

Posúdenie technológií včasnej emisie výbojov

Olivier HYVERNAGE - Dominique CHARPENTIER

Certification Division CERT

INERIS

Verneuil-en-Halatte, France

olivier.hyvernage@ineris.fr

Abstrakt - Tento dokument je venovaný prezentácii správy INERIS¹ týkajúcej sa technológií včasnej emisie výbojov a aspektov, ktoré sa podieľajú na hodnotení týchto technológií pri uplatňovaní normy NF C 17-102 (september 2011) a doplnkových testov v teréne.

Kľúčové slová - ochrana pred bleskom, včasná emisia výbojov (ESE), tyčový bleskozvod (LR), účinnosť, skúšky

I. ÚVOD: KONTEXT A METODIKA

INERIS, verejné zariadenie pod dohľadom Francúzskeho Ministerstva životného prostredia je poverené pomáhať predchádzať rizikám pre zdravie a bezpečnosť jednotlivcov a integritu majetku a jasne aj životného prostredia. INERIS vykonáva program výskumných programov zameraných na zlepšenie porozumenia fenoménu, ktoré pravdepodobne povedú k rizikovým situáciám a budú sa rozvíjať odborné znalosti v oblasti prevencie. Jeho vedecké a technické zručnosti sú k dispozícii štátnym orgánom, spoločnostiam a miestnym orgánom s cieľom pomôcť orgánom prvého stupňa dosiahnuť maximum príslušného rozhodnutia s cieľom zvýšiť bezpečnosť životného prostredia.

INERIS bolo poverené francúzskym ministerstvom Životného prostredia (MEEM) revíziou správy „Etude des Paratonnerres à Dispositif d'Amorçage " (Štúdia o ESE), verzia 2001 (referencia: DCE-2000-25265f), aby sa začlenili zmeny noriem a štandardov technologického vývoja vo vzťahu k včasnej emisii výboja (ESE).

Táto správa bola úplne prepracovaná a zahŕňa zmeny podľa normy NF C 17-102 (september 2011) a informácie poskytované výrobcami, normalizačnými orgánmi a najnovšie vedecké publikácie. Táto správa sa týka výlučne výkonov ESE a nesnaží sa porovnávať

technológiu s inými technológiami, ako sú zachytávacie tyče (LR – lightning rod), mrežové siete alebo hrebeňové vedenia.

Výrobcom bol zaslaný dotazník pre získanie informácií o najnovšom technickom vývoji a lepšie tak začleniť pokrok dosiahnutý za posledných 15 rokov charakterizujúci tieto zachytávače. Väčšina výrobcov vo všeobecnosti odpovedala na tento dotazník priložením technickej dokumentácie, správy o skúškach a vedecké publikácie.

INERIS netestoval výkonnosť týchto zariadení.

Informácie poskytli 9 z 12 konzultovaných francúzskych a európskych výrobcov. Výrobcovia ESE v nasledujúcom zozname poskytli technické informácie spoločnosti INERIS.

Výrobca	Krajina pôvodu výrobcu
ABB France	Francúzsko
ADEE ELECTRONIC	Francúzsko
DUVAL MESSIEN	Francúzsko
ERICO (PENTAIR)	USA/Francúzsko
France PARATONNERRE	Francúzsko
FRANKLIN France	Francúzsko
INDELEC	Francúzsko
ORWELS / PIORTEH	Poľsko/Francúzsko
SAP	Francúzsko

¹ Report ref DSC-16-156206-10594A

INERIS nebude vydávať stanoviská k výrobkom výrobcov ESE, ktorí neodpovedali na žiadosť o informácie.

II. VČASNÁ EMISIA VÝBOJA: HISTÓRIA A PRINCÍPY FUNGOVANIA

Vzdušné terminály na ochranu proti bleskom s včasnou emisiou výboja (ESE) sa objavili v roku 1984, pôvodne vo Francúzsku a neskôr v Španielsku, ktoré boli tiež prvými krajinami, ktoré prijali špecifické normy (NF C 17-102 vo Francúzsku, UNE 12 186 v Španielsku). Tento typ vzdušného terminálu v súčasnosti predávajú zahraniční výrobcovia (európski, americkí, čínski, austrálski, argentínski, tureckí, atď.).

V posledných rokoch sa objavili rôzne zariadenia určené na zvýšenie účinnosti zachytávacích tyčí typu Franklin, najmä ako náhrada zakázaných rádioaktívnych zariadení. Francúzsko sa do tohto výskumu vo veľkej miere zapojilo spolu s ďalšími krajinami, ako je Španielsko. Výsledky výskumu boli teraz overené laboratórnymi testami a dokonca aj testovaním na mieste v prírode. Priemyselné výrobky vyvinuté na základe tohto výskumu zlepšujú efektívnosť zachytenia stúpajúceho lídra v porovnaní so vzduchovým tyčovým terminálom (LR).

Cieľom všetkých diskusií o efektívnosti je určiť, ako je možné čo najrýchlejšie aktivovať výboj smerom hore (najlepší možný čas) s najlepšou možnou počiatočnou rýchlosťou. Preto je zásadne potrebné upraviť a/alebo riadiť korónový výboj.

Na tento koncept sa uplatňujú dva fyzikálne princípy [2]:

- Použitie impulzov vysokého napätia: opakujúce sa vysokonapäťové impulzy sa aplikujú na koniec vzdušného terminálu; základným princípom je kontrola počiatočného korónového výboja a využívanie efektu „pamäte“, ktorý zostal po predchádzajúcom výboji.
- Použitie iskry blízko hrotu: iskra sa spustí blízko špičky aby sa zabezpečila prítomnosť počiatočných elektrónov v korelácii s nárastom elektrického poľa. V skutočnosti zachytávač ESE rovnakej veľkosti ako Franklinova tyč vedie k rýchlejšiemu začatiu stúpania hore smerujúceho výboja, ktorý môže podľa niektorých autorov, viesť k väčšiemu polomeru chránenej oblasti, alebo s rovnakým polomerom chránenej oblasti je výrazne vyššia spoľahlivosť (pravdepodobnosť zachytenia) v porovnaní s tyčovým terminálom. Avšak účinnosť tohto terminálu sa musí validovať osobitnými testami.

V roku 2001 spoločnosť INERIS vymenovala technológie súvisiace s ESE: technológie s elektronickou alebo piezoelektrickou aktiváciou, alebo so špeciálnym profilom.

V roku 2016 existujú iba technológie ESE s elektrickou / elektronickou aktiváciou a špeciálnymi profilmi a mnoho výrobcov skombinovalo profil aj aktivačný režim. Piezoelektrické terminály sa už vo Francúzsku nepredávajú.

V roku 2001 spoločnosť INERIS evidovala 100 000 vzdušných terminálov vyrobených po roku 1985, GIMELEC² v súčasnosti eviduje 440 000 iba pre francúzskych členov, ¼ výroby sa vyskytla v prvej polovici 30-ročného obdobia a ¾ v druhej polovici. To dokazuje silný rast zaznamenaný na trhu s dostupnosťou týchto výrobkov.

Ako funguje vzdušný terminál ESE?

Ak terminál na ochranu pred bleskom vytvorí hore smerujúci výboj pred blízky objektom, prirodzene vyhrá akúkoľvek súťaž s inými hore smerujúcimi výbojmi. Toto je základný princíp, na ktorom stojí ESE. Vzdušné terminály ESE musia preukázať včasné spustenie ΔT v porovnaní so vzdušným tyčovým terminálom (LR).

Ak terminál ťaží zo skorého spustenia ΔT , stúpajúceho hlavného výboja alebo generovaný výboj pokryje vzdialenosť D , väčšiu ako pre tyčový terminál LR, pre stretnutie sa s dole smerujúcim výbojom. Terminál zachytí blesk vo väčšej vzdialenosti, tým sa zvyšuje jeho dosah. Zväčšenie dosahu sa preto dosiahne šírením rýchlosti hore smerujúceho výboja ako $\Delta L = v \Delta T$.

Norma NF C 17102 definuje zachytávač ESE ako zachytávač na ochranu pred bleskom s včasnou emisiou než zachytávacia tyč (LR) v rovnakých podmienkach. Nie sú uvedené žiadne informácie o použitej technológii.

Vzdušný zachytávač ESE obsahuje tyč na zachytenie blesku, upevňovacie zariadenie, fixáciu a pripojenie ku zvodovým vodičom.

Je možné identifikovať dve hlavné skupiny ESE:

1. vzdušné terminály so špeciálnymi profilmi vrátane pasívnych komponenty (L, R, C: cievka, rezistor, kondenzátor),
2. vzdušné terminály s elektronickou aktiváciou vrátane jedného alebo viac aktívnych elektronických obvodov na riadenie aktivácie stúpajúceho výboja v konkrétnom čase.

Väčšina systémov výrobcov ESE funguje, či okolité elektrické pole je záporné alebo kladné, čo je kompatibilné s negatívnym alebo pozitívnym úderom blesku.

Pre vzostupný spájajúci úder (pozitívny alebo negatívny) sa nevyžaduje včasné spustenie, terminál bude vysielat' v najvyššom bode pripojenom k zemi a vzdušný terminál ESE, ak je nainštalovaný v najvyššom bode, ako to vyžaduje norma, bude predstavovať preferovaný počiatočný bod pre tento typ úderu blesku.

² GIMELEC: Skupina zastupujúca francúzske spoločnosti poskytujúce elektrické a automatizované riešenia a súvisiace služby

aktivujúce emisie (kladné výboje smerujúce nahor)

III. VYLEPŠENIA POČAS OBDOBIA 2001-2015

Analýza vylepšenia a zmeny sú zahrnuté do odpovede na nasledujúce otázky:

1. Čo sa zmenilo v podmienkach technických aspektov spomenutých v predchádzajúcej správe ?
2. Čo majú spraviť odborníci, aby sa zabezpečila dôveryhodnosť týchto zachytávačov ?
3. Ako sa zmenili predpisy a vzali do úvahy tieto zachytávače ?

Výrobcovia vzdušných terminálov ESE musia zabezpečiť, aby tieto terminály boli v súlade s normou NF C 17-102 [11]. Výrobky sa preto vyvinuli s cieľom splniť požiadavky normy z roku 2011, ktorá zlepšila dôveryhodnosť, pokiaľ ide o prevádzku a životnosť výrobku.

Vo vzťahu k účinnosti vzdušného terminálu ESE (ΔT) sa pridalo niekoľko špecifikácií. Prvá je o rozsahu skorého spustenia, ktoré musí byť medzi 10 μs a 60 μs . Ak je ΔT menšie ako 10 μs , terminál sa nepovažuje za vzdušný terminál ESE.

Kritérium prijaté na posúdenie efektívnosti vzduchového terminálu ESE zodpovedá jeho schopnosti vysielat' smerom nahor smerujúci výboj skôr ako vzduchovým terminálom LR umiestneným za rovnakých podmienok na opakovanom základe. Hodnota T^3 v okamihu, keď je spustený spojovací výboj, sa meria pre každý platný úder na vzdušnom termináli LR a následne na vzdušnom termináli ESE.

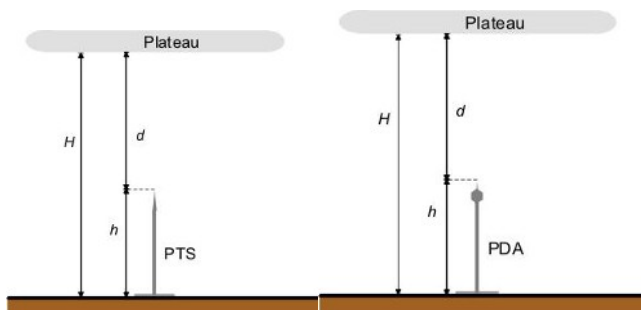
Úsilie výrobcov vzdušných terminálov ESE sa tiež zameralo na doplnenie výkonnostných skúšok založených na sérii noriem, EN 50164-x (maximálny prúd, korózia atď.) a na významné zmeny normy NF C 17-102, ktorá obsahuje podrobnosti a skúšobný postup a zavádza sa špecifikovaním napríklad skúšok s úderom blesku 100 kA.

Tieto skúšky spĺňajú požiadavky medzinárodnej normy IEC 62305-3 pri použití série IEC 62561-x (nahrádza normu EN 50164-x), ktoré sú uvedené aj v norme NF C 17-102. Zmenený a doplnený zákon zo 4. októbra 2010 [5] [6] [7] špecifikuje uplatňovanie platných francúzskych a európskych noriem.

IV. DÔLEŽITÉ SKÚŠKY ÚČINNOSTI

Účinnosť vzdušného terminálu ESE sa hodnotí porovnaním okamihu, keď je spájajúci výboj smerom hore emitovaný vzdušným terminálom LR vo vysokonapäťovom laboratóriu.

V tejto súvislosti sa vzdušné terminály LR a ESE posudzujú jeden po druhom v rovnakých elektrických, geometrických a klimatických podmienkach ako súčasť laboratórnych testov simulujúcich „prírodné“ podmienky



Nedávna technická publikácia [3] poukazuje na účinnosť ESE vzdušných zachytávačov, v porovnaní s LR zachytávačmi. Skutočne, experimentálne skúšky, vykonané SIAME laboratóriom Pau Univerzity vo Francúzsku [3], preukázali účinnosť ESE vzdušných terminálov v porovnaní s konvenčným tyčovým zachytávačom Franklin.

Na doplnenie normy NF C 17-102, niektorí výrobcovia ESE zachytávačov majú nariadené skúšky účinnosti v laboratóriách so zvislou vzdialenosťou od 7 do 10 m a vonku (najmä v laboratóriu WHVRI).

V. TESTY V PRÍRODE (ON-SITE)

Dva typy on-site testov sú definované nižšie:

- prírodné testy, kde je potrebné čakať, kým blesk zasiahne objekt počas prebiehajúceho testovania (dlhodobé testy),
- aktívované testy, kde blesk sa spustí pomocou rakety (testovanie v priebehu jednej alebo dvoch búrok).

Protokol, ktorý bol vydaný GIMELEC [1] a UTE na konci roku 2003 s cieľom získať predbežnú prax aspoň 3 roky na tucte testovacích miest.

Cieľom bolo inštalovať zachytávače ESE na potenciálne exponovaných lokalitách na potvrdenie modelu ochrany použitom v NF C 17-102 v normálnych podmienkach používania, a to najmä s prvkami konkurujúcimi zachytávačom ESE (antény, zásobníky, atď.).

Tabuľka nižšie sumarizuje miesta testov (podľa výrobcu až H)

ESE	Miesto	Typ testu
A	Pic du Midi (France)	GIMELEC protocol
B	Saint-Privat-d'Allier (France), Japan, USA, Brazil, Indonesia	GIMELEC protocol
C	New Mexico	definuje najlepší typ hrotu

³ Priemerný emisný čas T_{mean}^{LR} a T_{mean}^{ESE} sú vypočítané na základe validovaných úderov, pomocou meraní bodov v čase, keď nahor smerujúce výboje sú emitované z LR zachytávača a ESE zachytávača, v súlade s parametrami. Rovnakým spôsobom, štandardné chyby sú vypočítané na dve rozdelenia (σ_{LR} a σ_{ESE})

D	Johannesburg (South Africa)	GIMELEC protocol
E	Poland	protocol with IEN Warsaw
F	Super Besse (France) Satu Maru (Romania) Arequipa airport (Peru)	GIMELEC protocol
G	Manilla (Philippines)	GIMELEC protocol
H	Manilla (Philippines)	GIMELEC protocol

S cieľom zahrnúť súčasný vedecký vývoj sa teoretický model zachytávania bleskov v súčasnosti reviduje na medzinárodnej úrovni. Môžu sa uviesť najmä tieto vedecké články ([4] - [8] - [9] - [10] - [13] - [14]).

Vedecký článok [9] informuje o vplyve korónových výbojových priestorových nábojov na zachytenie úderu blesku smerom nadol na vysoké jednotlivé tyče. Pri použití simulačného modelu známeho ako SLIM (Self consistent Leader Inception and propagation Model), sa preukázalo, že zníženie vertikálnej zachytávacej vzdialenosti (ID) pri zachytávaní úderu blesku v dôsledku korónových výbojov je približne 20% a zníženie laterálnej zachytávacej vzdialenosti (ID) je približne 10%.

V závere tohto článku sa tiež preukázalo, že teoretický model zachytenia sa musí upraviť, aby sa integrovala propagácia vzostupných spájajúcich lídrov pod vplyvom klesajúcich lídrov.

V posledných rokoch boli opísané rôzne modely zachytenia blesku [8] (účinnok priestorových nábojov a tvarov hrotov), [13] a [14] (model spojenia medzi vzostupnými spájajúcimi pozitívnymi lídrami a klesajúcimi negatívnymi lídrami).

Okrem toho nedávna publikácia [10] (o procese zachytenia) preukázala, že existujúce modely ochrany pred bleskom (elektrogeometrický režim: EGM, model valivej gule: RSM, model postupu lídra: LPM) sa musia inovovať na nový model, v ktorom hore vedúce spojovacie lídre (UCL) sú nahradené FLF (slabé svetelné formácie), ktorý by presnejšie opísal vytvorenie vedúcich spojovacích lídrov zo vzdušných terminálov ESE.

Keď bude nový model validovaný na medzinárodnej úrovni pre normu NF EN 62305-3, bude potrebné tento model uplatniť na vzdušné terminály ESE.

VII. Záver

Od roku 2001 sa výroba vzdušných terminálov ESE zmenila s cieľom integrovať vylepšenia elektronických komponentov používaných v týchto termináloch a predovšetkým splniť nové požiadavky noriem a podrobnejšie výkonnostné testy vyžadované NF C 17 102.

V tejto štúdií sa zistilo niekoľko pozitívnych bodov pre kroky podniknuté výrobcami, najmä pri začatí testov na mieste (ktoré presahujú požiadavky noriem) a harmonizácii prevádzkových zásad.

Niektorí výrobcovia majú vypracované technické publikácie, definujúce on-site testy s podrobnosťami ([12]-[15]-[16]-[17]).

VI. POLOŽKY, KTORÉ MAJÚ BYŤ PREUKÁZANÉ

Norma NF C 17102 z roku 2011 sa zmenila z hľadiska výpočtu polomeru chránenej oblasti R_p s:

- pridanie stupňa ochrany IV do vzorca,
- hodnota ΔL vo vzorci bez použitia rýchlosti v , stúpajúceho výboja (nameraná hodnota).

Polomer chránenej oblasti R_p zo štandardu NF C 17-102 sa určuje pomocou tohto vzorca:

$$R_p(h) = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{pre } h \geq 5 \text{ m}$$

a

$$R_p = h \times R_p(5) / 5 \text{ for } 2 \text{ m} \leq h \leq 5 \text{ m}$$

Kde

$R_p(h)$ zodpovedá polomeru chránenej oblasti v danej výške h (v metroch);

h zodpovedá výške hrotu ESE v horizontálnej rovine po najvzdialenejší bod objektu, ktorý sa má chrániť (v metroch);

- r 20 m pre stupeň ochrany I;
- 30 m pre stupeň ochrany II;
- 45 m pre stupeň ochrany III;
- 60 m pre stupeň ochrany IV;

$\Delta = \Delta T \times 10^6$ Skúsenosti v teréne ukázali, že Δ sa rovná účinnosti získanej počas testovacích skúšok ESE (v metroch).

Hodnota 10^6 použitá vo vzorci už nesúvisí s rýchlosťou vedúceho spojovacieho lídra, ale je založená na pokusoch uskutočňovaných v teréne (s vysokorýchlostnou videokamerou).

Vzorec použitý na výpočet polomeru chránenej oblasti R_p je založený na metóde valivej gule známej aj ako elektro - geometrický model pridaním rozsahu včasnej iniciácie ΔL .

Požiadavky normy NF C 17 102 (2011):

- demonštrovať včasné spustenie vzduchových terminálov ESE (meranie účinnosti ΔT) laboratórnym testovaním,
- zaručiť dlhodobú prevádzku výrobkov vďaka súčasným testom (100 kA) a testom prostredia (korózia atď.), ktoré simulujú reálne podmienky.

Výrobcovia vzdušných terminálov ESE, na ktoré sa vzťahuje táto štúdia, všetci navrhujú terminály, ktoré spĺňajú požiadavky uplatniteľnej normy NF C 17102 (2011), ktorá bola harmonizovaná s európskymi normami.

Referencie

- [1] Preliminary GIMELEC report on French "ESE" (Early Streamer Emission) technology - version from September 2015
By GIMELEC: A group representing companies providing electrical and automation solutions and associated services
- [2] Article on engineering techniques "Foudre et protection des bâtiments" [Lightning and building protection] Ref. C3307 - May 2000
By Alain Rousseau, Claude Gary and Gérard Berger
- [3] Experimental Demonstration of the Effectiveness of an Early Streamer Emission Air Terminal Versus a Franklin Rod - April 2015
By L. Pecastaing, T. Reess, A. De Ferron, S. Souakri, E. Smycz, A. Skopec and C. Stec
- [4] New high-speed video observations of natural lightning at the Lightning Observatory in Gainesville, Florida - October 2015
By V. A. Rakov, M. D. Tran, Y. Zhu and S. Mallick
- [5] Order of 4 October 2010 amended on the prevention of accidental risks within environmentally classified sites requiring authorisation (section III)
- [6] Circular of 24 April 2008 on the lightning protection of some classified sites
- [7] Report dated 22/02/2016 on the regulations applicable to ESE air terminals in the context of lightning protection
- [8] Investigations and studies on lightning air terminal shapes in relationship with the efficiency of a simple rod - 2014
By Sylvain Fauveaux and Olivier Alconchel
- [9] Corona discharges and their effect on lightning attachment revisited: upward leader initiation and downward leader interception - 2014
By Marley Becerra
- [10] New progress in the process of lightning attachment to grounded structures -2016
By Gérard Berger
- [11] Focus on the new range of tests for Early Streamer Emission air terminal technology - 2014
By Michael Troubat
- [12] The Reliability and the Efficiency of the Early Streamer Emission Concept - 2014
By Elysa Benali, Michael Troubat and Fabien Barriere
- [13] A 3-D numerical model of negative lightning leader inception - 2004
By Sonia Ait-Amar and G. Berger
- [14] Occurrence of new upward positive leaders triggered by negative downward CG lightning - 2010
By Gérard Berger, Louis-Jonardan Gallin and Sonia Ait-Amar
- [15] New lightning experiments at Pic du Midi - 2010
By Gérard Berger, Guy Lafon, Gérard Serrie and Stéphane Pedeboy
- [16] Installation And Implementation Of A Rocket Triggered Lightning Test Facility - 2016
By Sylvain Fauveaux, Thomas Nowicki, Bernard Thirion, Reynaldo Zoro and Tulus Leo
- [17] An experimental study of leaders initiated by single and advanced (ESE) lightning rods - 2004
By A.Eybert-Bérard, B. Thirion, P. Boilloz, M. Saba and N. Solorzano