

Tipuri de trăsnete. Caracteristici ale curentului de trăsnet

În interiorul norului de furtună sunt inițiate și se dezvoltă canale de descărcare care pot să se finalizeze în diferite tipuri de descărcări. Putem clasifica descărcările atmosferice în patru categorii, ilustrate în figura 1:

- **Tipul 1:** descărcare intra-nor (se produce în totalitate în interiorul unei celule orajoase);
- **Tipul 2:** descărcare inter-nor (se produce între doi sau mai mulți nori diferiți);
- **Tipul 3:** descărcare în spațiu (descărcarea atmosferică nor-aer);
- **Tipul 4:** descărcare nor-pământ sau *trăsnet* (descărcarea ce se produce între nor și sol).

Descărcările de tipul 1 (intra-nor), 2 (inter-nori) respectiv 3 (nor-aer) sunt canale de descărcare care nu se finalizează pe suprafața solului. Ele reprezintă 82-90 % din totalul descărcărilor produse în cadrul unei manifestări orajoase; li se asociază în special efecte electromagnetice (prin câmpul electromagnetic emis în diferite benzi de frecvență).

Descărcările de tipul 4 (nor-pământ), denumite în limbaj curent *trăsnete*, ating puncte de pe suprafața solului sau de pe diferite obiecte de pe sol. Sunt prezente în număr mult mai mic în ansamblul descărcărilor produse de o manifestare orajoasă (10-18 %). Li se asociază însă efecte mecanice, termice, electromagnetice care pot avea consecințe severe asupra structurilor lovite.

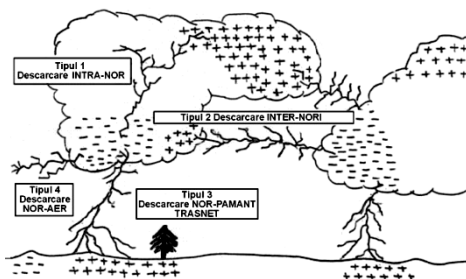


Fig. 1. Principalele tipuri de descărcări electrice atmosferice clasificate în funcție de punctul de inițiere și cel de finalizare al canalului descărcării

Trăsnetele se clasifică în patru categorii, funcție de două criterii: polaritatea sarcinii electrice transferată la sol (pozitivă sau negativă) și direcția de propagare în spațiu (ascendentă sau descendentă). Pentru fiecare dintre cele patru categorii, în figura 2 este reprezentat primul stadiu al descărcării, constând dintr-un canal de descărcare cu caracteristici de lider denumit *precursor*. Cele patru tipuri de trăsnete sunt (a) trăsnet descendent negativ, (b) trăsnet ascendent negativ, (c) trăsnet descendent pozitiv, (d) trăsnet ascendent pozitiv. Din totalul trăsnetelor înregistrate într-o zonă dată, tipul (a) trăsnet descendent negativ reprezintă circa 90 % din totalul descărcărilor nor-pământ restul de 10 % fiind trăsnete descendente pozitive, cele două tipuri menționate fiind reprezentative pentru trăsnetul natural. Trăsnetele ascendente, negative (b) sau pozitive (d) sunt de regulă inițiate de la sol, de pe structuri cu înălțimi depășind 100 m sau de pe obiecte de înălțime uzuală însă amplasate în zone montane la altitudini mari.

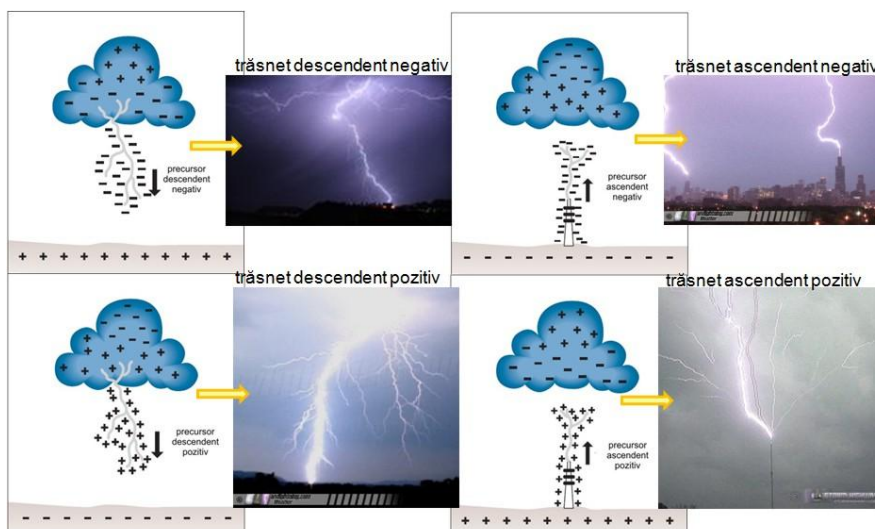


Fig. 2. Tipuri de trăsnete. Schițele surprind primul stadiu din evoluția descărcării (precursorul); imaginile asociate sunt fotografii statice ale unor evenimente considerate ca fiind reprezentative pentru caracteristicile vizuale ale descărcării.

După ce stabilește contactul galvanic dintre sarcina electrică spațială din nor și un punct de pe suprafața solului, canalul precursorului este parcurs de un impuls de curent prin care sarcina electrică distribuită în lungul canalului descărcării și o parte din sarcina electrică spațială la care acesta este atașat în interiorul norului de furtună sunt transferate la sol. Acest stadiu poartă numele de *descărcare principală* iar ansamblul de evenimente precursor – descărcare principală formează o *secvență*. După o pauză de activitate, pe canalul remanent al primei secvențe poate să se dezvolte un al doilea lider, denumit de această dată *lider săgeată* (datorită vitezei mult mai mari de propagare), urmat de o nouă descărcare principală. Ansamblul de evenimente lider-săgeată - descărcare principală formează o *secvență subsecvență*, denumită așa pentru a marca diferența specifică în raport cu prima secvență. Un trăsnet descendent poate fi *singular* (constând numai din prima secvență), sau *multiplu* (format dintr-o succesiune de secvențe separate prin pauze de activitate). În pauza dintre două secvențe succesive, canalul remanent al descărcării poate să fie

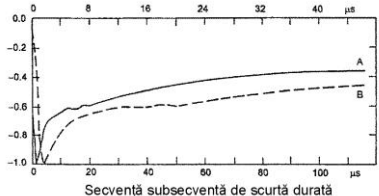
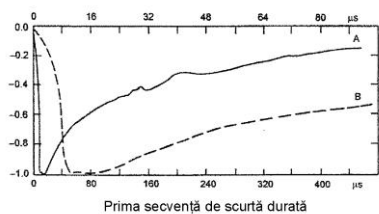
sediul circulației unui curent continuu; acest eveniment este denumit *secvență de lungă durată*. Prin curent de trăsnet este desemnat curentul de conducție care circulă (și poate fi măsurat) prin secțiunea de contact dintre canalul descărcării și punctul de la sol la care acesta s-a atașat, denumit și *punct de impact*.

Dintre diferitele etape din evoluția unui trăsnet, descărcarea principală este etapa care a concentrat atenția cercetătorilor atât din considerente practice (circulația de curent pe durata descărcării principale stă la originea efectelor electromecanice, termice, chimice și electromagnetice ale trăsnetului) cât și din considerente ținând de posibilitățile efective de observare experimentală și măsurare ale fenomenului. Într-adevăr, emisia de radiație în spectrul vizibil este maximă pe durata descărcării principale, ceea ce conferă acesteia calitatea de proces optic înregistrabil cu mijloace specifice, iar emisia de radiație electromagnetică în bandă largă asociată tot acestui stadiu, constituie amprenta electromagnetică a trăsnetului identificabilă până la distanțe foarte mari de sursă.

Pentru dezvoltarea oricărui sistem performant de măsurare este necesară specificarea în domeniul timp și frecvență a măsurandului. Curentul de trăsnet, măsurat la baza canalului în zona punctului de impact, are caracteristici diferite în funcție de rangul secvenței și polaritatea acesteia. În general, circulația de curent conține unul sau mai multe impulsuri de curent (secvențe de scurtă durată inițiale și subsecvente) sau circulație continuă de curent (secvență de lungă durată). Majoritatea înregistrărilor curentului de trăsnet la baza canalului, provin de la turnuri instrumentate (relee radio sau antene de emisie TV) care au fost echipate cu șunturi coaxiale. Într-o perioadă de peste 80 da ani de observare, s-a acumulat o selecție de peste 350 de înregistrări provenind din diferite zone geografice: Elveția (Monte San Salvatore) [1-3], Italia [4], Africa de Sud [5], Rusia [6], Austria [7]. Selecția a fost limitată la înregistrări de curent efectuate pe durata unor evenimente de tip trăsnet descendent de polaritate negativă sau pozitivă, considerat ca fiind reprezentativ pentru fenomenul natural. Au fost eliminate din selecție înregistrările aparținând evenimentelor de tip trăsnet ascendent (negativ sau pozitiv) al căror mecanism de inițiere implică prezența unor structuri înalte. Analiza statistică a înregistrărilor disponibile, efectuată în câteva etape [8,9] a condus la o serie de rezultate privind forma și valorile tipice ale parametrilor, ce vor fi expuse pe scurt în cele ce urmează.

Trăsnete descendente negative – prima secvență și subsecvențele de scurtă durată.

Considerând selecția de înregistrări disponibile ca un eșantion de realizări provenind dintr-o familie de funcții aleatoare cu caracteristici comune, în [8] se stabilește funcția mediană atât pentru secvențele inițiale cât și pentru cele subsecvente. Funcțiile mediane sunt reprezentate în figura 3.a iar valori tipice ale parametrilor sunt centralizate în tabelul 1 reprezentat în figura 3.b.



Tabelul 1

Valori tipice pentru parametrii de formă ai secvențelor de scurtă durată, trăsnete descendente negative prima secvență și subsecvente

Parametrul	Unitate	n	Valori depășite cu probabilitatea		
			95%	50%	5%
<i>Valoare de vârf</i>	kA				
- prima secvență		101	14	30	80
- secvențe subsecvente		135	4,6	12	30
<i>Durata frontului</i>	μs				
- prima secvență		89	1,8	5,5	18
- secvențe subsecvente		118	0,22	1,1	4,5
<i>Durata semiamplitudinii</i>	μs				
- prima secvență		90	30	75	200
- secvențe subsecvente		115	6,5	32	140
<i>(dI/dt)_{MAX}</i>	kA/μs				
- prima secvență		92	5,5	12	32
- secvențe subsecvente		122	12	40	120
<i>Interval de timp între secvențe</i>	ms	133	7	33	150
<i>Durata trăsnetului</i>	ms				
- toate trăsnetele		94	0,15	13	1100
- numai trăsnete multiple		39	31	180	900

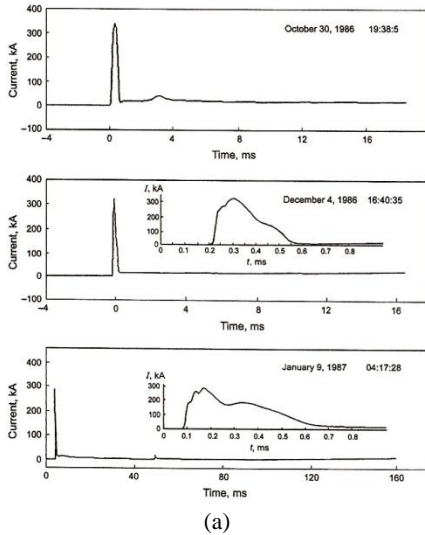
(a)

(b)

Fig. 3. Secvențe de scurtă durată inițiale și subsecvente: forma mediană (50% probabilitate de realizare) reprezentată cu două scări de timp diferite A și B. Scara de timp pentru curbele A (reprezentate cu linie plină) este cea din partea de jos a fiecărui grafic, scara de timp pentru curbele de tip B (reprezentate cu linie întreruptă) este cea din partea de sus a fiecărui grafic. Adaptare după [8].

Trăsnete descendente pozitive – prima secvență și subsecvențele de scurtă durată.

Trăsnetele de polaritate pozitivă reprezintă cca. 10% din totalul trăsnetelor fiind deci mai greu de observat. Datele acumulate până în prezent, sugerează faptul că trăsnetul descendent pozitiv, deși este caracterizat printr-o probabilitate de apariție mai mică în raport cu cel negativ, reprezintă o solicitare pe ansamblu mai severă decât acesta: cea mai mare valoare de vârf înregistrată (300 kA) a fost asociată unui trăsnet descendent pozitiv iar sarcina electrică transferată la sol atinge valori extreme de ordinul sutelor de coulombi. Figura 3.a și b centralizează câteva date caracteristice pentru acest tip de descărcare.



Tabelul 2
Valori tipice pentru parametrii de formă ai secvențelor de scurtă durată, trăsnete descendente singulare.

Parametrul	Unitate	n	Valori depășite cu probabilitatea		
			95%	50%	5%
Valoare de vârf	kA	26	4,6	35	250
Durata frontului	μs	19	3,5	22	200
Durata semiamplitudinii	μs	16	25	230	2000
$(di/dt)_{MAX}$	kA/μs	21	0,20	2,4	32
Durata trăsnetului	ms	24	14	85	500

Fig. 4. Trăsnet descendent de polaritate pozitivă, evenimente singulare. Pentru două dintre evenimente, secvențele de scurtă durată sunt reprezentate folosind două scări de timp. Adaptare după [10].

Trăsnete descendente negative și pozitive – secvențe de lungă durată

Secvența de lungă durată, este caracterizată de circulația unui curent de ordinul câtorva zeci până la sute de amperi, care apare după producerea unei descărcări principale (prima descărcare principală sau subsecvențe), curentul menținându-se la baza canalului pe durate de ordinul $10 \dots 10^2$ ms. Transferă la sol cantități importante de sarcină electrică și din acest motiv sunt considerate responsabile pentru cele mai severe manifestări ale efectelor termice ale trăsnetului. Pentru ilustrarea acestui tip de secvență, în figura 5 este prezentată o oscilogramă preluată din [2] înregistrată pe durata unui trăsnet descendent negativ cu ordin de multiplicare 8; ultima secvență de scurtă durată este urmată de o secvență de lungă durată.

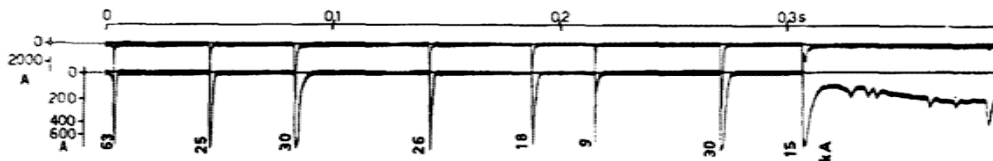


Fig. 5. Secvență de lungă durată într-un trăsnet descendent negativ multiplu. Pe figură sunt suprapuse 2 oscilograme ale aceluiași eveniment realizate cu aceeași sensibilitate orizontală (timp) dar cu sensibilități verticale diferite (curent). Evenimentul conține 8 secvențe de scurtă durată cu valori de vârf diferite (63, 25, ...) kA și o secvență de lungă durată. Adaptare din [2].

Parametrii menționați în tabelele 1 și 2 sunt variabile aleatoare distribuite cu densități de probabilitate log-normale ale căror valori tipice pot fi găsite în [11], de unde au fost preluate și incorporate standardului SR EN 62305-1. Forma standardizată adoptată în [12] pentru specificarea celor două tipuri de secvențe este prezentată în figura 6. În aceeași figură sunt definiți principalii parametri de formă.

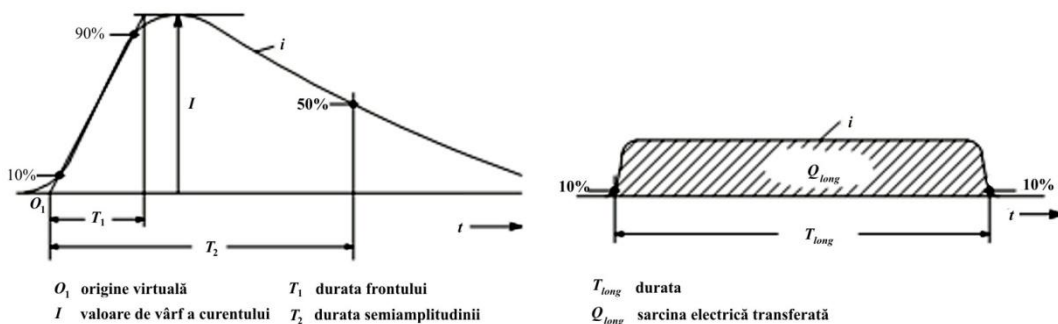
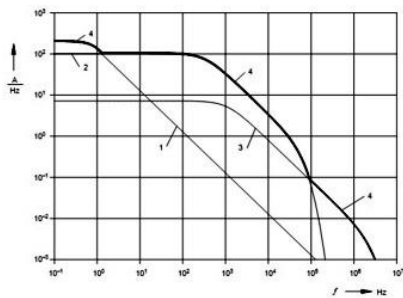


Fig. 6. Forme standardizate pentru secvența de scurtă durată (a) și de lungă durată (b) și definițiile principalilor parametri.

Reprezentarea în domeniul frecvență a secvențelor de scurtă și lungă durată conduce la densitățile spectrale din figura 7.a. Densitățile au fost calculate pentru valori considerate extreme ale parametrilor de formă, [12].



(a)

1	secvență de lungă durată	400 A	0,5 s
2	prima secvență de scurtă durată	200 kA	10/350 μ s
3	secvență de scurtă durată subsecvență	50 kA	0.25/100 μ s
4	Curba înfășurătoare		

(b)

Fig. 7. Densități spectrale ale secvențelor de scurtă și lungă durată calculate pentru variații considerate extreme ale curentului.

Un sistem de măsurare apt să reproducă corect toate tipurile de secvențe de curent trebuie să fie de bandă largă cu o frecvență limită superioară de ordinul 10 MHz.

Bibliografie

- [1] Berger K. - *Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947-1954 auf dem Monte San Salvatore*. Bull. Schweiz. Elektrotech. Ver. 46: 405-24, 1955
- [2] Berger K. and Vogelsanger E. - *Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1955-1963 auf dem Monte San Salvatore*. Bull. Schweiz. Elektrotech. Ver. 56: 2-22, 1965
- [3] Berger K. - *Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963-1971*. Bull. Schweiz. Elektrotech. Ver. 63: 1403-22, 1972.
- [4] Garbagnati E., Lo Piparo G.B., *Stazione sperimentale per il rilievo delle caratteristiche dei fulmini*, L'Elettrotecnica, Vol LVII, No. 7, pp. 388-397, 1970.
- [5] Eriksson A.J - *The measurements of lightning and thunderstorm parameters*, C.S.I.R special Report, Elek. 51, Pretoria 1974.
- [6] Gorin B.N. and Shkilev A. V. - *Measurements of lightning currents at the Ostankino tower*, Elektrichestvo, No. 8, 1984.
- [7] Beierl O. - *Front shape parameters of negative subsequent strokes measured at the Peissenberg tower*, 21st International Conference on Lightning Protection, Berlin, September 21-25, 1992.
- [8] Berger K., Anderson R.B. and Kröninger H.- *Parameters of lightning flashes*. Electra. No. 41, 1975.
- [9] Anderson R.B, Eriksson A. J, *Lightning parameters for engineering application*, Electra, No. 69, 1980.
- [10] Goto, Y. and Narita, K.- *Electrical characteristics of winter lightning*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 57, pp 449-59, 1995
- [11] CIGRE SC33 WG 01 (Lightning) – *Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission lines*. Paris, october 1991
- [12] SR EN 62305-1 – *Protecția împotriva trăsnetului. Partea 1. Principii generale* 2006
- [13] Ileana Baran, Stoica S. - *Featuring the thunderstorm activity using lightning data provided by the Romanian Lightning Detection and Location Network*. IEEE PES Powertech 2009, Bucharest, rap. 267 (6pp)
- [14] Jun Kato, Tetsuya Tominaga, Nobuo Kuwabara - *Improved frequency characteristics of large Rogowski coil using lightning surges observation*. Proceedings of IEEE International Symposium on EMC, Tokyo, Japan, 1999, pp. 310-313
- [15] Jun Takami, Shigemitsu Okabe - *Observational results of Lightning Current on Transmission Towers*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, Jan. 2007, pp. 547-556
- [16] Zhou Wenjun, Wang Tao, Yu Jianhui, Zhang Shengfa, Cao Lijuan - *Study on Real-time Lightning Current Monitoring System for Overhead Wire* 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Chongqing, China, November 9-13, 2008
- [17] Haruki H., Sunaga M., Kimata R., and Katoh J. - *Development of a Lightning Current Waveform Measuring System for 500 kV Overhead Transmission Lines*. IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 4. No. 3, July 1989, pp, 1891-1897
- [18] Mata C. T., Rakov V. A., Rambo K. J., Diaz P., Rey R., Uman M.A. – *Measurement of the division of lightning return stroke current among the multiple arresters and grounds of a power distribution line*. IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 18, No. 4, Oct. 2003, pp, 1203-1208
- [19] Ruiz. D and others – *A new concept in lightning parameters measurement*. Journal of Electrostatics, Vol. 67, May 2009, No. 2-3, pp. 496-500