

УДК 519.688

М.Ю. ТОЛКАЧОВ

Національний технічний університет «ХПІ», Україна

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ БЛИСКАВКИ У ОБМЕЖЕНОМУ ЗАМКНУТОМУ ПРОСТОРИ

В статті розглянуто один із методів підвищення ефективності пристроїв блискавкозахисту. Наведено аналіз існуючого стану справ та запропоновано методику розрахунку електромагнітного поля блискавки у обмеженому замкнутому просторі приміщення на ранніх стадіях проектування для розташування обладнання у обмеженому замкнутому просторі приміщень. Наведено ряд алгоритмів розрахунку. Методика розподілу електромагнітного поля у обмеженому просторі приміщень включає: визначення кількості і типу блискавкоприймачів із урахуванням особливостей місцевості розташування приміщень і т.д.

Ключевые слова: електромагнітне поле, електромагнітна обстановка, працездатність технічних засобів, електромагнітні завади.

Вступ

Розряди блискавки є найбільш типовими потужними джерелами завад, здатними виводити з ладу радіоелектронне та електротехнічне обладнання, що розташовано, як звичай, у замкнутому просторі приміщень.

Існуючі методи активного [1 – 3] та пасивного [4 – 6] захисту приміщень дозволяють здійснити захист від прямого удару блискавки за допомогою спеціального блискавкоприймального технічного обладнання. Однак, електромагнітне поле, яке супроводжує розряд блискавки, своєю руйнівною дією здатне суттєво погіршити умови функціонування обладнання. Це призведе до збоїв його у роботі та виводу з ладу.

Зважаючи на те, що для нормальної роботи радіоелектронного обладнання у офісному приміщенні рівень електричної складової електромагнітного поля не повинен перевищувати 5 В/м [6 – 9], стає актуальним визначити прогнозовану структуру поля на ранніх стадіях проектування для розташування обладнання у обмеженому замкнутому просторі приміщень [10].

Результати досліджень

Багато які радіоелектронні системи пов'язані безпосередньо чи опосередковано із кабельними, та іншими комунікаціями, що розташовані зовні приміщень, які захищено блискавкоприймачами. Розряд блискавки через блискавкоприймач, що розташований безпосередньо біля приміщення має максимальний струм $I_m = 80 \dots 200$ КА. та час зростання $t_\phi = 1$ мкс. за рівнем $0,1 \dots 0,9 I_m$. При цьому три-

валість імпульсу $\tau = 50$ мкс. за рівнем $0,5 I_m$, а максимальна швидкість зростання струму

$$(di/dt)_{\max} = 80 \dots 100 \text{ КА/мкс.}$$

Імпульс струму блискавки при перетіканні по блискавкоприймачу супроводжується падінням напруги на ньому U_1 , а також наводкою U_2 і струму i_2 на близько розташованих контурах. Індукційовані напруги викликані зміною електромагнітного поля блискавкоприймача, через який перетікає струм прямого розряду блискавки. Максимальну величину індукційованої напруги у витку, який розташований біля блискавкоприймача визначають за рівнем їх взаємної індукції. При цьому слід зазначити, що падіння напруги на блискавкоприймачу обумовлено переважно його індуктивним характером. Так, наприклад, при струмі розряду блискавки 80 КА, швидкості зростання струму 80 КА/мкс та індуктивності прямого мідного проводу 2 мкГн/м, перетином 10мм² і довжиною 1м складає 160 КВ.

$$U_1 = 1 * L * (di/dt) = 1 * 2 * 10^{-6} * 80 * 10^9 = 160 \text{ КВ}$$

Максимальну величину індукційованої напруги у витку, що розташовано поряд із блискавкоприймачем визначають за співвідношенням

$$U_2 = 1 * M * (di/dt)_M, \quad (1)$$

де l – відстань між блискавкоприймачем та контуром; di/dt – максимальна швидкість зростання струму блискавки; M – взаємна індуктивність між блискавкоприймачем та контуром.

Розроблена СПП [10, 11] дозволяє визначати рівні максимального значення наведених імпульсних напруг і струмів у випадках типового взаємного розташування блискавкоприймача та контуру, який розта-

шовано зовні замкнутого простору. Сукупність впливу на конкретний контур реалізується в умовах апіорної невизначеності. Результат такого впливу X являє собою випадкову функцію $F(x_1; x_2 \dots x_n)$ вигляду

$$X = F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

де x_i ; $i[1, n]$ – випадкові екзогенні аргументи X .

Сума у правій частині (2) являє собою сукупність напівгрупових операцій: асоціативних і комутативних, які мають стохастичний характер. У якості X розглядаються рівні напруженості електричного E , В/м та магнітного H , А/м поля, а також щільність потоку енергії ППЕ, мкВт/см², які у реальних умовах є випадковими величинами. На основі цих впливів створюють аналітичну модель [12].

Канонічна форма запису характеристичної функції (ХФ) одновимірного сталого закону має вигляд

$$f_1(u) = \exp\{j\alpha u - b|u|^\gamma [1 + j\epsilon(u/|u|)\Omega(u, \gamma)]\}, \quad (3)$$

де $u[-\infty; \infty]$ – аргумент ХФ; $\alpha[-\infty; \infty]$, $b[0; \infty]$, $\epsilon[-1; 1]$, $\gamma[0; 2]$ – числові параметри ХФ; $\Omega(u; \gamma) = \text{tg}(\pi\gamma/2)$, якщо $\gamma \neq 1$, а якщо $\gamma = 1$, то $\Omega(u; \gamma) = (2/\pi) \ln|u|$.

Середній рівень впливу ЕМП у точці M буде мати вигляд

$$\text{ППЕ}_{\text{ср}} = \sum_{n=0}^N p_n \frac{P_{An} G_{An} V_n^2}{4\pi R_n^2} = \sum_{n=0}^N p_n \text{ППЕ}_n, \quad (4)$$

де p_n – ймовірність активності n -го джерела, причому P_{An} і G_{An} є детермінованими, а V_n і R_n – випадковими величинами, які моделюються тривким законом з ХФ виду (2). Значення $R_n[R_{\min}; R_{\max}]$ і $V_n[0; 1]$ розігруються по методом Монте-Карло, причому R_{\min} і R_{\max} визначаються, виходячи з розмірів об'єму приміщення, що досліджується.

На стадіях проектування приміщень ці данні дають можливість оптимізувати взаємне розташування блискавкоприймача та зовнішніх частин радіоелектронного обладнання, що знаходиться всередині обмеженого замкнутого простору приміщення по критерію рівномірності.

У свою чергу місця розташування зовнішніх частин обладнання є шляхами проникнення наведеного струму відповідно визначеного рівня у середині приміщення.

Такі місця в середині приміщення є джерелами електромагнітних завад, які у сукупності створюють структуру електромагнітного поля. Остання фаза проектування розташування обладнання у обмеженому замкнутому просторі приміщень включає комплексне прогнозування електромагнітної обстановки у самому приміщенні.

Комплексне прогнозування електромагнітної обстановки в приміщенні в рамках обґрунтованих моделей джерел ЕМП і приміщення в цілому припускає наявність, принаймні, мінімально достатнього набору вихідних даних, в який включаються наступні основні характеристики: характеристика приміщення; тобто повинна бути відома конфігурація приміщення, включаючи внутрішні перегородки, непорушні деталі інтер'єру і всі геометричні розміри (довжина, ширина, висота) приміщення та його складових; характеристики розподільних об'єктів, джерел електромагнітних завад; характеристики локальних об'єктів, джерел електромагнітних завад.

Кожна з наявних в приміщенні провідних мереж (силова або телекомунікаційна) повинна бути представлена у вигляді сукупності розподільних об'єктів. Для кожного об'єкту, включаючи тимчасові (переносні), повинні бути відомі:

- дислокація: просторові декартові координати початку та кінця джерела;
- відстань між проводами лінії;
- погонна ємність або вихідні дані для її розрахунку, наприклад, геометричні розміри перетину лінії.

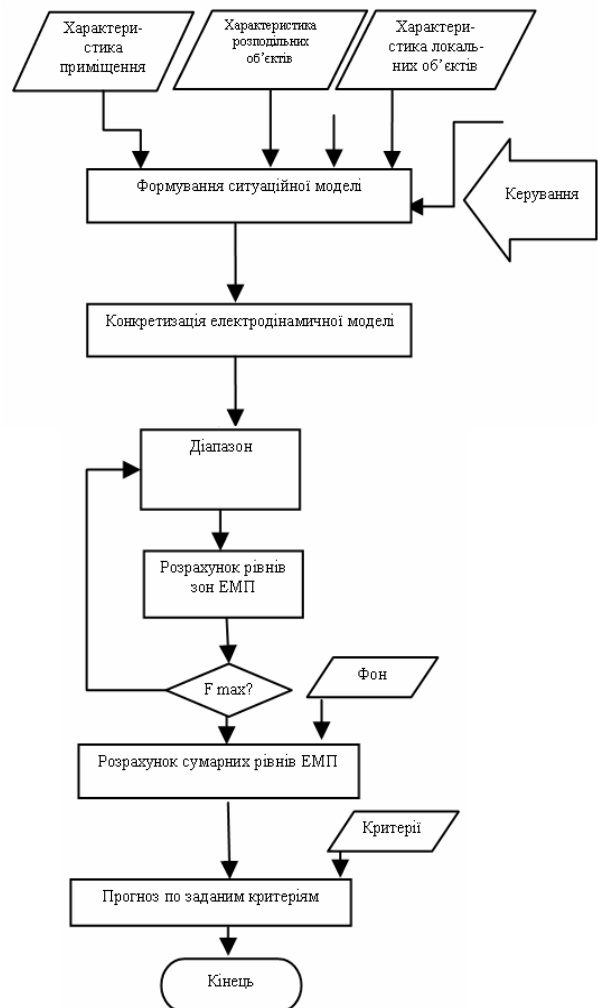


Рис. 1. Алгоритм комплексного прогнозування.

На підставі формалізації вихідних даних здійснюється прив'язка джерел випромінювання в приміщенні за дислокацією з урахуванням їх габаритних розмірів. Для провідних ліній фіксують точки розгалуження, межі прямолінійних ділянок.

Крім того, необхідно задати критерії оцінки розрахункового прогнозу. У вигляді таких можуть бути прийняті напруженості поля в контрольних точках.

Запропонований алгоритм комплексного прогнозування електромагнітної обстановки в приміщенні наведено на рисунку 1.

На підставі вихідних даних формують ситуаційну модель приміщення (рис. 2), яка являє собою достатньо повний формалізований опис приміщення з системою джерел, які знаходяться в ньому. Він також враховує характеристики приміщення, характеристики джерел випромінювання, локалізацію джерел в просторі приміщення, а також системні зв'язки і обмеження.

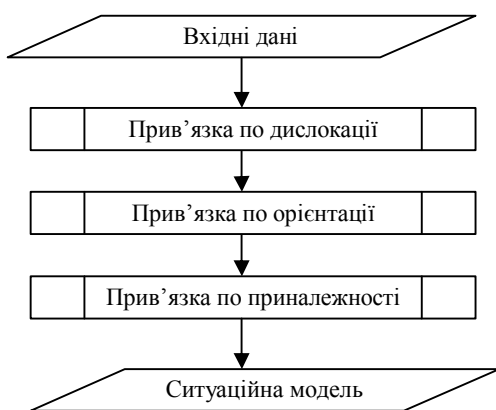


Рис. 2. Формування ситуаційної моделі.

Для сформованої (первісної або скоректованої) ситуаційної моделі проводять конкретизацію електродинамічної моделі приміщення з розміщеними в середині об'єктами (рис. 3).

Ситуаційна модель повністю описує всю сукупність чинників, які визначають електромагнітну обстановку в приміщенні. Тому будь-яке цілеспрямоване корегування результатів прогнозу (оптимізація електромагнітної обстановки) пов'язане з керуванням параметрами ситуаційної моделі.

Підсумковою операцією є формування розрахункового прогнозу електромагнітної обстановки в приміщенні, який проводиться на підставі розрахованого рівня сумарних ЕМП для різноманітних частотних діапазонів [9] (рис. 4), з урахуванням того, що суперпозиція випромінювань кожного із джерел завад складає структуру електромагнітного поля, максимальний рівень якого не повинен перевищувати 5В/М [8, 9].



Рис. 4. Прогноз за заданими критеріями

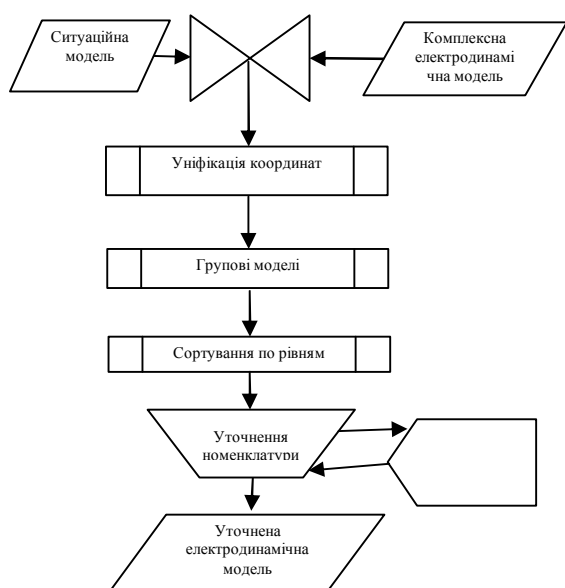


Рис. 3. Конкретизація електродинамічної моделі

Висновок

Таким чином, розроблена методика розподілу електромагнітного поля у обмеженому просторі приміщень включає:

1. Визначення кількості і типу блискавкоприймачів із урахуванням особливостей місцевості розташування приміщень.
2. Оптимізацію зовнішнього розташування елементів обладнання, яке знаходиться в середині приміщення за критерієм мінімуму наведеної напруги від блискавкоприймача.
3. Розрахунок рівня наведеної напруги в усіх елементах за умови їх оптимального розташування.
4. Розрахунок рівнів електромагнітних завад, які виникають у середині приміщення від кожного з каналів проникнення.
5. Розрахунок загального розподілу електромагнітного поля завад у середині приміщення.
6. Розробка рекомендацій щодо розташування радіоелектронного обладнання.

Література

1. Рикетс Л.У. Электромагнитный импульс и методы защиты / Л.У. Рикетс, Дж.Э. Бриджес, Дж. Майлетта // Под ред. Н.А. Ухина. – М.: Атомиздат, 1979. – 328 с.
2. Позитивне рішення на вимогу Патенту України на винахід по заяві №200800032 від 02.01.2008. Пристрій активного блискавкозахисту / М.Ю. Толкачев, О.А. Серков та ін.
3. Серков А.А. Методика підвищення ефективності працездатності пристроїв блискавкозахисту. / А.А. Серков, М.Ю. Толкачев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Х.: ХАІ. – 2008. – № 5(32). – С. 95-97.
4. Готовский Ю.В. Электромагнитная безопасность в офисе и дома (видеодисплейные терминалы и сотовые телефоны). / Ю.В. Готовский, Ю.Ф. Перов. – М.: ИМЕДИС, 1998.-150 с.
5. Григорьев Ю.Г. Электромагнитная безопасность человека. / Ю.Г. Григорьев, В.С. Степанов, О.А. Григорьев, А.В. Меркулов // Справочно-информационное издание. – М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999,- 151с.
6. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122 87. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
7. ДСТУ 2626-94. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до імпульсного магнітного поля. Технічні вимоги і методи випробувань. – введ. 01.07.95.
8. ДСТУ 2793-94. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до потужних електромагнітних завад. Загальні положення. – введ. 01.01.96.
9. ДСТУ 3681-98 (ГОСТ 30586-98). Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Технічні вимоги і методи випробувань. – введ. 01.07.99.
10. Серков А.А. Автоматизация процессов обеспечения молниезащиты на основе программного пакета SOLIDWORKS / А.А. Серков, М.Ю. Толкачев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Х.: ХАІ. – 2007. – № 7(26). – С. 87-89.
11. Серков А.А. Разработка экспертной системы для оценки молниезащиты зданий и сооружений / А.А. Серков, М.Ю. Толкачев // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. Наук. Пр. Тем. Вип.: "Електроенергетика і перетворююча техніка". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2004. – № 5. – С. 16-19
12. Толкачев М.Ю. Вероятностный подход к задачам обеспечения молниезащиты / М.Ю. Толкачев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: ХАІ. – 2009. – № 5(39). – С. 60-64.

Надійшла до редакції 7.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МОЛНИИ В ОГРАНИЧЕННОМ ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

М.Ю. Толкачев

В статье рассмотрен один из методов повышения эффективности устройств грозозащиты. Приведен анализ существующего положения дел и предложена методика расчета электромагнитного поля в ограниченном замкнутом пространстве помещения на ранних стадиях проектирования для расположения оборудования. Приведен ряд алгоритмов расчета.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитная обстановка, работоспособность технических средств, электромагнитные помехи.

A TECHNIQUE FOR CALCULATING ELECTROMAGNETIC FIELD OF LIGHTNING IN A CONFINED CLOSED SPACE

M.U. Tolkachov

The paper describes a method for improving the effectiveness of lightning protection devices. An analysis of the current state of the art is provided and a technique is proposed to calculate electromagnetic field of lightning in a confined space of a premise, which is applicable on early development stage for determining arrangement of equipment. Several algorithms for the calculations are described.

Keywords: electromagnetic field, lightning protection devices, space of a premise, calculation of electromagnetic field.

Толкачев Максим Юрьевич – ст. преп. кафедри «Системи інформації», Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: tolkachov@kpi.kharkov.ua.