

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Денисенко З.М. Новые искусственные материалы для верха обуви. – К.: Киевский торгово-экономический институт, 1975. – 33 с.
2. Михайлов В.А., Китнис Б.Я. Искусственные кожи и пленочные материалы. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 400 с.
3. Искусственные кожи и пленочные материалы: Справочник / Под редакцией В.А. Михайлова и Б.Я. Китниса. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 400 с.
4. Ильин С.Н., Бернштейн М.Х. Искусственные кожи. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 184 с.
5. Кирпичников П.А. Химия и технология синтетических каучуков. – М.: Химия, 1970. – 245 с.
6. Очуренко В.И. Разработка методов оценки и исследование свойств материалов для верха кислотозащитной специальной обуви: Дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01. – Л., 1990. – 229 с.
7. Мореходов Г.А. Требования к искусственным материалам для обуви // Кожевенно-обувная промышленность. – 1977. – № 11. – С. 3-6.
8. Взуття пожежника захисне. Загальні технічні вимоги та методи випробувань: ДСТУ 4446: 2005. – [Числий від 2005-09-07]. – К.: Держспоживстандарт, 2004. – 37 с.
9. Мичко А.А., Клиш'юк М.М. Розробка математичної моделі процесу теплопередачі через товщину матеріалу для спецвзуття пожежників // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів, 2006. – №9. – С. 20-27.

УДК 621

В.І. Гудим, д.т.н., Б.М. Кінаш, к.т.н., Б.М. Юрків (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), А.Я. Постолок (ІВНДКП «Укрзахіденергопроект»)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГРОЗОВИХ РОЗРЯДІВ

Розглянуто принципи та засади формування розрахункової схеми грозових розрядів на основі аналізу фізичних явищ та сформована математична модель для аналізу динаміки процесів, які відбуваються під час грозових розрядів, що дозволяє здійснити кількісну оцінку струмів під час грозових розрядів, та уточнити особливості протікання таких процесів

Вступ. Грозові розряди характеризуються величезною енергією, тому вони дуже небезпечні для уражуваних об'єктів. Разом з тим, теплові процеси грозових розрядів є причиною виникнення пожеж на різних об'єктах. Аналіз статистичних даних показує, що щорічно на території України від дії блискавки трапляються десятки загорань дерев'яних будівель у сільській місцевості, багатократні вмикання високовольтних ліній електропередач, руйнуються електроустановки та силове електрообладнання (трансформатори, реактори, конденсаторні батареї), що призводить до тривалих перебоїв в електропостачанні.

Постановка задачі. З метою кількісної оцінки грозорозрядних процесів та розроблення ефективних і разом з тим економічно обґрунтованих заходів і засобів для захисту від уражень об'єктів блискавкою, доцільно розширити дослідження цих процесів. Разом з тим, експериментальні дослідження є не лише небезпечними для дослідників, а й, у багатьох випадках, не реалізовними через відсутність відповідної вимірювальної апаратури, тому найефективнішим є метод математичного моделювання. У зв'язку з цим виникає важлива і актуальна задача сформуванню адекватну математичну модель, придатну до виконання масових експериментів грозових розрядів і відтворення найрізноманітніших ситуацій.

Розв'язання задачі. Вимірювання параметрів грозових розрядів показали, що струм під час розряду може досягати 200 кА, а сам розряд триває долі секунди. Напруга, під дією якої відбувається грозовий розряд, сягає десятків, а то й сотень мільйонів вольт, що призводить до пробиття ізоляційного проміжку між статично зарядженою хмарою та землею. Момент початку грозового розряду визначається моментом утворення стримера і його переходу у провідний плазмовий канал з резистивним опором, який швидко перетворюється у короткочасний дуговий розряд. Звуковий ефект виникає від раптового розширення суміші конденсованої води з повітрям внаслідок різкого нагрівання до кількох тисяч градусів стовпом плазми блискавки. Тембр звуку залежить від потужності розряду, зокрема малопотужні іскри супроводжуються високим звуковим діапазоном, а іскри великої потужності нижчим. Можна припустити, що розколювання стовбура дерева під дією блискавки, чи руйнування будівельних конструкцій також відбуваються з тієї самої причини. Наступною особливістю грозового розряду є багатократні розряди, або серія розрядів, зокрема інтерес викликає сам процес утворення серії розрядів в електростатичному полі між хмарою та землею. Донцова хмара, яка охоплює великий простір, містить об'ємний заряд, який приймемо як рівномірно розподілений. Над землею може бути ціла сукупність таких об'ємно заряджених хмар, віддалених між собою на певні віддалі, внаслідок однополярності зарядів. Стример може виникнути у будь-якому місці (посередині хмари чи скраю), процес розряду відбувається раптово з величезною швидкістю, а перезаряд хмари - дещо повільніше з інтервалом послідовних розрядів, які ми спостерігаємо у вигляді блискавки і чуємо громові звуки. Як правило перший розряд відбувається між зарядженою хмарою та об'єктом на землі, а наступні розряди можуть серійно відбуватися між розрядженою та зарядженими хмарами, які знаходяться на близькій відстані від хмари, що розрядилася першою. З тієї причини ми спостерігаємо не лише вертикальні блискавки між хмарою та землею, а й горизонтальні, тобто між хмарами, яких завжди є значно більше ніж вертикальних. Разом з тим, виникають одночасно вертикальні й горизонтальні розряди, які можуть взаємодіюватися. Такі розряди є надзвичайно потужними з погляду енергетичних і руйнівних наслідків. Хмара утворюється пароповітряними сумішами, а заряд виникає внаслідок тертя між частинками цієї суміші під дією вітрових потоків подібно до того, як виникає заряд рідин, які перевозяться у цистернах. Враховуючи велику інтенсивність тертя частинок грозової хмари, зарядження відбувається впродовж кільканадцяти хвилин. Розряд зарядженої хмари в загальному випадку є процесом зміни заряду в часі, який формально можна записати у вигляді $\frac{dq}{dt} = i$.

В загальному випадку опір шляху блискавки є нелінійним, тому маємо нелінійну електричну вітку, а нелінійність такого електричного кола визначається вольт-амперною характеристикою плазмового стовпа блискавки. Характеристики решти елементів електричного кола, які заміняють наземні конструкції, можна приймати лінійними.

Заряджену хмару незалежно від її реальних геометричних розмірів прийматимемо за матеріальну точку малих розмірів порівняно з віддалю між хмарою та землею або між окремими хмарами з відповідним потенціалом. Між зарядженими точками у просторі та землею існують активні опори повітря, величини яких на першому етапі дуже великі і не дозволяють інтенсивно стікати зарядам у землю або перетікати між окремими точками. Приймемо, що внутрішній опір зарядженої хмари дорівнює нулеві, оскільки цей опір порівняно з опорами повітря між хмарами дуже малий. Процес пробиття повітря між зарядженими точками та землею відбувається аналогічно до процесів, які відбуваються у газах під дією постійної напруги, тому опір пробитого проміжку має характеристику, аналогічну характеристиці газорозрядного проміжку.

Виходячи з наведених міркувань, можна сформулювати припущення та вимоги до математичної моделі грозових розрядів, які б адекватно відображали реальні грозорозрядні процеси.

Лавинний розряд виникає внаслідок перевищення різниці потенціалів між зарядженою точкою і землею над електричною міцністю вказаного ізоляційного проміжку. Отже можемо зобразити заряджені точки $+Q_1$, $+Q_2$, $+Q_3$ і $+Q_4$, які замінюють чотири заряджені хмари над землею, як показано на рис. 1.

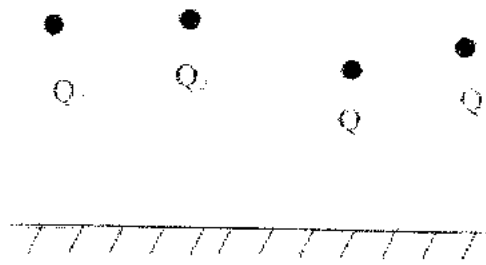


Рис. 1. Графічне зображення зарядів над землею

Якщо потенціал землі прийняти рівним нулю, а різниці потенціалів окремих точок відносно землі замінити відповідними вузловими напругами, то заступна електрична схема системи зарядів рис. 1 набере вигляду, як показано на рис.2. Наведені опори становлять один або два послідовно сполучені опори, один з яких є лінійним і замінює середовище, у якому протікає струм розряду (дерево, залізобетонну конструкцію, будівлю тощо), а другий опір є опором стовпа блискавки, вольт-амперна характеристика якого є нелінійною.

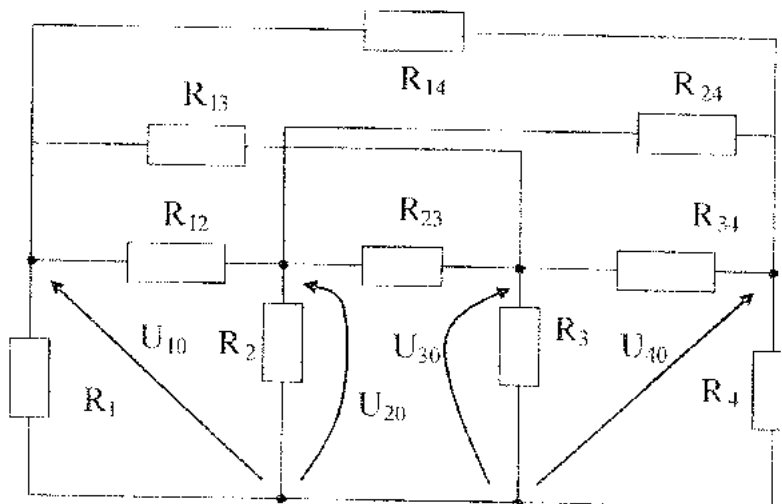


Рис. 2. Заступна розрахункова схема грозорозрядної системи

Слід зазначити, що напруги, які містяться у схемі, є імпульсними, оскільки після розряду вони зникають і можуть виникати лише після наступного циклу заряду. Тривалість імпульсу розряду відповідає енергії заряду і, відповідно, величині амплітуди напруги прикладеної до опору шляху розряду. Взагалі кажучи, напруги між вузлами визначаються вузловими напругами, через які легко встановлюються міжвузлові напруги як в статичному, так і в динамічному режимах. Такі особливості процесів дозволяють в якості джерел енергії використати заряджені конденсатори, увімкнені між землею та кожним полюсом, який відповідає зарядженій хмарі, а розрахункову схему (рис. 2) замінити схемою, наведеною на рис. 3, де C_1 , C_2 , C_3 , та C_4 ємності конденсаторів, які роблять еквівалентною енергію заряду

кожної хмари відносно землі, причому ця енергія дорівнює $W = \frac{CU^2}{2}$.

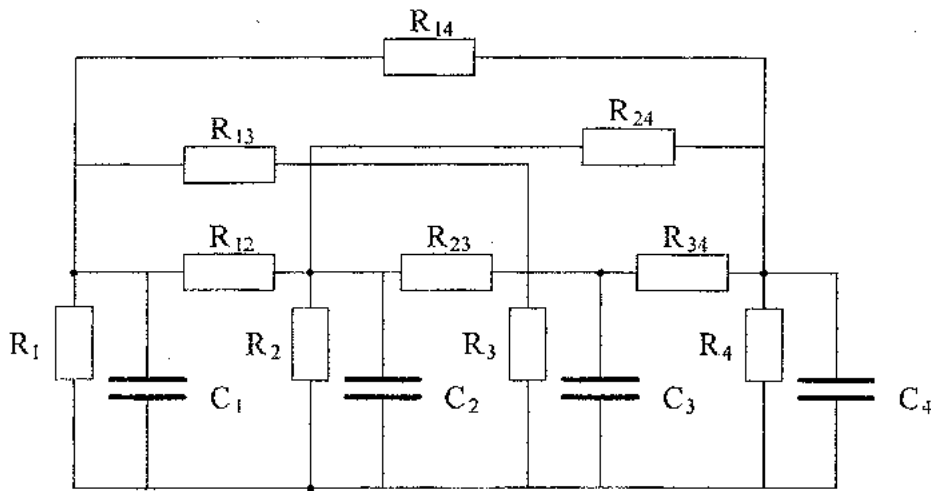


Рис. 3. Спрощена розрахункова схема грозорозряду

В загальному випадку смності конденсаторів можуть змінюватися, оскільки віддалі хмари відносно землі та нерухомих об'єктів на ній змінюються, не кажучи про зміну розмірів і форми самих хмар під дією вітру та інших зовнішніх сил. Ці зміни відбуваються довільно за одним, або навіть сукупністю, законів розподілу і залежать від місця знаходження грозової зони.

Зі збільшенням сукупності заряджених відокремлених хмар кількість вузлів збільшується та відповідно ускладнюється структура схеми головним чином через взаємні елементи.

Взагалі кажучи розряд зарядженого до напруги U_m конденсатора описується рівнянням

$$U(t) = U_m e^{-\frac{t}{RC}},$$

де R – резистивний опір на який розряджається конденсатор, а C – ємність конденсатора, котрий розряджається.

Якщо характеристика резистора є нелінійною, то й закон зміни напруги на конденсаторі під час розрядження матиме складний характер, не кажучи вже про струм розряду.

Слід зазначити, що струм під час розряду може замыкатися через стовп плазми блискавки не лише безпосередньо на землю, а й через струмопровідні частини блискавководу, який володіє індуктивністю. Враховуючи короткочасність імпульсу навіть незначна індуктивність може викликати значні перенапруги на даній ділянці струмопроводу, тому під час моделювання доцільно враховувати вказані індуктивності. Врахування вказаних індуктивностей забезпечує вищу адекватність моделі, але й ускладнює математичну модель.

Якщо розряд відбувається на електричній мережі, то вказана індуктивність є достатньо великою, оскільки містить індуктивності ліній, трансформаторів та іншого обладнання. Тому її є обов'язково потрібно враховувати.

Виникнення розряду того чи іншого конденсатора можна імітувати шляхом поступового збільшення напруги конденсатора, або створенням умов для пробиття проміжку між зарядом і землею, тобто початку появи іскри чи навіть дуги пробиття. Вольт-амперні характеристики плазмового стовпа блискавки описуються відповідними апроксимуючими формулами, враховуючи при цьому найбільш характерні особливості цих характеристик.

В загальному випадку для електричного кола векторне рівняння зарядів конденсаторів запишеться у вигляді

$$\bar{q} = \mathbf{C}\bar{u}_c,$$

де \mathbf{C} - матриця ємностей електричного кола; \bar{u} - вектор-стовпець напруг конденсаторів.

Якщо величина зарядів конденсаторів змінюється у часі, то вектор струмів конденсаторів запишемо у вигляді

$$\bar{i} = \frac{d\bar{q}}{dt} = \mathbf{C} \frac{d\bar{u}}{dt} \quad (1)$$

Векторне рівняння напруг віток електричного кола з резистивними елементами запишемо у вигляді

$$\mathbf{R}\bar{i} = \bar{u}, \quad (2)$$

де \mathbf{R} - матриця резистивних опорів віток електричного кола.

Векторне рівняння рівноваги струмів у вузлах електричного кола запишемо у вигляді

$$\mathbf{H}\bar{i} = 0 \quad (3)$$

Виразимо вектор струмів віток із рівняння (2) у вигляді

$$\bar{i} = \mathbf{R}^{-1}\bar{u} = \mathbf{G}\bar{u}, \quad (4)$$

де $\mathbf{G} = \mathbf{R}^{-1}$ - матриця провідностей гілок електричного кола.

Використовуючи неявний метод для інтегрування системи диференціальних рівнянь замінимо похідну та поточне значення змінної у $(k+1)$ -й точці інтегрування виразами

$$\frac{dy}{dt} \Big|_{(k+1)} = -\frac{1}{h} \sum_{s=0}^p a_s y_{k+1-s}, \quad \text{а } y_{(k+1)} = y_{k+1}.$$

У цьому випадку рівняння (1) і (4) перепишемо у вигляді

$$\left. \begin{aligned} \bar{i}_{k+1} &= -\frac{1}{h} a_0 \mathbf{C}\bar{u}_{c,k+1} - \frac{1}{h} \sum_{s=1}^p a_s \mathbf{C}\bar{u}_{c,k+1-s} \\ \bar{i}_{k+1} &= \mathbf{G}\bar{u}_{k+1} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Підставляючи вирази (5) у (3), отримаємо

$$\mathbf{H}\bar{i} = \mathbf{H} \left(\begin{array}{c} \mathbf{G} \\ -h^{-1} a_0 \mathbf{C} \end{array} \left\| \begin{array}{c} \bar{u}_{k+1} \\ \bar{u}_{c,k+1} \end{array} \right\| + \begin{array}{c} 0 \\ -h^{-1} \mathbf{C} \end{array} \left\| \begin{array}{c} 0 \\ \sum_{s=1}^p a_s \bar{u}_{c,k+1-s} \end{array} \right\| \right) = 0,$$

або після виконання елементарних операцій

$$\mathbf{H} \left\| \begin{array}{c} \mathbf{G} \\ -h^{-1} a_0 \mathbf{C} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} \bar{u}_{k+1} \\ \bar{u}_{c,k+1} \end{array} \right\| + \mathbf{H} \left\| \begin{array}{c} 0 \\ \mathbf{C} \end{array} \right\| \left\| \sum_{s=1}^p (-h^{-1} a_s) \bar{u}_{c,k+1-s} \right\| = 0 \quad (6)$$

Враховуючи те, що загальний вектор напруг віток у $(k+1)$ -й точці інтегрування має

структуру $\bar{u}_{k+1} = \left\| \begin{array}{c} \bar{u}_{R,k+1} \\ \bar{u}_{C,k+1} \end{array} \right\|$, а напруги віток електричного кола через вузлові напруги у $(k+1)$ -

й точці виражаються у вигляді

$$\bar{u}_{c,k+1} = \mathbf{P} \bar{u}_{R,k+1}, \quad (7)$$

векторне рівняння (6) із врахуванням (7) перепишемо у вигляді

$$\mathbf{P} \begin{bmatrix} \mathbf{G} \\ -h^{-1} a_0 \mathbf{C} \end{bmatrix} \mathbf{P}_l \bar{u}_{B,k+1} + \mathbf{P} \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{C} \end{bmatrix} \mathbf{P}_l \sum_{s=1}^p (-h^{-1} a_s) \bar{u}_{B,k+1-s} = 0 \quad (8)$$

де $\begin{bmatrix} 0 \\ \sum_{s=1}^p (-h^{-1} a_s) \bar{u}_{B,k+1-s} \end{bmatrix} = \mathbf{P}_l \sum_{s=1}^p (-h^{-1} a_s) \bar{u}_{B,k+1-s}$ – зв'язок вектора напруг віток електричного кола з

вектором вузлових напруг у попередніх точках інтегрування; \mathbf{P}_l – транспонована матриця вузлових з'єднань віток електричного кола.

Система алгебраїчних рівнянь (8) в загальному випадку може бути нелінійною відносно вектора невідомих вузлових напруг $\bar{u}_{B,k+1}$. Знаходження вектора $\bar{u}_{B,k+1}$ можна здійснити шляхом розв'язання системи рівнянь (8) будь-яким із ефективних чисельних методів розв'язання нелінійних алгебраїчних рівнянь, однак враховуючи можливий розкид параметрів елементів гілок електричного кола та суттєву нелінійність їх характеристик, використаємо ітераційний чисельний метод Ньютона, який характеризується швидкою збіжністю. У цьому випадку нове уточнене значення шуканої невідомої обчислюється за формулою

$$x_{k+1}^{(l+1)} = x_{k+1}^{(l)} - \frac{f(x_{k+1}^{(l)})}{f'(x_{k+1}^{(l)})} = x_{k+1}^{(l)} - (f'(x_{k+1}^{(l)}))^{-1} f(x_{k+1}^{(l)}),$$

де k – крок інтегрування; l – номер ітерації

Для системи рівнянь (8) даний алгоритм запишеться у вигляді

$$\bar{u}_{B,k+1}^{(l+1)} = \bar{u}_{B,k+1}^{(l)} - \mathbf{J}^{-1}(\bar{u}_{B,k+1}^{(l)}) \mathbf{F}(\bar{u}_{B,k+1}^{(l)}, J_{k+1}) \quad (9)$$

де $\mathbf{J}^{-1}(\bar{u}_{B,k+1}^{(l)}) = \frac{1}{\mathbf{J}(\bar{u}_{B,k+1}^{(l)})}$, а $\mathbf{J}(\bar{u}_{B,k+1}^{(l)}) = \frac{\partial \mathbf{F}(\bar{u}_{B,k+1}^{(l)})}{\partial \bar{u}_{B,k+1}^{(l)}}$ – матриця Якобі системи рівнянь (8);

$$\mathbf{F}(\bar{u}_{B,k+1}^{(l)}) = \mathbf{P} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{k+1}^{(l)} \\ -h^{-1} a_0 \mathbf{C}_{k+1}^{(l)} \end{bmatrix} \mathbf{P}_l \bar{u}_{B,k+1}^{(l)}$$

Як правило на першій ітерації значення вектора вузлових напруг $\bar{u}_{B,k+1}^{(1)}$ приймається прогнозоване, а на наступних ітераціях – уточнене з попередньої ітерації.

Враховуючи те, що прогнозоване значення вектора вузлових напруг не є точним, векторне рівняння (8) з використанням ітераційного методу Ньютона набере вигляду

$$\mathbf{P} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{k+1}^{(l)} \\ -h^{-1} a_0 \mathbf{C}_{k+1}^{(l)} \end{bmatrix} \mathbf{P}_l \bar{u}_{B,k+1}^{(l)} + \mathbf{P} \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{C} \end{bmatrix} \mathbf{P}_l \sum_{s=1}^p (-h^{-1} a_s) \bar{u}_{B,k+1}^{(l)} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{k+1}^{(l)} \\ -h^{-1} a_0 \mathbf{C}_{k+1}^{(l)} \end{bmatrix} \mathbf{P}_l \Delta \bar{u}_{B,k+1}^{(l)} \quad (10)$$

де $\Delta \bar{u}_{B,k+1}^{(l)}$ – приріст вектора вузлових напруг на $k+1$ -му кроці інтегрування, який визначається із рівняння (10).

Векторне алгебраїчне рівняння (10), яке є ліанеризоване у даній точці інтегрування, може бути розв'язане за одним із методів, наприклад за методом Гауса чи за методом провідного елемента.

Отримавши приріст вектора вузлових напруг $\Delta \bar{u}_{B,k+1}^{(l)}$ внаслідок розв'язання системи (10), уточнення значення вектора вузлових напруг здійснимо за формулою

$$\bar{u}_{B,k+1}^{(l+1)} = \bar{u}_{B,k+1}^{(l)} + \Delta \bar{u}_{B,k+1}^{(l)} \quad (11)$$

Для переходу до вектора вузлових напруг до вектора напруг віток використаємо вираз (7) у вигляді

$$\vec{u}_{k+1}^{(l+1)} = \prod_t \vec{u}_{B,k+1}^{(l+1)} \quad (12)$$

Таким чином нами отримана математична модель (10)-(12) системи заряджених хмар відносно землі у вузлових напругах, де між хмарами і землею та окремими хмарами враховано можливі шляхи виникання блискавки. Вузлові координати прийняті тому, що схеми такої структури містять у два і більше разів незалежних контурів ніж незалежних вузлів, що забезпечує найнижчий порядок системи рівнянь.

Сформована математична модель реалізована на програмно-орієнтованій мові DELFI-7 у вигляді автоматизованого програмного комплексу, який дозволяє імітувати грозові розряди таких систем. На рис. 4 наведено результати розрахунку процесу розряду Q_1 на резистор R_1 за умови, що $U_{cl} = 10 \text{ МВ}$; $R_1 = 500 \text{ Ом}$; $C_1 = 2 \text{ мкФ}$.

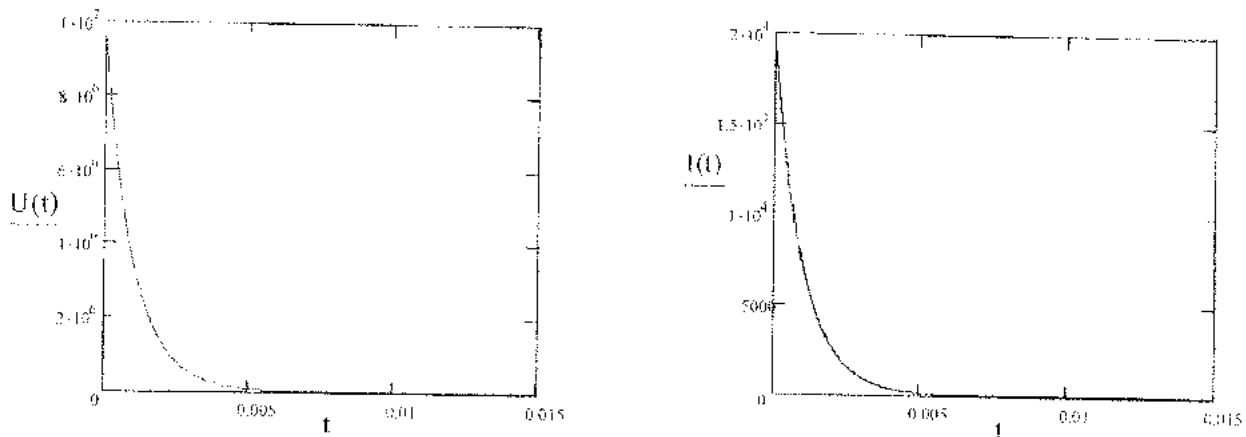


Рис. 4. Графіки напруги і струму процесу розряду

За даних параметрів процес повного розряду хмари відбувається за 5 мс. Якщо різниця потенціалів між хмарою та точкою розряду досягає 100 МВ, а опір 1000 Ом, то за такої самий період часу розряджається еквівалентний заряджений конденсатор ємністю 0,8 мкФ. За цих умов на рис. 5 наведено результати розрахунку у вигляді графіків.

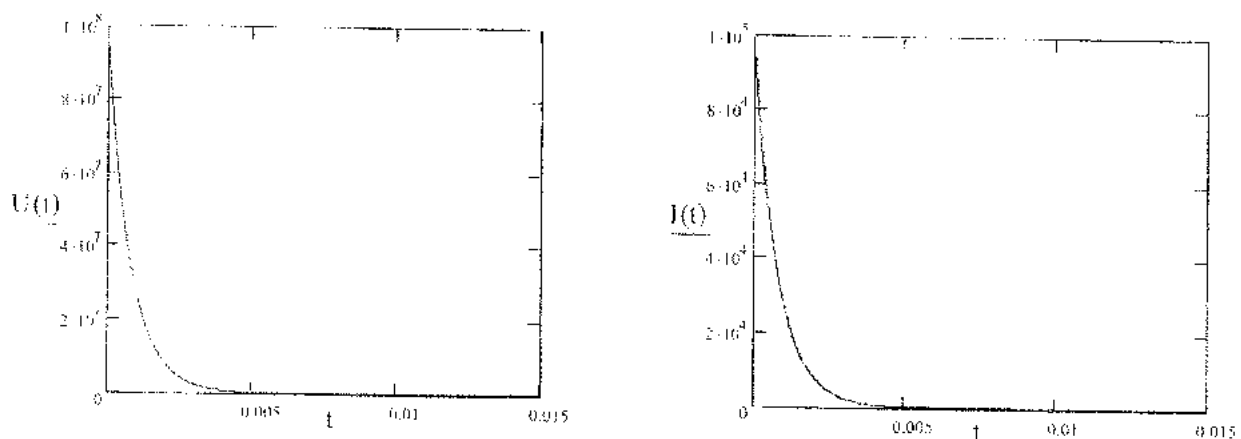


Рис. 5. Результати моделювання грозового розряду від напруги 100 МВ.

Адекватність моделі перевірялася за такими параметрами як час розряду та енергія блискавки, при цьому опір стовпа блискавки взято лінійним.

Отримана математична модель призначена для аналізу динамічних електромагнітних процесів, які відбуваються під час грозових розрядів, і легко реалізується на одній із алгоритмічних мов. Процедура формування математичної моделі відбувається в автоматичному циклі на основі матриць вузлових з'єднань та провідностей віток, які формуються спеціально розробленими програмами. Такий підхід дозволяє забезпечити виконання масових експериментів завдяки порівняно швидкій підготовці розрахункових схем та їх параметрів.

Висновки. 1. Враховуючи особливості фізичних процесів, які відбуваються під час формування грози, пропонується підхід до формування розрахункової схеми грозорозрядів, основними елементами якої є конденсатор, як накопичувачі зарядів та в загальному випадку нелінійні резистори, які утворюють можливі шляхи замикання блискавки.

2. Математична модель системи грозорозрядів сформована у вузлових напругах, що забезпечує найнижчий порядок системи рівнянь, але у зв'язку із значною жорсткістю системи нелінійних рівнянь використано неявний метод інтегрування формул диференціювання назад, завдяки чому досягається задовільна точність та стійкість обчислювального процесу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стекольников И. С. Физика молнии и грозозащита. - М.-Л., 1943.
2. Юман М.А. Молния. Пер. с англ. М., 1972.
3. Измяштов И.М., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электричество облаков. - Л., 1971.
3. В.С. Перхач. Математичні задачі електроенергетики. - Львів: Вища шк., 1986.
4. Чуа Л.О., Лип Цей-Мин. Машинный анализ электронных схем: Алгоритмы и вычислительные методы. Пер. с англ. - М.: Энергия, 1980. - 640 с.: ил.

УДК 351.746.1

О.А. Крюковська, к.т.н., доц. (Дніпродзержинський державний технічний університет)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА СТАН БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

Ризик виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, як і кількість загиблих та постраждалих внаслідок їх виникнення, з кожним роком зростають. Для виконання задачі зниження рівня цього ризику необхідно на кожному окремому рівні життя і діяльності людини дотримуватися алгоритму ідентифікації джерел і типів небезпек за консультативною допомогою фахівців та кваліфікованих державних органів, що займаються розробкою та реалізацією комплексу заходів, спрямованих на попередження надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру

На сьогодні Україна за насиченістю території промисловими об'єктами у декілька разів перевищує розвинені європейські країни (при загальній площі України в 603,0 тис.км² промисловий потенціал займає близько 9%). Майже третину з них становлять потенційно небезпечні підприємства, пов'язані з виробництвом, переробкою та зберіганням сильнодіючих отруйних, вибухонебезпечних і вогнебезпечних речовин, гірничої, металургійної, аграрної, хімічної та водно-меліоративної галузей. Цілі промислові регіони являють собою зони з надзвичайно високим ступенем ризику виникнення аварій та катастроф техногенного походження. Ризик постійно зростає, оскільки рівень зносу