

PROTECȚIA STAȚIILOR ȘI LINIILOR ELECTRICE ÎMPOTRIVA LOVITURILOR DE TRĂSNET

Dr.ing. Fănică Vatră - Institutul de Studii și Proiectări Energetice (ISPE)
Bdul Lacul Tei nr.1,sector 2, 020731, București, România,
tel: + 4021.206.1229, fax: + 4021.210 34 81, e-mail: fvatra@ispe.ro

Abstract: The assurance of an adequate protection of the 400 kV, 220 kV and 110 kV substations and overhead lines against lightning strikes and lightning overvoltages is a determinant element for the operation safety of SEN.

The present paper makes a brief presentation in which way the lightning can affect the operation safety of SEN, there are briefly presented the PAS and ECRAN ISPE software packages, specialized to determine the protection solutions of the substations against lightning overvoltages and direct lightning strikes. There are also presented examples of application and synthesis results obtained from several studies performed by ISPE for CN Transelectrica.

1.- CONSIDERAȚII GENERALE

Asigurarea unei protecții corespunzătoare a stațiilor și liniilor electrice împotriva trăsnetelor și a supratensiunilor de trăsnet constituie un element determinant pentru siguranța în funcționare a SEN.

Trănetele pot afecta echipamentele electrice din stațiile electrice prin lovituri directe de trăsnet și/sau prin supratensiunile de trăsnet propagate pe LEA. Atunci când un trăsnet lovește un conductor de fază al unei stații electrice sau al unei LEA, curentul de trăsnet $i(t)$ se repartizează în mod egal de o parte și de alta a punctului de impact, propagându-se de-a lungul conductorului (figura 1). Acest curent conduce la apariția unor unde de tensiune, ale căror amplitudini se pot determina, într-o prima aproximație, cu relația:

$$U(t) = Z_c \cdot i(t) / 2$$

unde Z_c este impedanța caracteristică a conductorului lovit de trăsnet.

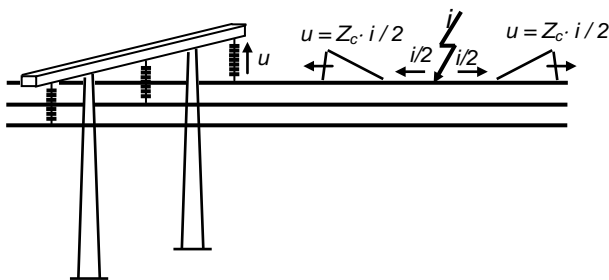


Fig.1. Trăsnetul lovește un conductor de fază al unei LEA sau al unei bare dintr-o stație electrică.

Conform literaturii de specialitate [1÷8], mai mult de 60 % din loviturile de trăsnet în conductoarele de fază provoacă o creștere de potențial mai mare de 2.000 kV și 20 % mai mare de 6.000 kV, valori mult mai mari decât tensiunile de ținere ale izolațiilor echipamentelor din stațiile electrice și ale lanțurilor de izolatoare din stații și de pe LEA (1.425-1.550 kV în cazul rețelelor de

400 kV, 950-1.050 kV în cazul rețelelor de 220 kV și 450-550 kV în cazul rețelelor de 110 kV).

Acest lucru conduce fie la conturnarea lanțurilor de izolatoare și la deconectarea prin protecția prin relea a elementului ale cărui conductor de fază a fost lovit de trăsnet (LEA sau bara colectoare), fie la distrugerea izolației interne și deconectarea echipamentelor primare din stații dacă trăsnetul a lovit un echipament sau un conductor de fază al unei bare din stație sau al unei LEA la intrarea LEA în stație.

Situațiile cele mai periculoase apar în cazul în care un trăsnet lovește fie un echipament primar sau un conductor de fază de pe teritoriul unei stații electrice de 400 kV, 220 kV sau 110 kV fie un conductor fază al unei LEA de 400 kV, 220 kV sau 110 kV în zona cuprinsă între cadrele stației și stâlpul terminal al LEA. În astfel de situații în stațiile electrice de 400 kV, 220 kV sau 110 kV se pot produce pagube majore (de obicei distrugerea izolației înfășurărilor unităților de transformare, ale bobinelor de compensare sau ale transformatoarelor de măsurare de tensiune și curent), întreaga stație sau o parte importantă a acesteia fiind scoasă din funcțiune prin acțiunea protecțiilor prin relea, putând fi afectată astfel siguranța în funcționare a SEN.

Din această cauză sunt necesare măsuri de protecție corespunzătoare pentru evitarea loviturilor directe de trăsnet pe conductoarele de fază, pe echipamentele electrice, pe construcțiile din perimetrul stațiilor electrice, cât și pentru limitarea propagării spre echipamentele primare din stații a unor supratensiuni de trăsnet cu amplitudini mari de pe LEA conectate la barele stației.

Mijloacele de ecranare împotriva loviturilor directe de trăsnet și de limitare a amplitudinilor supratensiunilor de trăsnet trebuie amplasate astfel încât, teoretic, stația și LEA să fie complet protejate împotriva loviturilor directe de trăsnet și respectiv a supratensiunilor de trăsnet propagate pe LEA. Practic, ținând cont de caracterul aleatoriu al trăsnetului, o astfel de protecție este imposibilă. În introducerea la standardul internațional CEI 61024-

1 [10] sunt subliniate două idei importante, și anume:

- o instalație de protecție împotriva trăsnetelor nu poate preîntâmpina producerea trăsnetelor;
- o instalație de protecție împotriva trăsnetelor, proiectată și instalată în conformitate cu standardul respectiv, nu poate garanta o protecție absolută (totală) a structurilor, persoanelor sau obiectelor; totuși, aplicarea standardului va reduce semnificativ riscul de defectare, datorită trăsnetului, a structurii protejate prin instalația respectivă.

Avându-se în vedere caracterul aleatoriu al producerii, propagării și orientării trăsnetului ca și acela al caracteristicilor și comportării izolațiilor echipamentelor și instalațiilor electrice la supratensiuni de trăsnet, rezultă, în conformitate și cu cele subliniate de CEI 61024-1, că nu se poate vorbi despre o probabilitate de 100 % de protejare a echipamentelor din stații (protecție totală) la loviturile directe de trăsnet și la efectele acestora, existând întotdeauna un risc de neprotejare care poate fi cu atât mai mare cu cât atmosfera este mai ionizată (în cazul unor furtuni violente cu descărcări de trăsnet multiple). Prin măsurile care se iau pentru protecția echipamentelor împotriva loviturilor și supratensiunilor de trăsnet se urmărește reducerea la minimum a acestui risc, în condiții tehnico-economice acceptabile.

În România, protecția echipamentelor electrice împotriva loviturilor directe de trăsnet și a supratensiunilor de trăsnet propagate pe LEA face obiectul normativului NTE 001/03/00 [9]. Mijloacele de protecție recomandate de acest normativ pentru preîntâmpinarea efectelor nedorite ale trăsnetului sunt:

- ecranarea stațiilor și a conductoarelor active ale LEA împotriva loviturii directe de trăsnet prin montarea de paratrăsnete verticale și orizontale (conductoare de protecție) și dimensionarea corespunzătoare a prizelor de pământ ale stației și stâlpilor LEA; pentru protecția prin paratrăsnete a stațiilor electrice de 400 kV, 220 kV sau de 110 kV se are în vedere o probabilitate de maximum de 10^{-3} ca o lovitură de trăsnet să lovească un obiect aflat în zona de protecție a unui paratrăsnet (defect de ecran de protecție).

- limitarea amplitudinilor supratensiunilor de trăsnet propagate în stații prin utilizarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă; o stația electrică de 400 kV, 220 kV sau de 110 kV este considerată "protejată" corespunzător dacă între tensiunea maximă calculată pentru fiecare echipament din stație și tensiunea de ținare la impuls de trăsnet a acestuia se obține o marjă de siguranță mai mare de 20 %.

Avându-se în vedere complexitatea calculelor care trebuie efectuate, conform normativului NTE 001/03/00, analiza și proiectarea schemei de protecție prin descărcătoare a echipamentelor electrice din stațiile electrice cu tensiunea nominală egală sau mai mare de 110 kV împotriva supratensiunilor de trăsnet și a schemei de protecție prin paratrăsnete împotriva loviturilor directe de trăsnet trebuie să se facă prin utilizarea de programe de calcul specializate.

În acest context, programele de calcul PAS și ECRAN elaborate în ISPE [11,12] oferă un cadru unificat de stabilire și de verificare a schemelor de protecție stațiilor electrice și a echipamentelor primare din stații împotriva supratensiunilor de trăsnet și respectiv, împotriva loviturilor directe de trăsnet, constituindu-se într-un criteriu complex de validare a soluțiilor adoptate.

3. SCURTĂ PREZENTARE A PROGRAMELOR PAS ȘI ECRAN

3.1. Programul de calcul PAS

Prima versiune a programului PAS a fost elaborată în 1978 pentru calculatoare Felix și a fost îndelung testată și utilizată pentru stabilirea și verificarea schemelor de protecție prin descărcătoare a echipamentelor electrice din stațiile electrice împotriva supratensiunilor de trăsnet propagate de pe LEA. Odată cu apariția calculatoarelor electronice de tip PC, în anul 1994 s-a elaborat o a doua versiune a programului PAS, mult îmbunătățită, versiune care permite modelarea mijloacelor moderne de protecție (descărcătoarele pe bază de oxizi metalici), precum și modelarea fenomenului de deformare și atenuare a undelor de supratensiune datorită rezistenței conductoarelor flexibile și a căii de întoarcere prin pământ și datorită fenomenului corona de impuls.

Programul permite determinarea variației tensiunii în toate punctele unei stații și identifică echipamentele neprotejate corespunzător împotriva acestor supratensiuni.

Ca date de intrare, programul PAS ia în considerare tipurile de elemente ale instalației (conductoare, echipamente, lanțuri de izolatoare etc.), precum și informațiile topologice ale acestora. Toate schemele de funcționare ale unei stații pot fi modelate prin intermediul unor comutații logice ale întreruptoarelor și/sau separatoarelor.

Datele de ieșire ale programului (rezultatele de calcul) sunt informații referitoare la funcționarea descărcătoarelor, tensiunile maxime și marjele realizate în toate nodurile schemei și nodurile neprotejate (nodurile în care marja de tensiune realizată între tensiunea maxima înregistrată și

tensiunea de ținere este mai mică decât marja de siguranță). De asemenea, programul este prevăzut și cu posibilitatea prezentării grafice a rezultatelor, respectiv pot fi vizualizate curbele de variație în timp a tensiunilor în nodurile care interesează (figura 2).

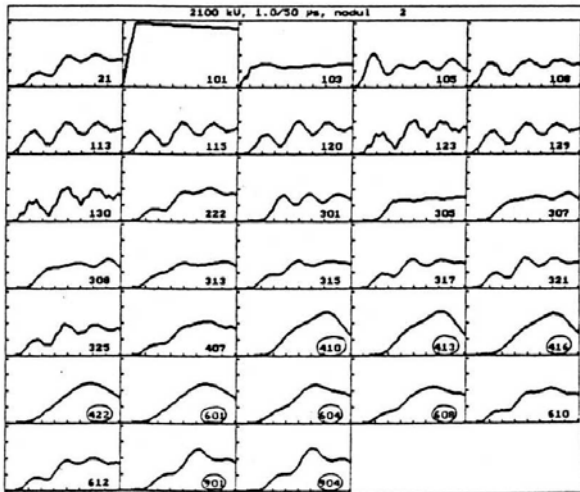


Fig.2. Exemplu de prezentare grafică a rezultatelor de calcul obținute cu programul PAS.

3.2. Programul de calcul ECRAN

Programul de calcul ECRAN efectuează o verificare complexă a protecției împotriva

loviturilor directe de trăsnet a instalațiilor și echipamentelor aflate pe teritoriul unei stații electrice, respectându-se prevederile și metodologiile normative din NTE 001/03/00. De asemenea, programul ECRAN determină și permite vizualizarea “ecranului de protecție” asigurat de instalațiile de protecție împotriva loviturilor directe de trăsnet (paratrăsnete verticale și orizontale) avându-se în vedere, în conformitate cu NTE 001/03/00, o probabilitate de “defect de ecran” de 10^{-3} (figurile 3, 4, 5 și 6).

În cadrul acestei aplicații, o soluție de protecție constă exclusiv din caracteristicile geometrice (înălțimi, poziții) ale paratrásnetelor verticale și/sau orizontale prevăzute. Satisfacerea condițiilor tehnice pentru alegerea paratrásnetelor cade în sarcina utilizatorului, respectiv alegerea punctului de amplasare dintre cele admise, legarea la o priză de pământ sau la alta, numărul de căi de dispersare a curentului de trăsnet etc.

Rezultatele furnizate în urma calculului au diverse forme și grade de detaliere, acestea fiind stabilite de utilizatori prin intermediul unui meniu de opțiuni.

Programul poate fi utilizat cu succes și pentru verificarea și stabilirea soluției de protecție în zona de intrare a LEA în stație (figurile 5 și 6).

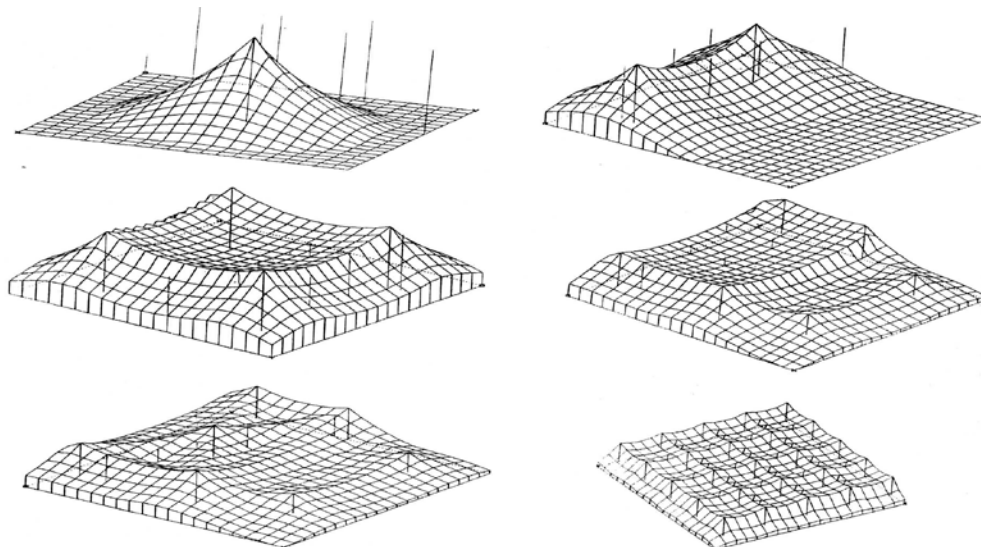


Fig.3. Imagini tridimensionale ale “ecranelor de protecție” pentru diferite configurații și amplasamente de paratrásnete verticale, obținute cu programul ECRAN.

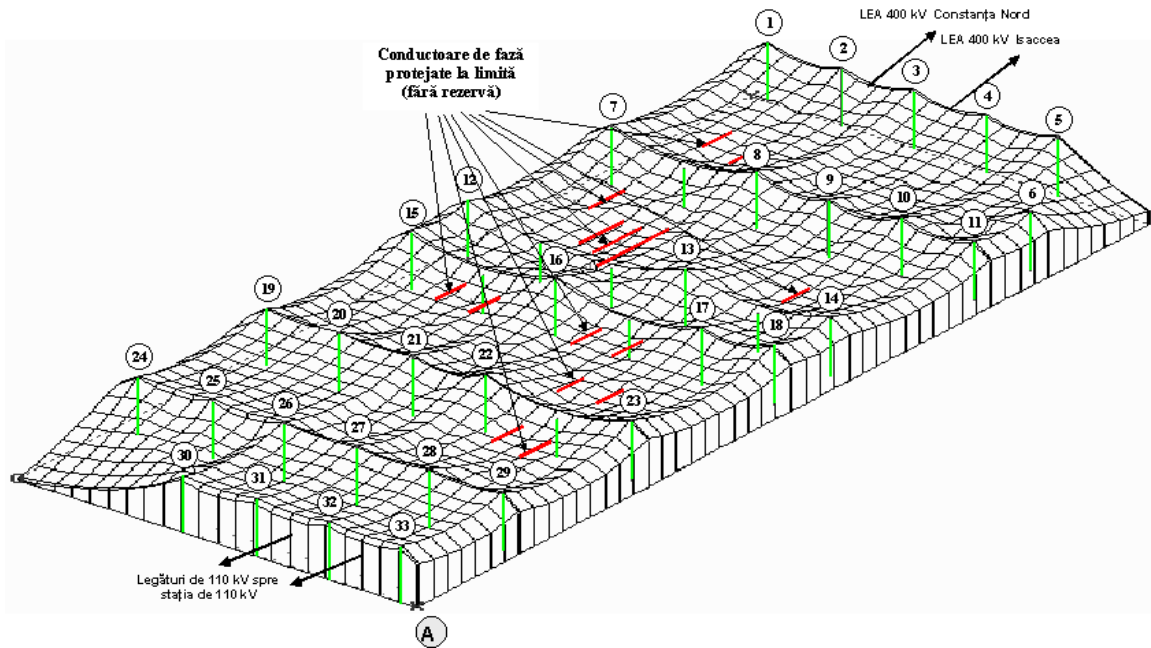


Fig.4. Ecranul de protecție asigurat de paratrăsnetele verticale care delimitează zona stației de 400 kV Tulcea Vest.

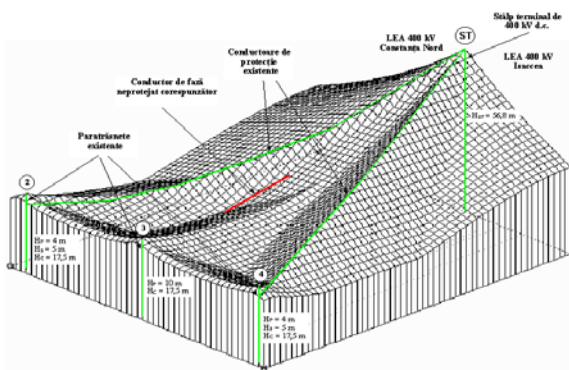


Fig.5. Ecranul de protecție asigurat de paratrăsnetele verticale de pe cadrele stației de 400 kV Tulcea Vest, conductoarele de protecție și stâlpul terminal al LEA d.c de 400 kV Tulcea Vest

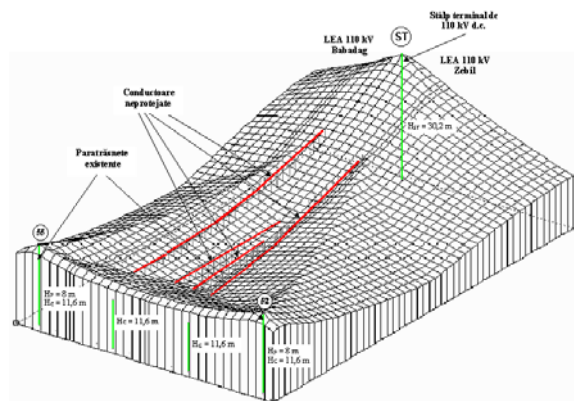


Fig.6. Ecranul de protecție asigurat de paratrăsnetele verticale de pe cadrele stației de 110 kV Tulcea Vest și stâlpul terminal al LEA d.c de 110 kV Tulcea Vest - Zebil și Tulcea Vest - Babadag.

4. CONSTATĂRI PRIN EXPERTIZAREA UNOR STAȚII ELECTRICE IMPORTANTE DIN SEN

Ca urmare a unor ample expertizări efectuate de ISPE în perioada 1998-1999 a instalațiilor de legare la pământ și a instalațiilor de protecție împotriva loviturilor directe de trăsnet într-o serie de stații de 400 kV, 220 kV și 110 kV ale CN Transelectrica, s-a constatat că în multe cazuri conductoarele de fază ale LEA la intrarea acestora în stație nu erau protejate în conformitate cu reglementări tehnice în vigoare, în zona cuprinsă între stâlpii terminali ai LEA și cadrele stațiilor respective. De asemenea, s-a constatat că și în perimetrul unor stații existau situații în care unele din conductoarele de fază nu erau protejate în

conformitate cu actualele reglementări împotriva loviturilor directe de trăsnet.

Stațiile respective au fost proiectate și construite la începutul anilor '70 în conformitate cu experiența și reglementările tehnice existente la acea dată. Evident, beneficiind și de experiența în domeniu câștigată de-a lungul timpului și de suportul modelelor matematice și al programelor de calcul performante elaborate în ultimul deceniu, este necesară expertizarea schemelor de protecție ale stațiilor electrice împotriva trăsnetului și a supratensiunilor de trăsnet, și încadrarea acestora în actualele cerințe de siguranță în funcționare a SEN și în prevederile reglementărilor tehnice în vigoare pentru a se realiza nivelul de siguranță necesar.

Ținând seama de cerințele UCTE referitoare la siguranța în funcționare a SEN, CN Transelectrica a decis la începutul anului 2000 să fie extinsă această activitate de expertizare și în cazul altor stații importante din SEN.

Astfel, în cazul stațiilor de 400/220/110 kV Sibiu Sud, 400/110 kV Tulcea Vest, (400)220/ 110 kV Bacău Sud, 220/110 kV Alba Iulia și 220/110 kV Ungheni s-a efectuat o expertizare completă a schemelor de protecție prin descărcătoare a echipamentelor din stațiile de 400 kV, 220 kV și 110 kV împotriva supratensiunilor de trăsnet și prin paratrăsnete împotriva loviturilor directe de trăsnet a stațiilor de 400 kV, 220 kV și 110 kV și a intrărilor LEA de 400 kV, 220 kV și 110 kV în stațiile respective. În cazul stației Urechești a fost expertizată numai schema de protecție a stației de 220 kV împotriva loviturilor directe de trăsnet, iar în cazul stațiilor de 400/110 kV Gura Ialomiței, 400/220/110 kV Gutinaș, 400/110 kV Brașov și 400/220 kV Bradu s-a verificat numai protecția împotriva loviturilor directe de trăsnet a conductoarelor active ale LEA de 400 kV, 220 kV și 110 kV racordate la stațiile respective în zona cuprinsă între cadrele stațiilor și stâlpii terminali ai LEA.

Principalele constatări au fost:

a. Descărcătoarele existente în cele 11 stații de 400 kV, 220 kV sau 110 kV expertizate asigurau o protecție corespunzătoare a echipamentelor primare împotriva supratensiunilor de trăsnet propagate pe LEA racordate la acestea. În cazul unei stații s-a recomandat înlocuirea descărcătoarelor de 110 kV și 400 kV de tip VA cu descărcătoare moderne pe baza de oxizi metalici, iar în cazul a două stații de 220 kV s-a recomandat montarea de descărcătoare pe intrările LEA de 220 kV pentru a se asigura protecția echipamentelor de linie în perioadele în care LEA respective sunt deconectate de la barele stațiilor.

b. În marea lor majoritate, echipamentele și instalațiile de pe teritoriul celor 11 stații de 400 kV, 220 kV sau 110 kV expertizate erau protejate corespunzător prin paratrăsnete împotriva loviturilor directe de trăsnet. Au fost constatate și o serie de situații în care unele conductoare de fază de pe teritoriul unor stații nu erau protejate corespunzător împotriva loviturilor directe de trăsnet și anume în cazul a două stații în zona unor autotransformatoare de 220/110 kV și în cazul unei stații în zona celulelor LEA de 400 kV. De asemenea, în cazul unei stații de 400 kV s-a constatat că există zone de pe teritoriul stației în care unele din conductoarele de fază de 400 kV sunt protejate la limită (fără rezervă) de paratrăsnetele existente în vecinătatea acestora .

c. Din cele 21 LEA de 400 kV racordate la stațiile de 400 kV expertizate, în cazul a 11 LEA de 400 kV (52 %) conductoarele de fază nu erau protejate corespunzător împotriva loviturilor directe de trăsnet în zona cuprinsă între cadrele stației de 400 kV și stâlpii terminali ai LEA respective.

d.- Din cele 20 LEA de 220 kV racordate la stațiile de 220 kV expertizate, în cazul a 17 LEA de 220 kV (85 %) conductoarele de fază nu erau protejate corespunzător împotriva loviturilor directe de trăsnet în zona cuprinsă între cadrele stației de 220 kV și stâlpii terminali ai LEA respective.

e.- Din cele 98 LEA de 110 kV racordate la stațiile de 110 kV expertizate, în cazul a 75 LEA de 110 kV (76,5 %) conductoarele de fază nu erau protejate corespunzător împotriva loviturilor directe de trăsnet în zona cuprinsă între cadrele stațiilor de 110 kV și stâlpii terminali ai LEA respective.

În toate situațiile în care s-a constatat că schemele de protecție împotriva loviturilor directe de trăsnet nu se înlăuau în prevederile actualelor reglementări tehnice, au fost stabilite soluții optime de remediere și de încadrare a protecțiilor respective în prevederile reglementărilor în vigoare în prezent

5. CONCLUZII

Asigurarea unei protecții corespunzătoare a stațiilor și liniilor electrice de 400 kV, 220 kV sau 110 kV împotriva trăsnetelor și a supratensiunilor de trăsnet constituie un element determinant pentru siguranța în funcționare a SEN.

Realizarea acesteia este determinată de o proiectare corectă, un montaj riguros și o preocupare permanentă a exploatării pentru urmărirea fenomenelor din instalații, precum și a evoluției reglementărilor în domeniu, rezultat al experienței acumulate în țară și în străinătate din exploatarea multor instalații electrice

Situațiile cele mai periculoase apar în cazul în care un trăsnet lovește fie un echipament primar sau un conductor de fază de pe teritoriul unei stații electrice fie un conductor fază al unei LEA în zona cuprinsă între cadrele stației și stâlpul terminal al LEA. În astfel de situații în stațiile electrice de 400 kV, 220 kV sau 110 kV se pot produce pagube majore, întreaga stație sau o parte importantă a acesteia fiind scoasă din funcțiune prin acțiunea protecțiilor prin rele, putând fi afectată astfel siguranța în funcționare a SEN. Din această cauză sunt necesare măsuri de protecție corespunzătoare pentru evitarea loviturilor directe de trăsnet pe conductoarele active, pe echipamentele electrice, pe construcțiile din perimetrul stațiilor electrice, cât și pentru limitarea propagării spre echipamentele primare

din stații a unor supratensiuni de trăsnet cu amplitudini mari.

În acest sens, pachetele software PAS și ECRAN oferă un cadru unificat de realizare și verificare a protecției echipamentelor electrice din stații împotriva supratensiunilor de trăsnet și respectiv, împotriva loviturilor directe de trăsnet, constituindu-se într-un criteriu complex de validare a soluțiilor.

Bibliografie

- [1] Drăgan G. - *Tehnica tensiunilor înalte, vol.1* . Editura Academiei Române, București, 1996.
- [2] Drăgan G. - *Tehnica tensiunilor înalte, vol.2* . Editura Academiei Române, București, 2001.
- [3] Cristescu, D., Olah, R. - *Supratensiuni și izolația rețelelor electrice*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [4] Cristescu, D., Postolache, P. - *Evaluation of the probability of the lightning striking taking into account the line geometry*. CIGRE 33-81(WG-01), Paris, Franța, 1981.
- [5] Hutzler, B.- *Simulation de la foudre en laboratoire* - Buletin de la Direction des Etudes et Recherches, serie B, nr.3, 1988.
- [6] Anderson, R.B., Erikson,A.J.- *Lightning parameters for engineering applications* - Document 33-79(SC)04 IWD prezentat la Colocviul Comitetului 33 CIGRE - România, 25-29 iunie 1979.
- [7] Anderson, R.B., Eriksson,A. - *Les parametres de la foudre en vue des applications industrielles*, Electra nr.69, martie 1980
- [8] Vatră F., Zaharia V. - *Protecția echipamentelor electrice la supratensiuni de trăsnet* - În Volumul de lucrări - Al VI-lea Simpozion Național Tehnica Tensiunilor Înalte - TTI'99, 21-22 oct. 1999, București
- [9] Vatră F. - NTE 001/03/00 - *Normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor*. ANRE, 2003.
- [10] SR CEI 1024-1:1999 - *Protecția structurilor contra trăsnetului. Partea I. Principii generale*.
- [11] Vatră F., Popescu A., Mircea I.- *Lightning overvoltage protection of electric substations. The software packages PAS and ECRAN* - publicat în Volumul de lucrări - Very High Voltage Networks Symposium, Sibiu, 1995.
- [12] Vatră F., Zaharia V. - *Pachete software pentru verificarea și determinarea schemelor de protecție împotriva loviturilor directe de trăsnet și a supratensiunilor de trăsnet transmise pe LEA în stații* - publicat în Volumul de lucrări - Al IV -lea Simpozion Național de Informatică și Telecomunicații în Energetică - SIE 2002, Bacău 16-18 octombrie 2002.