

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ДЕФЕКТИ У ТЕРМОРЕАКТИВНІЙ ВИСОКОВОЛЬТНІЙ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТА ТЕХНІКА ЇХ ВИЯВЛЕННЯ

Г. В. Безпрозваних<sup>1</sup>, Є. С. Москвітін<sup>1</sup>, В. О. Рогинський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НТУ «ХП», Харків, Україна,

<sup>2</sup>АТ «Українські електричні машини», Харків, Україна

Електрична ізоляція, як пасивний компонент, відіграє важливу роль в підвищенні вихідної потужності та терміну експлуатації електричних машин [1]. Так, епоксидна смола з наповненням обробленими наночастинками діоксиду кремнію дозволяє підвищити строк експлуатації високовольтних електричних машин з термоактивною ізоляцією, виготовленою методом вакуумно-нагнітального просочення [2]. Застосування плаского скло-волокнистого підкладкового матеріалу з підвищеним вмістом слюдинітового бар'єру призводить до зменшення товщини слюдиної стрічки на 15% та підвищенню електричної міцності високовольтної термоактивної композитної ізоляції на (8-16)% [3].

Налаштування технологічного процесу просочення під вакуумним тиском повинно забезпечувати найменшу кількість газових порожнин, вологи, розшарувань та інших дефектів з глибоким проникненням компаунду в композитну тверду ізоляцію для забезпечення високої електричної міцності гетерогенної високовольтної електроізоляційної системи [3].

Ефективне виявлення дефектів на технологічній стадії виготовлення високовольтних електричних машин з термоактивною ізоляцією є важливим для запобігання та мінімізації наслідків відмов стратегічних електричних машин. Техніка виявлення технологічних дефектів базується, зокрема, на електричних випробуваннях при прикладенні високої напруги промислової частоти [3]. До випробувань відносяться вимірювання: опору ізоляції [3] та параметрів діелектричної абсорбції – індексу поглинання (швидкості діелектричної абсорбції – DAR) та індексу поляризації (PI) [4], тангенсу кута діелектричних втрат та амплітуди імпульсів часткових розрядів [3].

Сучасний метод вимірювання відновлюваної напруги (рис.1) з високою точністю дозволяє проводити оцінку стану високовольтної ізоляції [5], у тому числі і її зволоження [5-6]. Об'єкт контролю заряджається постійною напругою  $U_z$  до 1 кВ тривалістю від 1 до 15 хв. Потім відбувається короткочасний розряд тривалістю 2 с з наступним періодом спостереження амплітуди  $U_{rec}$  напруги відновлюваної напруги тривалістю до 30 хв. Так, для силових кабелів отримано інтегральні показники з визначенням значень граничного технічного стану паперової просоченої ізоляції [5]. Нормоване значення амплітуди  $U_{rec}/U_z$  – відношення напруги  $U_{rec}$ , що відновлюється, до зарядної  $U_z$ , характеризує неоднорідність ізоляції: максимальне значення цього параметру – критеріальне для оцінки стану електричної ізоляції [5].

На рис. 1 в рівномірному (рис. 1, а) та в напівлогарифмічному (рис. 1, б) масштабах представлено експериментальні часові залежності нормованого значення амплітуди відновлюваної напруги термоактивної електроізоляційної системи статорів двох трифазних асинхронних двигунів напруги 6 кВ.

Діапазон змінення амплітудних значень в часі кривих 1, 2 та 3 для першого двигуна і 4, 5 та 6 для другого двигуна надає уявлення про налаштування технологічного процесу просочення та запікання корпусної ізоляції електричних машин. Для першого двигуна максимальне значення параметру  $U_{rec}/U_z$  для всіх трьох обмоток не перевищує 0,1. Характер часових залежностей  $U_{rec}/U_z(\tau)$  відтворює один одне. Для другого спостерігається суттєвий розкид значення параметру  $U_{rec}/U_z$  для всіх трьох обмоток: від 0,09 до 0,14 з суттєвим спотворенням характеру часових залежностей (криві 4, 5 та 6 рис.1). Це є опосередкованим свідченням технологічних дефектів у вигляді розшарування корпусної ізоляції обмоток 5 та 6 з одночасним зволоженням обмоток 6 та 4.

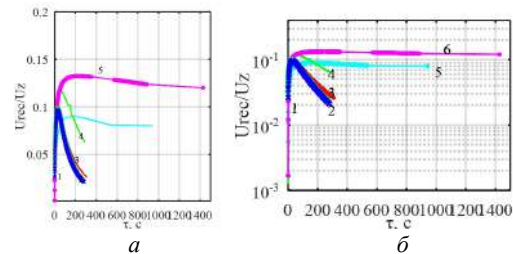


Рис.1. Криві відновлюваної напруги корпусної ізоляції статорів асинхронних двигунів

Цей експериментальний аналіз з відповідною технічною реалізацією методу відновлюваної напруги може бути представлено як нова системна платформа для виявлення технологічних дефектів в термоактивній ізоляції високовольтних електричних машин.

### Список літератури

- [1] Palka R., Wardach M. Design and Application of Electrical Machines. *Energies*, 2022, vol. 15, p. 523. <https://doi.org/10.3390/en15020523>.
- [2] Gröpper P., Hildinger T., Pohlmann F., Weidner J.R. Nanotechnology in high voltage insulation systems for large electrical machinery - First results. Conference: CIGRE, 2012. 16 p. <https://www.researchgate.net/publication/307918654>.
- [3] Безпрозваних Г.В., Рогинський О.В. Конструктивно-технологічні рішення підвищення електричних характеристик високовольтної композитної електроізоляційної системи електричних машин. - Монографія, Харків, 2023, 138 с.
- [4] IEEE Standard, IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery. 43-2000. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2000.91301>
- [5] Безпрозваних Г.В. Фізична інтерпретація кривих відновлюваної напруги на основі схем заміщення неоднорідних діелектриків. *Технічна електродинаміка*, 2009, № 6, С. 23-27.
- [6] Безпрозваних Г.В., Костюков І.О., Москвітін Є.С. Розділення абсорбційних процесів в неоднорідній ізоляції за кривими відновлюваної напруги силових високовольтних кабелів. *Технічна електродинаміка*, 2021, №6, с. 13-19. <https://doi.org/10.15407/techned2021.06.013>