

*С. О. СОКОЛ* с-т НТУ «ХП»

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИРІВНЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ І ПОТЕНЦІАЛУ ВЗДОВЖ СТРИЖНЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРУ НА ВИХОДІ ЙОГО ІЗ ПАЗУ СТАТОРА

Приведені існуючі методи вирівнювання електричного поля в зонах підвищеної напруженості та на виході стрижня із пазу, наведені програмні розрахунки і побудована картина розподілу напруженості електричного поля без використання та з використанням напівпровідної стрічки. Розглянуті можливості градування ізоляції та показано можливість виникнення поверхневих та часткових розрядів в зоні нерівномірної напруженості електричного поля.

**Ключові слова:** частковий розряд, коронування, напруженість електричного поля, напівпровідне покриття.

**Вступ.** При ізолюванні електричних деталей турбогенераторів має місце проблема: в більшості випадків при конструюванні електричної ізоляції не вдається використовувати найкращу її форму з точки зору здобуття найбільш вигідного для роботи електроізоляційних матеріалів рівномірного поля. [1, 2, 3]

Це обумовлено тим, що в рівномірному полі ділянки електроізоляційного матеріалу мають практично однакову напруженість поля, тобто має місце найкраще його використання. У нерівномірному полі окремі ділянки електроізоляційної конструкції несуть підвищене електричне навантаження, що може привести до досить швидкого руйнування матеріалів цих областей, а на частини, що залишилися, діятиме підвищена напруженість поля, що призведе до їх руйнування.

**Аналіз літератури.** При неоднорідному електричному полі можна підвищити працездатність електричної ізоляції, знижуючи напруженість поля в найбільш навантажених ділянках шляхом збільшення розмірів конструкцій. Однак такий шлях економічно не виправдан. Другий можливий шлях — вирівнювання електричного поля в конструкції, шляхом регулювання (вирівнювання) електричного поля, створюють більш рівномірний розподіл електричного навантаження на окремих ділянках електроізоляційних матеріалів, що підвищує, як правило, їх

© С.О. Сокол, 2014

працездатність. Регулювати електричне поле можна двома способами: змінюючи або активну провідність, або ємкість окремих ділянок ізоляції.

Регулювання електричного поля за допомогою активної провідності здійснюється шляхом підвищення активної провідності окремих ділянок ізоляції, що наводить до зменшення на них падіння напруги, і опору електроізоляційної конструкції, але при цьому збільшуються діелектричні втрати і підвищується температура. Тому регулювання поля за допомогою активної провідності обмежується допустимими опорами електричної ізоляції і найбільшою її температурою.

Малоефективне регулювання поля зміною активної провідності при високій частоті і при імпульсному режимі із-за великої ємнісної провідності електричної ізоляції. Регулювання поля за допомогою активної провідності доцільно використовувати на постійній і змінній напрузі низької частоти.

Зміни активної провідності можна добитися декількома шляхами:

- 1) підбором електроізоляційних матеріалів з різною провідністю;
- 2) використанням активних дільників напруги;
- 3) установкою коронуючих електродів;
- 4) вживанням напівпровідних покриттів.

Перший варіант слід використовувати при конструюванні комбінованої ізоляції, розміщуючи в області більшої напруженості поля матеріали з підвищеною провідністю. Підбираючи електроізоляційні матеріали, можна значно вирівняти розподіл потенціалів в електричній ізоляції. Проте такий підбір не завжди можливий, оскільки електроізоляційний матеріал повинен одночасно відповідати певним вимогам по механічним, тепловим і іншим властивостям. Дільника напруги для регулювання електричного поля доцільно застосовувати в тих випадках, коли він одночасно буде використовуватись і в інших цілях, наприклад для виміру напруги. Таким прикладом може служити електростатичний генератор.

За допомогою дільника напруги навряд чи можливо отримати рівномірний розподіл потенціалів, оскільки для цього необхідно було б мати безкінечно велике число зондів і елементів дільника.

Коронуючі електроди підвищують провідність ділянки проміжку, особливо значно в місці існування коронного розряду. Таким чином, в місті коронного розряду падіння напруги зменшується і розподіл потенціалів стане більш рівномірним. В той же час, використання коронного розряду для регулювання електричного поля має обмежене

вживання із-за ряду серйозних недоліків: виділяються хімічно активні продукти, викликаючи руйнування елементів конструкції; коронний розряд в рідині викликає її руйнування; створюються радіоперешкоди, що може привести до порушення нормального височастотного зв'язку по лініях електропередачі; шум від коронного розряду негативно впливає на працездатність обслуговуючого персоналу.

Напівпровідні покриття зазвичай використовують для вирівнювання електричного поля в ізоляторах, ізоляції електричних машин, кабелів і інших конструкціях. Конструкція напівпровідних покриттів досить проста. При ретельному виконанні можна отримати практично рівномірний розподіл потенціалу. Ємкісні способи регулювання електричних полів засновані на збільшенні ємкості тих ділянок електричної ізоляції, в яких необхідно понизити падіння напруги. Збільшення ємкості окремих ділянок ізоляції отримують наступними способами: 1) розміщенням в тих місцях, де потрібно понизити падіння напруги, діелектриків з підвищеною діелектричною проникністю (градирування ізоляції); 2) вживанням внутрішніх і зовнішніх екранів; 3) використанням конденсаторних обкладань. Ємкісні способи регулювання електричних полів ефективні при змінній напрузі і імпульсах.

Вживання напівпровідних покриттів підвищує напругу виникнення поверхневих розрядів в результаті зниження найбільшої напруженості поля по кордону розділу двох середовищ. Напівпровідні покриття підвищують температуру ізоляції за рахунок струму витоку, що сприяє підсушуванню її поверхні і збільшенню розрядних характеристик у вологій і забрудненій атмосфері.

Порівнявши всі можливі способи вирівнювання електричного поля, можна зробити висновок про те, що для вирівнювання поля в генераторі необхідно і найзручніше застосувати напівпровідні покриття. Не дивлячись на те, що по ним протікає струм і додатково гріє ізоляцію, іншого доцільного способу вирівняти поле в обмеженому просторі немає. Тепло, що виділиться із-за протікання струму по напівпровідних покриттях враховується на етапі виробництва і входить в тепловий розрахунок.

#### Розрахунок параметрів

Розглянемо картину поля, при напрузі на стрижні 24кВ, що ізолюваний склострічкою з просоченням ( $\epsilon=2.3$ ) товщиною в 3мм, якщо не застосовувати особливих заходів.  $E= 1.26$  МВ/м.

Для розрахунку напруженості поля на ЕВМ було використано програму FEMM 4.2. У цій програмі створюється модель паза і стрижню на виході із нього. Беруться модельні розміри конструкції, задається товщина ізоляції на стрижні і її діелектрична проникність. Задається напруга на стрижні 24 кВ, що відомо і напруга на магнітопроводі статора 0 В – оскільки він заземлений. Програма розраховує розподіл потенціалів, при використанні додаткової функції програми, вона відображає розподіл напруженості і числові значення. Графіки розподілу потенціалів і напруженості поля, а також числові значення представлені на рис.1 і 2.

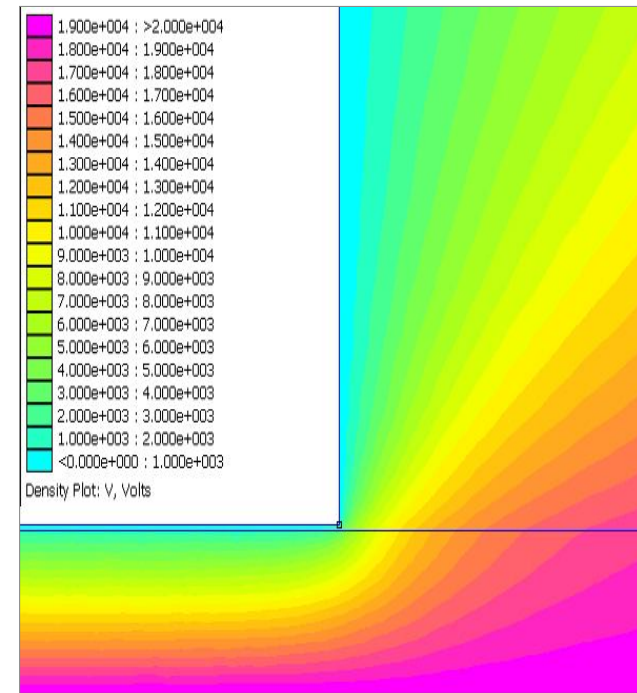


Рис.1 — Картина розподілу потенціалів на виході стрижню із паза турбогенератора

Таким чином видно, що для виключення шкідливого впливу іонізації між стрижнем і пазом необхідно прийняти заходи по вирівнюванню поля.

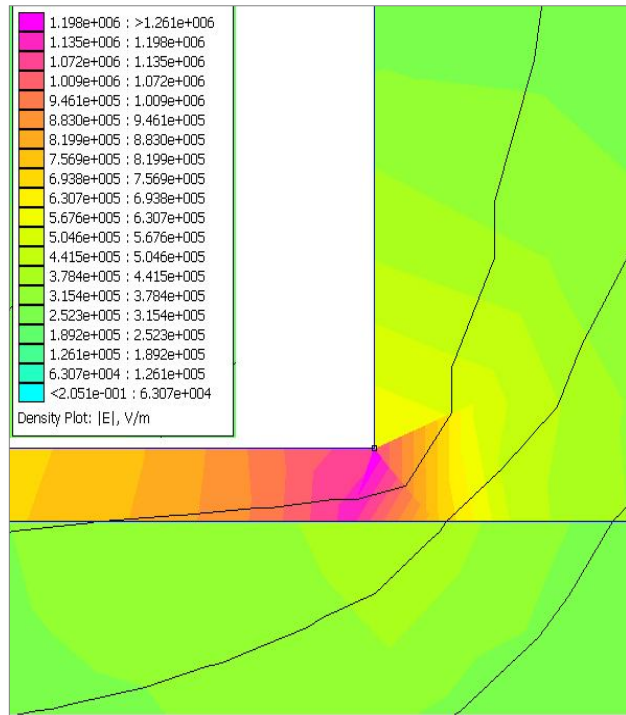


Рис.2 - Картина поля напруженості на виході стрижню з паза турбогенератора

На рис.3 показано розподіл напруженості поля при градуванні ізоляції, коли вона складається з кількох шарів з різними діелектричними проникностями. При розрахунку було використано 3 шарову модель з  $\epsilon_1=7$ ,  $\epsilon_2=5$ ,  $\epsilon_3=2.3$  відповідно.

Цей метод знайшов широке використання, обґрунтований економічною доцільністю і простотою технологічного впровадження.

На рис.4 показано зони підвищеної напруженості електричного поля в ізоляції стрижня в місцях його виходу з паза турбогенератора.

Розрахунки показують, що в цих зонах можливо виникнення поверхневих та часткових розрядів в ізоляції.

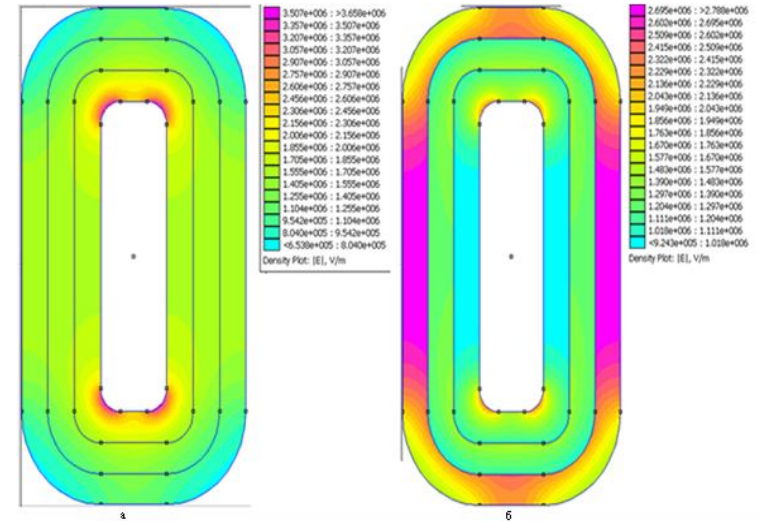


Рис.3 — Результати розрахунку напруженості електричного поля без використання градування ізоляції (а) та з ним (б)

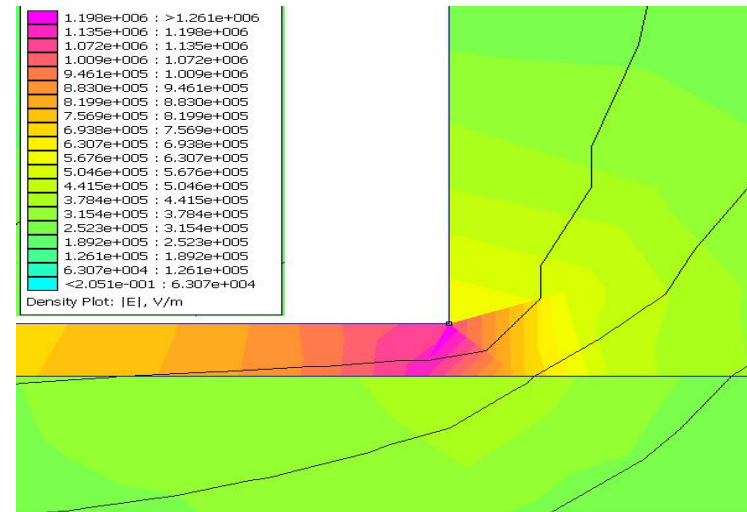


Рис.4 — Розподіл напруженості електричного поля на виході стрижню із паза статора турбогенератора

**Висновок:** 1. Приведені існуючі методи вирівнювання електричного поля.

2. Наведені картини розподілу напруженості електричного поля вздовж стрижня на виході його із пазу статора турбогенератора.

3. Показано, що нерівномірний розподіл напруги вздовж стрижня може призводити до поверхневих та часткових розрядів в ізоляції.

**Список литературы:** 1. В. С. Дмитриевский Расчет и конструирование изоляции: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981, - 392 с., ил. 2. Ю. В. Зозулін, О. Є. Антонов, В. М. Бичік, А. М. Боричевський, К. О. Кобзар, О. Л. Лівшиць, В. Г. Ракогон, І. Х. Роговий, Л. Л. Хаймович, В. І. Чередник. Створення нових типів та модернізація діючих турбогенераторів для теплових електричних станцій – Харків: ПФ «Колегіум», 2011, - 228 с. 3. Исследование и разработка исполнения обмоток статоров турбогенераторов, стойких к воздействию пожаробезопасного масла ОМТИ / Р. Е. маламуд, Г. Е. Шумовская, С. Г. Вина рева, Т. М. Степанова // Новые разработки в области электрической изоляции. (Сб. статей по обмену опытом ЦП ВНТОЭ). Л.: Энергоатомиздат. 1991. с.15-18

**Bibliography (transliterated):** 1. V. S. Dmitrievskij *Raschet i konstruirovanie izoljacii: Ucheb. posobie dlja vuzov.* Moscow: Energoizdat, 1981. 2. Ju. V. Zozulin, O. Є. Antonov, V. M. Bichik, A. M. Borichevs'kij, K. O. Kobzar, O. L. Livshic', V. G. Rakogon, I. H. Rogovij, L. L. Hajmovich, V. I. Cherednik. *Stvorennja novih tipiv ta modernizacija dijuchih turbogeneratoriv dlja teplovih elektrichnih stancij.* Harkiv: PF «Kolegium», 2011. 3. R. E. malamud, G. E. Shumovskaja, S. G. Vina reva, T. M. Stepanova *Issledovanie i razrabotka ispolnenija obmotok satorov turbogeneratorov, stojkih k vozdejstvuju pozharobezopasnogo masla OMTI Novye razrabotki v oblasti jelektricheskoi izoljacii.* (Sb. statej po obmenu opytom CP VNTOTe). L.: Jenergoatomizdat. 1991.

*Надійшла (received) 18.05.2014*