

# ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКОВАНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В СОЛЕНОЇДАЛЬНІЙ КОТУШЦІ

**Бабічева А.А., магістрантка, Лапоша М.Ю., аспірант**

*НТУУ «КПІ», кафедра техніки і електрофізики високих напруг*

**Вступ.** Одним із застосувань соленоїдальних котушок є їх використання в установках для випробування ізоляторів на допустимий рівень радіозавад [1]. В останній час до таких випробувань приділяється значна увага у зв'язку з зростанням ролі екологічних вимог та захисту навколишнього середовища.

Існуюче високовольтне електрообладнання та норми випробування ізоляторів на допустимий рівень радіозавад є недостатньо чутливими внаслідок недосконалості високочастотних фільтрових загороджувачів, використовуваних у випробувальному обладнанні [2].

Недоліком існуючих високочастотних загороджувачів є те, що електричний струм зміщення в реакторі частково нейтралізує індуктивну складову їх струму, а в елементі настройки індуктивна складова струму частково змінює його ємнісну складову, що погіршує характеристики даного обладнання [3].

В загальному випадку розподілення електричного потенціалу в котушці індуктивності не співпадає з розподіленням індукovanого магнітним полем котушки потенціалу, в результаті чого ємнісні розподілені струми в котушці індуктивності частково нейтралізують індуктивну складову струму [4].

В зв'язку з цим виникає задача дослідження високовольтних високочастотних загороджувачів на основі розрахунку розподілення електричних та магнітних полів в їх котушках.

**Об'єкт дослідження** – індукований магнітним полем потенціал в соленоїдальній котушці.

**Метою роботи** є дослідження розподілення індукovanого потенціалу в соленоїдальній котушці.

**Матеріали та результати досліджень.** Для дослідження використовуємо соленоїдальну котушку (рис. 1), по однорідній обмотці якої протікає струм. Визначення розподілення індукovanого потенціалу проводимо за допомогою формули взаємної індуктивності для двох однакових кругових контурів А та В, які розташовані в паралельних площинах так, що їх центри знаходяться на одній прямій [5]:

$$M = \mu_0 R f(k) \quad (1)$$

де  $R$  – радіус контурів,  $f(k) = \left(\frac{2}{k} - k\right) K - \frac{2}{k} E$ ,  $K$  та  $E$  – повні еліптичні інтеграли

першого та другого роду з модулем  $k = \sqrt{\frac{4R^2}{h^2 + 4R^2}}$ ,  $h$  – відстань між контурами.

Значення  $K$  та  $E$  можуть бути знайдені за формулами (2), (3) [6]:

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1-k^2 \cdot \sin(\beta)^2}} d\beta, \quad (2)$$

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-k^2 \cdot \sin(\beta)^2} d\beta. \quad (3)$$

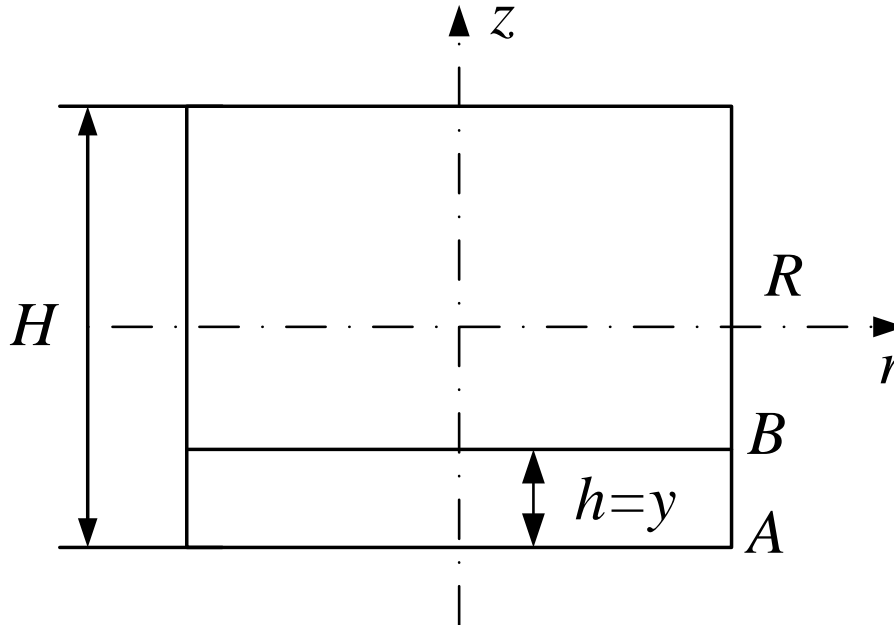


Рисунок 1 – Розрахункова модель соленоїдальної котушки

Після приведення формули (1) до безрозмірного виду ( $h=y$ ,  $y=\alpha R$ ) отримаємо:

$$\frac{M}{R\mu_0} = F(\alpha) = \left( \frac{\alpha^2 + 2}{\sqrt{\alpha^2 + 4}} \right) \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1-k^2 \cdot \sin(\beta)^2}} d\beta - \sqrt{\alpha^2 + 4} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-k^2 \cdot \sin(\beta)^2} d\beta, \quad (4)$$

де  $k = \sqrt{\frac{4}{\alpha^2 + 4}}$ .

Розглянемо, як приклад, соленоїд з загальною висотою  $H = 4R$ .

Допустимо, що в соленоїдальній котушці протікає струм  $i = I_m \cdot \sin \omega t$ , а кількість витків котушки  $N \gg 1$ . Необхідно визначити розподілення індукованого потенціалу в котушці в залежності від висоти  $y$ ,  $0 \leq y \leq 4R$ . Оскільки  $y=\alpha R$ , досліджуємо залежність індукованого потенціалу  $\varphi = \varphi(\alpha)$ .

Виділимо на відстані  $h'$  шар витків  $dh'$ , який містить кількість витків  $dN' = dh' \frac{N}{H}$ . Тоді у цьому шарі індукується напруга

$$d\varphi = \pm dh' \frac{N}{H} \cdot \omega \int_0^H dy \frac{N}{H} \cdot I_m \cdot \cos \omega t \cdot M(h', y) = \pm \omega \cdot dh' \frac{N^2}{H^2} I_m \cdot \cos \omega t \int_0^H M(h', y) dy, \quad (5)$$

де  $\int_0^H M(h', y) dy = \Phi(h')$ , а знак «+» або «-» обирається виходячи із заданого позитивного напрямку струму в котушці.

Індукований потенціал в котушці  $\varphi$  в цілому тоді визначаємо з (5) як  $\varphi = \sum d\varphi$ :

$$\varphi = \pm \omega \frac{N^2}{H^2} I_m \cdot \cos \omega t \int_0^H \Phi(h') dh', \quad (6)$$

а його розподілення по висоті  $h'$  визначається виразом:

$$\varphi(h') = \pm \omega \frac{N^2}{H^2} I_m \cdot \cos \omega t \int_0^{h'} \Phi(h') dh'. \quad (7)$$

Розглянемо в (5) інтеграл  $\Phi(h') = \int_0^H M(h', y) dy$ . Проводячи в ньому підстановку  $h' = y' = \alpha' R$ ,  $y = \alpha R$ , замість (4) одержимо:

$$\frac{M(h', y)}{R\mu_0} = F(\alpha', \alpha) = \frac{(\alpha' - \alpha)^2 + 2}{\sqrt{(\alpha' - \alpha)^2 + 4}} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \cdot \sin(\beta)^2}} d\beta - \sqrt{(\alpha' - \alpha)^2 + 4} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin(\beta)^2} d\beta, \quad (8)$$

$$\text{де } k = \sqrt{\frac{4}{(\alpha' - \alpha)^2 + 4}}.$$

$$\text{Тоді } \Phi(\alpha') = \mu_0 R^2 \int_0^{\alpha_{\max}} F(\alpha', \alpha) d\alpha, \quad (9)$$

$$\text{де } \alpha_{\max} = \frac{H}{R}.$$

Одержаний за (9) графік залежності  $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$  від  $\alpha'$  представлений на рис. 2.

Мінімальне значення  $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$  відповідає значенням  $\alpha' = 0$ ;  $\alpha' = 4,0$  і складає

1,52579. Максимальне значення  $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$  відповідає значенню  $\alpha' = 2,0$  і складає

2,84783. Функція  $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$  монотонно змінюється від мінімального до максимального значень, і має екстремум в точці  $\alpha' = 2,0$ .

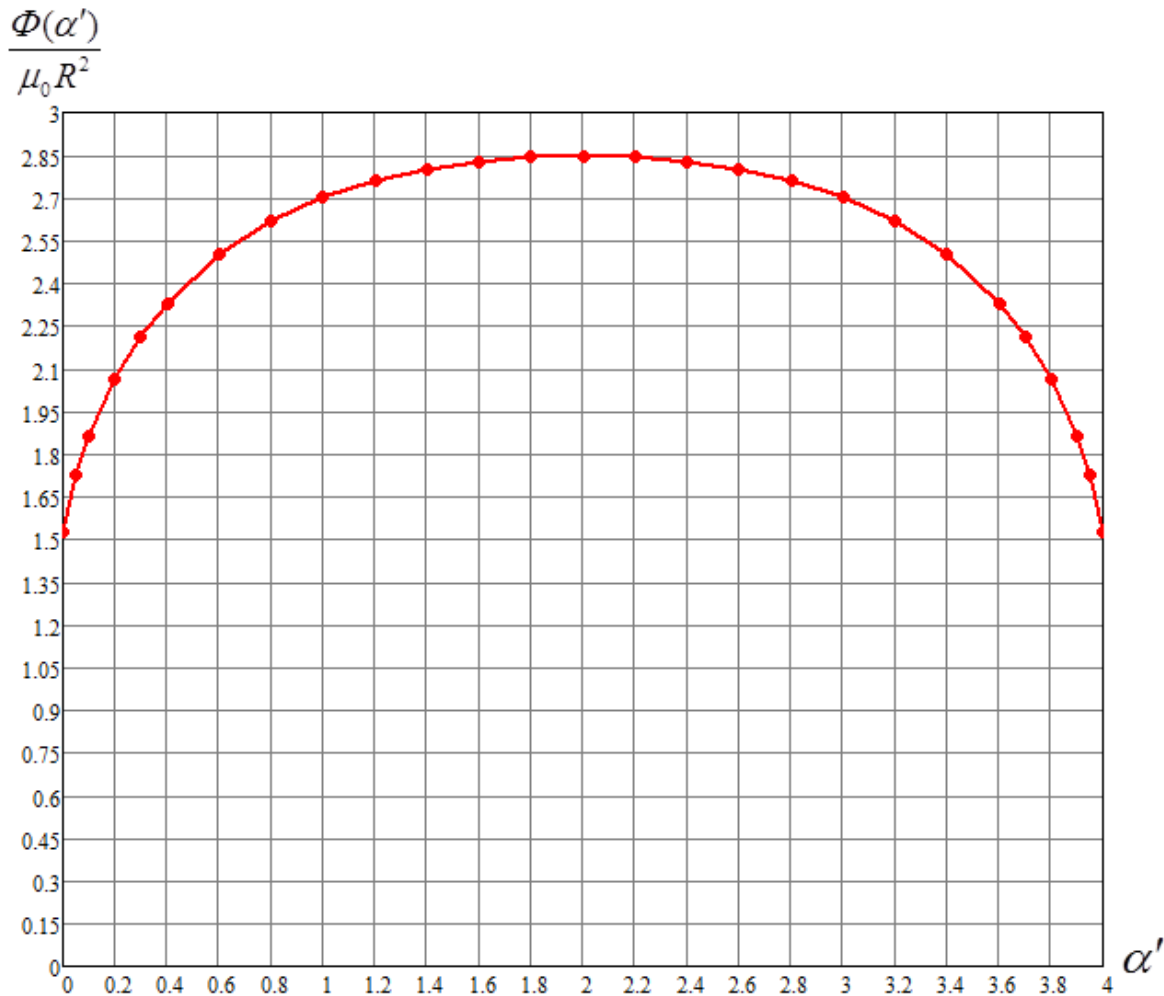


Рисунок 2 – Графік залежності  $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$  від  $\alpha'$

На основі (7) визначимо залежність  $\varphi(\alpha') = \pm \mu_0 \cdot \omega \frac{N^2}{H^2} R^3 I_m \cdot \cos \omega t \int_0^{\alpha'} \Phi(\alpha') d\alpha'$ .

Введемо функцію  $\psi(\alpha') = \int_0^{\alpha'} \Phi(\alpha') d\alpha'$  та представимо її вид на рис. 3.

Функція  $\psi(\alpha')$  була побудована по даним рис. 2 за допомогою використання розрахункового методу трапецій [7].

Аналіз залежності функції  $\psi$  від  $\alpha'$  на рис. 3 показує, що вона має нелінійний характер.

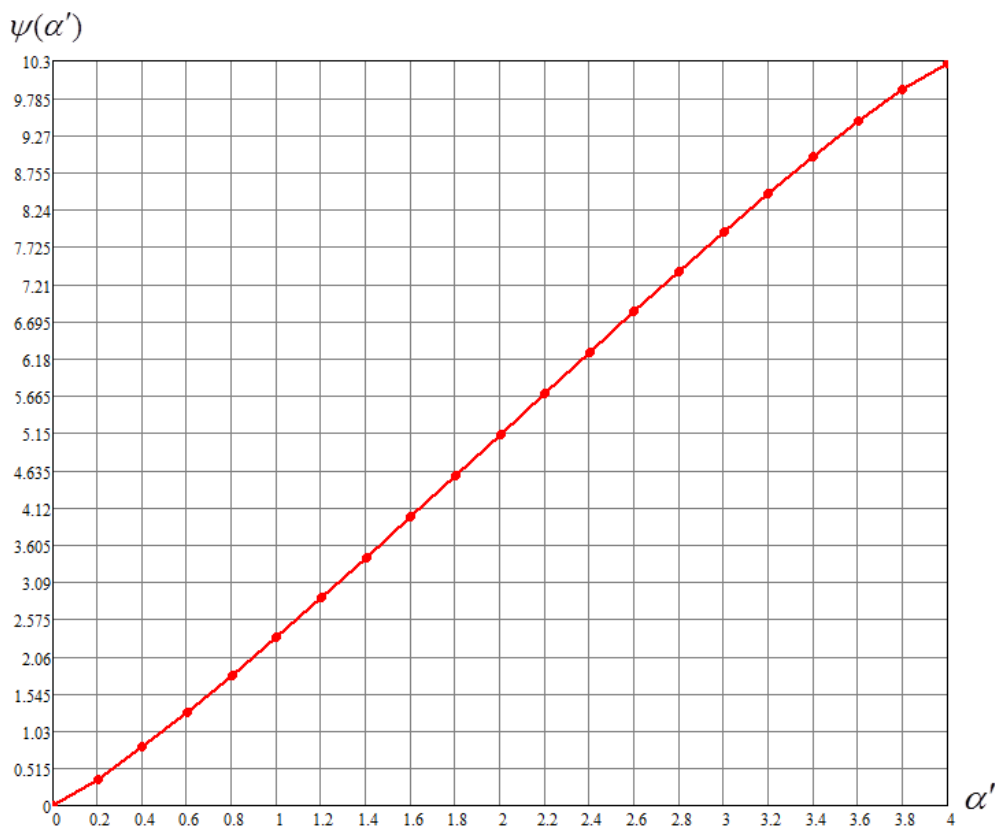


Рисунок 3 – Графік залежності функції  $\psi(\alpha')$

## Висновки

1. Досліджено розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці.
2. При лінійній рівномірній намотці соленоїда розподілення індукованого потенціалу в котушці є суттєво нелінійним, що необхідно враховувати при проектуванні високочастотних індуктивних котушок.

## Перелік посилань

1. IEC 60437:1997, Radio interference test on high-voltage insulators.
2. ГОСТ 26196-84. Изоляторы. Метод измерения промышленных радиопомех. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 4 с.
3. Высокочастотный заградитель: авторское свидетельство 555549 СССР: МПК H04B 3/54 / В.-И. Э. Сапирштейн, С.С. Шляхов; Всесоюзный государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Сельэнергопроект». – № 2145098/09; заявл. 13.06.75; опубл. 25.04.77, Бюл. № 15. – 4 с.: кресл.
4. Высокочастотный заградитель: авторское свидетельство 1119182 А СССР: МПК H04B3/54 / А.П. Райва; Московское производственное объединение "Электрозавод" им. В.В. Куйбышева. – № 3475932/24-09; заявл. 23.07.82; опубл. 15.10.84, Бюл. № 38. – 4 с.: кресл.
5. Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. – 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 488 с: ил.
6. Ильин В. П. Численные методы решения задач электрофизики.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 336 с.
7. Демидович Б. П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. — 2. — Физ-Мат. Лит., 1963. — С. 659.