

УДК 621.319

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕНЬ МАГНІТНИХ ПОЛІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

MODELING OF ELECTRICAL EQUIPMENT MAGNETIC FIELDS PROPAGATION

*Левченко Л. О., Осадчий Б. М., Азнаурян І. О., Осадчий Д. Б.**Levchenko L. O., Osadshiy B. M., Aznauryan I. O., Osadshiy D. B.*

В роботі показано, що в умовах ущільнення розташування електротехнічного обладнання у приміщеннях, будівлях та на територіях ВРП 330-739 кВ для забезпечення нормативних рівнів електромагнітної сумісності персоналу і населення доцільно здійснювати попереднє моделювання поширення електромагнітних полів. Враховуючи незначне екранування магнітного поля корпусами обладнання моделювання доцільно здійснювати за магнітною складовою електромагнітного поля. Визначено математичне співвідношення щодо поширення магнітного поля окремих джерел з урахуванням їх дипольної моделі. Моделювання здійснювалося для джерел дипольного та дипольно-квадрупольного типу. З використанням пакету Matlab надано тривимірні моделі джерел з поширенням дипольної, квадрупольної та дипольно-квадрупольної гармонік поля. Розроблено прикладне програмне забезпечення у середовищі C з використанням бази даних SQL-сервер і здійснено моделювання поширення магнітного поля багатьох джерел у визначеній площині. Отриманий результат свідчить, що навіть для електротехнічного обладнання, що перебуває в експлуатації, визначити наведені ізоляції напруженості магнітного поля експериментальним шляхом дуже складно. На стадіях проектування розміщення обладнання моделювання є єдиним інструментарієм прогнозування електромагнітної обстановки, яка визначає електромагнітну сумісність технічних засобів і електромагнітну безпеку персоналу ПС 330-75 кВ і населення.

The work is show that in conditions of dense the location of electrical equipment in the premises, buildings and on territories to ensure the regulatory levels of electromagnetic compatibility of personnel and the population, it is advisable to carry out preliminary modeling of the propagation of electromagnetic fields it is advisable. Considering the insignificant shielding of the magnetic field by the equipment cases, it is advisable to carry out modeling based on the magnetic component of the electromagnetic field. The mathematical ratio of the propagation of the magnetic field of individual sources, taking into account their dipole model, has been determined. The modeling was carried out for sources of the dipole and dipole-quadrupole types. Three-dimensional models of sources with the propagation of dipole, quadrupole and dipole-quadrupole harmonics of the field are provided, using the Matlab package. Application software has been developed in the C environment, using the SQL server database, and modeling of the propagation of the magnetic field of many sources in a certain plane has been carried out. This result is show that

even for electrical equipment that operates to determine the reduced magnetic field isolines experimentally very difficult. At the design stages of equipment placement, modeling is the only tool for predicting the electromagnetic environment, which determines the electromagnetic compatibility of technical equipment and the electromagnetic safety of personnel of 330-75 kV substation and the public.

В умовах збільшення кількості і номенклатури електро-технічного обладнання, розміщеного в окремих приміщеннях та визначених територіях ПС, підвищення його потужностей постає проблема раціоналізації або оптимізації взаємного розташування обладнання, яке забезпечить максимальні ступені електромагнітної сумісності технічних засобів та безпеку персоналу і населення.

Найбільш надійним методом визначення електромагнітної обстановки є натурні вимірювання в реальних умовах експлуатації обладнання. Але це можливо, наприклад, під час модернізації існуючого обладнання або його окремих одиниць. Навіть за наявності аналогічних пристроїв, за його великої кількості в умовах експлуатації передбачити напруженості електричних та магнітних полів в окремих зонах складно і вимагає дуже великої кількості вимірювань. Найефективнішим методом оцінювання електромагнітної обстановки на стадіях проектування розміщення обладнання та первинного монтажу є моделювання поширення полів за тих чи інших взаємних розташуваннях технічних

засобів. Це надасть можливість визначити найбільш прийнятні схеми монтажу обладнання, які мінімізують його взаємний вплив та несприятливий вплив на персонал і населення.

Більшість робіт з моделювання поширення електричних, магнітних та електромагнітних полів мають прикладну спрямованість. Щодо електромагнітних полів наднизьких частот (промислової та її гармонік), то їх переважна кількість стосується проектування електротехнічного обладнання – підвищення його ефективності (зниження втрат) [1, 2].

Частина досліджень розглядає зовнішні поля технічних засобів. Зокрема, в [3] наведено розрахунки й результати експериментальної перевірки просторового розподілу магнітного поля чотириполюсної електричної машини. Показано, що такі об'єкти є джерелами дипольно-квадрупольного поля. Експериментально підтверджено прийнятну збіжність модельованих поширень електричного поля промислової частоти навколо повітряних та кабельних високовольтних ліній електропередачі [4, 5]. Розподілу полів

кількох джерел присвячено поодинокі роботи [6, 7], які стосуються високочастотних джерел. Значною мірою це обумовлено їх однотипністю і однаковими закономірностями поширення випромінювань. У ґрунтовному дослідженні [8] показано, що більшість джерел низькочастотного магнітного поля можна розглядати як системи магнітних диполів. Врахування просторових гармонік дозволяє розраховувати напруженості полів з мінімальними похибками (обираючи кількість гармонік, що враховуються). Але в багатьох випадках для оцінювання електромагнітної обстановки на великих площах висока точність не є критичною. Спрощений розрахунковий апарат, наведений у [9], дозволяє на прийнятному рівні визначити як розподіл напруженостей електричного та магнітного поля, так і контури зон перевищення гранично допустимих рівнів.

Мета роботи – реалізація методології моделювання поширення електромагнітного поля багатьох джерел та візуалізація результатів моделювання.

Згідно з чинними міжнародними та національними нормативами рівні електромагнітних

полів частотами до 300 МГц визначаються за напруженостями їх електричної та магнітної складових. Одночасне визначення цих параметрів, принаймні локалізованих у просторі технічних пристроїв (електродвигунів, генераторів, трансформаторів, розподільчих пунктів тощо), не доцільне. Електрична складова повністю або частково екранується металевими корпусами або обшивками обладнання. В той же час екранування магнітної складової — мінімальне. Тому моделювання поширення електромагнітних полів низьких частот доцільно здійснювати за магнітними складовими. До того ж, згідно з останніми дослідженнями, магнітне поле техногенного походження має більш несприятливий вплив на біологічні об'єкти ніж електричне.

Прикладне програмне забезпечення створюється на основі математичних функцій, які описують поширення магнітного поля. Для здійснення моделювання зручність дипольної моделі магнітного поля джерела полягає в тому, що можливо розглянути диполі різної орієнтації в одному джерелі та різноспрямовані диполі, які характеризують поле одного джерела.

Для розроблення концептуальної моделі поширення магнітних полів багатьох джерел та інтегральної напруженості магнітного поля в будь-якій точці площі, яка розглядається, мож-

на обрати довільні магнітні моменти диполів.

У відповідності до чинних нормативів рівні електромагнітних полів як у приміщеннях, так і на територіях ВРУ 330-750 кВ нормуються на висоті 1,8 м над поверхнею підлоги або землі (крім випадків, коли визначаються зони обмеження забудови за умови впливу джерел електромагнітних випромінювань таких, як радіотехнічні об'єкти цивільної авіації). Тому достатньо розглянути радіальну складову магнітного поля кожного диполя

$$H_r = \frac{m \cdot \cos \theta}{2\pi \cdot R^3}$$

та кутову складову $H_\theta = \frac{m \cdot \sin \theta}{4\pi \cdot R^3}$,

де m — магнітний момент диполя,

R — відстань від центра диполя до точки визначення напруженості магнітного поля,

θ — кут між вектором диполя на напрямком до точки визначення поля,

та отримати пласку мапу, що показує напруженість магнітного поля в кожній точці визначеної площини:

від одного джерела

$$H = \sqrt{H_R^2 + H_\theta^2},$$

та від усіх джерел, які розглядаються,

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2}.$$

За щільного розташування джерел з більш складною структурою поля (наприклад, багатополюсні електричні машини) похибки розрахунків необхідно знижувати. В цьому випадку в модель і програмне забезпечення потрібно закладати дещо інше співвідношення з урахуванням принаймні двох просторових гармонік (дипольної і квадрупольної). Розрахунки виконуються для трьох складових магнітного поля в сферичних координатах (H_r , H_ϕ , H_θ) [7].

Моделювання поширення гармонік з різними закономірностями їх розповсюдження в просторі здійснюється з використанням пакету *Matlab*. Наприклад, найбільш поширені електричні машини — чотириполюсні з дипольно-квадрупольним магнітним полем. Поширення дипольної, квадрупольної та дипольно-квадрупольної гармонік наведено на рис. 1.

Для розрахунків необхідних для отримання розподілу поля в площині визначається орієнтація джерела поля з відповідними характеристиками в обраних координатах. Для моделювання поширення магнітного поля у визначеній площині було розроблено прикладне програмне забезпечення в середовищі C, при цьому використовувалося управління базою даних SQL-сервер. Результати моделювання наведено на рис. 2.

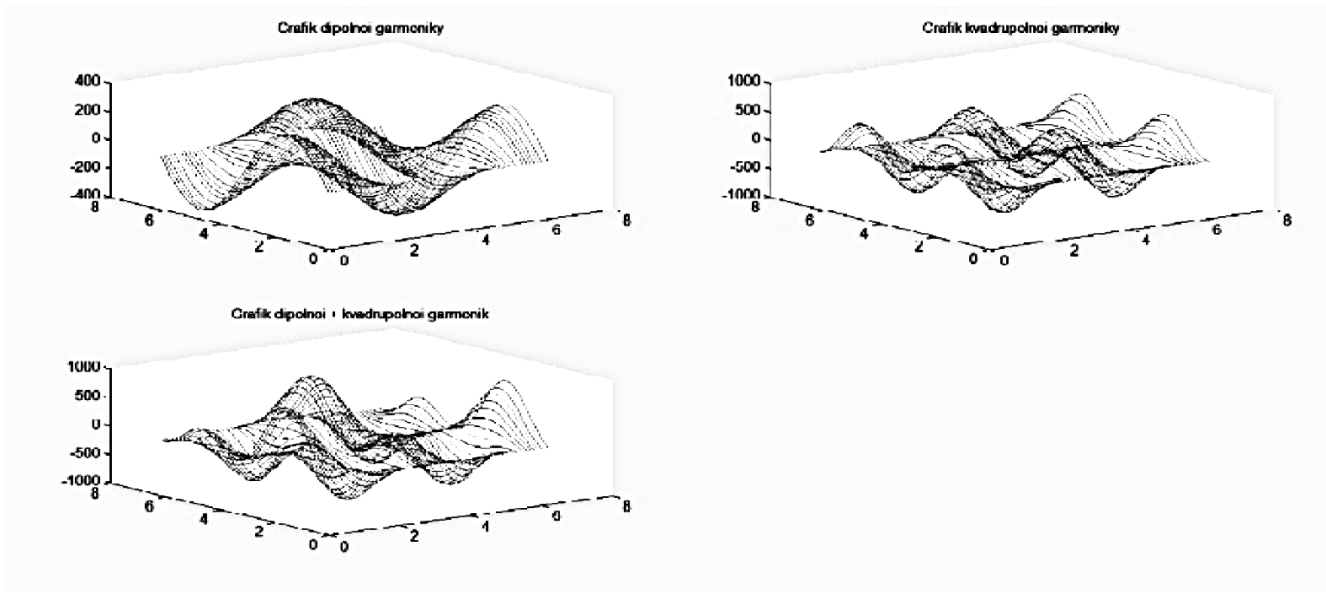


Рис. 1. Розподіл напруженості магнітного поля дипольної, квадрупольної та дипольно-квадрупольної гармонік (напруженість поля H , А/м на осі Z)

Очевидно, що визначити конфігурації наведених на рис. 2 ізоліній, навіть для обладнання, яке перебуває в експлуатації, експериментальним шляхом практично неможливо.

Наявність моделі дозволяє провести її верифікацію в найбільш критичних точках методом натурних вимірювань та внести необхідні корективи з огляду на те, що завжди існують чинники, які важко або неможливо врахувати при реалізації моделювання. В першу чергу це стосується вихідних даних щодо фактичних технічних характеристик джерел електромагнітних полів.

Висновки

1. Моделювання поширення електричних, магнітних та електромагнітних полів багатьох

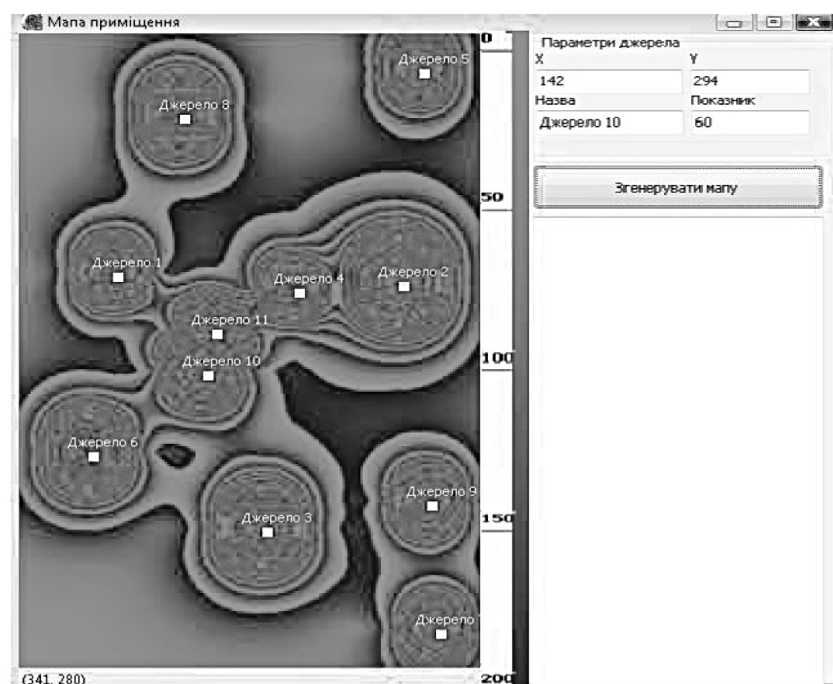


Рис. 2. Моделювання просторового поширення багатьох джерел різної орієнтації. Розміри площини – X , Y (м), шкала індукції магнітного поля – праворуч (мкТл)

джерел дозволяє оцінити ступені електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності в окремих приміщеннях та на визначених територіях на стадіях проектування розміщення електротехнічного обладнання.

2. Для достовірності отриманих моделей необхідним є застосування коректних функцій щодо просторових поширень окремих складових поля з прийнятними спрощеннями й припущеннями.

3. Для локалізованих у просторі технічних засобів здійснення моделювання поширення полів наднизьких частот слід реалізовувати, виходячи з того факту, що поля більшості з них можна характеризувати як поля комбінації магнітних диполів. Отримані результати дозволяють скоротити час і вартість проектних робіт з розміщення електротехнічного обладнання в будівлях та територіях відкритих розподільчих пристроїв.

Література

1. Розов В. Ю. та ін. Исследование магнитного поля трехфазных кабельных линий из одножильных кабелей при двусто-

ронном заземлении их экранов / В. Ю. Розов та ін. Електротехніка і Електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 56–61.

2. Подольцев А. Д., Кучерявая И. Н. Мультифизическое моделирование электротехнических устройств. Техническая электродинамика. – 2015. – № 2. – С. 3–15.

3. Левченко Л. О., Сукач С. В., Коновалова О. В. Моделирование просторовых распределений магнитных полей электрических машин для назначения зон безопасного пребывания персонала. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вип. 6 (89), ч. 1. – С. 27–31.

4. Розов В. Ю., Реуцкий С. У., Пелевин Д. Е. и др. Исследование магнитного поля высоковольтных линий электропередачи переменного тока. Технічна електродинаміка. – 2012. – № 1. – С. 3–9.

5. Пелевин Д. Е. Методы снижения магнитного поля воздушных линий электропередачи за пределами охранных зон. Технічна електродинаміка. – 2015. – № 5. – С. 14–16.

6. Koppel T., Ahonen M., Carlberg M., Hedendahl L. K., Hardell L. Radiofrequency radiation from nearby mobile phone base stations-a case comparison of one low and one high exposure apartment. OncolLett. – 2019. – № 18(5). – PP. 5383–5391. DOI:10.3892/ol.2019.10899

7. Мордачев В. И., Свистунов А. С. Необходимый и достаточный уровень мощности электромагнитного излучения базовых станций сети GSM. Доклады белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2013. – № 7. – С. 44–50.

8. Гетьман А. В. Аналіз та синтез структури магнітного поля технічних об'єктів на основі просторових гармонік: дис. ...д-ра техн. наук, 05.09.05. – Харків, 2019. – 316 с.

9. Ходаковський О. В., Левченко Л. О., Колумбет В. П., Козачук А. Д., Кужавський Д. С. Розрахунковий апарат моделювання поширення електромагнітних полів різномірних джерел. Сучасні інформаційні системи. – 2021. – Т. 5. – № 1. – С. 34–38.