

## **КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ НАДПРОВІДНИКОВИХ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ**

**Кедич В.С., магістрант, Васьковський Ю.М., д.т.н., професор**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки*

**Вступ.** Граничнодопустимі значення діаметру та довжини ротора за умовами механічної міцності сталевий поковки і допустимих рівнів вібрацій обмежують можливості подальшого зростання габаритної потужності сучасних турбогенераторів (ТГ) традиційної конструкції, хоча таке зростання вигідно з огляду на покращення питомих масо-габаритних показників ТГ, зменшення експлуатаційних витрат, зменшення площі машинного залу електростанції, тощо. Суттєве збільшення габаритної потужності ТГ або зменшення його маси і габаритів можна отримати шляхом використання явища надпровідності, при якому електропровідні матеріали обмоток втрачають активний опір. Для досягнення явища надпровідності необхідно провести охолодження обмоток до наднизьких температур, для чого використовуються спеціальні ефективні охолоджувачі – криогенні рідини (рідкий гелій і азот).

**Мета роботи.** Метою даної роботи є порівняльний аналіз конструктивних особливостей і відмінностей звичайних і надпровідникових турбогенераторів (НТГ).

**Матеріали та результати досліджень.** Далі розглядається НТГ, який має охолоджену до низьких температур надпровідну обмотку збудження постійного струму на роторі і “теплу” (не надпровідну) обмотку змінного струму на статорі. Такий варіант НТГ є більш доцільним і простим з точки зору технічної реалізації конструкції.

Значна частина конструктивних елементів і вузлів звичайного ТГ і НТГ є ідентичними з точки зору їх функціонального призначення. До таких вузлів, зокрема, відносяться: корпус, торцеві щити, підшипники і система циркуляції масла, щітково-контактний апарат, високовольні вводи обмотки статора, автоматичні регулятори збудження, апаратура захисту і управління та ін. Крім того, при виготовленні конструкції НТГ використовуються багато технологічних засобів і процесів, які застосовуються при виробництві ТГ традиційного виконання.

Але активні зони НТГ ротора і статора мають значні конструктивні відмінності у порівнянні з ТГ традиційного виконання внаслідок використання надпровідникової обмотки ротора. Це обумовлено наступними чинниками, які безпосередньо витікають з особливостей функціонування НТГ:

- високою щільністю струму збудження в надпровідній обмотці ротора, що дає можливість створити надвелику МРС збудження. В результаті відпадає необхідність у використанні феромагнітних матеріалів для магнітопроводу ротора, що дає можливість суттєво зменшити габарити і масу ротора.

- вакуумним тепловим захистом кріогенної зони з розташованою в ній надпровідниковою обмоткою і системою підведення охолоджуючого кріоагенту;

- можливістю мати більшу кількість пазів для розташування провідників обмотки статора, що уможливорює суттєве підвищення потужності турбогенератора;

- наявністю зовнішнього екрану для зведення до мінімуму магнітних полів розсіювання в просторі, що оточує генератор.

Конструкція ротора НТГ повинна відповідати суперечливим вимогам:

- здійснювати передачу значного крутного моменту через елементи низькотемпературної зони;

- компенсувати теплові деформації, що виникають при охолодженні і утеплення в процесі роботи машини;

- забезпечувати мінімальні теплові притоки до кріогенної зони і підтримувати вакуум.

Оскільки ротор НТГ не має суцільної металевої поковки його механічна міцність і спроможність витримувати динамічні ударні моменти є мешами, ніж у традиційних ТГ, що потребує детальних розрахунків при проектуванні.

Кріогенна зона із надпровідної обмоткою збудження з усіх боків оточена вакуумною теплоізоляцією. В машинах вакуумні порожнини не заварені повністю, тому остаточно герметизуються за допомогою спеціальних кільцевих ущільнень, що полегшує розбирання ротора при необхідності виконання ремонтних робіт.

У розробленому та виготовленому НТГ фірми Brown Boveri Compagnie центральна частина з обмоткою і гелієвої ванній відокремлена від іншої частини ротора вакуумно щільними звареними швами. Вакуумування досягається за рахунок постійної відкачування вакууму за допомогою насоса. Дана система розрахована на безперервну роботу ТГ протягом декількох років без позапланових відключень від мережі.

Повні втрати в роторі надпровідникового ТГ істотно менше, ніж в ТГ традиційної конструкції, за рахунок зменшення механічних втрат і відсутності втрат в обмотці збудження на постійному струмі.

Втрати в статорі трохи нижче, в основному за рахунок знижених втрат в зовнішньому екрані з феромагнітного матеріалу.

Обмотка статора може бути традиційної та нетрадиційної геометрії. Особливістю традиційної петльової обмотки є збільшена довжина лобових частин, що обумовлено підвищенням заповненням активної зони міддю. Такі обмотки застосовані в створених НТГ.

Обмотки нетрадиційної геометрії (спіральні, сідлоподібні і ін.) зменшують час на виготовлення обмотки і статора в цілому, тому що можна паралельно з обмоткою виконувати корпус з феромагнітним екраном.

Для охолодження статора застосовується система безпосереднього масляного охолодження, аналогічна серії турбогенераторів типу ТВМ з масляним охолодженням статора.

Досягнення в галузі створення надпровідників для їх використання на змінному струмі промислової частоти уможливають ц подальшому розробку повністю надпровідникових ТГ, у яких надпровідними є не тільки обмотка ротора, але й обмотка статора. Дослідження та конструкторські розробки показують, що кращі характеристики має конструкція НТГ з єдиним кріостатом, в якій низькотемпературні зони ротора і статора розділені на проміжному температурному рівні.

За режимами роботи в енергосистемі надпровідникові ТГ можна поділити на дві групи: машини з повільною і високою швидкістю регулювання струму збудження. До першої групи належать генератори середньої потужності, що працюють на невеликій відстані від споживача в стабільно сталих режимах роботи і по умовам експлуатації не потребують значного регулювання збудження. До другої групи – НТГ великої потужності, які здатні швидко реагувати на зміну навантаження в енергосистемі.

Переваги надпровідних турбогенераторів стануть ще більш суттєвими при переході від низькотемпературних надпровідників до високотемпературних та збільшення робочих температур до  $77\text{ K}^0$ . Це забезпечить спрощення конструкції ротора за рахунок спрощення вакуумної ізоляції, більш високого температурного запасу для обмотки збудження, а також перевагами, зумовленими застосуванням азоту як холодоагенту і ізоляційного середовища.

**Висновки.** Надпровідникові турбогенератори дозволять в майбутньому створювати конструкції більшої габаритної потужності, що створить умови більш ефективного та економічного виробництва електроенергії. Система кріогенного охолодження надпровідникових турбогенераторів є ефективною і дозволяє знизити втрати за рахунок зменшення механічних втрат і відсутності втрат в обмотці збудження. Одним з важливих напрямків розвитку фізики є теоретичні і експериментальні дослідження в області надпровідних матеріалів, а одним з основних напрямків розвитку електромеханіки – розробка надпровідникових турбогенераторів.

#### Перелік посилань

1. Васильев В.В., Данилевич Я.Б., Московская В.В., Чиков А.А., Чубраева Л.И. Экспериментальное определение полей и параметров статора сверхпроводникового турбогенератора мощн 20 МВ-А. – 15 ст.

2. Чубраева Л.И. Обеспечение надежности турбогенераторов со сверхпроводящей обмоткой возбуждения . – 4 ст.