

Zibensizlādes raksturīgie parametri pārspriegumaizsardzības skaitliskos uzdevumos

Olegs Sliskis, Riga Technical University, Skaidrite Miesniece, Riga Technical University, Karlis Ketners, Riga Technical University, Edvins Vanzovichs, Riga Technical University

Kopsavilkums. Rakstā apskatītā informācija attiecas uz augstsprieguma tehnikas priekšmeta jautājumu – zibensstrāvas parametru ietekme uz skaitlisko uzdevumu aprēķinu gaitu. Nolūkā paplašināt materiāla pielietojamības iespējas, autori piedāvā problēmu apskatīt, izmantojot ATP-EMTP datorprogrammatūru. Piemēri, kas ir doti šajā rakstā, balstās gan uz normatīviem datiem, gan uz datiem, kas iegūti dažādu pētniecisko projektu gaitā.

Atslēgas vārdi: zibens, elektriskais tīkls, pārspriegums, statistiskais sadalījums, ATP-EMTP programmatūra

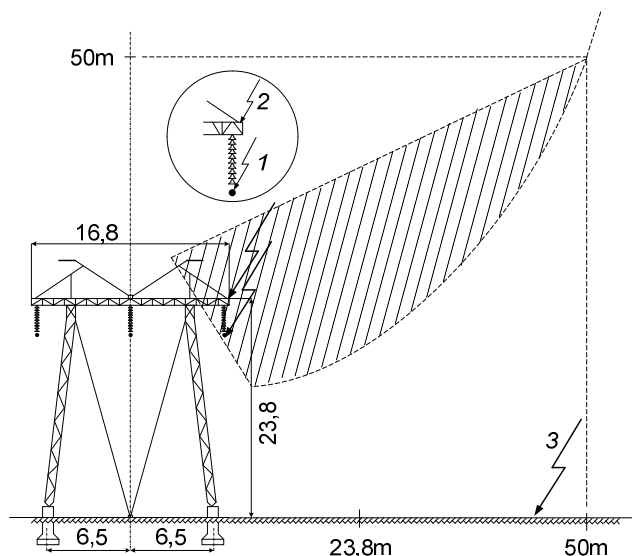
IEVADS

Attīstoties tehnoloģijām, nepārtraukti pieaug arī elektroapgādes drošumam izvirzāmās prasības. Atmosfēras pārspriegumu rašanās elektropārvades līnijās ir viens no galvenajiem atteižu iemesliem enerģosistēmās.

Rakstā tiek apskatīti: atmosfēras pārspriegumi elektropārvades līnijās un zibensstrāvu parametri, kā arī zibensstrāvas viļņa modelēšanas īpatnības ATP-EMTP programmatūrā.

I. ZIBENSIZLĀDES PARAMETRU NOTEIKŠANA, IEVĒROJOT OBJEKTA TEHNOLOĢISKO SPECIFIKU

Gaisvadu līniju (GVL) atmosfēras pārspriegumaizsardzības skaitliskos aprēķinos primārais uzdevums ir zibens kritisko parametru, kas noved pie izolatoru virknes pārklāšanās, noteikšana. Pie noteiktiem kritiskiem parametriem ar „iespējamības” līkņu palīdzību ir iespējams noteikt zibensizlādes rašanās varbūtību ar šādiem parametriem. Līniju atslēgumu skaitu negaisa laikā var noteikt, vadoties no zibensizlāžu skaita GVL konstrukcijā un no to sadalījuma starp ekrāntrosēm un fāzes vadiem, par pamatu ņemot [5] metodiku (sk. 1. att.). Tādējādi, lai korekti analizētu līnijas atslēgumu skaitu negaisa laikā, jāizmanto zibensstrāvu parametru statistiskais sadalījums. Pēc vienkāršas analīzes ir iespējams precizēt zibensizlādes tipveida parametrus, kas iedarbojas uz GVL. Zibensstrāvas amplitūda izlādes vietā ir viena no zibensizlādes raksturojošiem parametriem. Saskaņā ar [4], zibensstrāvas amplitūdas lieluma varbūtība ir sadalīta pēc logaritmiska likuma 2.att. CIGRE (Conseil International des Grands Reseaux Électriques) pētījumu komitejas NR 33, kā arī Krievijas Federācijas PĻ 153.34.3 - 35.125-99 normatīvos ir doti zibensstrāvu amplitūdu sadalījuma parametri pēc logaritmiska likuma. Tomēr šajos normatīvos un rekomendācijās nav zibensstrāvu parametru stingra sadalījuma starp fāzes vadiem, ekrāntrosēm un līniju balstiem.

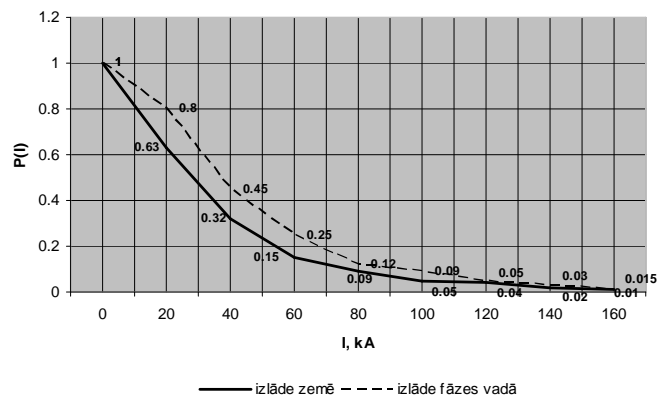


1. att. Zibensizlādes varianti 330 kV līnijā, kas ierīkota uz PPOD-8V tipa starpbalstiem: 1 – fāzes vadā; 2 – balsta konstrukcijā; 3 - attālināta izlāde

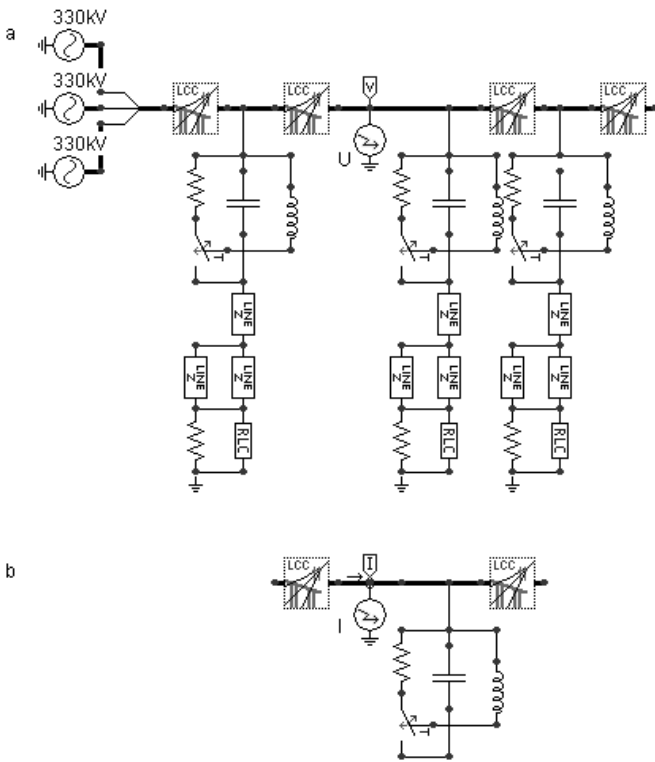
Tā kā zibenskanāla pretestība ietekmē strāvas I_{obj1} , kas noplūst pa objekta konstrukciju, amplitūdu, tad [5, 6] rekomendē strāvas I_{obj1} rēķināt pēc formulas:

$$I_{obj1} = I_{obj,p=0} \cdot \frac{Z_z}{Z_z + Z_{obj}} \quad (1)$$

kur $I_{obj,p=0}$ - zibensstrāvas, kas noplūst pa labi saņemtu objektu, amplitūda; Z_{obj} - objekta ekvivalentā pretestība; Z_z - zibenskanāla pretestība galvenās izlādes stadijā, kas ir atkarīga no zibensstrāvas amplitūdas.



2. att. Noteiktas amplitūdas zibensstrāvu rašanās varbūtības sadalījums



3. att. ATP-EMTP programmas ATPDraw apakšprogrammas aprēķinu shēmas strāvas noteikšanai zibensizlādes vietā: a - ar sprieguma avotu; b - ar strāvas avotu

Strāvas impulsa frontes formai ir principiāla nozīme $U \geq 110$ kV augstsprieguma līnijām pārspriegumaizsardzības aprēķinos. Darbā [4] ir dota zibenskanāla pretestības Z_z atkarība no impulsa viļņa frontālās momentānās vērtības. Balstoties uz ATP-EMTP programmā izveidoto aprēķinu shēmu 3.a att., pēc (1) ir iespējams noteikt $Z_z(I_{obj})$ vērtību.

Strāvas, kas noplūst pa objektu ar $Z_{obj}(I_{obj})$, pretestību amplitūda ir atkarīga no $Z_{obj}(I_{obj})$ un $Z_z(I_{obj})$ attiecības.

Saskaņā ar ATPDraw apakšprogrammas aprēķinu shēmu [4] var sastādīt vienādojumu diviem atšķirīgiem objektiem, kuros notiek zibensizlāde. Ar U ir apzīmēts nosacītais negaisa mākoņa ekvivalentais spriegums attiecībā pret zemi.

$$U = (Z_z(I_{obj1}) + Z_{obj1}(I_{obj1})) \cdot I_{obj1} = (Z_z(I_{obj2}) + Z_{obj2}(I_{obj2})) \cdot I_{obj2}, (2)$$

savukārt

$$I_{obj2} = I_{obj1} \cdot \frac{Z_z(I_{obj1}) + Z_{obj1}(I_{obj1})}{Z_z(I_{obj2}) + Z_{obj2}(I_{obj2})}, (3)$$

kur ar indeksu 1 apzīmēti parametri zibensstrāvu parametru modelēšanai, bet ar indeksu 2 – shēmai, kurai nosaka gaidāmo zibensstrāvu, ņemot vērā objekta zemējumpretestības lielumu.

Izteiksmē (1) zibens kanāla pretestība Z_z saucējā un skaitītājā pieņemama vienāda, jo šo lielumu izvēlas, ņemot vērā gaidāmās strāvas izlādes objektā. Ņemot vērā pretestības atkarību no strāvas ar amplitūdu robežās 10 – 50 kA, var

pieņemt, ka zibenskanāla pretestība saucējā un skaitītājā ir dažādu strāvu funkcijas.

Pārspriegumaizsardzības modelēšanas uzdevumos viens no uzdotajiem lielumiem ir zibensstrāvu parametri izlādes vietā $I_z(t)$, tādējādi, shēmu ar sprieguma avotu var pārveidot shēmā ar strāvas avotu 3.b att.

Vadoties no eksistējošiem normatīviem [5], [6], var piebilst: ja zibensstrāvu reģistrēšana notiek labi sazēmētos objektos, kad $Z_{obj}(I_{obj})/Z_z(I_{obj1}) \ll 1$, tad izmērīto strāvas lielumu var pieņemt par aprēķinu lielumu.

Gadījumā, ja par pētāmo objektu ir izvēlēts objekts ar $Z_{obj1}(I_{obj1})/Z_z(I_{obj1}) \approx 1$, tad ir nepieciešamas korekcijas I_z noteikšanai: $I_z = I_{obj1} \cdot (1 + Z_{obj1}(I_{obj1})/Z_z(I_{obj1}))$ [4]. I_z parametru un zibenskanāla pretestības kopēja izmantošana ļauj ņemt vērā objekta specifiku, kuram veic pārspriegumaizsardzības aprēķinu.

Zibenskanāla pretestība ir atkarīga no I_{obj2} strāvas, kas aprēķināta pēc 3.b att. shēmas. Tādējādi, lai vienkāršotu aprēķinu, pieņem $Z_z(I_{obj2}) = \text{const}$. Izvēloties Z_z vērtību, ņem vērā gaidāmās strāvas I_{obj2} lielumu objektā, kurā notiek izlāde. Zemējumpretestības ietekmi uz zibensizlāžu strāvas amplitūdu sadalījuma likumu ir iespējams demonstrēt sekojošā piemērā.

Pieņem, ka zibensstrāvas parametru nosaka shēmai ar mazu objekta pretestību, kas ir vienāda ar 20Ω , t.i. $Z_{obj1}(I_{obj1}) = 20 \Omega$. Objekts, kurā notiek zibensizlāde, ir 330 kV GVL fāzes vads. Tātad, pieņem $Z_{obj2}(I_{obj2}) = Z_v/2$, savukārt fāzes vada viļņa pretestība $Z_v = 278 \Omega$, bet $Z_{obj2}(I_{obj2}) = 139 \Omega$. Lielums $Z_{obj2}(I_{obj2})$ ir spēkā līdz GVL izolācijas pārklāšanās brīdim vai līdz jebkurām citām izmaiņām aprēķinu shēmā. Pieņem, ka $I_{obj1} = k \cdot I_{obj2}$, kur $k = 1,74$ [4].

Par sākotnējo zibensstrāvu amplitūdu sadalījumu pieņem CIGRE norādītos lielumus, kur $I_{mid0} = 30-35$ kA lielai strāvai atbilst vidējā kvadrātiskā nobīde $\sigma = 0,32$.

Aizvietojojot I_{obj1} ar tai vienādo $k \cdot I_{obj2}$, atrod strāvas amplitūdas rašanās varbūtību:

$$p_{obj1}(I) = p(I_{obj1}) = 1 - \frac{\ln}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot k \int_0^{k \cdot I_{obj2}} \frac{1}{I_{obj2}} \cdot \exp \left[-0.5 \cdot \left(\frac{\log(k \cdot I_{obj2}) - \log(k \cdot I_{mid2})}{\sigma} \right)^2 \right] dI_{obj2} (4)$$

Sadalījums, kas ir raksturīgs zibensizlādēm labi sazēmētos objektos (pēc CIGRE komitejas datiem) pēc (4), atbilst zibens izlādes gadījumam 330 kV GVL fāzes vadā. Tātad, precizētā vidējā strāvas vērtība ir $I_{mid2} = I_{mid0}/k = 17,35$ kA.

Arī [5] ir dotas strāvas amplitūdu sadalījuma līknes izlādes vietai fāzes vadā, neievērojot un ievērojot zibens līdera orientēšanās procesu. Pēc autoru datiem, bez orientēšanās procesa ievērošanas, zibensstrāvas amplitūdas vidējā vērtība izlādei fāzes vadā (nevis ekrāntrosē) ir 30 kA, bet ievērojot orientēšanās procesu – 18 kA, kas ir ļoti nozīmīgi.

Ja par zibensstrāvu amplitūdu pamatsadalījumu pieņem Latvijai raksturīgos datus, kuriem $I_{mid1} = 35$ kA, tad vidējā izlādes strāva 330 kV GVL fāzes vadā būs $I_{mid2} = I_{mid0}/k = 20$ kA [5].

II. ZIBENSSTRĀVAS VIĻŅA MODEĻĒŠANA

Tā kā zibensizlādes parametriem ir liela nozīme aprēķinot GVL izolācijas aizsardzību no negaisa pārspriegumiem, tad jānovērtē, cik korekta ir div eksponentu strāvas impulsa izmantošana [4]

$$i(t) = \gamma \cdot I_{\max} [\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)], \quad (5)$$

kur α un β – zibensstrāvas pieauguma un samazināšanās ātrums; γ – zibensstrāvas amplitūdas korektējošais faktors.

Pēc CIGRE komitejas iniciatīvas strāvas impulsa frontes formas bija izpētītas detalizētāk. Pašlaik ir piedāvāti papildus aprēķinu parametri, pateicoties kuriem, dažiem frontes apgabaliem ir iespējams dot skaitlisku analīzi, proti, pati analīze kļūst sarežģītāka. Piemēram, izteiksme, kas nodrošina nulto atvasinājumu

$$i(t) = \frac{I_{\max}}{\eta} x(t) \cdot y(t) = I_{\max} \cdot z(t) \cdot y(t) \quad (6)$$

kur $x(t) = \frac{\left(\frac{t}{t_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{t_1}\right)^n}$, $y(t) = \exp\left(-\frac{t}{t_2}\right)$, η – parametrs, kas

nosaka viļņu stāvumu [4].

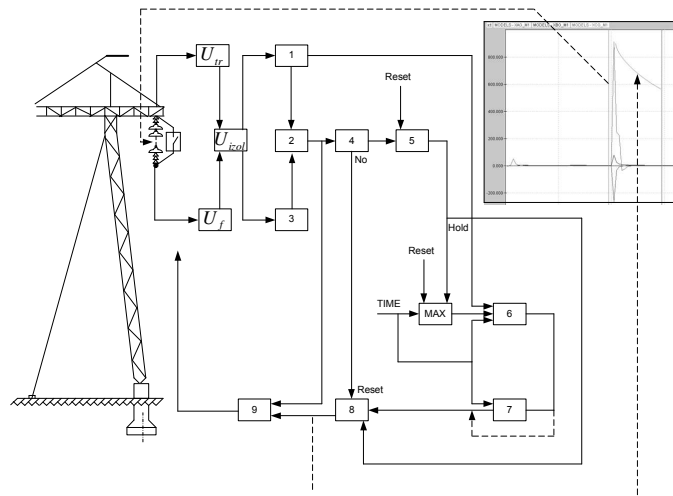
Strāvas modelēšana ar (6), ievērojot nulto atvasinājumu izlādes laika sākuma momentā, izraisa mainīgu lielumu skaita palielināšanos. Nav arī vienkāršu paņēmieni, lai saistītu strāvas impulsa stāvumu ar parametru η . Kopējais parametru skaits šajā modelī ir 4 ($t_1, t_2, \gamma = 1/\eta, \eta$), bet div eksponentu impulsam (5) tikai 3 parametri (a, b, γ) [4]. Arī IEEE un FOCT standartos paredzēts spriegumu un strāvu aizvietot ar divu eksponentu summu. Pārspriegumu aizsardzības uzdevumos, piemēram, atpakaļpārklāšanās varbūtības noteikšanā ATP-EMTP programmā (sk.4.att.), jāievēro strāvas impulsa galvenie parametri – tās stāvums un amplitūda.

Nultais atvasinājums zibens strāvas līknes sākumā atbilst mazām strāvas momentānām vērtībām. Atzīmēts [4], ka būtiska atšķirība zibensstrāvas modelēšanas paņēmienos pastāv aprautas frontes viļņa iedarbības gadījumā, t. i. vilnis, kas iedarbojas uz objektu, izraisa izolācijas pārklāšanos.

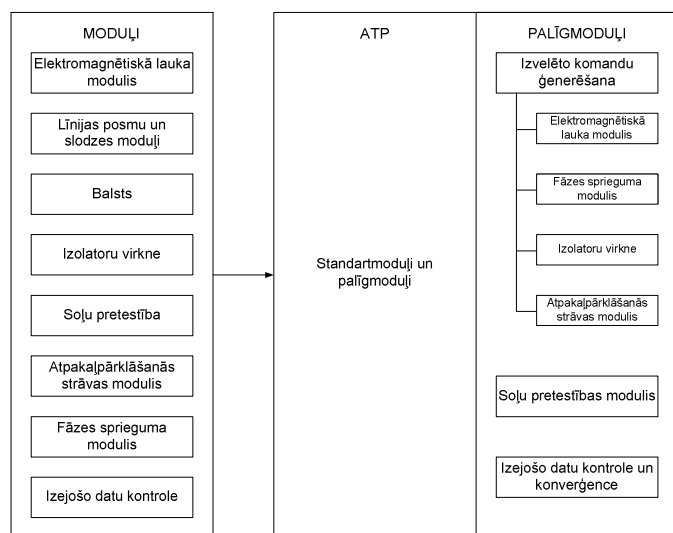
Zināms, ka sprieguma impulsa sākotnējā forma maz ietekmē izolācijas īpašības. Pēc IEEE publikācijām sprieguma impulsa frontes ilgumu nosaka pēc diviem kontrolpunktiem, kas ir 0,3 un 0,9 no pilnās impulsa amplitūdas (strāvas impulsiem 0,1 un 0,9) [4].

ATP-EMTP (kā arī PSCAD) pārējas procesu modelēšanas programmatūras [7, 8], kuras ievēro izolācijas voltsekunžu raksturlienes, strādā pēc šāda algoritma: pēc sprieguma parādīšanās uz izolācijas, vienlaikus pārsniedzot zibensizlādes sākuma sprieguma vērtību, nostrādā bloks, kas modelē izolācijas voltsekunžu raksturlienes. Gadījumā, ja momentānā sprieguma vērtība uz izolācijas ir lielāka par voltsekunžu raksturlienes fiksēto, programma konstatē izolācijas caursišanas faktu. Voltsekunžu raksturlieni blokā izmanto ar nolūku ierakstīt zibensizlādes sākuma sprieguma vērtību, kas arī atspoguļo to faktu, ka sprieguma, kas iedarbojas uz

izolāciju, sākuma forma neietekmē caursišanas spriegumu (bloks hēmu sk. 5.att.).



4. att. ATP-EMTP programmatūras sprieguma atpakaļpārklāšanās un strāvas aprēķinu algoritms, kur 1-9, MAX, U_r , U_{izol} ir funkcionālie bloki atpakaļpārklāšanās procesa modelī



5. att. ATP-EMTP programmatūras funkcionālo moduļu bloks hēma

III. SECINĀJUMI

1. Impulsu ar nullo sākuma atvasinājumu var lietderīgi izmantot, piemēram, gadījumā, kad zibensizlāde notiek uz GVL balsta bez ekrāntoses. Šajā gadījumā div eksponentu impulsa izmantošana noved pie nereāli augstiem balsta virsotnes potenciāliem, ja balsta konstrukcija aizvietota ar koncentrētu induktivitāti.

2. Lai noteiktu parametru ietekmi uz aprēķinu sarežģītību un algoritmu izveidi ATP-EMTP datorprogrammā, nepieciešams novērtēt sākotnēji izvēlētas zibensstrāvas iespaidu.

3. Dati, kas ir reģistrēti reālos negaisa laika apstākļos, koriģē aprēķinu, kas ir veikts pēc normatīvos pieņemtiem datiem, rezultātu līdz 10-20%.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Dirba J., Melko A., Vītolīņa S. Pārspriegumi elektrotehniskajās iekārtās. – Rīga: RTU izdevniecība, 2008. – 199 lpp.
- [2] Vanags A., Enģelis A. Elektrisko tīklu projektēšana. – Rīga: RTU, 2006. – 117 lpp.
- [3] Л. Ф. Дмоховская, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь, Д. В. Разевиг, Е. Я. Ребкова, *Техника высоких напряжений. Учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических вузов*, Москва: Энергия, 1976, 488 стр.
- [4] Дмитриев В. Л., Дмитриев М. В. Параметры разряда молнии в задачах гроззащиты // Известия РАН: Энергетика. - Санкт – Петербург, 2005.–[№4], 54-61 стр.
- [5] РАО ЕЭС России, „Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозвых и внутренних перенапряжений”, Санкт-Петербург: ПЭИПК, 1999. – 227стр.
- [6] IEC 62305 Protection against lightning. – Geneva, 2006. – 201 p.
- [7] Istrate M., Gusa M. Analysis of lightning’s strokes on HV lines in an ATP approach // 2nd International Conference on Modern Power Systems MPS 2008, Cluj-Napoca, Romania, 162-165p.
- [8] Juan A. Martinez-Velasco, F. Castro-Aranda EMTP implementation of a Monte Carlo method for lightning performance analysis of transmission lines // Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, N° 1, 2008, 169-180p.



Olegs Sliskis was born in Riga in 1985. He received the Dipl.-Ing. bachelor degree in power and electrical engineering and master degree in power and electrical engineering from the Riga Technical University in 2007 and 2009, respectively. From 2006 until 2008 he was employed as electrical equipment engineer – inspector, but from 2008 as electrical systems designer at the private power companies. From 2009 Riga Technical University doctoral department student. General scientific activities: Overvoltage research in power systems.

Email: olegs.sliskis@rtu.lv



Skaidrite Miesniece was born in Gilbene in 1937. She received the Dipl.-Ing. degree in electromechanic from the Riga Politechnical Institute and candidate of science degree from the Gorky Politechnical Institute in 1962 and 1970, respectively. From 1992 Dr. sc. ing. degree from the Riga Technical University. From 1962 until 1964 she was employed as assistant, from 1964 until 1983 as master teacher and from 1983 as ass. Professor in Riga Technical University (until 1990 RPI). General scientific activities: electrical apparatus, thermic process in electrical mashines, electromagnetic process in electrical apparatus.

Olegs Sliskis, Skaidrite Miesniece, Karlis Ketners, Edvins Vanzovichs Lightning discharges characteristic parameters in overvoltages numerical calculations

In atmospheric surge protection level calculations of high voltage transmission lines, is necessary to define the conditions of lightning current amplitudes distribution, taking to account equivalent resistivity of objects (line conductor, shielding wire or line tower). In case, when lightning discharge happens in phase conductors or bad grounded shielding wire, the lightning current amplitudes is much more lower, then in qualitative grounding cases. The methods of transmission lines components modeling in ATP-EMTP program, is the most important to determine lightning currents with zero initial derivative. When calculation purpose is protection devices instalation distance definition in substations and steep front waves propagation in overhead line is ascertained, lightning current impulse with zero initial derivative application is reasonable too. By the example of lightning discharge currents parameters decision, the article renders the application of the ATP-EMTP program system. The program set enables mastering the skills of operation in this environment in the shortest possible time.

Олег Слискис, Скаидрите Миесниесе, Карлис Кетнер, Эдвин Ванзович Характерные параметры разряда молнии в численных задачах расчета перенапряжений

В расчетах грозоупорности линий электропередач, условия распределения амплитуд токов молнии необходимо строго обозначить, с учетом эквивалентного сопротивления защищаемого объекта (фазный провод, экранирующий трос или опора линии электропередач). При разряде молнии в фазные провода линии или в недостаточно хорошо заземленные экранирующие тросы, величина амплитуд токов молнии значительно меньше, чем при ударе молнии в хорошо заземленные объекты. При использовании более усовершенствованных моделей определения тока молнии с нулевой начальной производной в расчетной программе ATP-EMTP, ключевую роль играет способ моделирования компонентов линии электропередач. При рассмотрении вопроса размещения на подстанции ограничителей перенапряжений, т.е. определение расстояния до защищаемого оборудования, в случае набегающих с линии волн с прямоугольным фронтом, использование в программе ATP-EMTP импульса с нулевой начальной производной также является целесообразным. На примере выбора начальных параметров разрядного тока молнии, в статье рассмотрена возможность использования программы ATP-EMTP. Использование программы дает возможность ускорить процесс усвоения теоретического материала.



simulation in electromechanic, transients in electrical machines.
Email: ketners@eef.rtu.lv



protective relaying and automation, lighting influence.
Email: vanzovic@eef.rtu.lv

Karlis Ketners was born in Kiev in 1939. He received the Dipl.-Ing. degree in electrical engineering and candidate of science degree from the Leningrad Electrical Engineering Institute in 1962 and 1971, respectively. From 1992 Dr. sc. ing. degree from the Riga Technical University. From 1970 until 1971 he was employed as assistant, from 1971 until 1973 as master teacher, from 1973 as ass. Professor and from 2003 as Professor in Riga Technical University (until 1990 RPI). General scientific activities: electrical machines, mathematical

Edvins Vanzovichs was born in 1946. He received the Diploma Engineer degree from the Riga Technical University in 1969. PhD degree from Belarussia University of Technology in 1987 Dr.Sc.Ing from 1992 (RTU). He worked in the Riga Technical University as assistant, senior lecturer, associated professor and became professor in 2005. Simultaneously from 2002 head of Speciality Sertification Centre of Latvian Association of Power Engineers and Energy Constructors. His main activities are in the fields of electrical supply, electrical networks