ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ

Бондарук М.С., магістрант, Гераскін О.А., к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. Основну частину в світі на електростанціях електроенергії виробляють потужні трифазні синхронні генератори (СГ). Синхронні генератори зазвичай застосовуються на гідроелектростанціях та теплових електростанціях. Синхронні генератори є невід'ємним компонентом електростанцій і виконують важливу роль у отриманні стабільної електроенергії. В усталеному режимі роботи вони працюють зі сталою швидкістю, фіксованою частотою енергосистеми [1]. Найбільш потужними синхронними генераторами на даний момент є машини 1500 МВА.

Ефективна та безперебійна робота синхронного генератора залежить від багатьох різноманітних факторів, серед яких важливим є надійність конструкції демпферних обмоток роторів. Вона відіграє важливу роль у зменшенні коливань швидкості ротора, які виникають внаслідок зовнішніх збурень, або запуску СМ, якщо вона використовується як синхронний двигун.

Справна робота СГ є значущою для забезпечення надійності та ефективності роботи електростанцій. Різні несправності в СГ можуть спричинити деякі катастрофічні ситуації, такі як перебої з електропостачанням або знеструмлення споживачів. У даній роботі буде оглянуто деякі з основних видів ушкоджень роторів СГ та можливі причини їх виникнення. На рисунку 1 представлено зображення конструкцію СГ.

Рисунок 1 – Чотириполюсний потужний синхронний генератор потужністю 1710 МВА який працює 1996 року у Франції [2]

Мета роботи. Зробити короткий огляд сучасних підходів до визначення технічного стану синхронних генераторів.

Матеріали і результати досліджень. Синхронні генератори схильні до різноманітних несправностей, які можуть виникнути в різних частинах їх конструкції. Ці несправності можна розділити на механічні та електричні. Крім того, несправності можна класифікувати як часткові або катастрофічні. Можна зауважити, що більшість часткових несправностей можуть призвести до постійної відсутності обслуговування машини. Ці несправності включають електричні несправності і механічні несправності у вигляді динамічного та статичного ексцентриситету. Зміна магнітних умов в машині, викликана змінами в збудженні або ушкодженнями конструкції, впливатиме на якість генерованої електричної енергії.

Механічні несправності можуть виникати внаслідок ударів, різноманітних вібрацій та неправильної експлуатації генератора. Невеликі пошкодження здатні призвести до виходу із ладу генератора. До цих несправностей належить обрив обмотки ротора, вихід із ладу підшипників, тріщини на корпусі, деформація ротора, порушення механічної цілісності ротора. Несправності в обмотках ротора синхронних генераторів також можуть бути тісно пов'язані з термомеханічною деформацією. Основними видами несправностей є коротке замикання, розрив обмоток, перегрів і руйнування ізоляції, від'єднання провідників від кріпильних елементів і механічна деформація.

Електричні несправності включають в себе: порушення ізоляції жил проводів, поломки обмотки ротора або його ізоляції, перевантажень, коротких замикань, проблем з ізоляцією статора, перенапруги. Електричні проблеми можуть бути викликані недоліками конструкції, неправильним обслуговуванням, а також внаслідок несправностей у системі живлення електростанції. Пошкоджуваність ротора турбогенератора представлено у на рисунку 2.

Рисунок 2 – Загальна статистика ушкоджень роторів [3]

Причинами виходу з ладу демпферних обмоток ротора зазвичай є термомеханічні навантаження, вібрація, перевантаження, виробничі дефекти та

недостатнє охолодження. Повторні цикли нагрівання та охолодження призводять до нерівномірного розширення та стиснення матеріалу, що призводить до механічного напруження та утворення тріщин.

Сучасний підхід до визначення технічного стану синхронних генераторів передбачає використання різних методів діагностики [4, 5], основними з яких є наступні:

- ***Вібраційний аналіз.*** Дослідження вібраційних характеристик дозволяє виявити механічні несправності, такі як балансування ротора та зношення підшипників. Вібраційний аналіз може давати помилкові результати через вплив зовнішніх факторів, таких як навколишнє середовище або інші працюючі машини.
- ***Термографія.*** Використання тепловізорів для виявлення перегріву компонентів, що може свідчити про електричні або механічні проблеми. Термографія, хоч і ефективна для виявлення перегріву, не завжди точно визначає причини проблем, а навколишня температура може спотворювати результати.
- ***Аналіз електричних параметрів.*** Моніторинг струму, напруги та потужності для виявлення аномалій у роботі генератора. Аналіз електричних параметрів чутливий до короткочасних аномалій, які не завжди відображають реальний стан генератора, і може не виявити механічні пошкодження.
- ***Ультразвукова діагностика.*** Виявлення дефектів, таких як тріщини чи порушення ізоляції, за допомогою ультразвукових хвиль. Ультразвукова діагностика є ефективною для виявлення тріщин, але не завжди здатна виявити проблеми у внутрішніх компонентах, недоступних для огляду.
- ***Візуальний аналіз.*** Періодичні візуальні перевірки та обстеження елементів генератора для виявлення механічних пошкоджень. Візуальний аналіз є суб'єктивними та залежать від кваліфікації персоналу, а також часто потребує зупинки роботи генератора, що може призвести до втрат у виробництві електроенергії [6].

Поряд з перерахованими методами, для підвищення точності діагностики використовують комбіновані підходи, що дозволяють порівнювати результати різних методів для усунення можливих похибок. Поєднання термографії з вібраційним аналізом допоможе точніше визначити зони перегріву, пов'язані з механічними дефектами. Крім того, сучасні системи діагностики можуть включати автоматичний збір і аналіз даних з використанням алгоритмів машинного навчання, що дозволяє тимчасово попереджати про відмову й мінімізувати ризики зупинки генератора. Інтеграція методів діагностики з системами моніторингу в режимі реального часу забезпечує безперервний контроль технічного стану генератора, що дозволяє миттєво реагувати на будь-які відхилення. Крім того, аналіз історичних даних про стан генератора полегшення прогнозування можливих несправностей та оптимізації графіка технічного обслуговування. Використання таких підходів знижує ризики незапланованих зупинок обладнання, що особливо важливо для забезпечення безперервного виробництва електроенергії.

Висновок. В СГ можуть мати місце різноманітні види пошкоджень, що включають в себе як механічні, так і електричні несправності. Для забезпечення

надійної та ефективної роботи генераторів важливо регулярно перевіряти стан їх роторів та вчасно вживати відповідних заходів для запобігання та виправлення виявлених ушкоджень.

Серед найбільш уразливих компонентів роторів синхронних генераторів виділяються обмотка, вал та підшипники. Фактори появи ушкоджень можуть включати перегрів, знос, нерівновагу або неправильну експлуатацію. Регулярне обслуговування, використання якісних матеріалів та виконання відповідних процедур можуть допомогти зменшити ризики ушкоджень та забезпечити довготривалу та надійну роботу роторів гідрогенераторів.

Діагностика пошкоджень ротора синхронного генератора є ключовим аспектом для забезпечення його надійності та безперервності роботи. Комбіноване застосування різних методів діагностики, які мають свої переваги та обмеження, може забезпечити більш точну та комплексну оцінку стану ротора генератора.

Узагальнюючи вище написане, можна зробити висновок, що не зважаючи на те, що сучасні методи діагностики синхронних генераторів є ефективними, проте вони мають свої обмеження і можуть не забезпечувати повної картини технічного стану обладнання. Загалом, впровадження системи сучасних методів діагностики та моніторингу дозволяє продовжити термін експлуатації генераторів і знизити ймовірність критичних відмов, що позитивно впливає на стабільність енергоспоживання в цілому.

Перелік посилань

1. Яцун М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів: навчальний посібник / М. А. Яцун // Львівська політехніка. – Електрон. дані. – Львів, 2010. – 228 с. – Режим доступу: https://vlp.com.ua/node/4371. – Мова : укр..

2. Alstom: веб-сайт. URL: https://www.alstom.com (дата звернення: 29.10.2024).

3. Мельник А. М. Електромагнітні віброзбуджуючі сили та діагностика ушкоджень потужних турбогенераторів: дисерт. на здобуття наук. ступеня кандидата тех. наук: 05.09.01 / Київ. Інститут електродинаміки, 2017. 178 с.

4. Nandi S., Toliyat H. and Li X. Condition Monitoring and Fault Diagnostics of Electrical Motors - A Review // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2005. – Vol. 20. – No. 4. – P. 719-729.

5. Csaba, G. Generator diagnostics from failure modes to risk for forced outage. 2018. [Online]. Available: https://irispower.com/wp-content/uploads/2018/06/Generator-diagnostics-From-failure-modes-to-risk-forced-outage.pdf. [Accessed: 4-Jul-2019].

6. Wu, Y., Ma, X. A Hybrid LSTM-KLD Approach to Condition Monitoring of Operational Wind Turbines. Renew. Energy 2022, 181, P. 554–566.