altă parte reducerea supratensiunilor pe fazele sănătoase și stingerea, într-un timp cât mai scurt, a arcului electric la locul de defect.

1. Rețele electrice cu neutrul izolat față de pământ

În regim normal de funcționare potențialul neutrului este egal cu potențialul pământului, ambele fiind egale cu 0: $V_N = V_0 = 0$. În urma punerii accidentale la pământ a unei faze, potențialul acestei faze devine egal cu potențialul pământului adică egal cu zero (fig. 1.5). Triunghiul tensiunilor de linie rămâne nemodificat sau se modifica foarte puțin, iar punctul neutru se deplasează din centrul de greutate al triunghiului în vârful acestuia corespunzător fazei a :

$$V_a = 0; \quad V_b = U_{ab}; \quad V_c = U_{bc} \quad (1-1)$$

Tensiunile fazelor sănătoase V_b și V_c cresc cu $\sqrt{3}$ ori față de regimul normal de funcționare, solicitându-se astfel izolația față de pământ. La locul de punere la pământ a fazei a poate apărea un curent capacitiv datorat capacităților față de pământ a fazelor b și c , curent care poate produce un arc electric, generând astfel supratensiuni mult mai mari pe fazele sănătoase. Aceste supratensiuni pot conduce la străpungerea izolației pe una sau pe ambele faze sănătoase, astfel încât simpla punere la pământ se poate transforma în scurtcircuit bifazat sau trifazat.

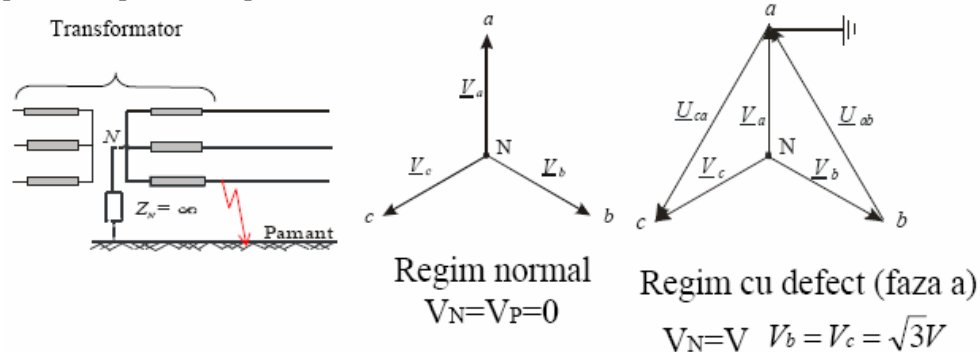


Figura 1.5: Rețea electrică cu neutrul izolat față de pământ.

2. Rețele electrice cu neutrul legat direct la pământ

Prin legarea directă la pământ a punctului neutru N se evită apariția unor supratensiunii periculoase pe fazele sănătoase, evitându-se astfel și supradimensionarea izolației liniei. În schimb, punerea la pământ înseamnă scurtcircuit monofazat însoțit de curenți de intensități mari care va fi sesizat de protecții și linia electrică va fi deconectată.

3. Rețele electrice cu neutrul legat la pământ prin impedanță

În cazul rețelor electrice de MT, între punctul neutru și pământ se conectează o impedanță, care poate fi un rezistor sau o bobină. În regim normal de funcționare, potențialul punctului neutru este egal cu potențialul pământului, iar prin impedanța dintre neutru și pământ nu circula nici un curent. Rolul acestei impedanțe intervine în momentul punerii accidentale la pământ a unei faze.

a) Rețele cu neutrul legat la pământ prin rezistor

În scopul limitării supratensiunilor pe fazele sănătoase sau a intensității curentului de scurtcircuit pe faza defectă, în urma punerii la pământ a unei faze, între neutru N și pământ se conectează un rezistor (RTN – rezistor de tratare a neutrului). Pentru valori mici ale RTN, se reduc supratensiunile pe fazele sănătoase, dar curentul de scurtcircuit monofazat poate avea valori mari. Pentru valori mari RTN, scade valoarea curentului de scurtcircuit monofazat, dar se reduce și limitarea supratensiunilor pe fazele sănătoase, în cazul punerii accidentale la pământ a unei faze.

Tratarea neutrului prin rezistor se utilizează pentru rețelele electrice de medie tensiune, urbane sau rurale, în scopul creșterii selectivității protecțiilor.

b) Rețele cu neutrul legat la pământ prin bobină

Datorită capacităților electrice ale fazelor față de pământ, prin punerea accidentală la pământ a unei faze, la locul de defect apare un curent capacitiv a cărui intensitate depinde de lungimea liniei. Dacă acest curent depășește o anumită valoare, la locul de defect apare un arc electric, care generează un regim tranzitoriu, iar supratensiunile pe fazele sănătoase vor crește. Prin conectarea între neutru și pământ a unei bobine (numită bobină de stingere sau bobină de compensare Peterson), la locul de defect apare un curent inductiv care compensează total sau parțial curentul capacitiv în scopul stingerii arcului electric.

Configurația rețelor electrice

Configurația sau schemele de conexiuni ale rețelor electrice trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să asigure continuitatea în alimentare a consumatorilor;
- să fie simple pentru exploatare și să asigure operativitate și elasticitate;
- să permită extinderea în viitor;
- să limiteze valorile curenților de scurtcircuit;
- să fie fiabile și eficiente economic.

Configurația rețelelor electrice de joasă tensiune

Schema de conexiuni a rețelelor electrice de JT depinde de valoarea sarcinii specifice a zonei de consum (exprimată în MVA/km²) și de gradul de siguranță în alimentare impus de consumatori.

Aceste scheme pot fi:

- *radiale*;
- *simplu și complex buclate*.

Într-o altă clasificare, schemele de JT pot fi:

- *de alimentare*, realizează legătura dintre barele de JT ale posturilor de transformare și punctele de distribuție (tablouri de distribuție);
- *de distribuție*, realizează legătură dintre punctele de distribuție și receptoare.

Schemele radiale, se utilizează în zonele cu densitate de sarcină redusă, cum ar fi: mici cartiere urbane, zone rurale sau consumatori dispersați în teritoriu. Aceste scheme pot fi:

a) *cu o singură treaptă*, când de la tabloul general se alimentează unul sau mai multe tablouri secundare din care se alimentează receptoarele;

b) *cu două trepte*, când de la tabloul general se alimentează tablouri principale, din care se alimentează tablouri secundare și mai departe se alimentează receptoarele.

Schemele radiale au aparate de protecție simple și sigure reprezentate prin siguranțe fuzibile amplasate pe liniile principale, pe derivații și pe circuitele receptoarelor (pentru curenți de intensități ridicate siguranțele fuzibile sunt înlocuite cu întreruptoare de JT). Siguranțele fuzibile trebuie calibrate astfel încât să asigure selectivitate în eliminarea defectelor (curenții nominali cresc de la receptoare către tablourile generale). Schemele radiale, deși sunt simple și au exploatare ușoară, prezintă dezavantajul unui grad scăzut de continuitate în alimentarea consumatorilor.

Schemele buclate, oferă posibilitatea alimentării consumatorilor prin mai multe căi de la aceeași sursă (rezervare în linii electrice) sau de la surse diferite (rezervare în surse), eliminând inconvenientul principal al rețelelor radiale. Se îmbunătățește nivelul de tensiune la consumatori și, în general, se reduc pierderile de putere și energie.

a) *Rețele electrice simplu buclate* (fig. 1.6).

Schema din figura 1.6,a reprezintă cea mai simplă schemă buclată. Prezintă dezavantajul că în cazul unui defect în punctul indicat toate receptoarele rămân nealimentate.

Prin introducerea siguranței fuzibile S_3 din figura 1.6,b, în cazul apariției unui defect în punctul indicat se întrerupe alimentarea receptoarelor între S_2 și S_3 . Se impune condițiile: $I_{S3} < I_{S1}$ și $I_{S3} < I_{S2}$.

În schema din figura 1.6,c siguranța fuzibilă S_3 este înlocuită cu un întreruptor automat, aflat în starea normal deschis. În cazul lipsei tensiunii de pe una din barele PT_1 sau TP_2 , întreruptorul I se închide și alimentează tuturor receptoarelor.

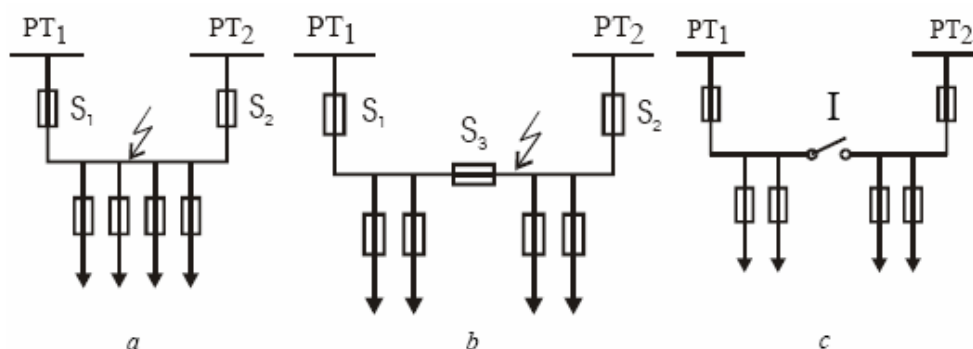


Figura 1.6: Rețele electrice simplu buclate.

b) Rețele electrice buclate longitudinal (fig. 1.7)

Fiecare linie de JT tensiune este alimentată din două posturi de transformare diferite, alimentate la rândul lor din același distribuitor de MT. Dezavantajul schemei constă în faptul că, în cazul unui defect pe distribuitorul de MT, rămân nealimentați toți consumatorii.

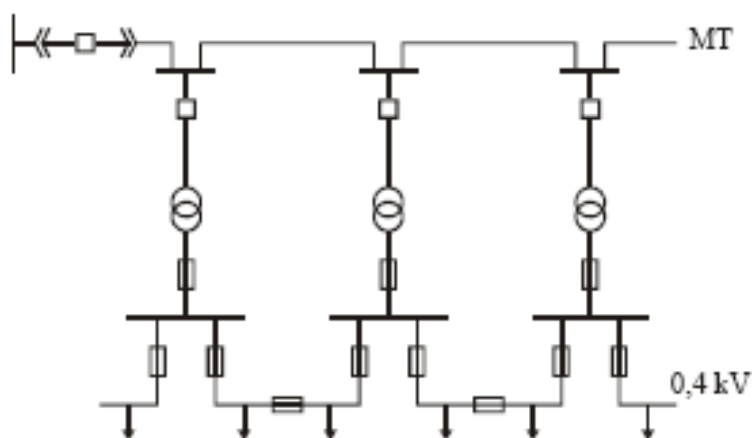


Figura 1.7: Rețea electrică buclată longitudinal.

c) Rețele electrice buclate transversal (fig. 1.8)

Fiecare linie de JT este alimentată din două posturi de transformare diferite, alimentate din distribuitoare diferite. Se îmbunătățește astfel siguranța în alimentarea consumatorilor, dar cresc investițiile. Schema reprezintă o primă etapă la trecerea la o configurație complex buclată.

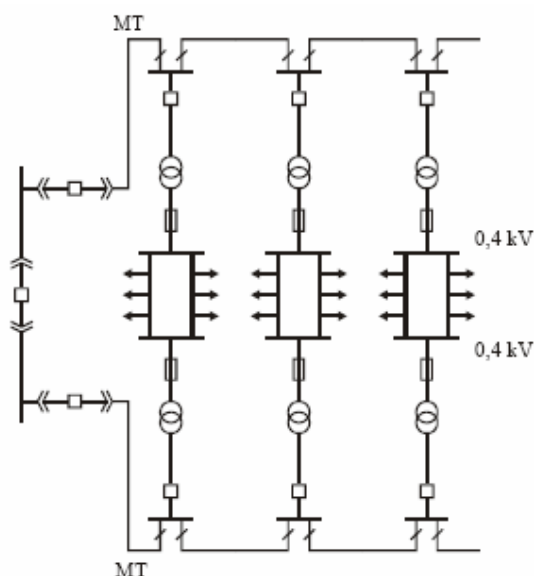


Figura 1.8: Rețea electrică buclată transversal.

d) Rețele electrice buclate longitudinal și transversal (fig. 1.9)

Oferă un grad ridicat de siguranță în alimentarea consumatorilor, dar investițiile sunt ridicate. Se utilizează atunci când se dorește trecerea la o schemă complex buclată.

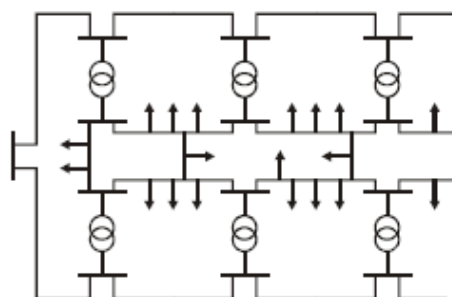


Figura 1.9: Rețele electrice buclate longitudinal și transversal.

e) Rețele electrice complex buclate sub formă de plasă (fig. 1.10)

Nodurile rețelei electrice sunt create la fiecare cutie de distribuție și conțin cel puțin 3 cabluri de JT alimentate din posturi de transformare diferite. Într-o asemenea schemă se reduce foarte mult posibilitatea întreruperii alimentării consumatorilor.

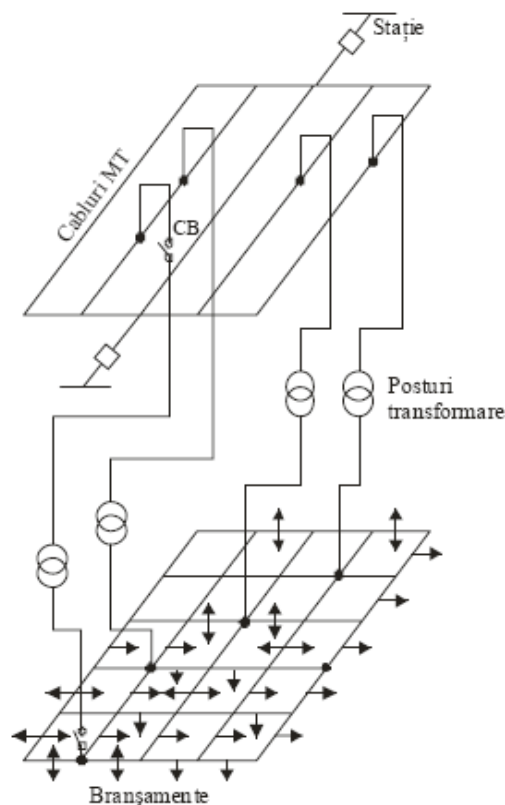


Figura 1.10: Rețea electrică buclată longitudinal și transversal.

Configurația rețelelor de medie tensiune

Din punct de vedere al schemei de conexiuni, există două categorii de rețele electrice:

1) *Rețele electrice cu distribuție directă*, în care posturile de transformare sunt alimentate direct din stațiile de transformare prin intermediul distribuitorilor;

2) *Rețele electrice cu distribuție indirectă, prin puncte de conexiune (puncte de alimentare)*, în care prin intermediul unui feeder este alimentat dintr-o stație de transformare un punct de conexiune (PC) din care sunt alimentate posturile de transformare prin intermediul distribuitorilor.

Feederul (fiderul) este un cablu de MT care alimentează un PC. Punctul de conexiune (punctul de alimentare) reprezintă o stație de conexiuni de MT, construită la o anumită distanță de stația de transformare, în scopul reducerii numărului de celule de MT din stația de transformare. Schemele cu distribuție indirectă sunt pentru rețelele electrice de distribuție din marile orașe.

În prezent se constată tendința utilizării schemelor cu distribuție directă, motiv pentru care, în continuare, vor prezentate doar schemele de conexiune ale distribuitorilor de MT. Schemele de distribuție indirectă prin PC se utilizează

doar în situația în care punctul de conexiune constituie baza unei viitoare stații de 110 kV.

Racordarea posturilor de transformare la liniile de MT se poate realiza în două moduri: în derivație (fig. 1.11,a) sau în serie (“intrare-ieșire”) (fig. 1.11,b).

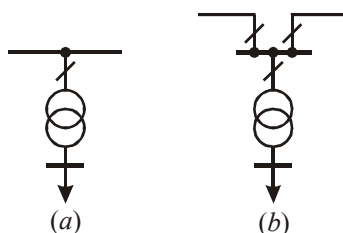


Figura 1.11: Racordarea posturilor de transformare la liniile de MT:

a) în derivație; b) în serie (intrare-ieșire).

Rețelele electrice de distribuție urbană, sunt realizate, în general, cu linii electrice în cablu (LEC/LES). Detectarea și remedierea defectelor, pentru aceste tip de linii electrice, pot necesita perioade de timp ridicate. În plus, rețelele urbane pot alimenta zone de consum cu densitate de sarcină importantă. Din aceste motive, pentru a evita întreruperea alimentării unor consumatori cu puteri mari pe perioade lungi de timp, trebuie prevăzută posibilitatea alimentării fiecărui post de transformare prin cel puțin două căi distincte, din aceeași stație de transformare sau din stații diferite. Pentru aceasta, se utilizează configurații simplu sau complex buclate.

a) Rețea cu distribuție directă cu rezervare pe aceeași stație de transformare (fig. 1.12). Se utilizează în zonele urbane unde nu există posibilitatea rezervării de pe barele de MT ale unei alte stații de transformare.

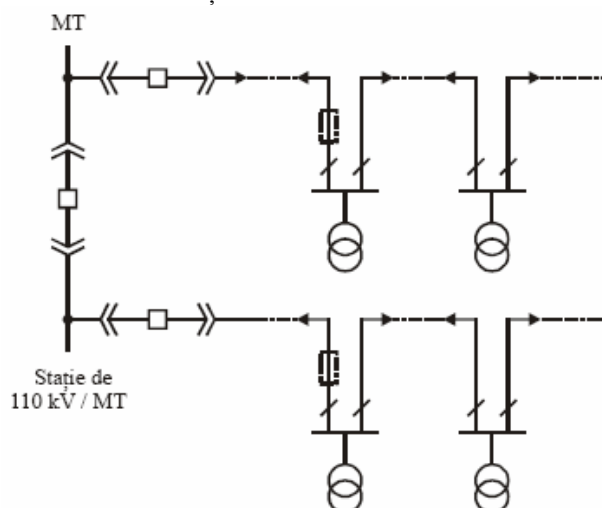


Figura 1.12: Rețea cu distribuție directă cu rezervare pe aceeași stație de transformare.

b) *Rețea cu distribuție directă cu rezervare pe stații de transformare diferite* (fig. 1.13). Se utilizează în zonele urbane unde există posibilitatea rezervării de pe barele de MT a două stații de transformare diferite.

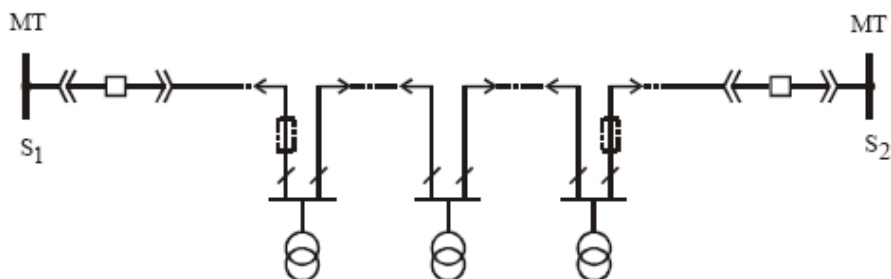


Figura 1.13: Rețea cu distribuție directă cu rezervare pe aceeași stație de transformare.

c) *Rețea de distribuție tip grilă* (fig. 1.14). Se utilizează în zonele urbane cu densități de sarcină de 5-10 MVA/km² sau pentru a reduce volumul de cabluri. Rezervarea se poate face pe aceeași stație de transformare sau pe stații diferite.

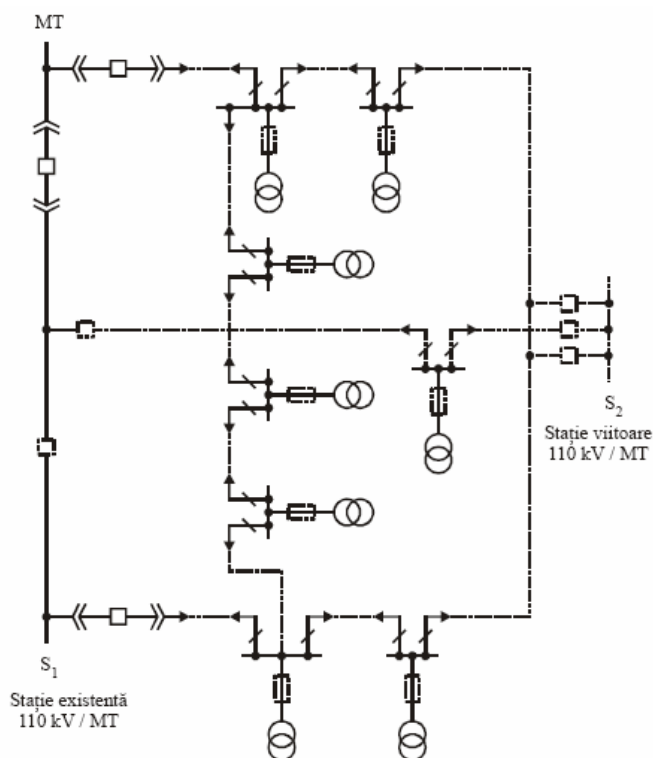


Figura 1.14: Rețea de distribuție tip grilă.

d) *Rețea de distribuție tip dublă derivație* (fig. 1.15). Se utilizează în zonele urbane cu densități de sarcină mai mari de 10 MVA/km^2 . Fiecare post de transformare are posibilitatea să fie conectat la două cabluri de MT prin intermediul unor separatoare. În schemă normală se funcționează cu un cablu de lucru și un cablu de rezervă. În cazul apariției unui defect pe cablul de lucru toate posturile de transformare vor fi transferate pe cablul de rezervă.

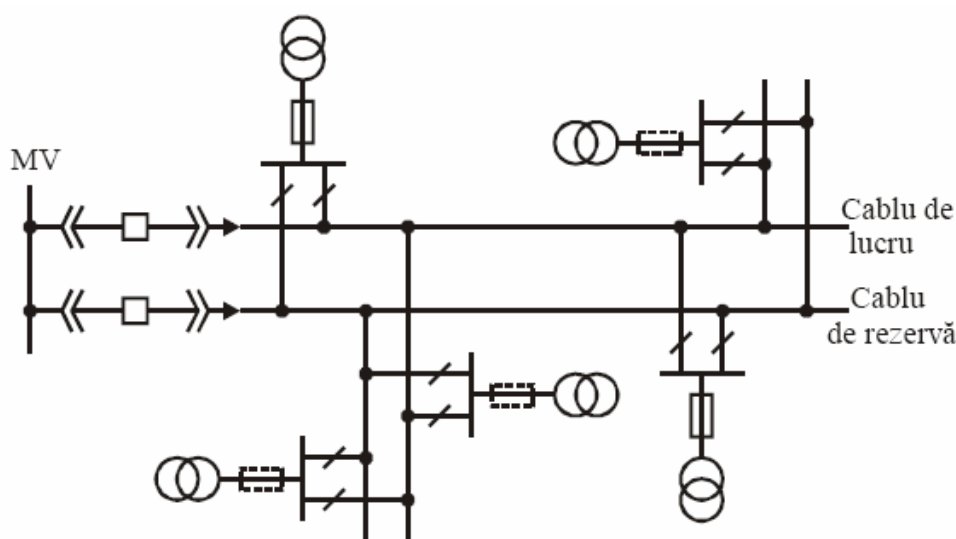


Figura 1.15: *Rețea de distribuție tip dublă derivație.*

Rețelele electrice de distribuție rurală, sunt realizate, în general, cu linii electrice aeriene (LEA). Detectarea și remediarea defectelor, pentru aceste tip de linii electrice, necesită perioade de timp relativ reduse (câteva ore). În plus, rețelele rurale alimentează zone de consum cu densitate mică de sarcină sau consumatori izolați. Din aceste motive nu se impune posibilitatea alimentării pe două căi distincte a posturilor de transformare, putându-se utiliza configurații radiale sau arborescente. În situații justificate din punct de vedere economic se pot utiliza scheme alimentate din două stații de transformare distincte.

a) *Rețea electrică arborescentă cu distribuție directă* (fig. 1.16). Alimentarea rețelei se face dintr-o stație de transformare IT/MT. Plecarea din stația de transformare este echipată cu un întreruptor pe partea de MT. Rețeaua este constituită din linii electrice aeriene, care din punct de vedere funcțional pot fi clasificate în două categorii:

- linii aparținând axei principale, care asigură tranzitul de putere între surse și zonele de consum. Aceste linii sunt realizate cu secțiune mare a conductoarelor;
- linii derivație, care asigură racordarea fiecărui post de transformare la axa principală. Aceste linii pot fi realizate cu secțiune mai mică.

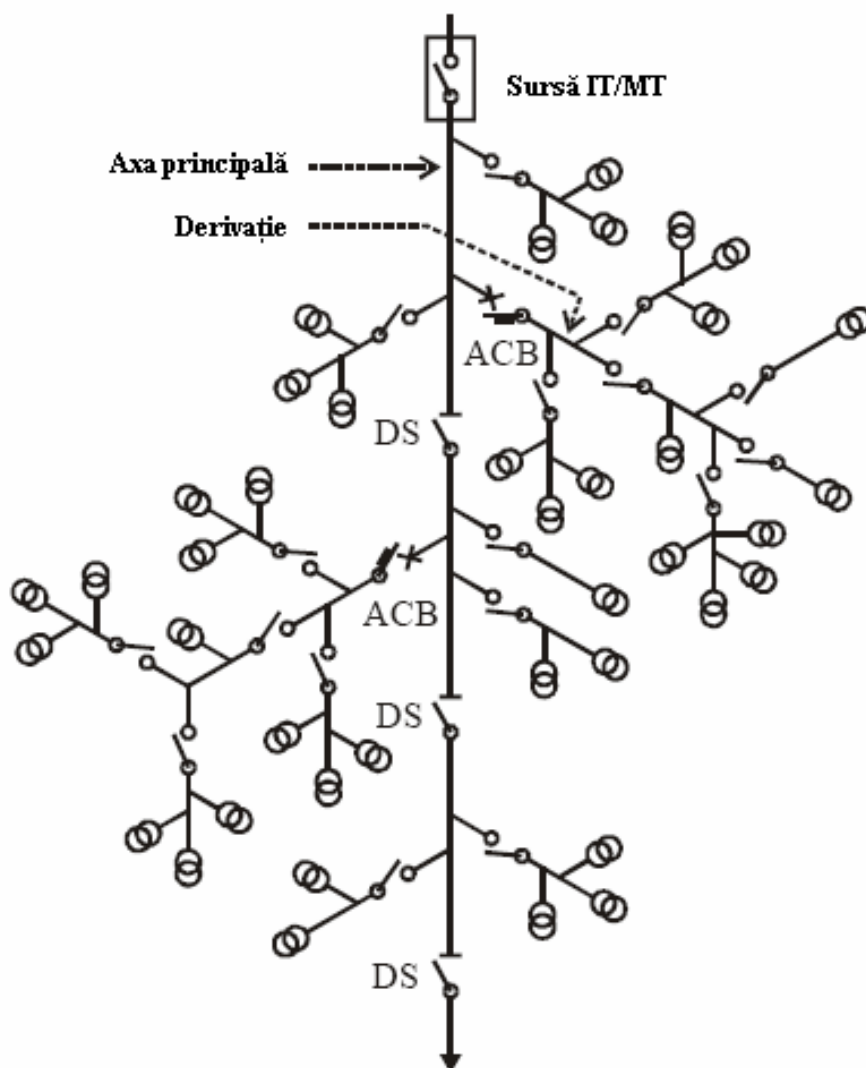


Figura 1.16: Rețea electrică arborescentă cu distribuție directă.

b) Rețea electrică cu distribuție directă cu rezervare pe stații diferite (fig. 1.17). Spre deosebire de rețelele de distribuție urbane, liniile de MT aeriene nu îndeplinesc, de obicei, funcția principală de ajutorare a liniilor vecine sau de transfer a unor consumatori între sursele de alimentare vecine. În unele situații, pot fi justificate unele bucle între plecările de MT apropiate. Rețeaua din figura 3.6 este compusă dintr-o LEA alimentată din două stații diferite, cu posibilități de separație la mijlocul rețelei, realizată într-un post de transformare, alimentat prin intrare-ieșire, sau posibilitatea de separație la capătul rețelei. Ea reprezintă o axa rurală cu alimentarea posturilor de transformare în *derivație* sau prin *intrare-ieșire*.

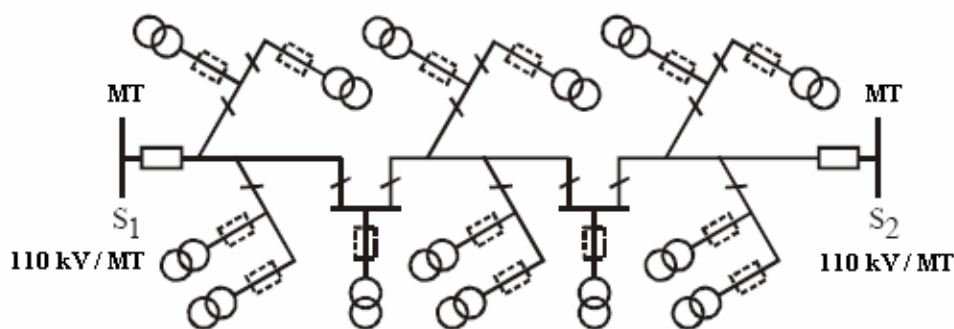


Figura 1.17: Rețea electrică cu distribuție directă prin LEA cu rezervare pe stații diferite.

Observații:

1) Rețelele electrice de distribuție (JT, MT și IT) pot avea configurație simplă sau complex buclată, dar în schemă normală se exploatează debuclet (radial sau arborescent).

Motivații:

- limitarea extinderii zonei afectate de un scurtcircuit;
- reducerea valorilor curenților de scurtcircuit.

Stabilirea punctului sau a punctelor de debucletare (secționare) se realizează în urma unei analize multicriteriale printr-un proces de reconfigurare. Principalului aspect avut în vedere urmărește reducerea pierderilor de putere și energie activă.

2) În dezvoltarea, sistematizarea și re tehnologizarea rețelelor electrice de distribuție publică de MT se va adopta, de regulă, sistemul cu distribuție directă.

3) Rețelele electrice de distribuție publică de MT, de tip aerian sau subteran, se vor realiza la tensiunea nominală de 20 kV, chiar dacă într-o prima etapă vor funcționa la o altă tensiune.

Configurația rețelelor electrice de înaltă tensiune

Rețelele electrice de IT (110 kV) pot îndeplini următoarele roluri:

- repartiția energiei electrice în zone urbane și rurale;
- alimentarea unor consumatori concentrați de mare putere, individuali sau industriali;
- evacuarea energiei din centralele electrice de putere mijlocie;
- rezervă pentru rețeaua electrică de transport.

Ponderea cea mai mare o au rețelele electrice cu rol de repartiție a energiei electrice (circa 80%), care din punct de vedere funcțional sunt identice cu rețelele electrice de distribuție de MT. Rețelele electrice de IT pot fi realizate cu LEC, pentru zonele cu mare densitate constructivă, sau cu LEA, pentru celelalte zone. Configurația rețelelor electrice de repartiție de IT depinde de tipul lor (urbane sau rurale) și poate fi simplă sau complex buclată, cu exploatare radială sau arborescentă.

Rețelele electrice de IT urbane, au de obicei configurația sub formă de inel cu unul sau două circuite, în care sunt inserate prin conexiune intrare-ieșire stațiile de transformare de IT/MT care alimentează rețeaua electrică de distribuție de MT. Pentru marile aglomerații urbane (București, Timișoara) s-au dezvoltat și legături diagonale, care pătrund spre centrul localității și alimentează stațiile de transformare de IT/MT din zonele centrale.

Rețele electrice de IT rurale, sunt constituite dintr-un distribuitor alimentat din două surse independente. Liniile electrice ale acestor rețele sunt de tip aerian.

Configurația rețelelor electrice urbane de înaltă și foarte înaltă tensiune

În cazul marilor aglomerații urbane, rețeaua de IT și FIT capătă o configurație specifică luând forma unui inel sau a unor inele care pot avea una sau mai multe legături diagonale. Pentru creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor, la aceste inele pot fi conectate centrale electrice locale. Mărirea capacității de transport se realizează prin creșterea numărului de linii ce formează un inel, ajungându-se la inele cu mai multe linii concentrice, la aceeași tensiune sau la niveluri de tensiune din ce în ce mai mari.

În aglomerațiile urbane, cum ar fi orașul Paris, s-au dezvoltat rețele electrice de distribuție având *configurație autostructurată*. Această configurație permite dezvoltarea fără dificultate, în viitor, a rețelelor electrice de distribuție, pe măsura creșterii consumului de energie electrică, prin introducerea de noi stații de transformare prin secționarea longitudinală și transversală a rețelei electrice existente.