

ЕНЕРГЕТИКА ТА НОВІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.315

В.О. Бржезицький, Я.В. Неділько,
В.І. Хомініч

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЧА НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Вступ

В сучасних умовах вимірювання напруженості електричного поля є важливим аспектом екології електроенергетичних установок високої напруги, а також визначальним фактором їх безпечної експлуатації. Вимірювання електричних полів пов'язане з рядом проблем, однією з яких є недостатня точність приладів.

Існує велика кількість приладів різних виробників, що здійснюють реєстрацію і вимірювання електричних полів [1–4]. Як правило, вони працюють за принципом вимірювання середньоквадратичного значення напруженості електричного поля. Прилади такого типу проектувались і створювались протягом багатьох десятиліть. Одним із них є пристрій для вимірювання електричного (або магнітного) поля, запропонований В.А. Франке [5]. Цей прилад обладнується антеною-диполем сферичної форми для вимірювання електричних складових поля. Недосконалість форм таких антен спотворює поле, що, в свою чергу, призводить до зниження точності вимірювань.

Для визначення електричного поля при регламентації різних видів робіт у зонах впливу електричних полів частотою 50 Гц та для здійснення заходів безпеки працівників необхідно мати прилад, що дасть змогу оперативно здійснювати такі вимірювання. З цією метою вітчизняною промисловістю розроблено прилад для вимірювання напруженості змінного електричного поля частотою 50 Гц – ВНЕП [6].

Постановка задачі

Метою даної статті є дослідження характеристик вимірювача напруженості електричного поля сферичної форми ВНЕП за допомогою встановлення аналітичних залежностей показань приладу від геометричних розмірів антен та їх орієнтації, а також визначення коефіцієнта пропорційності K_n .

Просторова модель вимірювача напруженості електричного поля

Вимірювальний блок приладу ВНЕП виконано у вигляді металевої сфери, що зменшує спотворення картини поля. На передній частині сфери встановлено три ізольовані антени, які розміщені у взаємно ортогональних площинах і мають форму кругових елементів сфери – дисків (рис. 1).

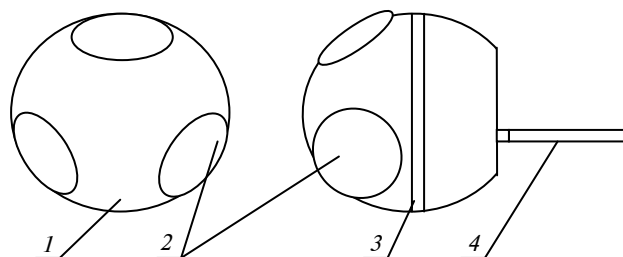


Рис. 1. Зовнішній вигляд вимірювача напруженості електричного поля: 1 – металева сфера; 2 – антена; 3 – металеве з'єднувальне кільце; 4 – діелектричний утримувач

Результуюче значення напруженості електричного поля визначається за сумою сигналів із трьох каналів антен:

$$E = K_n \sqrt{E_A^2 + E_B^2 + E_C^2}, \quad (1)$$

де E – показання приладу; K_n – коефіцієнт пропорційності, який залежить від розмірів антен (визначається експериментально при калібруванні приладу); E_A , E_B , E_C – значення сигналів по каналах, відповідно.

У загальному випадку (через вплив K_n) показання приладу залежать від розмірів антен. Для встановлення точності цих показань необхідно визначити коефіцієнт пропорційності для всіх можливих варіантів просторової орієнтації антен, що виконується в даній статті вперше у вітчизняній літературі.

Для визначення середньоквадратичного значення напруженості поля, що реєструється окремою антеною, необхідно розглянути геометричну модель дискової антени A , розміщеної на поверхні сфери (рис. 2).

За допомогою математичного апарату аналітичної геометрії [7] та з використанням теоретичних даних [8] автори одержали вираз для усередненого по сферичній поверхні дискової антени A значення нормальної складової напруженості електричного поля:

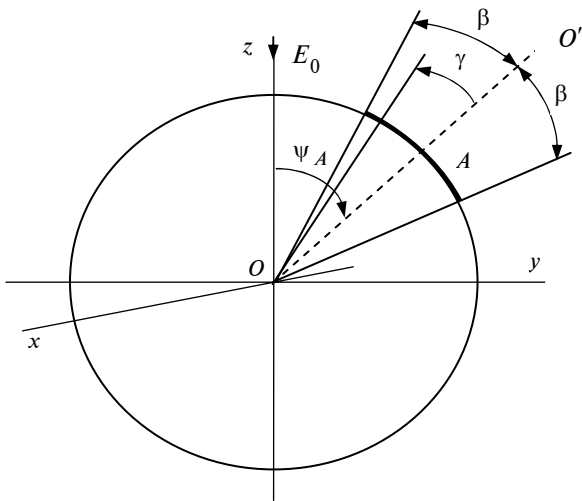


Рис. 2. Модель дискової антени A ВНЕП: E_0 – вектор напруженості зовнішнього електричного поля

$$E_A = 3E_0 \times \int_{-\beta}^{\beta} \cos(\psi_A - \gamma) \sin^2(\psi_A - \gamma) \times \arccos\left(1 - \frac{\cos(\gamma) - \cos(\beta)}{\sin(\psi_A) \sin(\psi_A - \gamma)}\right) d\gamma \times \int_{-\beta}^{\beta} \sin^2(\psi_A - \gamma) \times \arccos\left(1 - \frac{\cos(\gamma) - \cos(\beta)}{\sin(\psi_A) \sin(\psi_A - \gamma)}\right) d\gamma \quad (2)$$

де β – кут, який визначає розміри антени; γ – змінна інтегрування (змінюється від $-\beta$ до $+\beta$); ψ_A – кут нахилу осі OO' антени до осі z .

Визначення кутів ψ_A, ψ_B, ψ_C було проведено для тривимірної симетричної моделі. При цьому одержано вихідне значення $\psi_A = \psi_B = \psi_C = \psi_0 = \arcsin \sqrt{\frac{2}{3}} = 0,9553166181$ радіан ($54^\circ 44'$, рис. 3).

Надалі будемо вважати, що антени A, B, C зафіксовані під кутами ψ_0 до осі z , а вектор E_0 відхиляється від осі z на кут Θ , а від площини zOx – на кут χ (тобто переміщується по колу D , рис. 3). Згідно із законами аналітичної геометрії було знайдено вирази для кутів нахилу між вектором напруженості електричного

поля E_0 і осями антен A, B, C , що виражаються таким чином:

$$\psi_A = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cos(\Theta) (\sqrt{2} \operatorname{tg}(\Theta) \cos(\chi) + 1)\right), \quad (3)$$

$$\psi_B = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cos(\Theta) \left(1 - \frac{\operatorname{tg}(\Theta) \cos(\chi)}{\sqrt{2}}\right) + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\Theta) \sin(\chi)\right), \quad (4)$$

$$\psi_C = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cos(\Theta) \left(1 - \frac{\operatorname{tg}(\Theta) \cos(\chi)}{\sqrt{2}}\right) - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\Theta) \sin(\chi)\right). \quad (5)$$

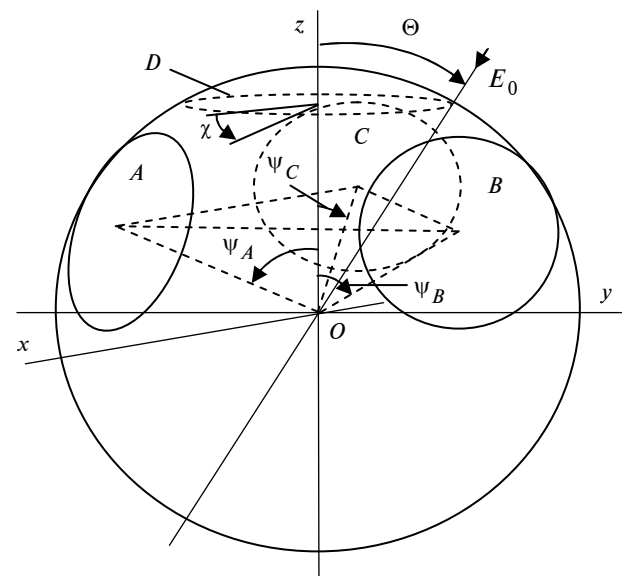


Рис. 3. Геометричне розміщення антен A, B, C ВНЕП і орієнтація зовнішнього електричного поля E_0

При підстановці в (3)–(5) значень $\Theta = 0$ і $\chi = 0$ одержано значення $\psi_A = \psi_B = \psi_C = \arccos \sqrt{\frac{1}{3}}$, що відповідає вихідному значенню ψ_0 .

Таким чином, заміною кутів Θ і χ через значення ψ_A, ψ_B, ψ_C за допомогою (2) можна отримати розрахункове результуюче значення напруженості поля при будь-якій просторовій орієнтації сфери вимірювального приладу відносно поля. З метою отримання повної залеж-

ності в проведеному дослідженні кут Θ змінювався в межах від 0° до 45° , а χ – від 0° до 60° , що відповідає всім можливим варіантам просторової орієнтації системи антен відносно електричного поля.

Результати розрахунків залежності вимірюваних значень напруженості електричного поля від просторової орієнтації

Результатом проведення ряду розрахунків із застосуванням програми MathCad стали залежності коефіцієнта пропорційності K_n від просторової орієнтації вимірювача відносно

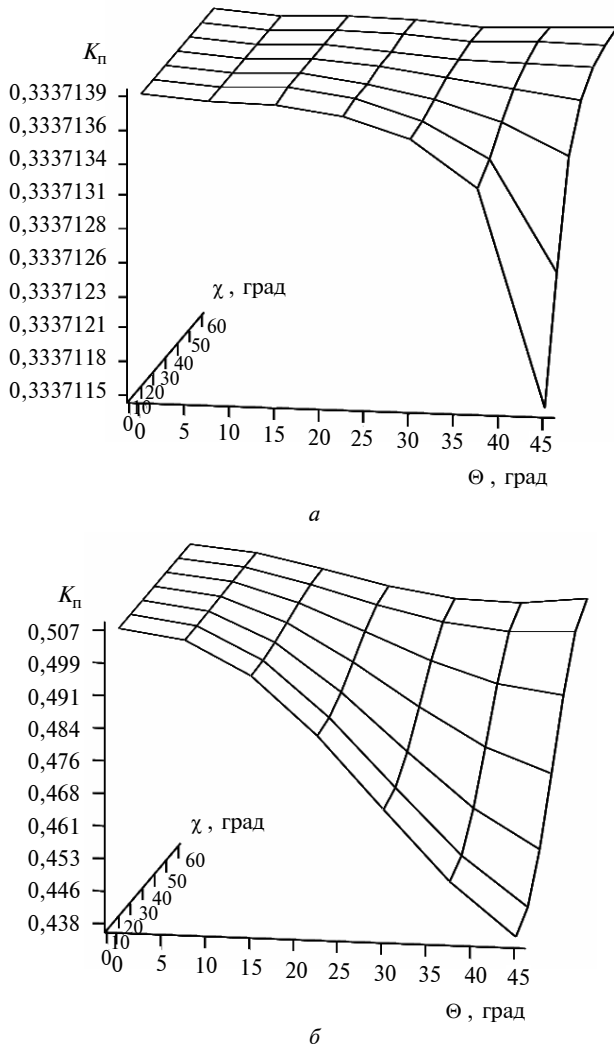


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта пропорційності K_n від кутів Θ та χ : а – при $\beta = 0,05 \psi_0 = 2,74^\circ$ (мінімальне значення); б – при $\beta = 0,95 \psi_0 = 51,99^\circ$ (максимальне значення)

електричного поля і розмірів вимірювальних антен. З ряду отриманих залежностей (19 варіантів) доцільно виділити найбільш характерні випадки (рис. 4), що відповідають граничним межах значення кута β , зумовленим конструкцією приладу.

З одержаних графіків видно, що коефіцієнт пропорційності K_n залежить від розмірів антен (кута β) і кутів орієнтації Θ , χ сфери відносно вектора електричного поля.

За даними проведених розрахунків було визначено значення складової похибки вимірювань, спричиненої зміною просторової орієнтації сфери приладу відносно поля, для кожного значення β за виразом

$$\Delta_\beta = \frac{K_n \max(\beta) - K_n \min(\beta)}{K_n \max(\beta) + K_n \min(\beta)} \cdot 100 \%$$

Графічно цю залежність зображено на рис. 5.

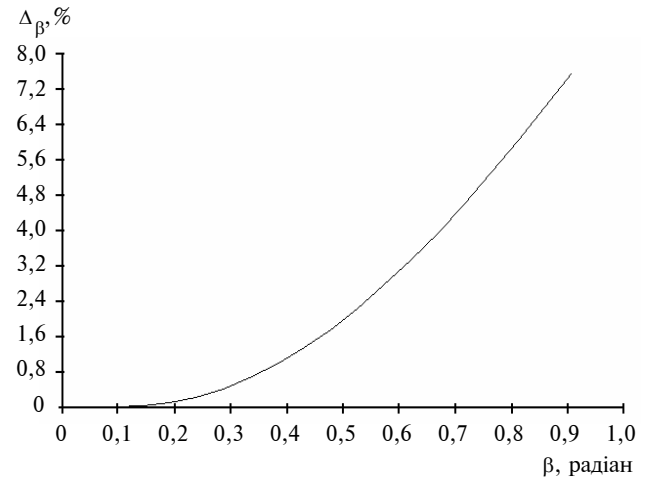


Рис. 5. Залежність складової похибки вимірювань приладу ВНЕП від кута розкриття антен β

Даний графік залежності $\Delta_\beta(\beta)$ дає можливість визначити допустиме значення β для нормованих складових похибок приладів вимірювання напруженості електричного поля. З одержаних результатів видно, що для складової допустимої похибки, наприклад 5%, кут, який визначає розміри антен β , має дорівнювати $0,743$ радіан ($42,6^\circ$).

Для реальної конструкції приладу ВНЕП [6] значення β становить приблизно $0,5$ радіан, що відповідає згідно з рис. 5 рівню похибки $\pm 2\%$ (при цьому максимальна зміна пока-

зань приладу залежно від орієнтації електричного поля становитиме 4%), що необхідно враховувати в експлуатації.

Висновки

Одержані в результаті розрахунків аналітичні вирази для усереднених значень напруженостей електричного поля дають змогу оцінити межі зміни значень, що реєструються антенами,

залежно від кутів повороту сфери приладу відносно вектора напруженості зовнішнього електричного поля. Проведені дослідження вперше засвідчили залежність складової похибки вимірювань приладу від геометричних розмірів антен і просторової орієнтації електричного поля. Вони є одним з етапів розвитку і вдосконалення засобів вимірювання електричних полів та підвищення їх точності.

В.А. Бржезицкий, Я.В. Недилько, В.И. Хоминич

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Получены математические выражения усредненных значений напряженности электрического поля в зависимости от пространственной ориентации датчика прибора – металлической сферы для измерения напряженности электрического поля. Рассчитаны составляющие погрешности прибора, обусловленные размерами его антенн.

V.O. Brjezitskiy, Ya.V. Nedilko, V.I. Hominich

CHARACTERISTICS OF ELECTRIC FIELD MEASURING DEVICE

This paper considers mathematical expressions for mean values of the electric field tension depending on spatial orientation of the measuring device – a metallic sphere for measuring the tension of electric field. We also obtain component parts of instrumental errors caused by sizes of its aerials.

1. <http://www.ciklon.ru/prod/pribor/05/iep-05-ps.ds.pdf>
2. <http://www.dip-technics.com.ua/33118.php>
3. <http://www.etalonpribor.com.ua/upload/main/p3-41.pdf>
4. www.narda-sts.com
5. Франке В.А. Прибор для измерения напряженности высокочастотного электрического и магнитного поля. – Л.: ВЦСПС, 1958. – 8 с.
6. Вимірювач напруженості електричного поля ВНЕП. Настанова по експлуатації. – Вінниця: ВСО ВЕТ, 2004. – 10 с.
7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / Под ред. Г. Гроше и В. Циглера. – М.: Наука, 1980. – 724 с.
8. Шимони К. Теоретическая электротехника. – М.: Мир, 1964. – 774 с.

Рекомендована Радою
факультету електроенерготехніки
і автоматики НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
27 травня 2009 року