

УДК 621.313

Губарев В.І.<sup>1</sup>, Літвінов Д.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-210м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАПРУЖЕНОСТЕЙ У КАБЕЛЯХ ВН ІЗ ДВОШАРОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ**

Розглянемо пристрій високої напруги (ВН), електродами якого є коаксіальні циліндри. Такий пристрій може розглядатися як кабель ВН, елемент накопичувача енергії, може застосовуватися у конструкціях високовольних уводів трансформаторів й т.п. Кабель з однорідною ізоляцією має поле, напруженість якого спадає із ростом поточного значення радіуса за гіперболою. Зміна розподілу напруженості поля по товщині ізоляції кабелю може бути досягнуто шляхом зміни діелектричної проникності ізоляції. Вирівнювання поля у кабелі призводить до деякого зниження ємності на одиницю довжини та підвищенню енергоємності. Також відомо, що при однакових напругах напруженість поля у кабелі з рівномірним полем менше, ніж у кабелі з однорідною ізоляцією. З цих причин розробка конструкції кабелю із рівномірним полем може становити великий інтерес.

Технологія виготовлення ізоляції із безперервно-змінною проникністю до теперішнього часу не розроблена. У зв'язку з цим усі відомі спроби вирівнювання поля у кабелі пов'язані із застосуванням шарової ізоляції з діелектричної проникністю, яка змінюється стрибкоподібно від шару до шару. Для якісного вирівнювання поля необхідна велика кількість шарів. У цьому випадку відношення проникності сусідніх шарів повинно бути невеликим, що також представляє досить складне завдання. На практиці, як правило, обмежуються застосуванням двошарової ізоляції.

Для аналізу розподілу напруженості електричного поля були відібрані варіанти, представлені на рис. 1. Розглядалися конструкції із прямолінійною формою межі діелектриків (рис. 1, а-б) та криволінійною формою (рис. 1, в-д). У варіанті з рис. 1, б шари діелектрика розташовані так, що в окремих перетинах (наприклад, перетинах  $AB$  та  $CD$ ) ізоляція цілком складається з одного або іншого діелектрика, чого немає в інших варіантах.

Досліджувався також вплив значення параметра  $r_3$ , так званий найменший радіус шару ізоляції із проникністю  $\epsilon_0$  та радіуса скруглення контуру у цій точці  $\rho$  (рис. 1, г-д). Всі розглянуті варіанти конструкції при всьому їх різноманітті можуть бути охарактеризовані одним загальною ознакою. Кабель має двошарову ізоляцію, товщина шарів якої періодично змінюється таким чином, що у площині яка проходить крізь вісь обертання системи електродів, площа перетину діелектрика з більшою проникністю  $\epsilon_d$  монотонно зменшується по всій товщині ізоляції або на її більшій частині при збільшенні радіуса. Основна маса розрахунків була проведена при відношенні радіуса оболонки до радіусу, що дорівнює трьом.

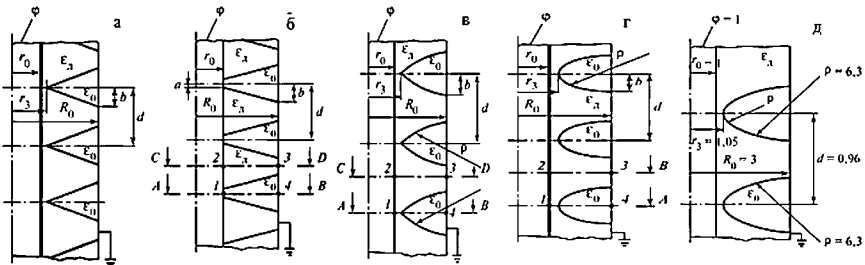


Рисунок 1 – Розрахункові моделі кабелю із двошаровою ізоляцією.

Для варіанту конструкції за рис. 1,а розрахунки проводилися для відношення  $\epsilon_d/\epsilon_0 = 10$ . При використанні методу планування експерименту була отримана залежність максимальної напруги в ізоляції кабелю від параметрів  $r_0$ ,  $R_0$ ,  $r_3$ ,  $d$ :  $E_{\max}/E_{\text{одн}} = 2.084 + 0.326 \cdot R_0/r_0 - 1.714 \cdot r_3/r_0 - 0.152 \cdot d/r_0 - 0.012 \cdot (R_0/r_0)^2 + 0.528 \cdot (r_3/r_0)^2 + 0.004 \cdot (d/r_0)^2 + 0.073 \cdot (r_3 d/r_0)^2 - 0.121 \cdot (R_0 \cdot r_3/r_0)$ . Ця

залежність справедлива для інтервалу варіювання змінних:  $R_0/r_0 = 2 \div 5$ ;  $r_3/r_0 = 1.01 \div 1.7$ ;  $d/r_0 = 1.05 \div 5.0$ .

Похибка апроксимації результатів розрахунку за (1) не перевищує 5%. Результати розрахунку поля в інших варіантах конструкції ізоляції кабелю представлені у табл. 1.

Таблиця 1-Результати розрахунку поля

| №<br>П. | Мо-<br>дель<br>Рис.1 | $E_d/E_0$ | $A/R_0$ | $D/R_0$ | $R_3/R_0$ | $R_0/R_0$ | $P/R_0$ | $E_1/E_{одн}$ | $E_2/E_{одн}$ | $E_3/E_{одн}$ | $E_4/E_{одн}$ |
|---------|----------------------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1       | Б                    | 4         | 0.1     | 1.0     | -         | 3         | -       | 0.813         | 0.843         | 0.431         | 0.428         |
| 2       | Б                    | 100       | 0.1     | 1.0     | -         | 3         | -       | 0.723         | 0.757         | 0.538         | 0.505         |
| 3       | В                    | 4         | -       | 0.966   | 1.05      | 3         | 6.3     | 0.463         | 0.724         | 0.475         | 0.472         |
| 4       | В                    | 100       | -       | 0.966   | 1.05      | 3         | 6.3     | 0.221         | 0.578         | 0.891         | 0.604         |
| 5       | В                    | 100       | -       | 1.862   | 1.1       | 3         | 3.58    | 0.146         | 0.698         | 0.504         | 0.494         |
| 6       | В                    | 4         | -       | 0.966   | 1.1       | 5         | 6.3     | 0.272         | 0.641         | 0.291         | 0.302         |
| 7       | В                    | 100       | -       | 0.966   | 1.05      | 5         | 6.3     | 0.1           | 0.478         | 0.396         | 0.37          |
| 8       | Г                    | 4         | -       | 0.966   | 1.05      | 3         | -       | 0.316         | 0.749         | 0.749         | 0.417         |
| 9       | Г                    | 100       | -       | 0.966   | 1.05      | 3         | -       | 0.15          | 0.638         | 0.472         | 0.416         |

Ці результати показують наступне. Ефективне регулювання поля може бути отримано для різних конфігурацій контуру  $I_1(r)$ . Для найбільш поширеного відношення діаметрів електродів  $R_0/r_0 = 3$  забезпечується зниження напруженості електричного поля у 1.5 раз. Запропонована конструкція ізоляції дозволяє застосовувати при необхідності кабелі із співвідношенням діаметрів електродів до  $R_0/r_0 = 5$ . Серед розглянутих варіантів є такі, у яких (наприклад, позиція 4 у табл. 1) напруженість лише на 10% вище, ніж у кабелі з рівномірно розподіленим електричним полем.