

SUPRATENSIUNI ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE



Introducere

1.1 Considerații liminare

Rețelele de joasă tensiune (jt) constituie o parte componentă a Sistemului Energetic Național (SEN) și dețin o pondere importantă, fizică și valorică, din acesta.

În general, rețelele electrice pot fi clasificate după: valoarea tensiunii, după funcțiunea îndeplinită, după modul de tratare al neutrului, după structură și după complexitate.

După valoarea tensiunii, se deosebesc:

- rețele de joasă tensiune aeriene, sub 1 kV, cea mai frecventă fiind tensiunea de 400/230 V, folosită pentru distribuția și utilizarea energiei electrice la consumatori;
- rețele de distribuție subterane, sub 1 kV, respectiv de 400/230 V:

Puterile, din ce în ce mai mari, cerute de consumatori, au determinat ca instalațiile de 110 kV să fie utilizate nu numai pentru transport, ci și pentru distribuția energiei electrice, iar cele de 220-750 kV sînt denumite rețele de foarte înaltă tensiune destinate exclusiv transportului.

După funcțiunea îndeplinită, se disting:

- rețele pentru transportul energiei electrice (la tensiuni înalte și foarte înalte, începînd de la 110 kV în sus, valoare considerată în ultimii ani de distribuție);
- rețele pentru distribuția energiei electrice (la tensiuni medii, dar și joase);
- rețele pentru utilizarea energiei electrice (la tensiuni joase, dar și medii);
- rețele pentru tracțiunea electrică (în curent continuu la tensiunea de 600-1500 V sau alternativ monofazat, la 25 kV).

La rîndul lor rețelele de distribuție se împart, după caracterul localității alimentate, în rețele urbane și rețele rurale.

Din punct de vedere al tratării neutrului, se împart în:

- rețele cu neutrul izolat, al căror neutru nu are nicio legătură specială cu pămîntul, cu excepția celor realizate pentru măsurare, semnalizare sau protecție;
- rețele cu neutrul compensat, al căror neutru este legat la pămînt printr-o bobină de stingere sau printr-un transformator de legare la pămînt;
- rețele cu neutrul legat la pămînt fie direct, fie printr-un rezistor sau printr-o bobină de reactanță de valoare redusă. La joasă tensiune neutrul este legat la pămînt [1.6.7,1.6.10].

După structură, rețelele se împart în:

- rețele radiale sau arborescente, prin care consumatorii sînt alimentați dintr-un singur sens;
 - rețele buclate prin care consumatorii sînt alimentați din cel puțin două sensuri.
- Rețelele buclate prezintă o mare varietate de scheme posibile, din care mai importante sînt următoarele:

- rețeaua buclată cu funcționare radială, care poate fi cu sau fără anclanșare automată a alimentării de rezervă;
- rețeaua buclată longitudinal, transversal, sau complex buclată (după principiul european-cu sigu-ranțe în noduri sau american-cu noduri rigide, fără siguranțe).

Din punctul de vedere al complexității, se împart în:

- rețele izolate sau neinterconectate, din ce în ce mai rare, caracterizate prin existența unor surse producătoare de energie ce debitează într-un singur punct al rețelei, pentru toți consumatorii acesteia;
- rețele interconectate, din ce în ce mai utilizate și reprezintă ansamblul instalațiilor de transport ce fac legătura între mai multe surse producătoare de energie, care debitează în diferite puncte ale rețelelor de alimentare ale consumatorilor.

Instalațiile energetice în general și, rețelele electrice, în special, constituie în volumul de investiții al unei țări, respectiv, în mijloacele fixe, un capitol vast, cu pondere extrem de importantă.

În aceste condiții pentru rezolvarea optimă, tehnico-economică și unitară, a problemelor energetice în cele patru activități principale (proiectare, executare, exploatare și întreținere) s-au stabilit date și condiții cu caracter tehnic și economic care cuprind principii, metode și operații care trebuie respectate.

Acest ansamblu cuprins într-un document, scris cu date și condiții, poartă numele de reglementare tehnică: Standarde române (SR), europene (EN), internaționale (ISO), Norme Tehnice Energetice (NTE), elaborate și aprobate de ANRE, Prescripții energetice (PE), Îndreptare de proiectare (Ip), Regulamente (RE), Instrucțiuni (I), Fișe tehnologice (FT) etc., încât, pentru toate tipurile de instalații energetice (exclusiv standardele) s-a ajuns la cca 1400 de reglementări, fapt ce crează anumite dificultăți în însușirea și aplicarea riguroasă a acestora [3].

Din datele publicate asupra rețelelor electrice, ale SEN, de către RENEL-GTDEE, pentru anul 1995-1996, înainte de începerea privatizării acestora, rezultă structura și cantitățile pe tensiuni și pe tipuri de instalații, redate în tablourile de mai jos:

Un [kV]	LEA [km]				LES [km]
	sc	dc	mc	Total	
6-750	96935	13781	693	111409	28678
<1 kV	120321	1064	212	121597	46266
Total [km]	217526	14845	905	233006	74944
$I_j/I_{tot}[\%]$	55,4	7,2	23,4	52,2	61,7

Stații			
U [kV]	Buc.	Nr.T [buc]	Sni [MVA]
750	1	6	2500
400	26	70	14095
220	43	131	16621
110	864	1821	17454
60-30	10	19	127
Total	944	2047	50797

PT/PA			
U [kV]	Buc	Nr.Tmt/jt	Sni [MVA]
35-15	55646	62084	18432255
10	4928	5948	2241923
6-4	4938	6093	2640504
Total	65512	79125	23314682

Notă: Semnificația simbolurilor utilizate mai sus este:

-I_j- reprezintă lungimea rețelei de joasă tensiune;

-I_{tot}- reprezintă lungimea totală a rețelelor electrice.

Se constată că lungimea rețelelor aeriene, de joasă tensiune, din totalul rețelelor aeriene, depășește 52%, iar al rețelelor subterane, depășește 60% din totalul rețelelor în cablu.

Un alt aspect interesant îl constituie raportul dintre Sni_T (puterea aparentă nominală instalată, totală, în transformatoarele din PT/PA) și Sni_T, puterea aparentă nominală, totală a transformatoarelor din stațiile de transformare, este egal cu 23314688/50797=458,97, de aproape 460 de ori mai mare ca cea din stațiile de transformare ale SEN.

Rețelele de joasă tensiune constituie interfața SEN cu marea majoritate a consumatorilor, a căror alimentare, în condiții optime, este rațiunea de a fi a SEN. Drept urmare distribuitorul și furnizorul trebuie să depună eforturi susținute, pentru menținerea, pe toată durata normală de serviciu a rețelelor de distribuție de joasă tensiune, a parametrilor funcționali la valori cât mai apropiate de cele proiectate.

Pe de altă parte, proliferarea numerică și diversificarea, fără precedent, a receptoarelor electrocasnice, a aplicațiilor tehnologiilor moderne precum și a ciberneticii în industrie, au determinat o creștere considerabilă a exigenței consumatorilor față de calitatea energiei electrice absorbite din rețelele publice.

Cîteva definiții sînt absolut necesare:

Aviz tehnic de racordare-avizul scris, valabil numai pentru un anumit amplasament, care se emite de către operatorul de rețea, la cererea unui utilizator, asupra posibilităților și condițiilor de racordare la rețeaua electrică a locului de producere sau de consum respectiv, pentru satisfacerea cerințelor utilizatorului precizate în cerere;

Consumator de energie electrică-clientul final, persoană fizică sau juridică, ce cumpără energie electrică pentru consumul propriu sau totalitatea receptoarelor electrice dintr-un anumit spațiu sau dintr-o întreprindere (organizație), legate printr-un scop tehnologic funcțional;

Consumator casnic-consumatorul care cumpără energie electrică pentru consumul propriu al gospodăriei, excluzînd consumul aferent activităților comerciale sau profesionale;

Coordonarea izolației-alegerea rigidității dielectrice a echipamentelor în funcție de tensiunile care pot apărea în rețeaua pentru care aceste echipamente sînt destinate, luînd în considerare condițiile de mediu în care funcționează precum și caracteristicile dispozitivelor de protecție disponibile. Ea are drept scop reducerea la un nivel acceptabil din punct de vedere economic și al exploataării, a posibilității ca solicitările dielectrice rezultate, aplicate echipamentelor, să provoace deteriorarea izolației acestora sau să afecteze continuitatea de funcționare [19];

Distribuție de energie electrică-tranzitul energiei electrice prin rețelele de distribuție de înaltă tensiune, medie tensiune și joasă tensiune, cu tensiunea de linie nominală pînă la 110 kV inclusiv, în vederea livrării acesteia către clienți, fără a include furnizarea;

Echipament electric-orice dispozitiv utilizat pentru producerea, transformarea, transportul, distribuția și utilizarea energiei electrice;

Furnizor-persoană juridică, titulară a unei licențe de furnizare;

Instalație electrică-ansamblu de echipamente electrice interconectate prin diverse tipuri de conducte electrice, într-un spațiu dat, formînd un singur tot și avînd un scop funcțional bine determinat;

Instalație electrică de distribuție de joasă tensiune-instalație de distribuție a energiei electrice cu tensiunea nominală de 400 V între faze și 230 V între o fază și pămînt, funcționînd cu neutrul legat direct la pămînt;

Instalație de racordare (bransament la joasă tensiune și racord la medie și înaltă tensiune)-instalația electrică realizată între punctul de racordare la rețeaua electrică de interes public și punctul de delimitare dintre instalațiile operatorului de rețea și instalațiile utilizatorului. Instalația de racordare cuprinde și grupul de măsurare al energiei electrice, inclusiv în cazurile de excepție, cînd punctul de măsurare este diferit de punctul de delimitare.

Instalație de utilizare-părțile de instalație situate în aval de punctul de delimitare.

Norme-standardele, codurile, regulamentele, instrucțiunile, prescripțiile energetice, hotărîrile și alte acte normative, precum și contractele sau alte documente oficiale.

Punct de delimitare-locul în care instalațiile utilizatorului (consumatorului) se delimitează ca proprietate de instalațiile operatorului de rețea (distribuitorului/furnizorului) [20].

Receptoare electrice-echipamente care transformă energia electrică în alte forme de energie. Se disting:

- receptoare de iluminat (lămpile electrice);
- receptoare de forță, care pot fi:

- electromecanice (motoare electrice, electromagneți, electroventile);
- electrotermice (cuptoare electrice, echipamente de sudură, instalații cu radiații infraroșii);
- electrochimice (băi de electroliză);

Rețea electrică-ansamblul de linii, inclusiv elementele de susținere și de protecție a acestora, stațiile electrice și alte echipamente electroenergetice conectate între ele, prin care se transmite energia electrică de la o capacitate energetică de producere a energiei electrice la un utilizator. Rețeaua electrică poate fi rețea de transport sau rețea de distribuție;

Rețea electrică de distribuție de joasă tensiune-partea din instalația de distribuție de joasă tensiune situată în amonte de punctele de delimitare prin care se transmite energia electrică în zonele de consum și se distribuie consumatorilor (utilizatorilor). Rețeaua de distribuție de joasă tensiune include linii electrice și echipamente de comutație, de măsurare și de protecție, toate părțile de instalație dintre bornele de joasă tensiune ale transformatoarelor de distribuție și punctele de delimitare dintre distribuitori și consumatori (în cazul bransamentelor aeriene sau subterane);

Rețea electrică de interes public-rețeaua electrică la care sînt racordați cel puțin 2 utilizatori.

Sistem energetic-ansamblul instalațiilor de producere, transport, depozitare, distribuție, utilizare și recuperare a energiei, inclusiv instalațiile auxiliare de captare, stocare, prelucrare și transformare a purtătorilor de energie necesari, de pe un anumit teritoriu, cu alte cuvinte, ansamblul instalațiilor de extracție, prelucrare, stocare, conversie, transport și distribuție extinse pe teritoriul țării care constituie o parte a economiei naționale.

Sistemul energetic este un sistem cibernetic, cu legături directe între producție și consum și cu legături informaționale care determină elemente de decizie între consum și producție. Sistemul energetic este deosebit de complex și cuprinde, de fapt, ca subsisteme: subsistemul de extracție, transport și distribuție a cărbunelui și a petrolului, sistemul de extracție, transport și distribuție a gazelor naturale, sistemul de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice, precum și sistemul energiilor neconvenționale;

Sistem electroenergetic-ansamblul instalațiilor electroenergetice interconectate prin care se realizează producerea, transportul, conducerea operativă, distribuția, furnizarea și utilizarea energiei electrice;

Sistem electroenergetic național (SEN)-sistemul electroenergetic situat pe teritoriul național. Sistemul electroenergetic național constituie infrastructura de bază utilizată în comun de participanții la piața de energie electrică;

Tensiune nominală a unei rețele trifazate (U_n)-valoarea efectivă a tensiunii între faze, prin care este denumită rețeaua și la care se referă unele caracteristici de funcționare ale acesteia;

Supratensiune-orice tensiune, dependentă de timp, între un conductor de fază și pământ sau între conductoarele de fază, a cărei valoare sau valori depășesc valoarea de vîrf $U_n\sqrt{2}/\sqrt{3}$, respectiv $U_n\sqrt{2}$, corespunzătoare tensiunii celei mai ridicate pentru echipament (U_m),

Supratensiune tranzitorie-supratensiune de scurtă durată, nedepășind cîteva milisecunde, oscilatorie sau nu, în general puternic amortizată;

Supratensiune de comutație-supratensiunea fază-pământ sau între faze care apare într-un punct dat al rețelei datorită unei operații de comutare, a unui defect sau altor cauze și a cărei formă poate fi asimilată în ceea ce privește coordonarea izolației cu cea a impulsurilor normalizate, utilizate pentru încercarea la impuls de tensiune de trăsnet. Supratensiunile de acest tip sînt, de obicei, de o singură polaritate și de durată foarte scurtă;

Supratensiune temporară-supratensiune sub forma unor oscilații neamortizate sau slab amortizate între fază și pământ sau între faze, care apare într-un punct dat al unei rețele, pentru o durată relativ mare;

Supratensiune de trăsnet-tensiunea fază-pământ sau între faze care apare într-un punct dat al rețelei datorită unei descărcări atmosferice sau unei alte cauze și a cărei formă poate fi asimilată în ceea ce privește coordonarea izolației, cu cea a impulsurilor normalizate utilizate

pentru încercarea la impuls de tensiune de trăsnet. Supratensiunile de acest tip sînt, de obicei, de o singură polaritate și de durată foarte scurtă [19].

Supratensiunile temporare sînt provocate, de obicei, de comutații sau de apariția unor defecte (de exemplu defecte monofazate) și/sau de fenomene nelineare (ferorezonanță, armonici). Supratensiunile temporare se caracterizează prin amplitudinea, frecvența, durata totală sau coeficientul de amortizare.

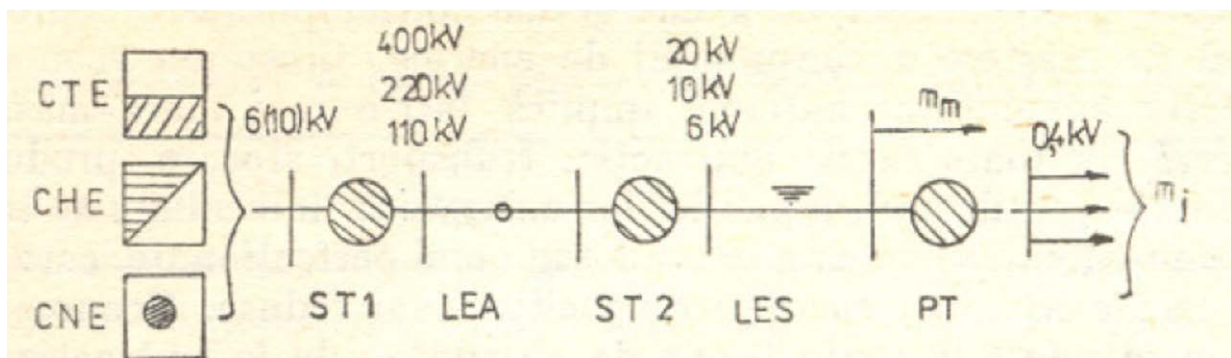


Fig.1

În figura 1 s-au făcut următoarele notații pentru un sistem electroenergetic: CTE, CHE, CNE-centrală termoelectrică, hidroelectrică, nuclearelectrică, ST1, ST2-stații de transformare ridicătoare, coborâtoare, PT-post de transformare, LEA-linii electrice aeriene, LES-linii electrice subterane, m_m, m_j -receptoare electrice de medie și de joasă tensiune.

Componența instalațiilor electrice la consumator este redată, simplist, în figura 2. Alimentarea cu energie electrică a consumatorului, format din receptoarele de joasă tensiune m_j și de medie tensiune m_m se realizează de la stația SSE a sistemului electroenergetic prin racordul de înaltă tensiune 1, care poate fi o linie electrică aeriană sau subterană. Pentru tensiuni de alimentare de peste 35 kV, ST este o stație de transformare sau poate fi o stație de distribuție (SD). Posturile de transformare (PT) alimentate prin liniile 1 sau 2 numite distribuitoare sau fidere.

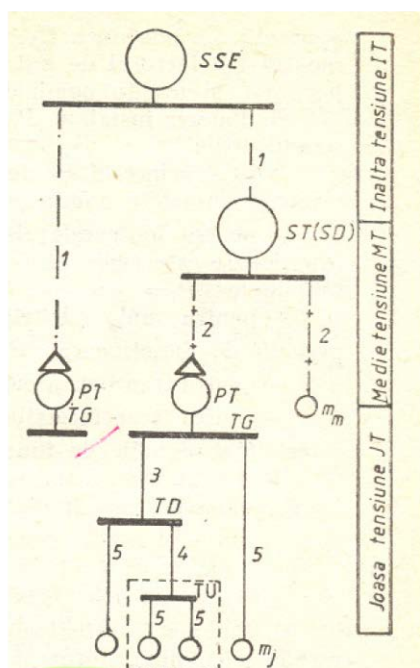


Fig.2

Receptoarele de joasă tensiune (m_j) mai importante sau cele cu puteri mai mari, ale consumatorului se racordează, uneori, direct la tabloul general (TG). Se pot realiza și puncte de distribuție intermediare reprezentate de tablourile de distribuție (TD).

Liniile 3 care alimentează TD se numesc coloane. Unele receptoare de joasă tensiune grupate pe utilaje prezintă o instalație proprie și un tablou de distribuție al utilajului (TU); 4 reprezintă un circuit de utilaj, iar 5 circuite ale receptoarelor.

Precizăm că în fig.2 nu-i evidențiată distincția dintre rețeaua de distribuție și cea de utilizare de joasă tensiune care, în mod practic, se realizează prin punctul de delimitare (PD) dintre instalațiile distribuitorului și cele ale consumatorului (utilizatorului).

Alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, în conformitate cu reglementările în vigoare, impune analiza prealabilă a elementelor referitoare la tensiune, frecvență și continuitate în corelare cu puterea maximă absorbită, clasele A, B, C, D, E, F [20] și cu categoriile receptoarelor 0, I, II și III [12], în punctele de delimitare (PD).

Tensiunea, variază continuu, valoarea care trebuie asigurată în PD se stabilește prin contractele dintre distribuitor/furnizor și consumator la $U_n \pm 10\%$, această valoare poate fi menținută, în general, între aceste limite, însă depășirea limitelor este posibilă, situație în care receptoarele sensibile se pot deteriora. În lucrare se analizează cauzele care pot duce la deteriorarea acestora, respectiv la pagube provocate consumatorilor.

Frecvența în SEN este un parametru unic, care în orice moment, are aceeași valoare în tot sistemul [12]. Distribuitorul sau furnizorul nu pot acționa asupra acestui indicator de calitate, problema depinde de păstrarea echilibrului dintre puterea generată (P_g) și cea consumată (P_c) în sistem și revine dispecerului de sistem.

Puterea maximă absorbită solicitată de către consumator, se asigură prin soluția de racordare, oferită de către distribuitor prin Fișa de soluție sau Studiul de soluție, însușite de către consumator, consemnată în Avizul tehnic de racordare, emis de către distribuitor.

Punctul de delimitare se stabilește în funcție de situația concretă a instalațiilor din zonă și de poziția consumatorului față de acestea.

Continuitatea în alimentare se determină pe baza calculelor de fiabilitate, în raport cu exigențele impuse de consumator [3], în funcție de clasa acestuia și de categoria receptoarelor, aceasta se consemnează în avizul tehnic de racordare și în contract, prin durata maximă de restabilire a alimentării

Se remarcă imediat că indicatorul de calitate, cel mai important, care poate varia în limitele prevăzute în Avizul tehnic de racordare și în cele ale contractului, dar și dincolo de acestea, este tensiunea, asupra căreia ne vom concentra atenția în cele ce urmează.

Din punctul de vedere al modului de producere variațiile de tensiune se pot clasifica în:

- variații lente;
- fluctuații de tensiune;
- goluri de tensiune.

Variațiile lente-pot fi periodice, cu ciclu zilnic sau săptămînal (datorită modificării structurii și sarcinii sistemului între orele de vîrf și gol sau între zilele lucrătoare și cele de repaos) ori aleatorii, ca urmare a conectării sau deconectării de la rețea a unor sarcini importante sau a unor elemente de rețea (generatoare, linii).

Abaterea tensiunii de la valoarea nominală ca urmare a variațiilor lente se exprimă prin relația:

$$\Delta U = (U - U_n) / U_n \cdot 100 [\%], \text{ unde:}$$

U -valoarea efectivă a tensiunii măsurată în punctul considerat, în V;

U_n -tensiunea nominală a rețelei, în V.

Fluctuațiile de tensiune-variațiile de tensiune cu caracter capacitiv, repetitiv, ciclice sau aleatorii, care au loc cu un gradient $\Delta U / \Delta t$ mai mare ca 1%/s. Acestea sînt cauzate de apelurile (solicitările) de putere reactivă, din funcționarea intermitentă sau cu șocuri de putere reactivă, a unor receptoare ca de exemplu:

- în rețelele de joasă tensiune: frigidere, ascensoare, aparate de sudură;
- în rețelele de medie tensiune: pompe, locomotive electrice, laminoare;
- în rețelele de înaltă tensiune: cuptoare cu arc, laminoare etc.

Mărimea fluctuației de tensiune (ΔU_F) se definește cu relația:

$$\Delta U_F = (U_{\max} - U_{\min}) / U_n \cdot 100 [\%], \text{ în care:}$$

U_{max} - U_{min} -diferența dintre valorile efective maxime și minime ale tensiunii în intervalul cel mai scurt de producere a fluctuației.

Golurile de tensiune-variația negativă a valorii efective a tensiunii unei rețele, avînd o amplitudine cuprinsă între o valoare minimă sesizabilă (cca.20% U_n) și 100% U_n cu o durată de cel mult 3 s.

Cauzele golurilor de tensiune apar, în principal, la defectele din rețea (scurtcircuite, defecte de izolație etc.), eliminate de instalațiile de automatizae (RAR și AAR) [7].

Principala cauză a variațiilor lente de tensiune constă în circulația puterilor active și reactive prin elementele rețelelor electrice care produc variații ale nivelului de tensiune în toate punctele acestora.

Variația nivelului de tensiune într-un punct al rețelei este determinată de următorii factori:

- variația nivelului de tensiune în punctul (punctele) care-l alimentează;
- căderea (pierderea de tensiune) pe tronsonul de rețea prin care este alimentat.

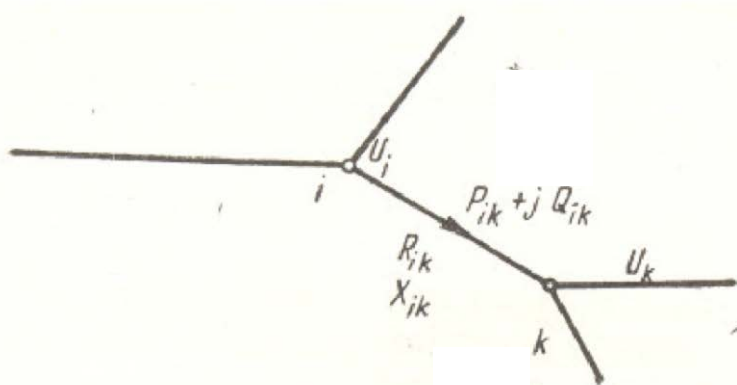


Fig.3

Cu notațiile din figura 3, $U_k = U_i - \Delta U_{ik}$, unde:

U_i -tensiunea în punctul i;

U_k -tensiunea în punctul k;

ΔU_{ik} -pierderea de tensiune pe tronsonul ik;

$\Delta U_{ik} = U_i - (P_{ik} \cdot R_{ik} + Q_{ik} \cdot X_{ik}) / U$, în kV, unde:

P_{ik} , Q_{ik} -puterea activă și reactivă care circulă pe tronsonul ik, în MW și MVar;

R_{ik} și X_{ik} -rezistența și reactanța tronsonului ik, în Ω ;

U -tensiunea compusă (dintre faze) a rețelei, în kV.

Din cele de mai sus rezultă relația: $U_k = U_i - (P_{ik} \cdot R_{ik} + Q_{ik} \cdot X_{ik}) / U$, care arată că tensiunea în punctul k este egală cu tensiunea în punctul i care-l alimentează, mai puțin pierderea de tensiune de pe tronsonul ik.

Din această relație se desprind concluziile:

-la $U_i = \text{const.}$, U_k scade odată cu creșterea sarcinilor active și reactive;

-cînd raportul R/X este mare, pierderea de tensiune este determinată de circulația puterii active, acesta fiind cazul liniilor în cablu (reactanțe neglijabile) sau al rețelelor cu secțiuni mici (rezistențe relativ mari);

-cînd raportul R/X este mic, pierderea de tensiune este determinată de circulația puterii reactive, acesta fiind cazul liniilor aeriene de secțiuni mari (peste 95 mm² Cu și peste 185 mm² Al sau Ol-Al cu $R/X < 0,5$);

-dacă în punctul k există un generator de putere reactivă, pierderea de tensiune poate fi redusă sau chiar anulată prin schimbarea semnului termenului $Q_{ik} \cdot X_{ik}$.

Deoarece în mod normal atât U_i cît și valorile P_{ik} și Q_{ik} sînt variabile în timp, nivelul tensiunii U_k este variabil, fiind în strînsă legătură cu curba de sarcină activă și reactivă a rețelei.

În cazul unei curbe de sarcină avînd vîrf de seară și gol de noapte, se constată un nivel minim de tensiune în perioada vîrfului de seară și un nivel maxim de tensiune în perioada golului de noapte.

Variațiile de tensiune sînt nefavorabile funcționării receptoarelor electrice. La scăderea tensiunii sub valoarea normală, majoritatea receptoarelor de energie electrică își modifică în mod esențial performanțele, ieșind din funcțiune la atingerea unui anumit nivel.

Lămpile cu incandescență își micșorează fluxul luminos, motoarele asincrone își micșorează cuplul și crește alunecarea, lămpile cu descărcări în gaze își micșorează fluxul și devin instabile în funcționare, receptoarele electronice își reduc considerabil performanțele, instalațiile de comandă cu contactoare și relee își pierd siguranța în funcționare, instalațiile electrotermice își micșorează debitul de căldură etc.

În unele situații scăderea tensiunii poate avea consecințe în avalanșă. Astfel, la scăderea tensiunii, reacția utilizatorilor receptoarelor de lumină constă în aprinderea mai multor lămpi sau, dacă acest nivel scăzut durează în timp, consumatorii înlocuiesc lămpile de putere mică cu lămpi de putere mai mare, fapt ce mărește, evident, circulația de putere și accentuează pierderea de tensiune.

Dacă circuitul alimentează motoare asincrone scăderea tensiunii duce la micșorarea cuplului motor, deci la creșterea alunecării. Odată cu creșterea alunecării, însă, scade reactanța echivalentă a motoarelor respective, ceea ce duce la creșterea curentului absorbit, deci, la accentuarea pierderii de tensiune. Sînt cazuri cînd fenomenul devine progresiv și provoacă scăderea treptată a nivelului de tensiune, pînă cînd motoarele ajung la punctul de răsturnare, apoi se opresc, iar reactanța lor scade la valoarea reactnței de scurtcircuit (cca.1/6-1/7 Xsc), ceea ce echivalează cu un șoc de curent, de scurtcircuit.

Acest pericol este foarte mare la linii lungi care alimentează motoare asincrone mari, în special în perioadele de pornire dacă acestea au pornirea directă în scurtcircuit.

Creșterea tensiunii peste valoarea normală poate produce uzura prematură sau chiar distrugerea (arderea) unor elemente sau receptoare mai sensibile, ca lămpile cu incandescență, rezistențele unor aparate electrotermice, aparatura electronică de laborator și receptoarele electronice de utilizare generală (aparatele de radio, televizoarele, calculatoarele, aparatura electromedicală etc.).

În tabloul de mai jos se prezintă recapitulăția principalelor efecte ale variației nivelului de tensiune, din rețea, asupra receptoarelor și limitele ale căror depășire este prohibitivă pentru funcționarea normală a receptoarelor.

Denumirea receptorului	Relația de calcul	Abateri limită admisibile și efectele depășirii lor
Lămpi cu incandescență	$P/P_n=(U/U_n)^{1,5}$	+10% deteriorare rapidă
	$\Phi/\Phi_n=(U/U_n)^{3,5}$	-20%, fluxul scade sub 50%
	$D/D_n=(U_n/U)^{14}$	
Lămpi fluorescente	$P/P_n=(U/U_n)^2$	-15%, dezamorsare, instabilitate
	$\Phi/\Phi_n=U/U_n$	
Lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune	$\Phi/\Phi_n=U/U_n$	-15%, dezamorsare
Motoare asincrone	$M/M_n=(U/U_n)^2$	+5% supraîncălzire -15%, nu pornește se oprește din mers
Aparate electrocasnice: radioreceptoare, televizoare, aparate electromedicale	$P/P_n=(U/U_n)^2$	+5%, uzură rapidă -10-15%, ieșire din funcțiune
Mașini de gătit, reșouri, radiatoare	$P/P_n=(U/U_n)^2$	

Notații folosite: P-putere, Φ -flux luminos, D-durata de viață, M-cuplul.

Pentru menținerea nivelului tensiunilor în limite acceptabile pentru receptoarele electrice, respectiv, pentru consumatorii alimentați din rețelele SEN acesta dispune de următoarele posibilități:

- menținerea constantă a valorii U_i sau reglarea ei în compensație față de variațiile Δu_{ik} ;
- reducerea variațiilor P și Q sau reglarea valorii Q_{ik} , în așa fel ca termenul $Q_{ik} \cdot X_{ik}$ să acționeze în compensarea termenului $P_{ik} \cdot R_{ik}$;

- micșorarea valorilor R și X și micșorarea valorii U prin modificarea instalațiilor.

Menținerea $U_i = \text{const.}$ este realizată prin reglarea tensiunii la barele de distribuție, utilizând dispozitivele de reglaj sub sarcină ale transformatoarelor din stațiile de 110/10 kV, dispozitive ce permit reglarea tensiunii în 15-20 de trepte de câte 1-2% în limite de 16-20% ($9.1,78\% = 16\%$).

Prin aceste mijloace se reușește:

- menținerea tensiunii de distribuție la valoare constantă (6,3, 10,5 sau 21 kV), dacă variația la bara de 110 kV este între 93 și 126 kV;

- variația în compensație cu $\pm 5\%$ a valorii tensiunii de distribuție, dacă variația valorii tensiunii la barele de 110 kV se situează între 100 și 120 kV;

Prin variația tensiunii în compensație se înțelege mărirea tensiunii la barele de distribuție în perioada de vîrf de sarcină, cînd pierderile de tensiune sînt maxime, respectiv micșorarea tensiunii la aceleași bare de distribuție în perioadele de gol de sarcină, cînd pierderile de tensiune în rețea sînt minime. Variația în compensație a valorii tensiunii este posibilă dacă variația curbei de sarcină are aproximativ aceeași alură pe întreaga rețea alimentată din bara de distribuție respectivă. În acest caz, variația tensiunii în compensație are un efect însemnat de îmbunătățire a valorii tensiunii la consumatori.

- compensarea pierderilor de tensiune prin variația circulației puterii reactive este posibilă dacă există surse de putere reactivă, reglabile (baterii de condensatoare sau motoare sincrone). Micșorarea variațiilor de tensiune se poate obține prin conectarea la rețea a condensatoarelor în perioada vîrfurilor de sarcină și deconectarea lor în perioadele de gol. La motoarele sincrone variația puterii reactive se poate obține prin reglajul corespunzător al excitației.

Aplicarea practică a reglării valorii tensiunii prin variația sarcinii reactive a devenit mai ușoară datorită bateriilor de condensatoare prevăzute cu instalații de conectare automată, cu comandă pe bază de program sau în funcție de sarcină.

Instalațiile electrice trebuie să funcționeze în limitele acceptabile ale variației tensiunii, recurgînd numai la reglarea tensiunii la barele stațiilor de alimentare și, eventual, la reglarea circulației puterii reactive.

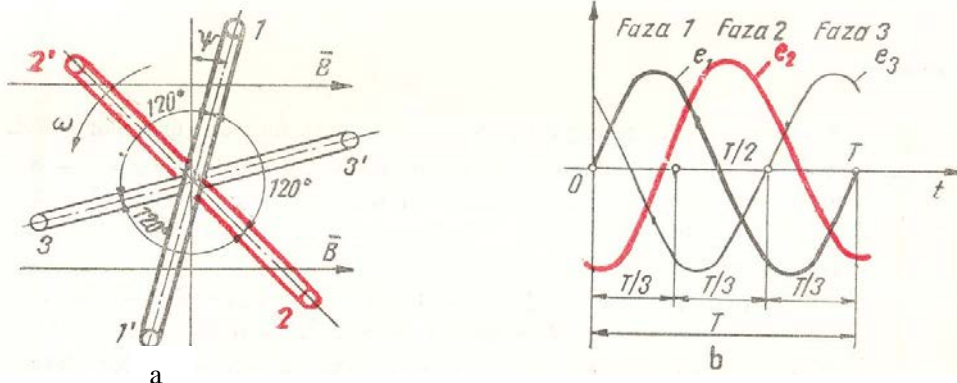
Creșterea permanentă a consumurilor duce la situația în care variațiile de tensiune depășesc posibilitățile oferite de mijloacele de reglaj obișnuite ale SEN, în acest caz trebuie redusă încărcarea prin apariția unor noi circuite și puncte de injecție sau prin modificarea parametrilor circuitelor respective: reducerea impedanțelor sau mărirea tensiunii de regim [3].

1.2 Producerea curentului alternativ trifazat

Prin rotirea unei spire într-un cîmp magnetic constant, în spira se induce o tensiune electromotoare (tem) sinusoidală. Dacă circuitul exterior este închis, tem indusă, produce un curent alternativ.

Dacă se introduc în cîmpul magnetic trei spire identice, care se rotesc pe același ax, planurile lor făcînd unghiuri de 120° , în spire se induc trei tensiuni electromotoare e_1, e_2, e_3 cu aceeași valoare efectivă E , însă defazate între ele (fig.4.b), reprezentată vectorial în fig.4.c

Procesul este redat în fig.4.a,b,c și este descris similar în [1,2,4,5,6].



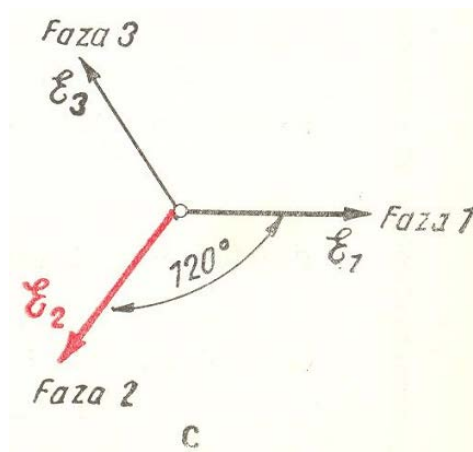


Fig.4

1.3 Gruparea înfășurărilor surselor de tensiuni electromotoare trifazate

Tensiunile electromotoare trifazate sînt produse de generatoare trifazate pe modelul din fig.4. Fiecare înfășurare a unui generator trifazat (denumită înfășurare de fază sau pe scurt fază), poate alimenta un receptor, deci generatorul poate alimenta trei receptoare, fiind necesare pentru aceasta șase conductoare (fig.5).

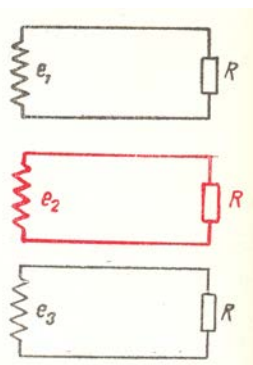


Fig.5

Acest sistem nu este însă economic, deoarece necesită o cantitate mare de conductoare. Numărul conductoarelor circuitului poate fi redus printr-o grupare convenabilă a celor trei înfășurări de fază ale generatorului. Cînd sistemul de curenți este simetric, suma curenților $I_1+I_2+I_3=0$ și curentul prin conductorul neutru este nul, prin urmare acesta poate fi eliminat, fapt ce permite să se economisească o cantitate însemnată de material conductor.

Eliminarea conductorului duce la o economie substanțială și, în cazul unui sistem de curenți nesimetric, este de dorit limitarea la trei conductoare de linie. Pentru a evita însă abateri importante de la simetria sistemului de tensiuni la bornele receptorului în cazul unui circuit nesimetric, conductorul neutru, de regulă, se menține, dar, secțiunea sa se ia egală cu secțiunea conductoarelor de linie sau chiar mai mică, obținîndu-se și în acest caz importante economii.

Cînd există conductor neutru receptoarele pot fi legate și între conductoarele de linie și neutru, la tensiunea de fază. Această posibilitate în circuitul cu conductor neutru are un mare avantaj, în special, circuitele cu patru conductoare, cu tensiunea de 400/230 și 220/127 V sînt foarte răspîndite [1].

Rolul esențial al conductorului de nul (neutrul legat la pămînt) este acela de fixare a valorii tensiunii dintre fază și nul. Întreruperea conductorului de nul sau nelegarea repetată a acestuia la pămînt, are ca efect dezechilibrarea sistemului de tensiuni care poate provoca supratensionarea receptoarelor.

Sînt posibile două moduri de grupare:

Gruparea în stea-(fig.6), în așa fel încît curenții să aibă la un moment dat tensiunile pozitive indicate în figură. Se observă că cele trei conductoare, de întoarcere se pot contopi într-unul singur, capetele înfășurărilor fiind legate ca în figura 6.b și formînd o stea. Începuturile înfășurărilor se leagă la receptoare prin conductoare de linie, iar sfîrșiturile înfășurărilor se leagă

într-un punct comun, denumit punct neutru sau nul, de la care pleacă la receptoare un conductor, denumit conductor neutru sau conductor de nul.

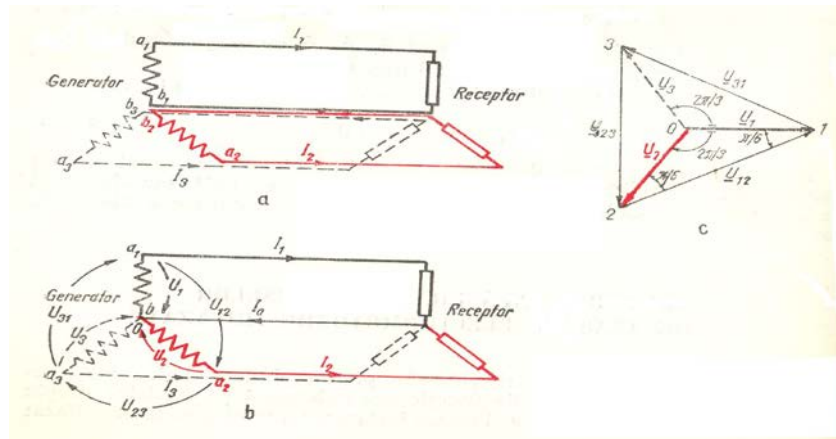


Fig.6

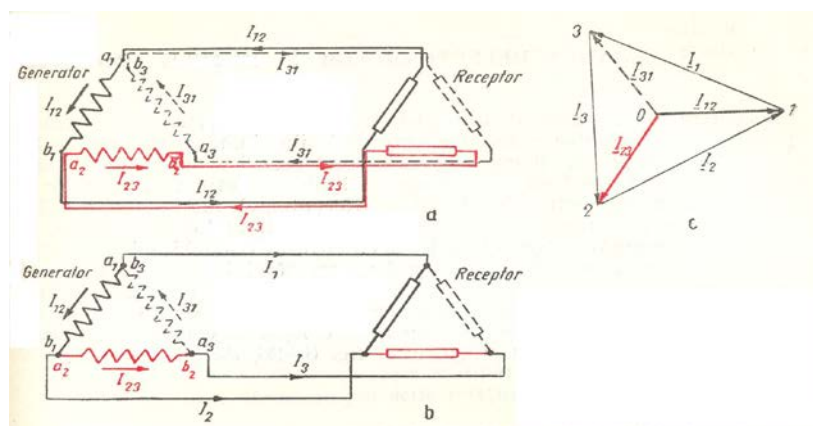


Fig.7

Gruparea în triunghi-se presupune că sfârșiturile sînt așezate ca în fig. 7, în așa fel, încît curenții care trec prin circuit, să aibă sensurile pozitive indicate în figură. În acest caz se observă că unind cîte două cele șase conductoare de linie ale sistemului, începuturile și sfârșiturile înfășurărilor vor fi legate ca în fig 7.b. La bornele de legătură a începutului unei faze cu sfârșitul alteia se conectează conductorul care pleacă spre receptor, deci pentru alimentarea receptoarelor sînt necesare numai trei conductoare de linie [1,2,4,5,6].

1.4 Legarea receptoarelor în rețelele trifazate

Receptoarele alimentate de la rețelele trifazate au construcții și destinații diferite, putînd fi motoare electrice, lămpi electrice, aparate de încălzit etc. Unele receptoare(lămpi, aparate electrocas-nice) sînt monofazate, deci, ele se leagă între două conductoare de linie sau între un conductor de linie și conductorul neutru (fig 8.). Receptoarele mari trifazate se leagă în stea sau în triunghi ca și înfășurările generatoarelor (fig. 8.b).

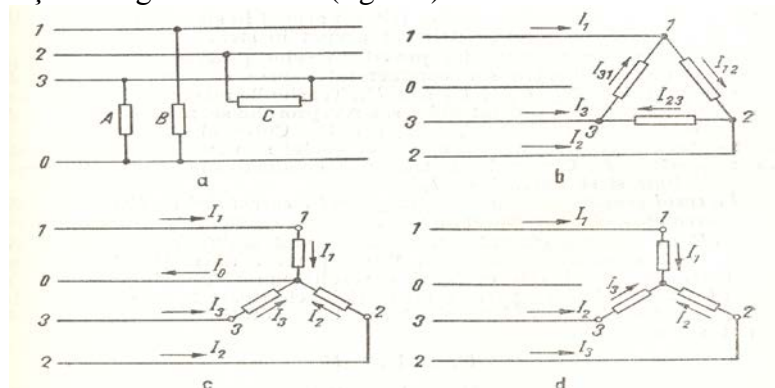


Fig.8

Receptoarele grupate în triunghi se leagă cu vîrfurile triunghiului la conductoarele de linie ale rețelei, conductorul neutru rămînînd nefolosit. Receptoarele grupate în stea se leagă cu vîrfurile stelei la conductoarele liniei, neutrul receptorului putînd fi legat la neutrul rețelei fig 8,c (montaj în stea cu conductor neutru) sau nefiînd legat la conductorul neutru fig 8.d [1,2,4,5,6].

2.Cauzele apariției supratensiunilor în instalațiile electrice de utilizare de joasă tensiune

Apariția supratensiunilor în rețelele de distribuție și în cele de utilizare de joasă tensiune a fost sesizată încă de la începuturile folosirii energiei electrice.

În instalațiile mai vechi din zona Bucureștiului și din Transilvania se puteau vedea în deceniile 6 și 7 ale secolului trecut Posturi de transformare aeriene (PTA), prevăzute la partea de joasă tensiune cu descărcătoare cu rezistență variabilă (DRV), acolo unde distribuția se realiza prin linii electrice aeriene.

DRV erau folosite ca mijloace de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice (STA) care s-ar fi putut propaga pe linie și ar fi putut pătrunde în instalațiile de utilizare ale consumatorilor. Pentru aceeași distribuție aeriană s-a încercat realizarea unei protecții împotriva STA, dar descărcătorul de joasă tensiune fabricat în România nu a satisfăcut scopul în care a fost fabricat.

Prescripțiile succesive printre care [8] prevedeau protejarea instalațiilor în funcție de zona izokeraunică (număr de zile cu furtună pe an), de numărul branșamentelor pe 100 m și fază și de zona keraunică.

Rețelele de joasă tensiune constituie în totalitatea lor din cabluri subterane, nu trebuiau protejate contra STA (cazul rețelor urbane, în principal).

În ceea ce privește instalațiile de utilizare normativul [9] recomandă utilizarea releelor de maximă tensiune sau a limitatoarelor de tensiune, pentru a căror alegere trimite la CEI 664.

Lucrarea [19] prevedea la capitolul, protecția la supratensiuni și la lovituri de trăsnet, adoptarea dispozitivelor de protecție împotriva următoarelor tipuri de perturbații:

-lovituri de trăsnet și, în general, fenomene electrice atmosferice, cu consecințele lor directe și indirecte. Efectele directe, destul de rare, se întîlnesc la liniile electrice aeriene de transport și distribuție. Efectele indirecte sînt mai frecvente și apar la niveluri de tensiuni mai joase. Acestea produc, de regulă, un efect puternic de inducție pe linii și o eventuală creștere locală a potențialului pămîntului;

-supratensiunile de comutație sau fenomenele tranzitorii, cauzate de modificări bruște în circuite precum conectarea/deconectarea întreprinderilor, a comutatoarelor de sarcină, a contactoarelor etc.

-supratensiuni de frecvență industrială, care pot să apară în multe moduri, de exemplu dacă conexiunea de neutru dintr-un sistem trifazat este întreruptă, dacă sarcina este dezechilibrată etc.

Dispozitivele de protecție adoptate depind de doi factori:

-sensibilitate: capacitatea unui echipament (receptor) de a suporta o anumită supratensiune, în funcție de amplitudinea și de durata acesteia;

-costul aferent care cuprinde costul de achiziție al dispozitivului de protecție și costurile operative (pierderi posibile, mentenanță etc.).

Alegerea unui descărcător se face în funcție de:

-nivelul perturbației posibile;

-costul său;

-conectarea la rețeaua de joasă tensiune.

Pînă-n anul 2000 fabricantul Blocurilor de măsură și protecție monofazate (BMPM) și trifazate (BMPT) [11,15] nu prevedea nici un dispozitiv de protecție împotriva supratensiunilor, începînd cu anul 2000, acesta echipează BMPM cu dispozitive de protecție la supratensiune, datorată întreruperii nulului rețelei.

Prescripțiile tehnice [12] menționează că supratensiunile la care pot fi supuse instalațiile electrice pot fi generate de:

-defectele de izolație ale instalațiilor de joasă tensiune față de instalațiile de înaltă tensiune;

-descărcări atmosferice;
 -manevrarea echipamentelor electrice;
 -fenomene de rezonanță;
 -întreruperea neutrului (N) în rețeaua de joasă tensiune și indică tipul aparatelor de protecție contra supratensiunilor, dar numai la clădiri alimentate prin bransament aerian.

Normativul [13] este cel mai complet și cel mai clar, din acest punct de vedere. Acesta conține un capitol special intitulat Protecția împotriva supratensiunilor tranzitorii de origine atmosferică sau de comutație (manevră), aceleași prevederi se mențin și în ultimul normativ, aflat în vigoare [I 7-2011]..

Împotriva supratensiunilor trebuie asigurată protecția utilizatorilor, a bunurilor și a continuității în funcționare a instalațiilor electrice, ținându-se seama de indicele keraunic al zonei, de amplasamentul și caracteristicile dispozitivelor de protecție împotriva supratensiunilor.

Valorile surtensiunilor tranzitorii depind de natura rețelei de alimentare (subterană sau aeriană) și de eventuala prezență a dispozitivelor de protecție împotriva supratensiunilor în amonte de originea instalației, precum și de caracteristicile de alimentare la joasă tensiune.

Nu necesită protecție la supratensiuni tranzitorii de origine atmosferică sau de comutație:

a) instalațiile electrice alimentate de la o rețea subterană, de joasă tensiune, în care supratensiunile tranzitorii au valori nepericuloase;

b) instalațiile electrice alimentate de la o rețea aeriană prin intermediul unei instalații de bransament subteran cu o lungime de minimum 150 m (atenuarea supratensiunilor tranzitorii este suficientă);

c) instalația electrică alimentată de la o linie aeriană de joasă tensiune, dacă influențele externe sînt de clasă A01 (nivel keraunic neglijabil ≤ 25 zile/an);

d)atunci cînd construcția este prevăzută cu IPT (instalație de protecție împotriva trăsnetelor) și în care echipamentele nu trebuie protejate împotriva impulsului electromagnetic generat de trăsnet.

La o instalație electrică alimentată de la o linie aeriană de joasă tensiune dacă influențele externe sînt de clasă AQ2 (indirect > 25 zile/an-riscuri provenind de la instalațiile de alimentare) trebuie luate în considerare următoarele situații în funcție de nivelul supratensiunilor tranzitorii la originea instalației:

a) dacă acest nivel este inferior tensiunii de ținare la impuls pentru nivelul circuitelor de distribuție și a receptoarelor indicat mai jos, nu este necesară prevederea nici unei protecții suplimentare împotriva STA:

Un de alimentare Rețele trifazate [V]	Tensiunea de ținare la impuls [kV]			
	Echipamentul de la originea instalației-Categ IV	Mat.de distrib. și circuite terminale Categ III	Aparate de utili-zare Categ II	Echipamente.special protejate.Echip.electro-nice Categ I
230/400	6	4	2,5	1,5

b) dacă acest nivel este superior tensiunii de ținare la impuls pentru nivelul circuitului de distribuție a receptoarelor din tabelul de mai sus, dar nu mai mic decît următorul nivel de referință:

Un de alimentare [V]	Nivelul de referință al supratensiunii tranzitorii [kV] la originea instalației Categ IV (A)
230/400	6

atunci la originea instalației se recomandă prevederea unei protecții împotriva STA

c) dacă acest nivel este superior nivelului de referință din ultimul tabel, atunci la originea instalației trebuie prevăzută o protecție împotriva STA.

Pentru a se asigura siguranța în funcționare se recomandă utilizarea unui dispozitiv de protecție la supratensiuni cu indicarea optică a deconectării în caz de epuizare a acestuia.

Protecția împotriva supratensiunilor de frecvență industrială (de rețea) se face cu protecție maximală de tensiune $U_{MT}=270\pm 10$ V. Timpul de declanșare al dispozitivului de protecție trebuie să fie mai mic ca 0,2 s.

Dispozitivul poate fi separat, atașat sau inclus în întrerupătorul automat, însă întotdeauna după acesta, spre receptor.

Instrucțiunea [14], elaborată în baza [9] prevede măsuri de protecție împotriva supratensiunilor de frecvență industrială de 50 Hz (supratensiuni temporare) datorate următoarelor cauze:

- creșterea rapidă a tensiunii în circuitele electrice (la scăderea sarcinii) datorită creșterii turației generatoarelor electrice sau la funcționarea pe ploturile superioare ale transformatoarelor;
- întreruperea nulului de lucru N sau PEN în rețeaua furnizorului/distribuitoarelor de energie electrică (ruperea conductorului sau deteriorarea legăturilor la borne);
- dezechilibre la punerea la pământ sau la masă a unei faze ori la inversarea unor conductoare (de fază și de nul).

Pentru protecția împotriva supratensiunilor de frecvență industrială trebuie să se prevadă un modul de tensiune asociat întrerupătorului automat (cu bobină de declanșare) simbol MVA cu următoarele funcții:

- protecție de maximă tensiune PMT cu $U_{MT}=260$ V;
- protecția la întreruperea nulului PN cu $U_{on}=50$ V (valoarea tensiunii accidentale maxime admise pe nul);
- semnalizarea cu memorie a protecției care a determinat declanșarea (PMT sau PN);

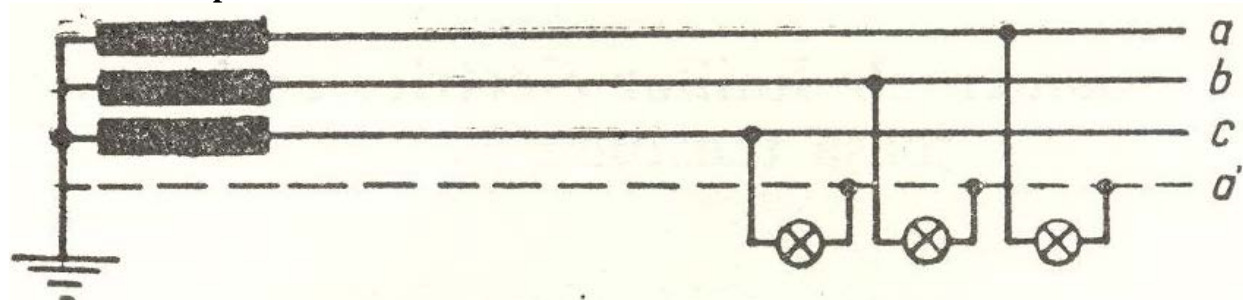
Lucrarea [16] nu tratează protecția împotriva supratensiunilor ce pot apărea în funcționarea instalațiilor de utilizare, deși aceasta cuprinde și instalațiile de joasă tensiune de utilizare, se ocupă numai de sistemele de protecție împotriva tensiunilor de atingere accidentale indirecte.

În specificațiile tehnice [17,18] pentru BMPM și BMPT se impune prevederea unui dispozitiv de protecție la supratensiuni datorate întreruperii accidentale a nulului rețelei.

Prima lucrare care tratează cu claritate și fermitate problema întreruperii conductorului de nul în rețelele de joasă tensiune și efectele acestui deranjament asupra receptoarelor consumatorilor a fost [3]. Aceasta pe lângă semnalarea fenomenului a dat și explicația tehnică incontestabilă, după cum urmează:

Fenomene deosebit de periculoase pot să apară, în cazul defecțiunilor de contact, la conductorul neutru al unui circuit de curent alternativ trifazat. Aceste defecțiuni pot să ducă la apariția unor tensiuni relativ mari la receptoarele monofazate, cum sînt la consumatorii casnici, avînd drept consecință, deteriorări de receptoare electrocasnice în număr foarte mare.

Caracteristic acestui deranjament este faptul că poate fi constatat și localizat cu foarte mare greutate din cauză că efectele sale apar sau dispar în funcție de conectarea la rețea a diferitelor receptoare electrocasnice.



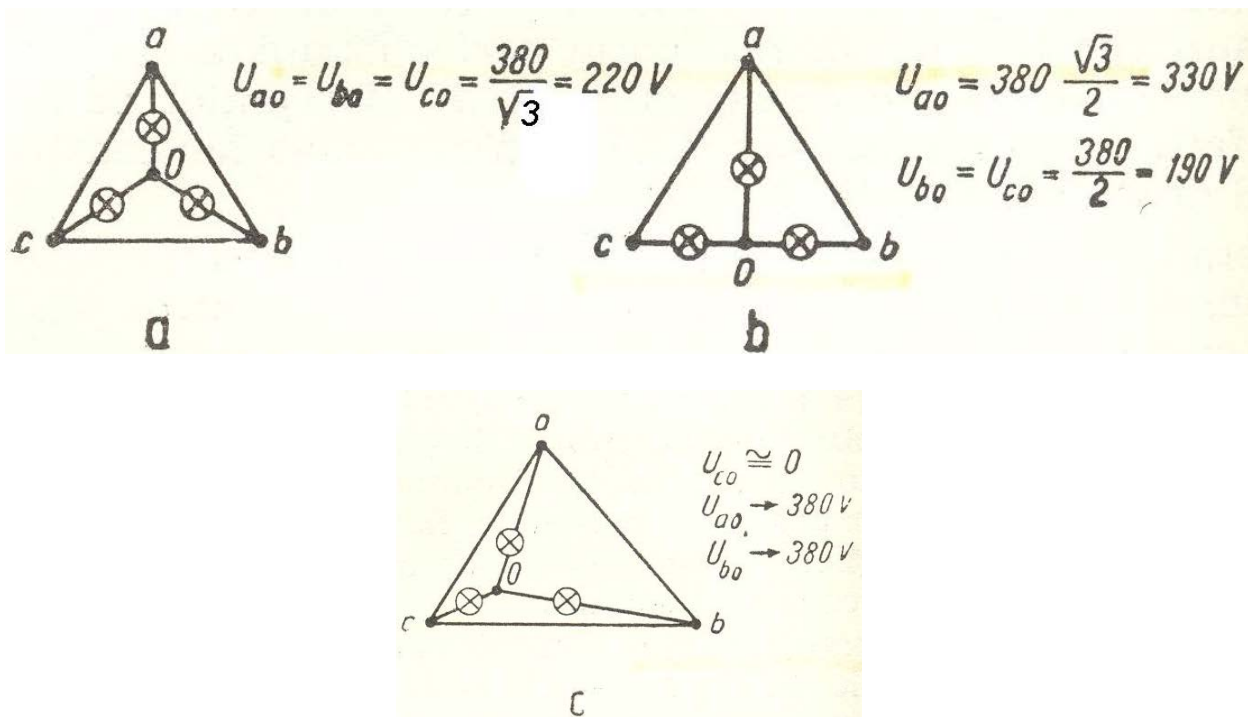


Fig.9

În rețelele aeriene prin legarea repetată la pământ, a conductorului neutru, efectele acestui deranjament pot fi atenuate, însă rămân, totuși, periculoase (fig.9).

Cu mai bine de un an în urmă, un cunoscut din orașul Bacău m-a întrebat ce trebuie să facă pentru a-și proteja receptoarele electrice împotriva supratensiunilor posibile ce ar putea apărea din rețeaua de alimentare cu energie electrică. I se deteriorase un receptor important.

Consumatorul locuiește în imediata proximitate a PTCz (post de transformare în cabină de zidărie) din zonă. Alimentarea acestuia se face din rețeaua subterană urbană, printr-un cablu de joasă tensiune. Postul de transformare, la rândul său, este alimentat din rețeaua subterană a orașului (20 kV). Era îngrijorat că supratensiunile despre care auzise el, un profan al domeniului, i-ar putea deteriora receptoarele electrocasnice. M-a dus gândul la creșterile de tensiune la golul de noapte din cauza scăderii sarcinii. I-am spus că n-are nevoie de nici un dispozitiv de protecție, deoarece undele de supratensiune ce pot apărea se amortizează rapid, dar și a dispozitivelor de reglaj al tensiunii montate pe barele de medie tensiune ale stațiilor de transformare.

Pentru a se liniști i-am explicat că poate să-și monteze un dispozitiv de protecție, indicându-i firma furnizoare din București. A vorbit cu firma, s-a informat despre condițiile de livrare, dar a renunțat la cumpărarea dispozitivului. În plus, am rugat pe șeful Centrului de distribuție a energiei electrice Bacău să monteze un voltmetru înregistrator pe barele postului pentru a constata mărimea variațiilor de tensiune pe parcursul unei zile. Înregistrările au arătat că acestea se încadrează în limitele din contractul de furnizare a energiei electrice de $\pm 10\% U_n$.

După aproape doi ani nu s-a întâmplat nimic, nu i s-a mai deteriorat nici un receptor.

3.Concluzii

3.1 În rețelele de joasă tensiune (400/230 V), constituite din linii subterane (în cablu) nu există riscul apariției unor supratensiuni tranzitorii de origine atmosferică sau de comutație (manevră), motiv pentru care nu se impun măsuri de protecție împotriva acestora. Nu se impun măsuri de protecție nici în instalațiile de utilizare, alimentate din rețele aeriene printr-un bransament subteran cu lungimea de minimum 150 m, deoarece atenuarea supratensiunilor tranzitorii este suficientă.

3.2 În rețelele electrice aeriene din localitățile rurale sau a celor urbane situate în zone periferice pot apărea supratensiuni tranzitorii de origine atmosferică împotriva cărora, prescripțiile în vigoare indică, în mod detaliat, măsurile necesare a fi adoptate.

3.3 Indiferent de tipul rețelei (aeriene sau subterane), din care se alimentează consumatorii, există riscul apariției de supratensiuni de frecvență industrială, numai în cazul întreruperii conductorului de nul.

În cazul întreruperii nulului supratensiunile ce apar nu pot fi combătute decât prin prevederea unor dispozitive, speciale de protecție, de apariție recentă. Inexistența acestor dispozitive face ca deteriorarea receptoarelor să nu se limiteze, de regulă, la un singur consumator ci afectează pe toți consumatorii situați în aval de punctul de întrerupere al nulului.

Bibliografie

1. xxx Manualul inginerului electrician, vol 1, Editura Tehnică, București, 1953.
2. L R Neiman, P L Kalantarov Bazele teoretice ale electrotehnicii, vol 2, traducere din limba rusă, Editura Energetică de Stat, București, 1955..
3. A Baci, T Laszlo Exploatarea și repararea rețelelor electrice, Editura Tehnică, București, 1969.
4. Al Fransua, S Cănescu Electrotehnică și electronică, manual pentru licee de specialitate, anii 3 și 4, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970.
5. I S Antoniu Bazele electrotehnicii, vol 1 Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974..
6. Emil Simion Electrotehnica, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
7. Hermina Albert, Ion Florea Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale, Ed. Tehnică, București, 1987.
8. MEE-CIRE Prescripții de coordonare a izolației în instalațiile de distribuție de joasă tensiune, ICEMENERG, București, 1988.
- 9..MLPAT Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor electrice cu tensiuni pînă la 1000 Vca și 1500 Vcc, indicativ I.7-98, București, 1999.
- 10.. Schneider Electric-Manualul instalațiilor electrice, București, 1999.
11. EXIMPROD GRUP Buzău Bloc monofazat cu protecție și măsură în sistem antifurt tip BMPM 6-40 S1, Buzău, 2000.
12. Ministerul Construcțiilor Ghid pentru instalații electrice cu tensiuni pînă la 1000 Vca și 1500 Vcc, indicativ GP 052-2000, în Buletinul Construcțiilor, vol 3/2001.
13. MLPTL Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor electrice cu tensiuni pînă la 1000 Vca și 1500 Vcc, indicativ NP-I.7-02, ICECON SA, București 2002.
14. SC ELECTRICA SA Instrucțiuni de realizare a protecțiilor împotriva supratensiunilor în instalațiile electrice de joasă tensiune, indicativ 1.RE-I 226/2002.
15. EXIMPROD GRUP Bloc monofazat cu protecție și măsură în sistem antifurt tip BMPM 6-40 S1, echipat cu dispozitiv de protecție la supratensiuni de frecvență industrială, Buzău, 2002.
16. Jan Ignat, G.C. Popovici-Rețele electrice de joasă tensiune, Editura MATRIX ROM, București, 2003.
17. SC ELECTRICA SA Bloc de măsurare și protecție pentru bransament electric monofazat-SA Specificație tehnică, indicativ ST nr.3/2003.
18. SC ELECTRICA SA Bloc de măsurare și protecție pentru bransament electric trifazat-Specificație tehnică, indicativ ST nr.4/2003.
19. SC ELECTRICA SA Prescripții de coordonare a izolației în instalațiile de distribuție de joasă tensiune, indicativ 1LJ-I85-03.
20. Regulament privind stabilirea soluțiilor de racordare a utilizatorilor la rețelele electrice de interes public, aprobat prin Ordinul ANRE nr.129/2009, în MOF.nr.23/12.01.2009.
- 22.Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului Normativ privind proiectarea, executarea șiexploatarea instalațiilor electrice aferente clădirilor, indicativ I 7-2011.

ing. Șchiopu Gh.

Bacău, 06.01.2017