

CONDUCTOARELE ȘI STĂLPII LINIILOR ELECTRICE AERIENE

1. Obiectivele lucrării

În cadrul lucrării sunt trecute în revistă materialele utilizate la realizarea conductoarelor, tipurile constructive ale acestora, modul lor de simbolizare și tendințele noi în construcția de conductoare, precum și principalele tipuri de stâlpi folosiți la construcția liniilor electrice aeriene.

2. Considerații teoretice

2.1. Conductoarele liniilor electrice aeriene - LEA

După funcția pe care o îndeplinesc, conductoarele LEA se împart în două grupe: *conductoare active*, prin care se transportă energia electrică și *conductoare de protecție*, care au rolul de a ecrana linia electrică aeriană împotriva loviturilor directe de trăsnet.

Atât conductoarele active, cât și cele de protecție, din punct de vedere mecanic, trebuie să fie astfel dimensionate încât, în condițiile impuse de norme, să reziste suprasarcinilor datorate depunerilor de chiciură pe conductoarele și izolatoarele liniilor, presiunii vântului, precum și a variațiilor de temperatură.

Calculul mecanic al conductoarelor active ale LEA nu este total independent de calculul electric al acestora, îmbinându-se, de fapt, într-un calcul unitar tehnico-economic, prin care se urmărește stabilirea secțiunii optime a conductoarelor, precum și deschiderea economică, respectiv deschiderea medie optimă dintre stâlpi.

Conductoarele active ale LEA trebuie să aibă caracteristici electrice ridicate și o bună rezistență mecanică, ruperea lor putând duce la ruperea stâlpilor. Din aceste motive, costul conductoarelor este relativ ridicat, reprezentând, de exemplu, circa 30-50% din costul integral al unei LEA de 110kV. Este evident că alegerea tipului de conductoare, stabilirea întinderii și montarea acestora trebuie să fie efectuate cu multă atenție.

La construcția LEA cu tensiuni nominale mai mari de 1000V, fiecare fază a liniei, este echipată fie cu un singur conductor, fie printr-un ansamblu de două sau mai multe conductoare, denumite conductoare fasciculare.

2.1.1. Materiale utilizate pentru realizarea conductoarelor LEA

Conductoarele active ale LEA pot fi realizate din cupru, aliaje de cupru (bronzuri normale sau cu cadmiu), aluminiu și aliaje de aluminiu (aldrey, almelec, alcoro etc.), oțel cuprat (copperweld), oțel-aluminat (alumoweld) și oțel zincat. Conductoarele de protecție ale LEA sunt executate, în general, din oțel zincat, iar în cazurile când este necesară micșorarea influențelor electromagnetice ale LEA de

transport al energiei electrice asupra liniilor de telecomunicații, acestea se realizează dintr-un material mai bun conductor, cum ar fi oțel-aluminat (alumoweld).

Conductoarele folosite la LEA sunt fabricate, fie dintr-un singur material (cupru, aluminiu, aldreu sau oțel), fie din două materiale (conductoare bimetalice), unul mai puțin rezistent, din punct de vedere mecanic și mai bun conductor electric și altul care preia, în special, sarcinile mecanice. În mod obișnuit, se folosesc conductoare bimetalice din aluminiu-oțel, formate din fire de oțel, respectiv fire de aluminiu.

Cuprul folosit pentru fabricarea conductoarelor electrice se obține pe cale electrochimică și termică, având un conținut de cupru pur de minim 99,90%. Materialul folosit pentru fabricarea conductoarelor din cupru trebuie să aibă un conținut de impurități în limitele prevăzute de normele de calitate, cu mențiunea că argintul nu este considerat impuritate, fiind cuprins în conținutul de cupru.

La confecționarea conductoarelor electrice se folosesc sârme rotunde de cupru, realizate prin laminare sau trefilare la rece (ecruisare tare).

Cuprul folosit la fabricarea conductoarelor are proprietăți electrice foarte bune, acestea depinzând, în principal, de puritate și de gradul de ecrusare. Rezistența electrică a cuprului absolut pur este de $0,0155 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ la temperatura de 0°C și de circa $0,0169 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ la temperatura de 20°C . Prin procesul de ecrusare, rezistența electrică a cuprului crește.

Coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura al cuprului folosit la fabricarea conductoarelor are valoarea $\alpha=0,00393 \text{ } 1/^\circ\text{C}$, fiind puțin mai mică decât valoarea corespunzătoare cuprului pur.

În cazul când temperatura conductoarelor LEA din cupru depășește 200°C , de exemplu, în regimurile de scurtcircuit, rezistența acestora scade brusc, datorită cristalizării materialului, având influență directă asupra săgeții conductoarelor.

Cuprul este destul de rezistent la coroziune, în atmosferă normală. Unele substanțe, prezente în atmosferă, ca oxidul de azot, vaporii de amoniac, acidul azotic, bioxidul de sulf, hidrogenul sulfurat, sărurile de clor, produc coroziunea cuprului. Contactul cuprului cu fierul, zincul sau aluminiul nu este dăunător, datorită potențialului său electrochimic ridicat. Conform experienței acumulate, s-a constatat că, în atmosfera naturală de pe malul mării, conductoarele de cupru rezistă în bune condiții.

Bronzul este un aliaj al cuprului cu aluminiu, cositor, siliciu, cadmiu, beriliu și magneziu. Ținând seama de rezistența mecanică relativ mică a cuprului și având în vedere faptul că încălzirea conductoarelor din cupru, în timpul exploatarei, la temperaturi de peste 200°C , în cazul regimurilor de scurtcircuit, conduce la o micșorare bruscă a rezistenței mecanice a acestora, atunci când este necesară rezistență mecanică mai mare (traversări, regiuni greu accesibile etc.) se utilizează aliaje de cupru și anume bronzuri.

Bronzurile normale folosite pentru fabricarea conductoarelor electrice sunt aliaje ale cuprului cu circa 5% aluminiu, 2% cositor, 0,6% siliciu, 0,8% cadmiu, $0,5 \div 2,5\%$ beriliu și magneziu. **Bronzurile cu cadmiu** conțin circa 0,9% cadmiu și prezintă un interes deosebit, deoarece acest aliaj

îmbină, cu succes, conductibilitatea foarte bună a cuprului, păstrând 95% din aceasta, cu rezistența mecanică mărită, ceea ce-i conferă o valoare a rezistenței de rupere de până la 75daN/mm².

Aluminiul folosit la realizarea conductoarelor liniilor electrice aeriene de transport al energiei electrice este un aluminiu de primă fuziune, conținând 99,5% aluminiu pur, maxim 0,45% fier și siliciu 0,05% cupru și zinc.

Deoarece cuprul este un material deficitar, în energetică se folosește pe scară largă aluminiul, care are o conductivitate electrică și o rezistență mecanică mai mici decât ale cuprului, dar, la aceeași greutate, prezintă o rezistență electrică de două ori mai mică.

Principalele proprietăți electrice ale aluminiului sunt influențate, în mare măsură, de conținutul de impurități. Astfel, aluminiul pur, cu un conținut de 99,97%, după o recoacere timp de trei ore, la temperatura de 320°C, prezintă o rezistivitate de $2,63 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ la 20°C.

În cazul aluminiului, rezistența mecanică a acestuia este influențată, în special, de gradul de ecruisare. Astfel, aluminiul tras tare își pierde rezistența mecanică atunci când, după ecruisare, temperatura sa este mărită până la limita de recristalizare. Scăderea rezistenței mecanice a aluminiului începe de la temperatura de 100°C, dacă durata de încălzire este de ordinul orelor și de la 75 ÷ 80°C, dacă încălzirea este de foarte lungă durată.

Fenomenul de obosire la vibrații a conductoarelor din aluminiu este analog cu cel al cuprului. Aluminiul prezintă un fenomen de fluaj mai accentuat decât al cuprului și se corodează puternic în prezența dioxidului de carbon, amoniacului, dioxidului de sulf sau în contact cu fierul și cuprul, formând pile electrice. Fenomenul de coroziune este accentuat de existența fisurilor sau a zgârieturilor produse pe suprafață în timpul montării conductoarelor. Din aceste motive, pentru creșterea rezistenței la fluaj și la coroziune a aluminiului, se folosesc **aliaje de aluminiu**. Astfel de aliaje sunt **aldrey**, **almelec**, **alcoro** etc, fiind obținute prin adăugare de magneziu (0,3 ÷ 0,5%), siliciu (0,4 ÷ 0,7%), fier (0,2 ÷ 0,3%), care, după ecruisare, prezintă o rezistență de rupere de circa 30 ÷ 35daN/mm². Rezistența de fluaj a acestor aliaje reprezintă 0,95 din rezistența lor de rupere, adică 26 ÷ 30daN/mm², la temperatura de 20°C. În plus, aceasta se micșorează cu creșterea temperaturii, fiind de 75% din rezistența de rupere, pentru temperaturi situate în intervalul 98 ÷ 102°C.

Pentru conductoarele LEA fabricate din aliaje de aluminiu, efectele coroziunii sunt mai puțin pronunțate decât pentru aluminiu. Aliajele de aluminiu având, de regulă, o duritate mult mai mare decât a aluminiului, zgârieturile și deteriorările de pe suprafața conductorului, care favorizează coroziunea survin mult mai rar.

Oțelul este folosit, la realizarea conductoarelor LEA, fie singur, fie împreună cu alte materiale bune conducătoare de electricitate, cum ar fi cuprul sau aluminiul. Conductoarele confecționate numai din oțel se utilizează în cazurile când este necesară o rezistență mecanică mare (deschideri foarte mari) sau pentru transportul unor puteri mici pe distanțe scurte.

Conductoarele din oțel se obțin din semifabricate, prin trefilare la rece, operație care mărește rezistența mecanică a acestora. Prin reîncălzire la temperaturi de 600 ÷ 650°C, conductoarele din oțel

trefilat la rece își pierde rezistența mecanică. În comparație cu cuprul, oțelul are o rezistivitate electrică de 7 ÷ 8 ori mai mare, prezentând și o permeabilitate magnetică mare și deci o inductanță internă ridicată. Ținând seama că permeabilitatea magnetică depinde de curentul care străbate conductorul, rezultă că inductanța internă variază în funcție de sarcina tranzitată prin acesta, ajungând la valori de circa 50 de ori mai mari decât inductanța internă a conductorului de cupru.

2.1.2 Tipuri constructive și caracteristici ale conductoarelor LEA

În cazul LEA de transport al energiei electrice, pentru echiparea fazelor liniei, precum și a firelor de gardă (protecție), se folosesc conductoare monometalice de tip funie, din aluminiu, aliaje din aluminiu, oțel sau bimetalice din oțel-aluminiu și oțel-aliaje de aluminiu.

Conductoarele multifilare monometalice sunt alcătuite dintr-un fir central, în jurul căruia se înfășoară, în spirală, cele n straturi ale conductorului, ca în Figura 1.

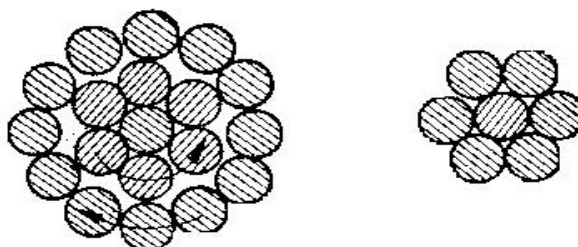


Figura 1 Conductoare monometalice multifilare

În sistemul de simbolizare adoptat în țara noastră, conductoarele omogene din aluminiu și aliaje de aluminiu sunt notate cu A_x , unde prin x se identifică tipul de aluminiu, astfel:

- ✓ A1 – aluminiu trefilat tare;
- ✓ A2 – aliaj de aluminiu tip B;
- ✓ A3 – aliaj de aluminiu tip A.

Cele două clase sau tipuri de aliaje de aluminiu (A și B) prezintă proprietățile mecanice și electrice diferite, conform celor prezentate în Tabelul 1.

Proprietățile mecanice și electrice ale sârmelor din aliaj de aluminiu

Tabelul 1

Caracteristici	Tip A	Tip B
Rezistivitate maximă la 20 ⁰ C [nΩm]	32,840	32,530
Densitate la 20 ⁰ C [kg/dm ³]	2,703	2,703
Coeficient de dilatare liniară [1/ ⁰ C]	23?10 ⁻⁶	23?10 ⁻⁶
Coeficient de temperatură al rezistenței la masă constantă la 20 ⁰ C [1/ ⁰ C]	0,0036	0,0036

În Tabelele din Anexa 1, sunt prezentate caracteristicile mecanice și electrice ale conductoarelor multifilare din aluminiu și aliaje de aluminiu tip A1, A2 și A3.

Conform prescripțiilor din standardul român, conductoarele multifilare omogene din oțel se simbolizează prin Syz , unde y reprezintă tipul oțelului:

- 1 – oțel normal;
- 2 – oțel de înaltă rezistență;
- 3 – oțel de foarte înaltă rezistență
- z – clasa stratului de zinc (A sau B).

În funcție de masa minimă de zinc pe unitatea de suprafață, sunt definite două clase de acoperire cu zinc pentru diferite diametre ale sârmelor de oțel, conform celor prezentate în Tabelul 2.

Prescripții pentru masa stratului de zinc

Tabelul 2

Diametrul sârmei [mm]		Masa minimă a stratului [g/m ²]	
Peste	Până la și inclusiv	Clasa 1	Clasa 2
1,24	1,50	185	370
1,50	1,75	200	400
1,75	2,25	215	430
2,25	3,00	230	460
3,00	3,50	245	490
3,50	4,25	260	520
4,25	4,75	275	550
4,75	5,50	290	580

Caracteristicile mecanice și electrice ale conductoarelor multifilare din oțel $S1A$, $S1B$, $S2A$ și $S3A$ sunt prezentate detaliat în tabelele din Anexa 1.

Conductoarele multifilare bimetalice folosite la echiparea LEA sunt realizate din două metale, unul cu calități electrice ridicate, iar celălalt cu calități mecanice ridicate. Cele mai des întâlnite astfel de conductoare la construcția LEA sunt conductoarele din oțel-aluminiu ($OL-Al$). Acestea se execută din fire de aluminiu înfășurate în jurul unei inimi de oțel, care poate fi monofilară sau multifilară, formând, în felul acesta, mai multe straturi concentrice. Straturile de aluminiu sunt strânse în jurul funiei de oțel, ca în Figura 2, pentru a nu se produce deplasări.

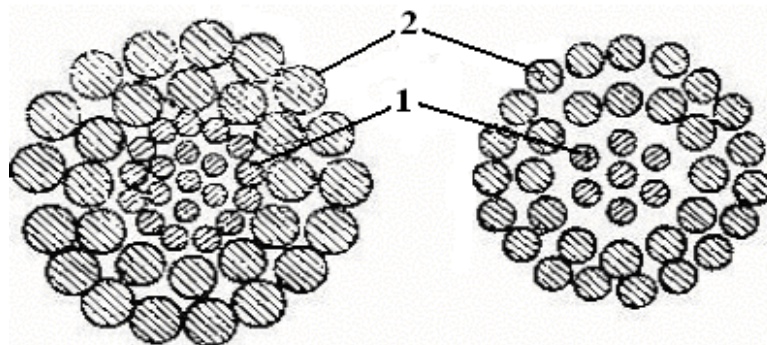


Figura 2 Conductoare multifilare bimetalice din oțel-aluminiu
1 – fir de oțel; 2 – fir de aluminiu

În vederea micșorării efectului pelicular, care, în cazul conductoarelor multifilare bimetalice din oțel-aluminiu, poate deveni pronunțat datorită, în special, inimii de oțel, este necesar ca straturile concentrice învecinate să fie răsucite în sensuri contrare.

Conductoarele de oțel-aluminiu cele mai des întâlnite în construcția *LEA* se clasifică, din punct de vedere al raportului secțiunilor oțelului și aluminiului, în felul următor:

- **Conductoare de construcție normală**, la care secțiunea de aluminiu are o arie de circa șase ori mai mare decât aria oțelului. Acest tip de conductoare sunt utilizate, în majoritatea cazurilor, acolo unde nu apar solicitări mecanice prea mari.
- **Conductoare de construcție întărită**, la care secțiunea aluminiului este de patru ori mai mare decât cea a oțelului. Acest tip de conductoare sunt utilizate la realizarea traversărilor importante, cum ar fi șosele naționale, râuri, poduri etc., precum și în cazul zonelor cu depuneri mari de chiciură.

Conductoarele bimetalice din aluminiu-oțel sunt simbolizate în standardul român cu A_x/S_{yz} , unde A_x identifică sârmele externe, adică învelișul de aluminiu, iar S_{yz} identifică inima de oțel.

Spre exemplificare, simbolul $A1/S1A$ are următoarea semnificație: conductor bimetalic al cărui înveliș este format din sârme de aluminiu trefilat tare, iar inima de oțel este realizată din oțel normal, având un strat de zinc corespunzător clasei 1.

Conductoarele bimetalice din aluminiu-oțel folosite la construcția *LEA* în țara noastră sunt de tipurile: $A1/S1A$; $A1/S1B$; $A1/S2A$; $A1/S2B$; $A1/S3A$; $A2/S1A$; $A2/S1B$; $A2/S3A$; $A3/S1A$; $A3/S1B$; $A3/S3A$. Caracteristicile acestor tipuri de conductoare sunt prezentate în mod detaliat în Tabelele din Anexa 1.

De asemenea, la realizarea *LEA* se mai utilizează și conductoare bimetalice din aluminiu-aliaje de aluminiu, simbolizate A_x/A_y , unde A_x identifică sârmele externe corespunzătoare învelișului, iar A_y identifică sârmele interne ale inimii conductorului. Astfel de conductoare bimetalice sunt de tip:

- ✓ $A1/A2$ – înveliș realizat din sârme de aluminiu trefilat tare, iar inima din sârme de aliaj de aluminiu tip B;
- ✓ $A1/A3$ – înveliș din sârme de aluminiu trefilat tare, iar inima din sârme de aliaj de aluminiu tip A. Caracteristicile acestor conductoare sunt prezentate în Tabelele din Anexa 1.

La construcția *LEA* de medie tensiune (6 - 20 kV), pot fi utilizate și conductoare din oțel-aluminiu izolate cu polietilenă reticulară, simbolizate $OAC2X$, având următoarea semnificație:

- OA** – conductor din oțel-aluminiu;
- C** – cablu de energie electrică;
- 2X** – izolație din polietilenă reticulară.

Variantele de conductoare izolate tip $OAC2X$ utilizate în țara noastră sunt prezentate în Tabelul 3. Caracteristicile mecanice și electrice ale acestor conductoare sunt prezentate sintetic în Anexa 1.

Variante constructive de conductoare izolate din oțel-aluminiu de tip OAC2X

Tabelul 3

Secțiunea nominală [mm ²]	Structura	Diametrul exterior al conductorului [mm]	Masa conductorului [kg/km]
35/6	1 OL + 6 Al	12,3	210
50/8	1 OL + 6 Al	13,7	272
70/12	(1+6) OL + (10+16) Al	15,6	370
95/15	(1+6) OL + (10+16) Al	17,1	478
120/21	(1+6) OL + (10+16) Al	19,1	608
150/25	(1+6) OL + (10+16) Al	20,1	724

La construcția LEA se pot folosi, de asemenea, conductoare hibride, realizate din fire de oțel aluminat sau oțel cuprat, cu fire de aluminiu sau de cupru, reprezentate în Figura 3. La liniile de foarte înaltă tensiune, conductoarele de protecție sunt realizate din oțel aluminat (alumoweld), conform celor reprezentate în Figura 4. Totodată, acest tip de conductoare, având o rezistență sporită la coroziune, pot fi utilizate și la realizarea ancorelor.

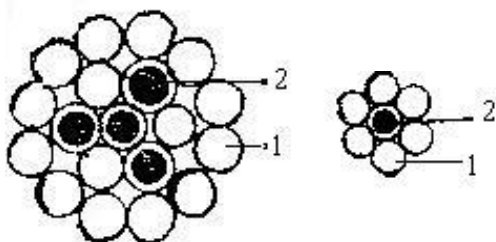


Figura 3 Conductoare hibride de oțel aluminat-aluminiu și oțel cuprat-cupru
1-fir de aluminiu (sau cupru);
2 - fir de oțel aluminat (sau oțel cuprat)

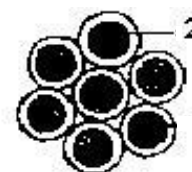


Figura 4 Conductor din oțel aluminat (alumoweld) 2-fir de oțel aluminat (sau oțel cuprat)

Conductoarele tubulare sunt folosite la LEA de foarte înaltă tensiune, echipate cu un singur conductor pe fază, în vederea măririi diametrului conductorului. Aceste conductoare pot să aibă o carcasă, care ajută la așezarea corectă a straturilor conductorului (Figura 5 a,b) sau pot fi realizate fără carcasă (Figura 5 c).

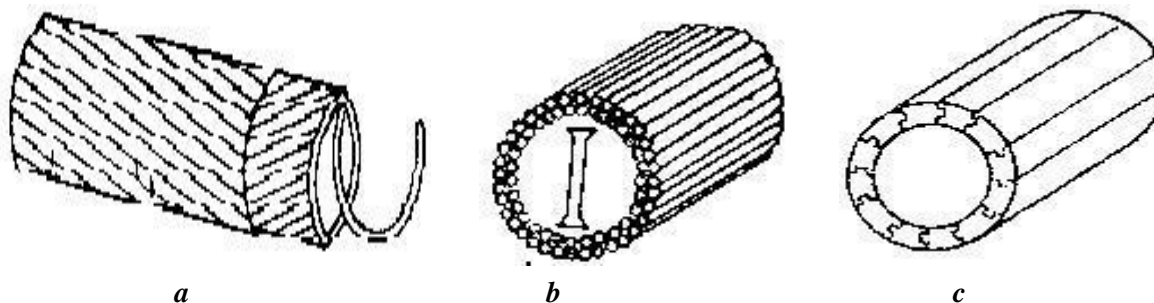


Figura 5 Conductoare tubulare : a,b – cu carcasă; c – fără carcasă

Conductoarele tubulare moderne, cu diametre mari, sunt executate din aluminiu (1 și 2), oțel (3) și masă plastică (4), conform celor reprezentate în Figura 6 sau aldreț și aluminiu.

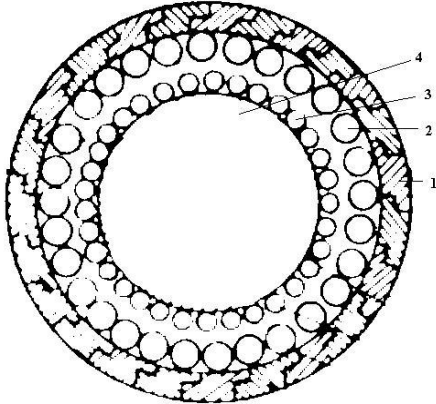


Figura 6 Conductor tubular plin, cu diametru mare, pentru LEA de foarte înaltă tensiune.
1,2 – aluminiu;
3 – oțel;
4 – masă plastică

La construcția LEA, în cazul traversărilor foarte mari, se folosesc, de regulă, conductoare realizate din mănunchiuri de funii, confecționate din fire de oțel și de aluminiu, ca în Figura 7. În acest caz, o funie este alcătuită dintr-un fir de oțel înconjurat de fire de aluminiu.

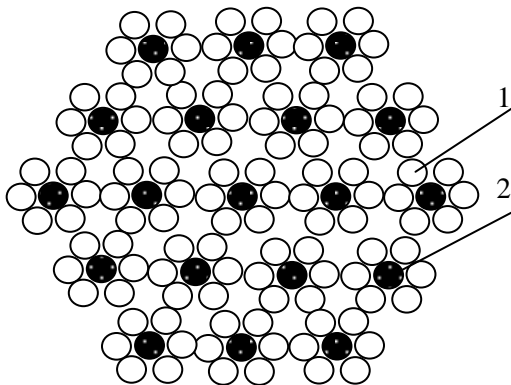


Figura 7 Conductor din mănunchiuri de funii bimetalice oțel-aluminiu
1 – fir de aluminiu;
2 – fir de oțel

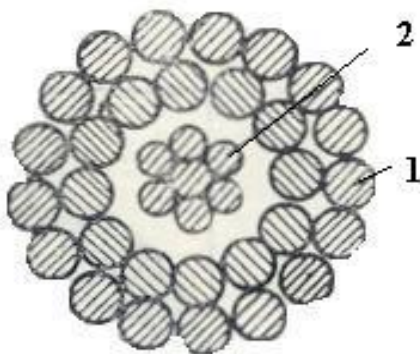


Figura 8 Conductor antivibrator din oțel-aluminiu
1 – aluminiu;
2 – oțel

Conductoare antivibratoare, la care funia de oțel este liberă în interiorul mantalei de aluminiu (Figura 8), folosite, în special, pentru micșorarea vibrațiilor conductoarelor, deoarece, la apariția fenomenului de vibrație, funia internă de oțel lucrează ca un amortizor.

2.1.3 Tendințe noi în construcția de conductoare

Liniile electrice aeriene de 110kV, 220kV și 400kV sunt utilizate și ca suport pentru instalarea de *cabluri cu fibră optică înglobată OPGW-Optical Ground Wire*. Pentru liniile de 220kV și 400kV în cablu, se utilizează *fibră optică OPUG*.

Conductoarele de protecție utilizate la liniile de 110kV, 220kV și 400kV tip OPGW, care conțin și fibră optică, trebuie să asigure:

- Protecția conductoarelor active ale LEA contra loviturilor directe de trăsnet.
- Realizarea transmisiei de date.

Caracterul dualist al conductorului de protecție cu fibră optică înglobată (OPGW) impune respectarea unor caracteristici, cum ar fi: diametrul, curentul de scurtcircuit (limitat de circulația de putere prin LEA) care implică rezistența conductorului și temperatura maximă admisibilă a acestuia, sarcina de rupere, masa specifică a conductorului, proprietățile clasice ale conductorului (modulul de elasticitate E și coeficientul de dilatare lineară α), fiabilitatea conductorului, rezistența la coroziune, rezistența la arc electric, comportarea la acțiunea vibrațiilor eoliene, protecția (asigurarea etanșeității) împotriva umezelii și a impurităților a unității optice care conține fibre optice. Unitatea optică este partea cea mai importantă a OPGW și este proiectată astfel încât să asigure fiabilitatea în funcționare în transmisiile de date.

Fibrele optice sunt protejate împotriva șocurilor termice la care poate fi supus conductorul de protecție, precum și la încărcările mecanice ale conductorului de protecție (stative sau dinamice). În acest sens, unitatea optică este protejată în tub metalic din inox sau aluminiu. Tipul de fibră optică utilizat este Single mode (non zero dispersion Shifted single mode), iar numărul de fibre optice dintr-un cablu este de 36 sau 72, în funcție de tipul LEA simplu sau dublu circuit.

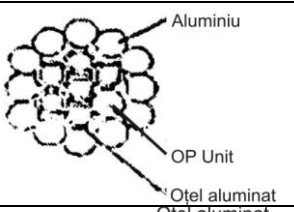
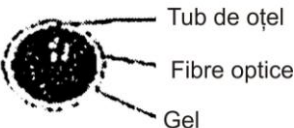
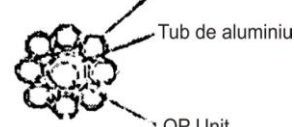

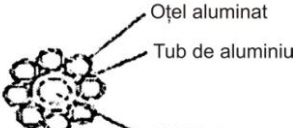

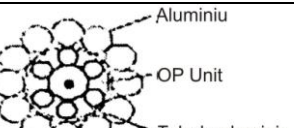
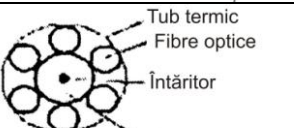
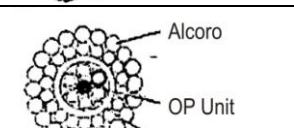
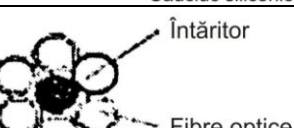
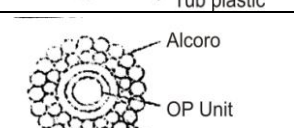
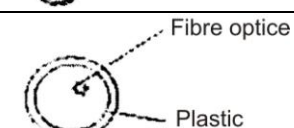
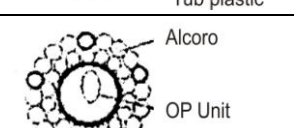

Conductoarele OPGW se livrează pe tamburi cu lungimea de 5km. Pentru panouri mai mari de 5 km, unde este necesară înnădirea conductorului, se montează în linie stâlpi suplimentari de întindere, deoarece înnădirea unor astfel de conductoare se realizează numai la stâlpi speciali. Utilizarea OPGW prezintă următoarele avantaje:

- fibrele optice se caracterizează printr-o atenuare foarte redusă a semnalului, ceea ce permite distanțe mari de transmisie;
- capacitatea deosebită de transmisie a fibrelor optice asigură viteze mari de transfer și un volum ridicat de informații printr-o singură fibră;
- dimensiunile și greutatea reduse ale fibrelor optice OPGW permit realizarea conductorului într-o structură compactă, iar greutatea acestuia să fie comparabilă cu a conductorului clasic.

Prin concepția constructivă a miezului optic, este prevenită deplasarea longitudinală a fibrei în interiorul tubului pierdut. Infiltrarea longitudinală a apei în miezul optic sau în tuburile individuale este prevenită prin folosirea unui material impermeabil. De asemenea, infiltrarea transversală a apei este prevenită prin utilizarea unui înveliș metalic impermeabil. Diferitele tipuri OPGW, diferențiate constructiv de *unitați optice OP*, sunt prezentate în Tabelul 4.

Moduri de realizare a OP pentru OPGW – Optical Ground Wire

Tabelul 4

Tip tub	OPGW	OP Unit	OPGW-OP unit	OP Unit-Fibră
Metalic înfuniat			Recuperabil	Pierdut
Aluminiu central			Pierdut	Recuperabil
Aluminiu central			Recuperabil	Recuperabil
Aluminiu central			Pierdut	Pierdut
Plastic central			Pierdut	Pierdut
Plastic central			Pierdut	Pierdut
Plastic central			Pierdut	Recuperabil

Prezentare comparativă a OPGW/OPPC, funcție de diametru, greutate, rezistență la sfărâmare, densitate fibre, separare fibre, protecție la căldură, îndoire

Tabelul 5

Tipuri constructive	Diametru	Greutate	Rezistență sfărâmare	Densitate fibre	Separare fibre	Protecție fibre la căldură	Îndoire fibre
OPGW cu tub metalic înfuniat	Mic	Ușoară	Medie	Mare	Rapidă	Mică	Medie
OPGW cu fibrele mănunchi în tub de Al.	Mediu	Ușoară	Medie	Medie	Lentă	Mică	Mică
OPGW cu fibrele pe suport profilat din Al, în tub de Al	Mic	Ușoară	Foarte mare	Foarte mare	Lentă	Mică	Mică
OPGW cu material spongios, în tub de Al	Mic	Ușoară	Medie	Foarte mare	Lentă	Mică	Mică
OPGW cu tub din plastic, liniar	Mare	Mare	Redusă	Redusă	Lentă	Bună	Mare
OPGW cu tub din plastic, maxim	Mare	Mare	Redusă	Medie	Rapidă	Bună	Bună
OPGW cu tub din plastic, spiralat	Mare	Mare	Redusă	Mare	Redusă	Bună	Bună

În Tabelul 5 sunt prezentate soluțiile de instalare a unităților optice OP, complet protejate de sârmele de rezistență, astfel:

- În interiorul unui tub fabricat din oțel galvanizat sau din oțel inoxidabil, cu diametrul egal cu cel al sârmelor primului strat de rezistență, înfuniat odată cu celelalte sârme, iar în cazul unui număr mare de fibre sau când se urmărește o fiabilitate ridicată, se pot înfunia mai multe tuburi, (de obicei două). Instalarea unității optice OP este de tip **“tight”**, iar a fibrelor, de tip **“loose”**.
- În interiorul unui tub de aluminiu, situat central în OPGW/OPPC, în jurul căruia se înfuniază sârmele de rezistență, iar unitatea optică șerpuiește în interiorul acestuia sau este ghidată să șerpuiască. Instalarea unității optice OP este de tip **“loose”**, iar fibrele sunt, de asemenea, de tip **“loose”**. În situația în care fibrele se înfășoară pe un tub spongios, instalarea OP devine de tip **“loose”**, iar fibrele, de asemenea, de tip **“loose”**.
- În România se utilizează, pentru liniile electrice aeriene cu tensiunea nominală de 220kV sau 400kV, soluția cu tub metalic înfuniat. În Tabelul 5 sunt prezentate date comparative a OPGW/OPPC, funcție de diametru greutate, rezistență la sfărâmare, densitate fibre, separare fibre, protecție la căldură, îndoire.

În cazul tuburilor din oțel inoxidabil, se aplică un strat de aluminiu pentru prevenirea coroziunii. Compusul (gelul) de umplere trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să nu conțină silicon, să nu fie conductor din punct de vedere electric și să fie omogen;
- să prevină formarea hidrogenului sub formă gazoasă în interiorul tubului pierdut;
- să nu dăuneze nici unei componente a cablului;
- să fie dermatologic inofensiv;
- să nu împiedice mișcarea fibrelor în tuburi;
- să nu creeze goluri de aer;
- să rămână maleabil și să confere impermeabilitate la întreaga gamă de temperaturi de funcționare și pe toată durata de viață a cablului OPGW.

Ruperea elementului central nu trebuie să conducă la distrugerea fibrelor optice. Mantaua de protecție a cablului OPGW este construită din sârme metalice cu secțiune circulară, în următoarele variante:

- sârmă AC conform CEI 60.889;
- sârmă AAC conform CEI 6104, clasa 20 SA tip A;
- sârmă ACS (oțel aluminat) conform CEI 61232, clasa 20 SA tip A.

Structura straturilor și modul de înfundiere se execută în conformitate cu CEI61089.

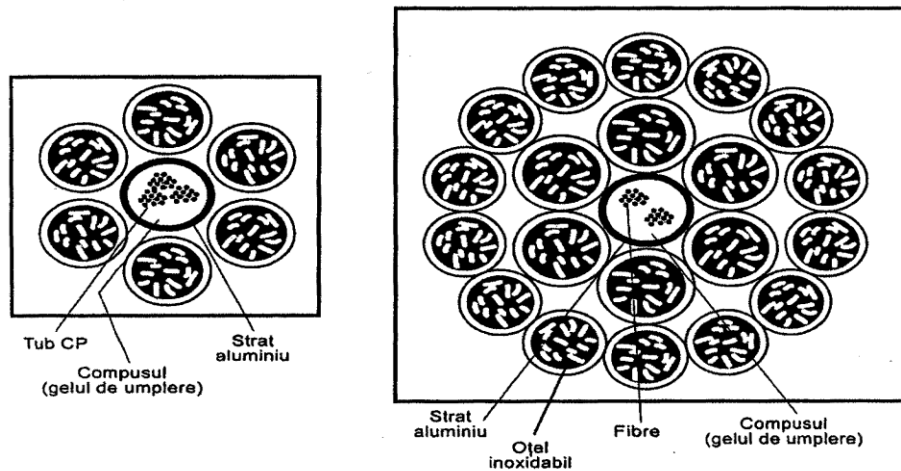


Figura 9 OPGW cu tub metalic înfundiat

În țara noastră se utilizează, pentru liniile electrice aeriene cu tensiunea nominală de 220 kV sau 400 kV, soluția OPGW cu tub metalic înfundiat, care este prezentată în Figura 9.

2.2 Stâlpii liniilor electrice aeriene

Stâlpii sunt elementele liniilor care susțin conductoarele active și de protecție, la distanțele prescrise, atât între ele, cât și deasupra solului. Aceștia trebuie să suporte eforturile proprii, în situații normale sau datorită presiunii vântului, a conductoarelor, pentru situații normale, de avarii sau de încărcări suplimentare ca urmare a presiunii vântului și a prezenței chiciurei, a izolatoarelor și a armăturilor, precum și a acțiunii vântului asupra acestora.

Stâlpii liniilor electrice aeriene se pot clasifica după mai multe criterii, cum ar fi:

- materialul din care sunt confecționați;
- destinația;
- construcția etc.

După **materialul din care sunt confecționați**, stâlpii se clasifică astfel:

- stâlpi de lemn;
- stâlpi de metal;
- stâlpi din beton armat;
- stâlpi din rășini sintetice.

Stâlpii de lemn se utilizează în rețelele electrice de joasă și medie tensiune. Îmbunătățirea sistemului de impregnare, prețurile comparabile cu cele ale liniilor realizate cu stâlpi din beton, reducerea îmbolnăvirilor alergice la executarea unor rețele cu asemenea stâlpi, eliminarea problemelor ecologice, creșterea productivității muncii, precum și o durată de viață de circa 60 de ani, în funcție de impregnantul folosit, recomandă utilizarea stâlpilor de lemn la liniile electrice aeriene de medie și joasă tensiune. Sunt țări care utilizează, pe scară largă, stâlpii de lemn, cum ar fi: USA, Canada, Finlanda etc.

Stâlpii de metal sunt folosiți pentru liniile electrice aeriene de 110 ÷ 750kV și se execută din profile de oțel, într-o construcție de formă zăbreliată.

Stâlpii din beton armat vibrat, centrifugat sau precomprimat se utilizează pentru liniile electrice aeriene de joasă tensiune, medie tensiune și înaltă tensiune până la 110 kV, inclusiv simplu sau dublu circuit.

Stâlpii din rășini sintetice au avantajul că sunt ușori, ieftini și estetici. Se utilizează, de regulă, la rețelele de iluminat public.

La un stâlp distingem corpul propriu-zis și coronamentul, care este construit dintr-un ansamblu de console, traverse, suporturi, montate pe partea superioară a corpului stâlpului, de care sunt suspendate conductoarele. Prin forma aleasă pentru coronamentul stâlpului, se asigură distanțele

necesare între conductoare și între acestea și corpul stâlpului. Fixarea stâlpilor pe sol se realizează cu ajutorul fundațiilor.

Stâlpii liniilor electrice aeriene pot fi construiți pentru un circuit, două circuite sau mai multe circuite. În cazul adoptării unor măsuri speciale, pe aceeași stâlpi pot exista:

- LEA de joasă tensiune poate funcționa împreună cu liniile de telecomunicații sau radioficare;
- LEA de medie tensiune poate funcționa împreună cu o linie electrică aeriană de joasă tensiune.

Din **punct de vedere funcțional**, stâlpii liniilor electrice aeriene din rețelele electrice de transport și distribuție a energiei electrice pot fi grupați în următoarele categorii :

- stâlpi de susținere (în aliniament sau în colț, pentru liniile electrice aeriene de joasă și medie tensiune);
- stâlpi de întindere;
- stâlpi de colț;
- stâlpi terminali;
- stâlpi de transpunere a fazelor pentru liniile electrice aeriene cu tensiuni egale sau mai mari de 110kV;
- stâlpi de traversare;
- stâlpi de derivație pentru liniile electrice aeriene de joasă și medie tensiune.

Stâlpii de susținere au rolul de a prelua eforturile datorate forțelor verticale (greutatea conductoarelor, a izolatoarelor etc.), precum și forțelor orizontale, transversale pe aliniamentul liniei, datorită acțiunii vântului. În absența vântului, forțele care acționează asupra stâlpilor de susținere sunt numai verticale. În momentul ruperii unui conductor, în lungul liniei apar forțe suplimentare datorate rezistenței opuse de elementele de prindere (clema de reținere a conductorului sau de eliberare a acestuia).

Stâlpii de întindere se montează pe aliniamentul liniei pentru a limita lungimea acestuia sau de a realiza întărirea liniei în diferite puncte speciale, definite de norme. Acești stâlpi constituie puncte de sprijin pentru întinderea conductoarelor într-un panou, în timpul construcției sau la ruperea unui conductor. Totodată, stâlpii de întindere formează puncte de separare a conductoarelor, între panouri sau la traversări, legătura electrică făcându-se prin cordoane și cleme electrice. Prin dimensionarea lor, stâlpii de întindere preiau eforturile în situația ruperii stâlpilor de susținere într-un panou sau a conductoarelor (unul sau mai multe), limitând efectele distrugerii.

Stâlpii de colț sunt amplasați la intersecția a două aliniamente și au rolul principal de a prelua rezultanta forțelor ce iau naștere din cauza unghiului format de conductoare. Acești stâlpi se

dimensionează fie în ipoteza stâlpilor de susținere, purtând denumirea de *stâlpi de susținere în colț*, fie în ipoteza stâlpilor de întindere și se numesc *stâlpi de întindere în colț*.

Stâlpii terminali se montează la capetele liniei și trebuie să preia, în permanență, forțele de tracțiune orizontale ale tuturor conductoarelor de aceeași parte a stâlpului. Acești stâlpi au și rolul de stâlpi de întindere, delimitând, la câte un capăt, primul și ultimul panou de întindere a liniei.

Stâlpii de traversare se utilizează în porțiunile de traseu în care linia trece peste:

- căi ferate;
- drumuri;
- canale navigabile;
- râuri etc.

Stâlpii de derivație sunt stâlpii de pe care se efectuează o derivație din linia respectivă.

Stâlpii de transpunere a fazelor se folosesc în scopul rotirii fazelor în vederea uniformizării inductanței și a capacității liniei. Drept stâlpi de transpunere, se utilizează stâlpii de întindere, la care se montează console și lanțuri suplimentare pentru a se putea realiza rotirea conductoarelor de fază.

Principalele elemente componente ale stâlpilor folosiți la construcția liniilor electrice aeriene sunt următoarele:

- partea subterană, în fundație, a stâlpului sau elementul de sprijinire pe fundație, în cazul stâlpilor articulați;
- corpul stâlpului;
- coronamentul stâlpului.

În cazul stâlpilor de beton armat și a stâlpilor metalici, *partea subterană* este, de regulă, încastrată în fundații de beton, odată cu stâlpul, la cei din beton armat și separat, la cei metalici, prin picioare de fundații.

Corpul este principalul element al stâlpului, atât ca volum, cât și ca greutate. Acesta preia eforturile mecanice aplicate asupra liniei și pe care le transmite fundației, asigurând, în același timp, gabaritele conductoarelor față de sol și alte construcții sau obstacole de pe traseul liniei.

Coronamentul stâlpului este format din traverse, console, vârfare etc., montate la partea superioară a corpului stâlpului, de care sunt suspendate atât conductoarele active, cât și conductoarele de protecție. De asemenea, pe lângă rezistența mecanică necesară, coronamentul trebuie să asigure atât dispoziția conductoarelor, cât și distanțele dintre acestea. Există o gamă diversificată de soluții de realizare a coronamentului stâlpilor folosiți la construcția liniilor electrice aeriene.

Coronamentele stâlpilor utilizați la liniile electrice de medie tensiune sunt de diverse tipuri constructive și anume:

- ✓ coronament deformabil de susținere, simplu circuit;
- ✓ coronament dezaxat, cu consolă de susținere, simplu circuit – *CDS*;
- ✓ coronament elastic dublu circuit, cu consolă pentru coronament elastic, dublu circuit, de susținere – *CDC*;
- ✓ consolă pentru coronament elastic, dublu circuit, de întindere – *CI* sau terminal – *CT*;
- ✓ consolă de susținere, simplu circuit – *CSO 1100/1385*;
- ✓ coronament orizontal cu consolă de susținere dublu circuit, format dintr-o consolă superioară – *CS-I* și o consolă inferioară – *CS-II*.

Caracteristicile constructive ale tuturor coronamentelor enumerate anterior sunt prezentate în mod detaliat în Anexa 1.

În ceea ce privește modul de așezare a conductoarelor izolate pe coronamentele stâlpilor de susținere, precum și a stâlpilor speciali, acesta este pus în evidență în Figurile 10 ÷ 16.

În situația liniilor electrice aeriene de medie tensiune echipate cu conductoare izolate, în vederea eliminării străpungerii izolației, se folosesc coarne de protecție, modul de așezare al acestora fiind prezentat, de asemenea, în Figurile 10 ÷ 16. Pentru fixarea coarnelor de protecție nu este necesară desfacerea izolației conductorului, iar șuruburile se strâng cu un moment de 40 Nm între ghearele clemei care străpunge izolația.

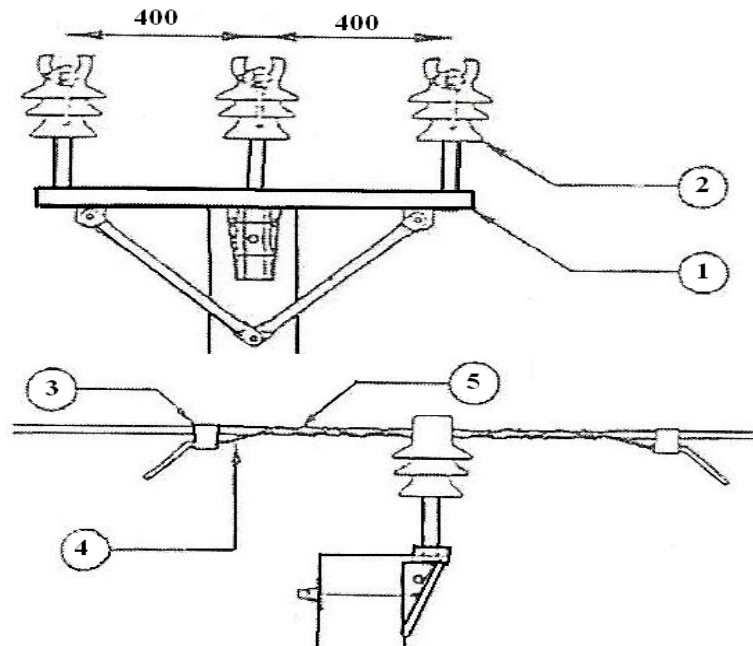


Figura 10 Stâlp de susținere în aliniament, cu consolă orizontală de susținere
1 – consolă orizontală de susținere; 2 – izolator; 3 – corn de protecție împotriva arcului electric;
4 – fir de aluminiu; 5 – legătură

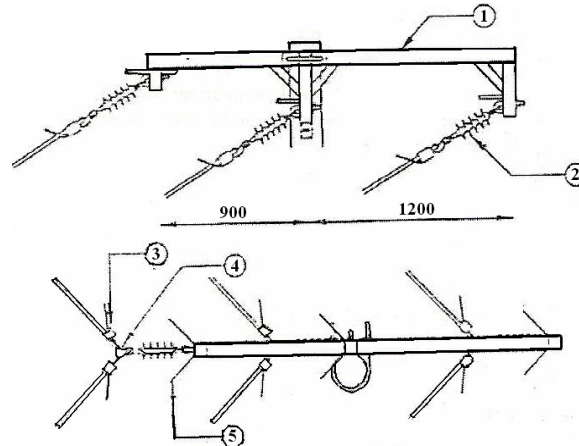


Figura 11 Stâlp de susținere în colț, cu consolă orizontală de susținere în colț
 1 – consolă orizontală de susținere în colț; 2 – izolator; 3 – corn de protecție împotriva arcului electric;
 4 – clemă de susținere PAS 35; 5 – corn de protecție pentru consolă

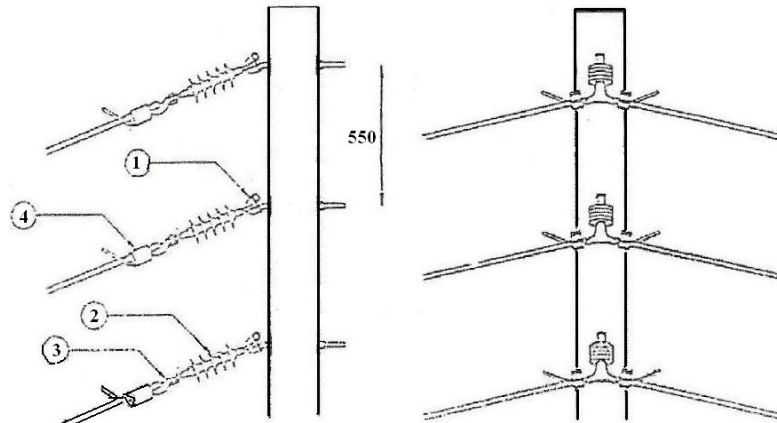


Figura 12 Stâlp de susținere în colț, cu suport de susținere
 1 – consolă orizontală de susținere în colț; 2 – izolator; 3 – corn de protecție împotriva arcului electric;
 4 – clemă de susținere PAS 35; 5 – corn de protecție pentru consolă

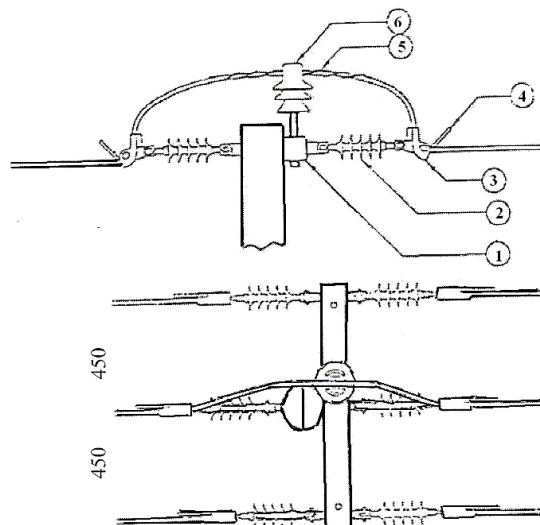


Figura 13 Stâlp de întindere în aliniament, cu consolă de întindere pe stâlp
 1 – consolă de întindere; 2 – izolator; 3 – clemă de întindere PAS 35; 4 – corn de protecție împotriva
 arcului electric; 5 – legătură; 6 – izolator suport.

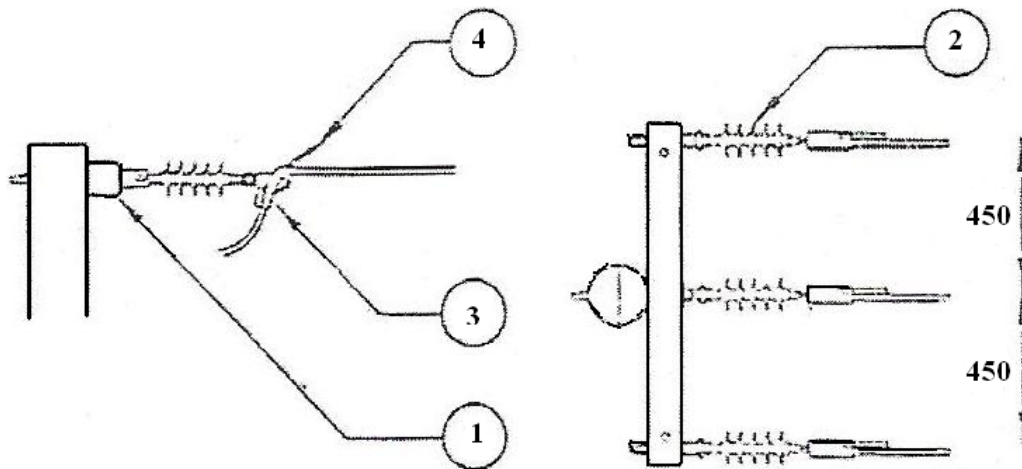


Figura 14 Stâlp terminal, cu consolă de tip terminal
1 – consolă de tip terminal; 2 – izolator; 3 – clemă de întindere PAS 35;
4 – corn de protecție pentru clemă

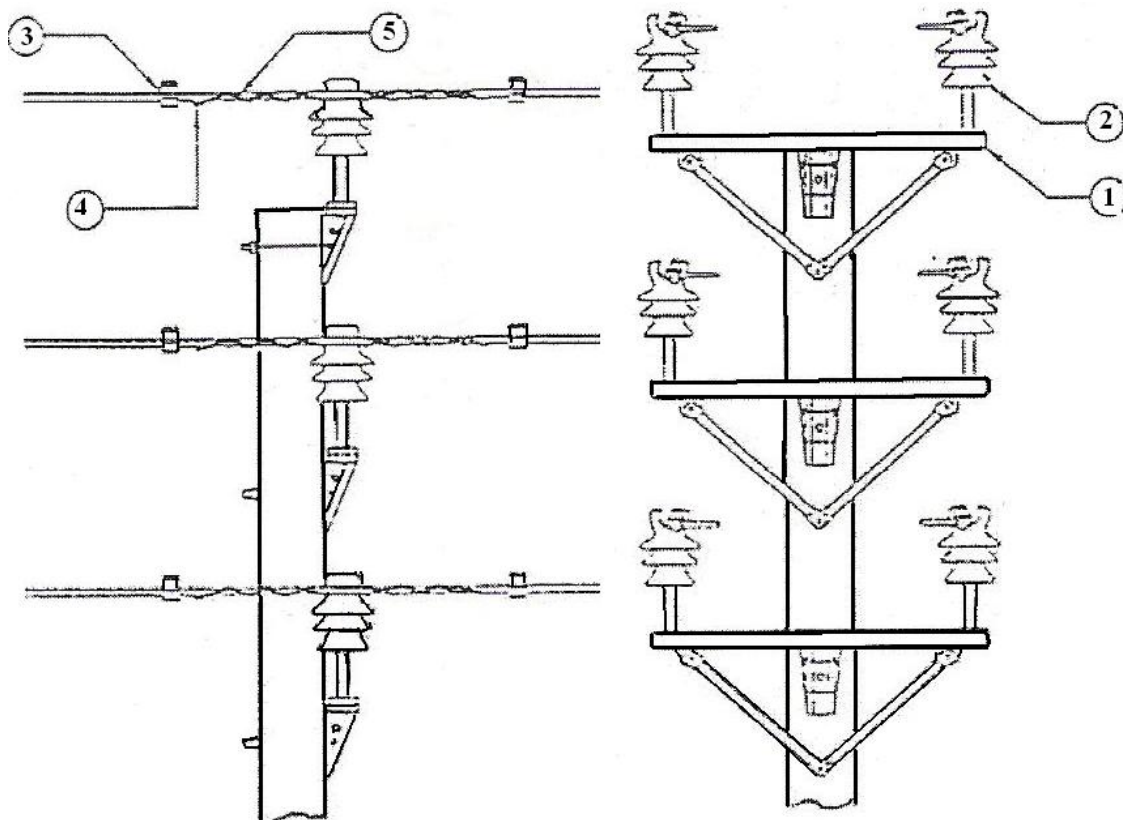


Figura 15 Stâlp de susținere în aliniament, cu consolă orizontală de susținere dublu circuit
1 – consolă orizontală de susținere dublu circuit; 2 – izolator suport; 3 – corn de protecție împotriva arcului electric; 4 – fir de aluminiu; 5 – legătură;

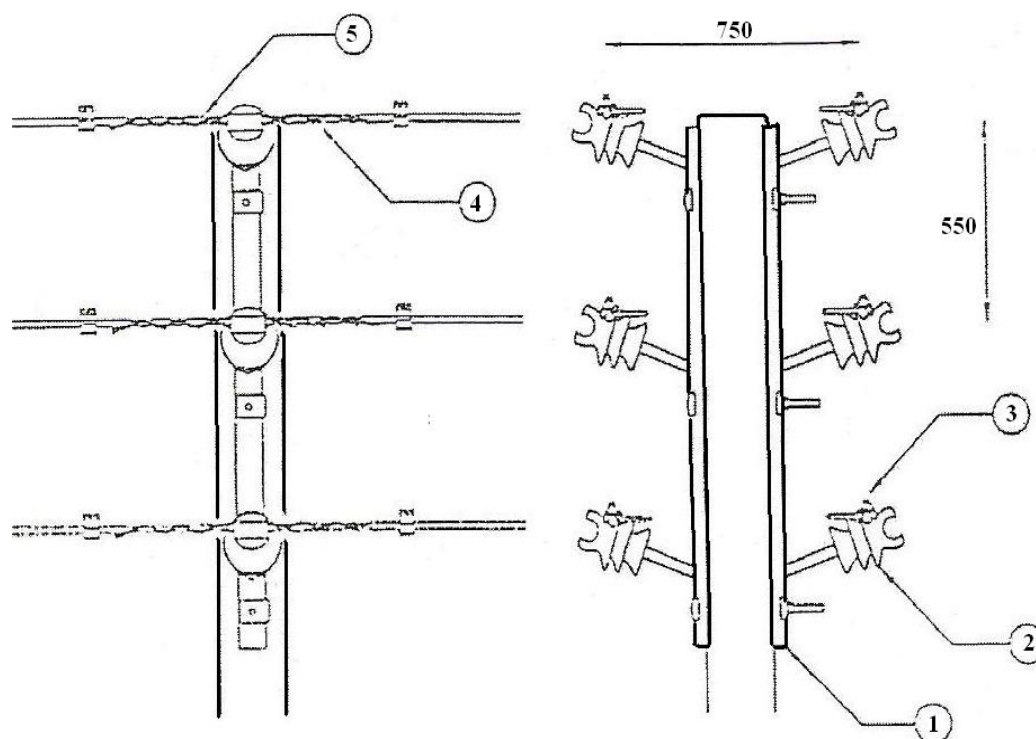


Figura 16 Stâlp de susținere în aliniament, cu consolă orizontală de susținere dublu circuit
 1 – consolă verticală de susținere dublu circuit; 2 – izolator suport; 3 – corn de protecție împotriva arcului electric; 4 – fir de aluminiu; 5 – legătură;

2.2.1. Stâlpi de lemn

În unele țări din Europa, USA, Canada etc., stâlpii de lemn se folosesc pe scară largă la realizarea LEA de medie și joasă tensiune. De asemenea, acest tip de stâlp s-a folosit și în țara noastră și continuă să se folosească și în prezent, pentru rețele de medie și joasă tensiune.

Stâlpii utilizați la construcția liniilor electrice aeriene sunt confecționați din următoarele specii de arbori, prezentate în Tabelul 6.

Specii de arbori folosiți la confecționarea stâlpilor de lemn

Tabelul 6

Denumire comună	Denumire științifică	Origine
Molid	Picea abies	Europa
Brad	Abies	Europa
Larice	Larix decidua	Europa
Cedru	Cedrus	Europa
Pin negru	Pinus nigra	Europa
Pin scoțian	Pinus sylvestris	Europa
Pin	Pinus palustris	America de Nord
	Pinus taeda	America de Nord

Arborii utilizați la fabricarea stâlpilor trebuie recoltați în perioada 1 noiembrie-1 martie, iar partea care se utilizează la confecționarea acestor stâlpi este partea din trunchi, măsurată de la capătul gros, în lungime de 2/3 din lungimea totală a arborelui. Nu se folosesc la confecționarea stâlpilor arbori care au fost doborâți de vânt și zăpadă sau cei care provin din păduri incendiate.

Lemnul destinat confecționării stâlpilor trebuie să fie rectiliniu. Abaterile de la rectiliniaritate se admit într-un singur plan, dacă dreapta care unește centrele secțiunilor ce limitează înălțimea utilă nu iese nici într-un punct din interiorul lemnului, pe toată lungimea sa. De asemenea, se recomandă ca fibra să nu fie răsucită, admitându-se răsuciri în următoarele situații:

- pentru stâlpi cu lungimea mai mică de 10m: 1/2 răsucire pe o lungime de 3m;
- pentru stâlpi cu lungimea cuprinsă între 10 ÷ 14m: 1/2 răsucire pe o lungime de 5m;
- pentru stâlpi cu lungimea de 15m: 1/2 răsucire pe o lungime de 6m.

Caracteristicile tehnice ale stâlpilor din lemn folosiți la construcția liniilor electrice aeriene

Tabelul 7

Tip stâlp	Lungime	Forța normată la vârf	Forța de rupere	Forța de strivire	Diametrul la vârf	Diametrul la bază (minim)
	L [m]	Fn [daN]	Fr [daN]	Fstr [kN]	Dv [cm]	Db [cm]
STÂLPI UȘORI						
S8 - U	8	175	683	79	13 – 15	22
S9- U	9	175	683	66	13 – 15	23
S10 - U	1	175	683	54	13 – 15	24
STÂLPI MIJLOCI						
S9 – M	9	300	1170	150	16 – 19	27,5
S10 – M	10	300	1170	128	16 – 19	28,5
S11 - M	11	300	1170	110	16 – 19	30,0
S12– M	12	300	1170	97	16 – 19	31,0
STÂLPI GREI						
S10 - G	10	600	2340	390	20 – 26	36,6
S11 - G	11	600	2340	332	20 – 26	37,0
S12 - G	12	600	2340	288	20 – 26	38,0
S13 - G	13	600	2340	254	20 – 26	39,5
S14 – G	14	600	2340	227	20 – 26	40,5

Notă: - Forța la vârf acționează la 0,25 m de la vârf;
 - Tabelul 7 este valabil numai pentru *pinul scoțian* care are rezistența la rupere de minimum 538 daN/cm². În cazul altor specii, se vor analiza ofertele furnizorului.

În funcție de eforturile pe care stâlpul trebuie să le suporte în exploatare, stâlpii se clasifică în:

- ✓ *stâlpi simpli*;
- ✓ *stâlpi compuși* (stâlp în A sau stâlp în H).

În funcție de dimensiunile la vârf și la bază și de forța la vârf, stâlpii simpli se clasifică, la rândul lor, în trei categorii (Tabelul 7):

- ✓ *stâlpi ușori;*
- ✓ *stâlpi mijlocii;*
- ✓ *stâlpi grei.*

2.2.2 Stâlpi de beton armat

Stâlpii din beton armat sunt foarte mult utilizați la realizarea liniilor electrice aeriene de 110kV, 20kV și 0,4kV, datorită următoarelor avantaje:

- ✓ rezistență mecanică bună;
- ✓ siguranță în exploatare;
- ✓ cheltuieli de întreținere mai reduse în comparație cu stâlpii metalici;
- ✓ posibilități de tipizare și de execuție industrială;
- ✓ durată lungă de viață.

Dintre dezavantajele stâlpilor din beton armat pot fi menționate:

- ✓ greutate mare;
- ✓ fragilitate la transport și la manipulare;
- ✓ necesitatea unei execuții îngrijite în sectoarele de fabricație;
- ✓ costuri ridicate pentru reparații etc.

Betonul utilizat la execuția stâlpilor pentru liniilor electrice aeriene de 110 kV este de tip B400, iar oțelul beton este de tip PC60 sau PC52, diametrul barelor luate în considerare la calculul de rezistență fiind de cel puțin 10mm. Armăturile pretensionate sunt din sârme amprentate, cu diametrul minim de 5mm sau din toroane cu diametrul sârmelor de cel puțin 3 mm.

Pentru armarea longitudinală se folosesc 6 bare la stâlpii cu secțiune circulară, iar dacă diametrul exterior este de până la 15cm inclusiv, se pot folosi numai 5 bare și minim 4 bare la stâlpii cu secțiune rectangulară.

Stâlpii din beton armat centrifugat folosiți la realizarea liniilor electrice aeriene de 110kV sunt de tip SC 1185, pentru susținere simplu circuit și de tip SC 1187, pentru susținere dublu circuit, sunt reprezentați în figura din Anexa 1.

Caracteristicile stâlpilor din beton armat centrifugat folosii la realizarea LEA de 0,4 kV, 20 kV și 110 kV sunt prezentate în tabelele din Anexa 1.

Stâlpii din beton armat centrifugat sunt realizați din două tronsoane, între armăturile celor două tronsoane existând o legătură electrică. Consolele stâlpilor sunt metalice.

Stâlpii sunt destinați pentru echiparea cu conductoare active din Al-OL de 185/32 mm² și un conductor de protecție din Al-OL întărit de 95/55 mm² sau oțel zincat de 70 mm².

2.2.3 Stâlpi din beton armat vibrat precomprimat

Stâlpii din beton armat vibrat precomprimat sunt stâlpii la care compactarea betonului se realizează prin vibrarea betonului introdus într-un cofraj, frecvența pentru vibrare fiind de 3000-15000 oscilații pe minut. Metoda vibrării prezintă avantajul de scurtare a timpului de realizare a stâlpilor și de obținere a unor stâlpi cu calități superioare din punct de vedere mecanic și rezistenți la agenți atmosferici. Acești stâlpi se utilizează la realizarea liniilor electrice aeriene de medie și joasă tensiune, având secțiuni trapezoidale, iar armăturile sunt aranjate într-o anumită poziție și tensionate astfel încât momentele stâlpilor pe direcția principală să fie maxime.

Betonul armat vibrat precomprimat, utilizat de fabricarea acestor stâlpi, este marca B500. Armăturile de la stâlp sunt preluate la un șurub M 10 la partea superioară, de care se leagă consolele și armaturile și la un al doilea șurub M 10 la partea inferioară a stâlpului, care se leagă la o priză de pământ. După fabricarea stâlpului, cât și înaintea ridicării sale în rețea, este necesar să se verifice continuitatea armăturilor, precum și faptul dacă acestea nu au fost rupte în urma tensionării, ceea ce se realizează prin măsurarea rezistenței armăturii.

Pentru reducerea cantității de beton din stâlp, se utilizează secțiuni în formă de I, profile cu goluri etc. În Anexa 1 sunt prezentate detaliile constructive ale stâlpilor din beton armat vibrat precomprimat folosiți la liniile electrice aeriene de joasă tensiune, iar în tabelul din Anexa 1 sunt prezentate caracteristicile acestor stâlpi pentru liniile electrice aeriene de medie și joasă tensiune.

La liniile electrice aeriene de medie tensiune se utilizează următoarele tipuri de coronamente pentru stâlpii din beton armat:

- coronament orizontal simplu și dublu circuit pentru liniile cu izolație rigidă (Figurile 17 și 18);
- coronament deformabil pentru liniile simplu circuit, cu izolație elastică (Figura 19);
- coronament dezaxat pentru linii simplu circuit cu izolație rigidă (Figura 20);
- coronament elastic pentru linii dublu circuit (Figura 21).

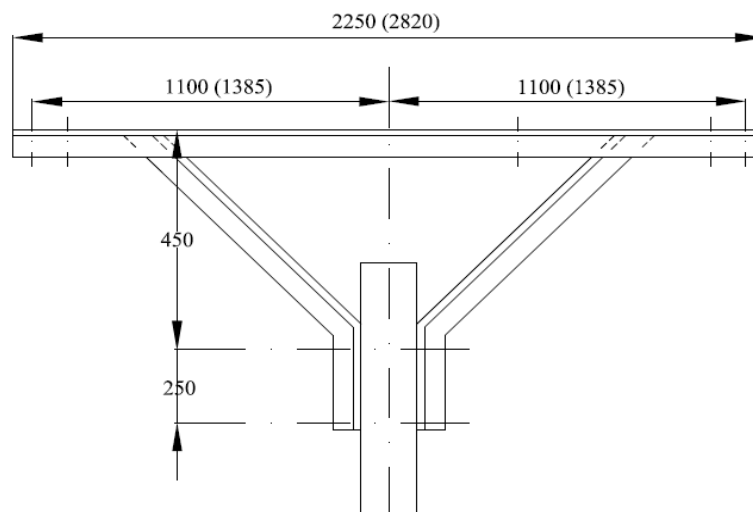


Figura 17 *Coronament orizontal de susținere, simplu circuit CSO 1100/1385*

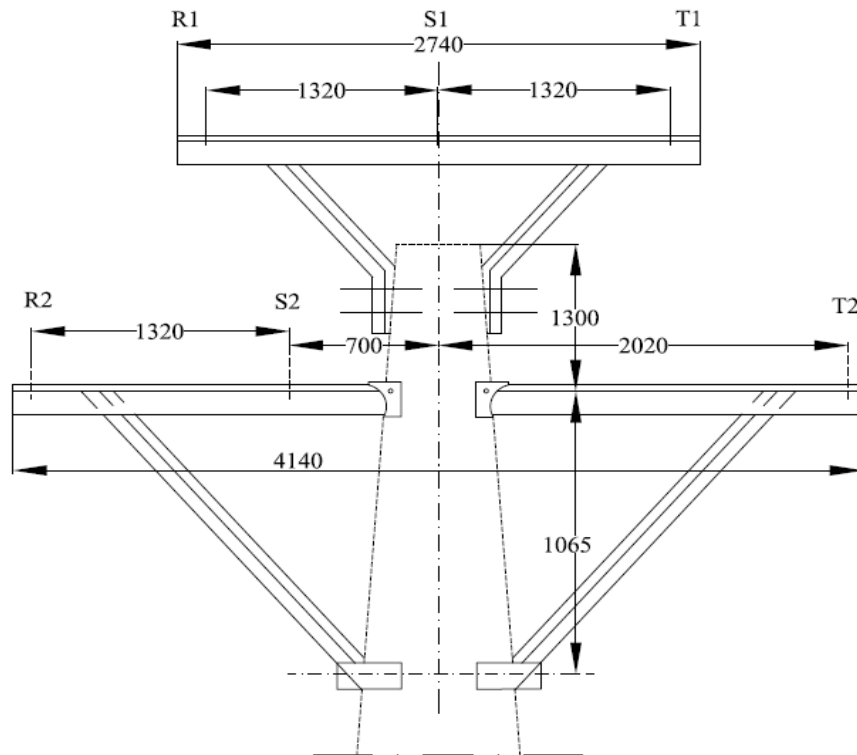


Figura 18 Coronament orizontal de susținere dublu circuit.
(a-consolă superioară CS-I; b-consolă inferioară CS-II)

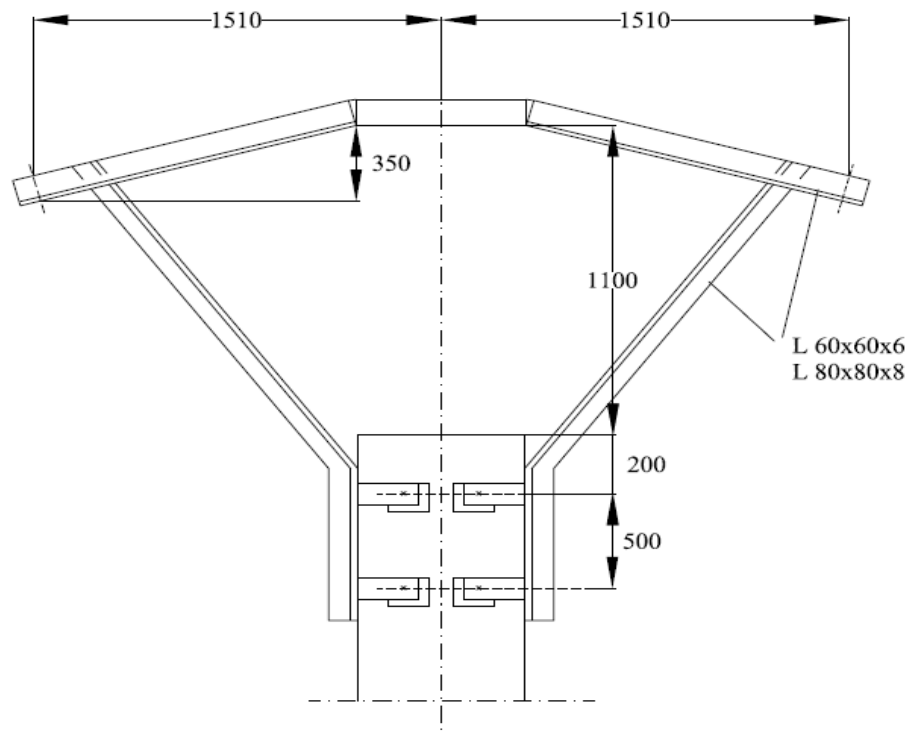


Figura 19 Coronament deformabil de susținere dublu circuit – CIE

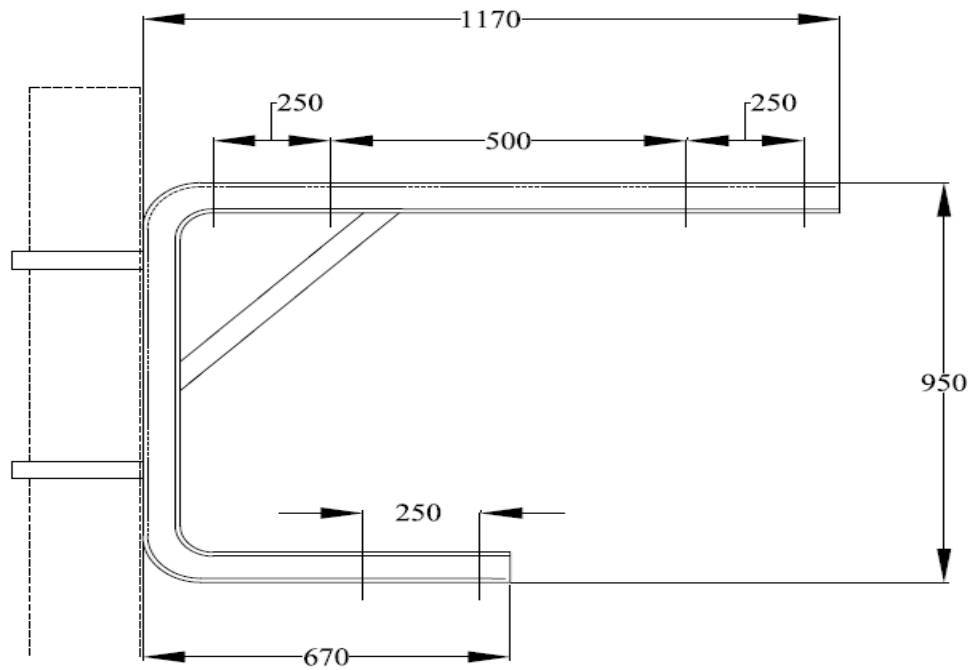


Figura 20 Coronament dezaxat de susținere, simplu circuit – CDS

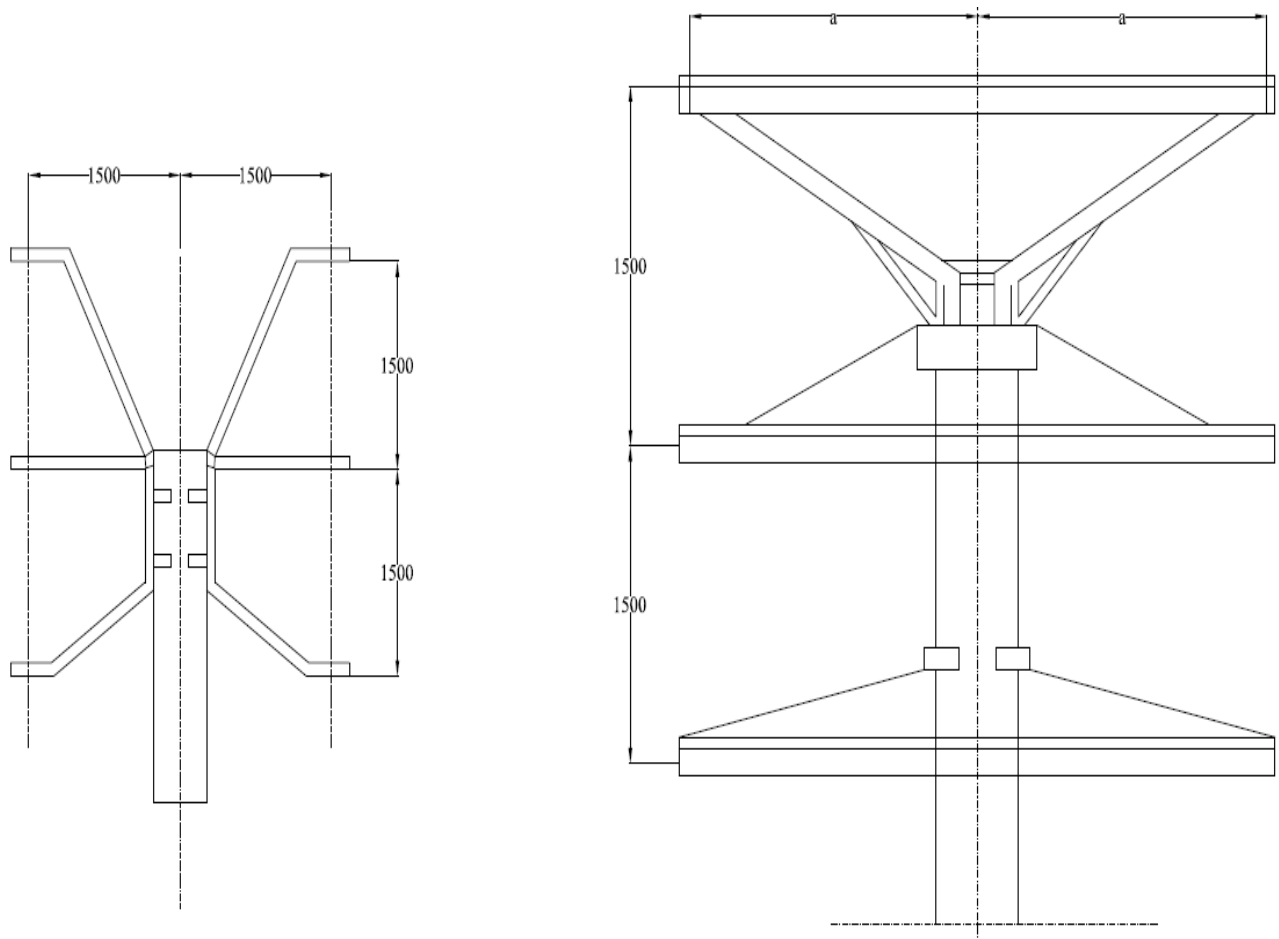


Figura 21 Coronament elastic dublu circuit

2.2.4 Stâlpi metalici

Stâlpii metalici sunt confecționați, în general, din oțel și se folosesc pentru construcția liniilor electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune, respectiv 110 ÷ 750kV, simplu, dublu sau mai multe circuite.

Pentru construcția stâlpilor metalici se folosesc profile laminate din oțel și anume: laminate la cald din oțel carbon, oțel slab aliat, profile cu pereți subțiri formate la rece.

Având în vedere forma tronsoanelor, a coronamentului și a bazei, stâlpii metalici pot fi clasificați astfel:

- stâlpi metalici în formă de turn;
- stâlpi metalici în formă de turn, având coronamentul în formă de Y;
- stâlpi metalici în formă de X;
- stâlpi metalici portal;
- stâlpi cu console izolante.

Stâlpi metalici în formă de turn, cât și picioarele stâlpilor portal pot avea secțiune circulară, triunghiulară, pătrată și dreptunghiulară.

Corpul stâlpului metalic (Figura 22) se compune, în principal, din următoarele părți:

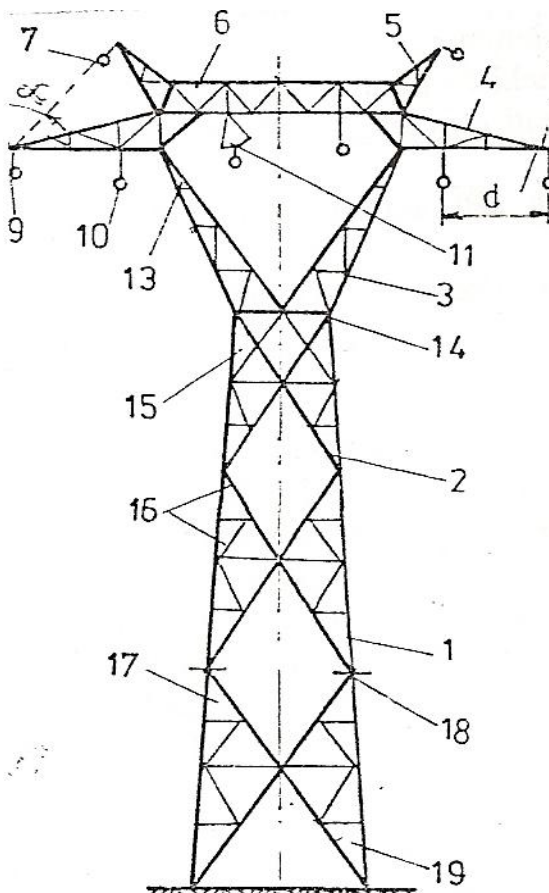


Figura 22 Stâlp metalic cu zăbrele

- 1-montant;
- 2-diagonale;
- 3-furcă;
- 4-consolă;
- 5-suport fir de gardă;
- 6-traversă;
- 7-fir de gardă;
- 8-unghiul de protecție (α);
- 9-lanț de izolatoare;
- 10-conductor activ;
- 11-unghiul viu δ (balansul conductoarelor);
- 12-distanța între conductoare;
- 13-distanța la masă; 14-centură;
- 15-cadru;
- 16-contravânturi;
- 17-nod;
- 18-dispozitiv contra urcării;
- 19-placă indicatoare;
- 20-tronson;
- 21-picior de fundație;
- 22-fundație; 23-trepte.

Montanții care sunt în număr de patru la stâlpii cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară și de trei la cei cu secțiune triunghiulară, sunt executați din corniere. În unele țări se execută stâlpi cu montanți din țevă goală sau umplută cu ciment. Prin felul cum este executat stâlpul, rezultă necesitatea ca montanții corpului să fie din ce în ce mai distanțați, începând de la vârf spre bază, astfel că stâlpul capătă forma unui trunchi de piramidă.

Sistemul de diagonale, format din bare așezate pe fețele laterale ale corpului stâlpului, are rolul de a consolida montanții, formând o construcție cu zăbrele. Diagonalele sunt dispuse înclinat, pe o direcție sau două (diagonale simple sau duble) sau orizontal. Acestea sunt executate din oțel cornier.

Contravântuirile servesc pentru rigidizarea construcției corpului stâlpului, se fixează, de obicei, la capetele tronsoanelor și sunt executate din profile cornier sau U.

Tronsoanele sunt bucăți de lungimi mai mici din corpul stâlpului, care permit transportarea mai ușoară a stâlpului. Ele pot fi confecționate și livrate pentru montaj în diferite sisteme de execuție și anume:

- *tronsoane paralelipipedice sau trunchi de piramidă*, formate din cei patru montanți asamblați și rigidizați prin sistemul de diagonale și contravântuiri;
- *sferturi de tronsoane*, formate din câte un montant și părți de diagonale și contravântuiri;
- *jumătăți de tronsoane*, formate din câte doi montanți și părți de diagonale și contravântuiri;
- *fețe de panouri laterale*.

Coronamentul stâlpului este constituit din ansamblul de console, traverse, vârfare etc., montate în partea superioară a corpului stâlpului și de care sunt suspendate conductoarele active și de protecție. Forma coronamentului, în afară de rezistența mecanică necesară, trebuie să asigure și distanțele normate dintre faze. De obicei, forma coronamentului desemnează și denumește tipul stâlpului (stâlp Y, stâlp cap de pisică, stâlp brad întors, stâlp hexagon etc.). Coronamentul este o construcție relativ ușoară și reprezintă circa 20% din greutatea stâlpului. În Figurile 23 ÷ 26 se prezintă diferite tipuri de coronament pentru unul sau mai multe circuite.

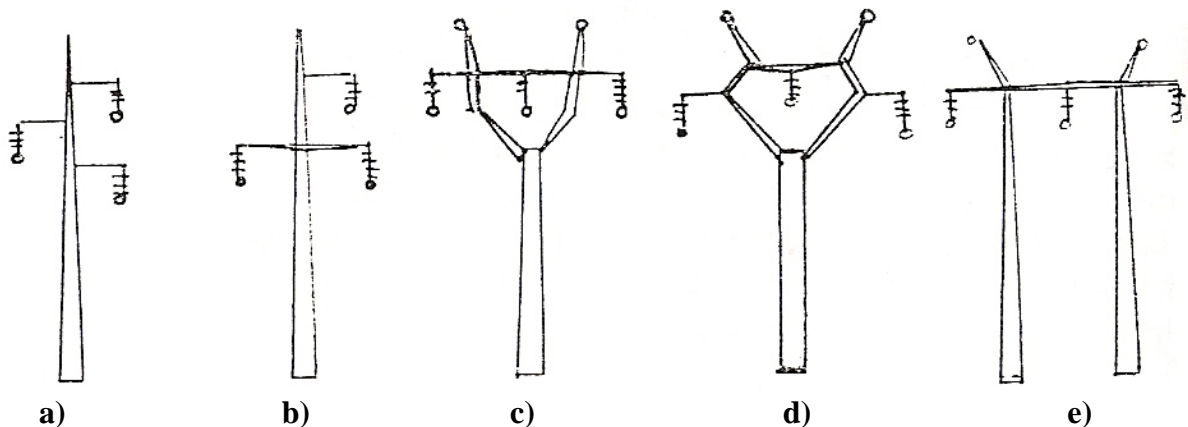


Figura 23 Coronamente de stâlpi cu simplu circuit. (a,b-în triunghi; c-tip Y; d-tip pisică; e-tip portal)

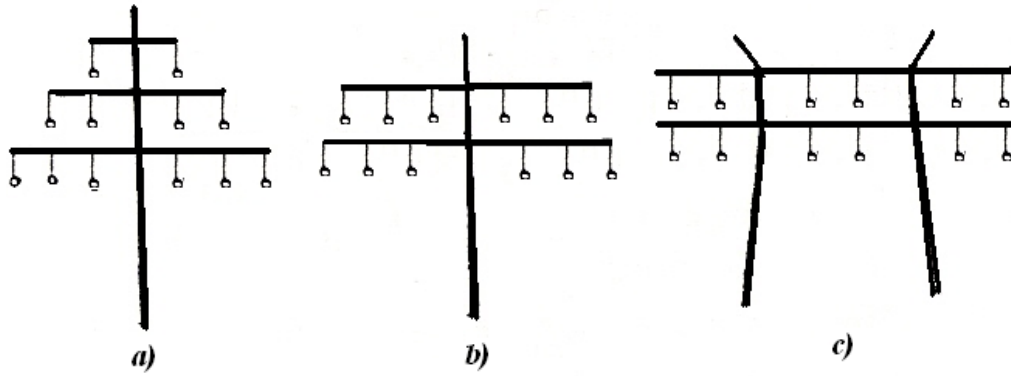


Figura 24. Coronamente ale stâlpilor cu mai multe circuite

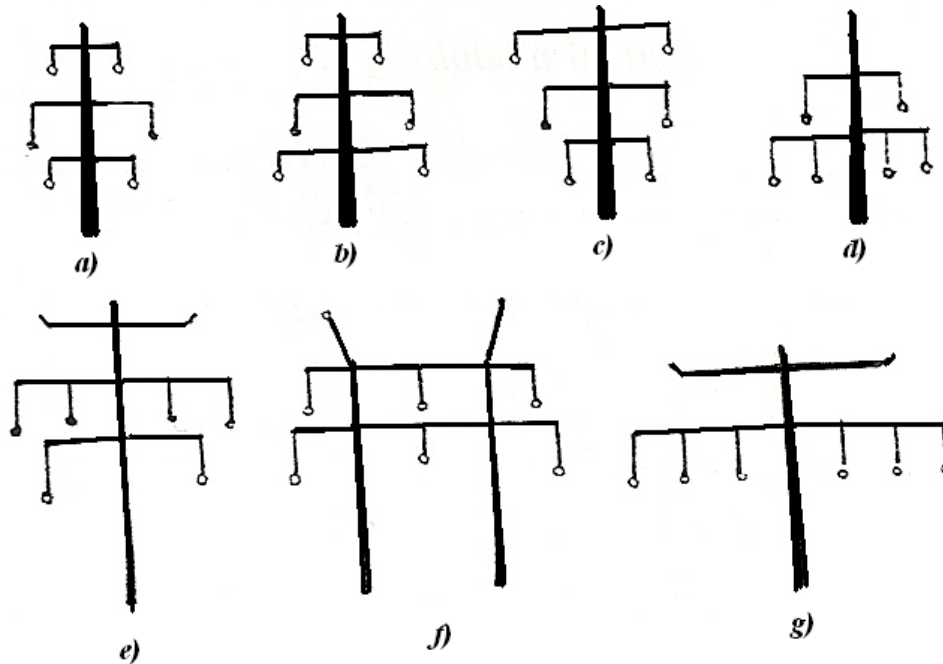


Figura 25 Coronamente ale stâlpilor metalici cu dublu circuit.

(a-hexagon; b-brad; c-brad întors; d-conductoare active situate în două planuri orizontale; e-cu două fire de gardă și conductoare active în triunghi; f-conductoare active în două planuri orizontale; g-conductoare active situate în același plan orizontal)

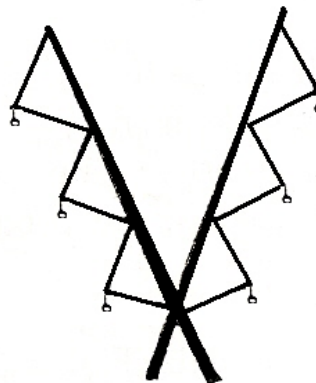


Figura 26 Coronament al unui stâlp cu două circuite, cu console izolante

Din punct de vedere al modului de construcție, stâlpii metalici pot fi împărțiți în următoarele categorii:

- **sudați sau sudați bulonați** – la care tronsoanele sau fețele tronsoanelor sunt formate prin sudarea, în fabrici, a barelor și elementelor componente, iar asamblarea stâlpului se realizează prin buloane, la locul de montaj;
- **bulonați** – la care toate barele și piesele componente se execută în fabrici, la dimensiunile necesare, iar asamblarea stâlpului se face prin buloane, la locul de montaj.

Protecția stâlpilor metalici împotriva ruginii se face prin zincare sau vopsire. Vopsirea se realizează în trei straturi – un strat de grund și un strat de vopsea, aplicate în fabrică, precum și un al doilea strat de vopsea, aplicat pe șantier, după ridicarea stâlpului.

În funcție de tensiune și rolul lor în rețeaua electrică, stâlpii de metal utilizați în România la liniile electrice aeriene de 110 ÷ 750kV se clasifică astfel:

- ◆ Stâlpi metalici sudați pentru LEA de 110kV simplu circuit:
 - de susținere normală tip Sn 110 102;
 - de susținere în colț tip SC 110 106;
 - de întindere și colț tip ICn 110 111;
 - terminal tip ITn 110 114;
 - de întindere în colț tip ICS 110 143;
 - de subtraversare.

Caracteristicile acestor tipuri de stâlpi sunt prezentate în tabelele din Anexa 1.

- ◆ Stâlpi metalici bulonați pentru LEA de 110kV dublu circuit:
 - de susținere normală tip Sn 110 252;
 - de susținere specială tip SS110 256;
 - de întindere și colț tip ICn 110 263;
 - terminal tip IT 110 264;
 - de întindere și colț de subtraversare tip ICn 110 243;
 - terminal cu console în cruce tip ITn 110 244;

Caracteristicile acestor tipuri de stâlpi sunt prezentate în tabelele din Anexa 1.

Stâlpi metalici bulonați și sudați bulonați pentru LEA de 110kV, cu patru circuite:

- Stâlpi bulonați:
 - de susținere normal tip Sn 110 402 – 5bc;
 - de întindere și colț tip ICn 110 412 – 5bc;
 - de întindere și colț tip ICn 110 413 – 5bc;
 - terminal tip ITn 110 414 – 5bc.

- Stâlpi sudați bulonați:
 - de susținere normală tip Sn 110 402 – 5Sbc;
 - de întindere și colț tip ICn 110 412 – 5Sbc;
 - de întindere și colț tip ICn 110 413 – 5Sbc;
 - terminal tip ITn 110 414 – 5Sbc.

Stâlpii cu patru circuite pentru liniile electrice aeriene de 110 kV se utilizează la ieșirea liniilor din stațiile de transformare, în scopul reducerii suprafețelor de teren ocupate, a poluării și a cantităților de metal utilizate pentru confecționarea acestora. De asemenea, acest tip de stâlpi mai este utilizat pentru reducerea culoarului ocupat de linie și pentru transportul unor puteri relativ mari.

- ◆ Stâlpi metalici sudați pentru LEA de 110kV, cu utilizare specială:
 - de susținere și subtraversare tip Sys 110 142;
 - de întindere în colț de subtraversare tip ICs 110 143;
 - de întindere în colț de subtraversare tip ICs 110 243;
 - terminal cu console în cruce tip ITn 110 244;
- ◆ Stâlpi metalici sudați bulonați pentru LEA de 220kV dublu circuit:
 - de susținere normală tip Sn 220 201;
 - de susținere normală tip Sn 220 202;
 - de întindere în colț tip ICn 220 212;
 - de întindere în colț tip ICn 220 213;
 - terminal tip ITn 220 214.

Caracteristicile acestor tipuri de stâlpi sunt prezentate în tabelele din Anexa A1.

Stâlpi metalici pentru LEA de 400kV:

- Stâlpi metalici sudați pentru LEA de 400kV simplu circuit:
 - de susținere tip PAS 400 102 - 5Sc;
 - portal ancorat de susținere specială tip PAS 400 103 – 5Sc;
 - de susținere normală cu cleme de reținere tip Sny 400 104 – 5Sc;
 - de susținere în colț tip Scy 400 106 – 5Sc;
 - portal ancorat de susținere în colț tip PASC 400 109 – 5Sc;
 - de întindere și colț tip ICn 400 112 – 5Sc;
 - de întindere și colț tip ICny 400 113 – 5Sc;
 - terminal tip ICn 400 113.
- Stâlpi metalici bulonați pentru LEA de 400kV simplu circuit:
 - de susținere tip PAS 400 102 – 53B;
 - portal ancorat de susținere specială tip PAS 400 103 – 53B;
 - de susținere, normal, cu cleme de reținere a conductorului tip Sny 400 104 –53B;

- de susținere special cu cleme de reținere a conductorului tip Sny 400 105 – 53B;
 - de întindere în colț tip ICn 400 112 – 53B;
 - de întindere și colț tip ICn 400 113 – 53B;
 - terminal monofazat tip ITn 400 114 – 53B.
- Stâlpi metalici sudați bulonați pentru LEA de 400kV dublu circuit:
 - de susținere normal tip Sn 400 202 – 5Bc;
 - de susținere normal tip Sn 400 203 – 5Bc;
 - de susținere normal tip Sn 400 204 – 5Bc;
 - de susținere în colț tip Sc 400 206 – 5Bc – M1;
 - de susținere în colț tip Sc 400 206 – 5Bc – M2M2a;
 - de întindere în colț tip ICn 400 212 – 5SBc – M2;
 - de întindere în colț tip ICn 400 213 – 5SBc – M1;
 - de întindere în colț tip ICn 400 213 – 5SBc – M2;
 - de întindere în colț tip ICn 400 213 – 5SBc;
 - de întindere în colț tip ICn 400 215 – 5SBc;

Notă: **S** – sudat; **B** – bulonat ; **M1** și **M2** – montaj.

Caracteristicile acestor tipuri de stâlpi sunt prezentate în tabelele din Anexa 1.

- ◆ Stâlpi metalici pentru LEA de 750kV tip portal.

În figurile din Anexa 1, sunt reprezentate principalele tipuri de stâlpi metalici folosiți la construcția LEA de 110 kV, 220 kV și 400 kV, simplu și dublu circuit.

3. Modul de desfășurare a lucrării

- Se vor recunoaște tipurile de materiale folosite la realizarea conductoarelor LEA, cu principalele lor proprietăți mecanice și fizice.
- Studenții vor identifica toate tipurile de conductoare existente în colecția laboratorului de TDEE și vor indica, pentru fiecare tip în parte, modul de simbolizare.
- Se vor identifica diferitele tipuri de console, pentru stâlpii de medie tensiune, existente în laborator și se vor analiza diversele tipuri de stâlpi (lemn, beton armat, metalici) prezentați în lucrare și în anexa I, precum și modul de simbolizare a acestora.

Bibliografie

1. **Georgescu Gh.**, *Sisteme de distribuție a energiei electrice*, Editura Politehniun, Iași, 2007.
2. **Georgescu Gh., Neagu B.**, *Proiectarea și exploatarea asistată de calculator a sistemelor publice de repartiție și distribuție a energiei electrice*, vol. 1, partea I-a, Editura Fundației Academice AXIS, Iași, 2010.
3. **Georgescu Gh.**, *Transportul și distribuția energiei electrice. Lucrări practice de laborator*, Editura Politehniun, Iași, 2005.