

ЗОВНІШНЯ ДЕМПФЕРНА СИСТЕМА РОТОРА ЯВНОПОЛЮСНОЇ СИНХРОННОЇ МАШИНИ

Васьковський Ю.М., д.т.н., професор, Татарінов К.М., аспірант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. Останнім при експлуатації потужних явно полюсних синхронних машин, зокрема, гідрогенераторів, спостерігається збільшення випадків ушкодження демпферних систем ротора (ДСР) [1]. Тому актуальним є удосконалення їх конструкції з метою підвищення їх надійності. В статті проведено порівняльний аналіз характеристик двох варіантів ДСР. Перший варіант – традиційна ДСР, яка виконується по типу короткозамкненої “білячої клітки” і складається з занурених в полюсні наконечники електропровідних стрижнів, з’єднаних між собою на торцях полюсів коротко замикаючими сегментами. ДСР окремих полюсів з’єднуються міжполюсними перемичками, утворюючи суцільну ДСР. Така система називається внутрішньою демпферною системою (ВДС). В другому варіанті ДСР виконується у вигляді електропровідних листів, закріплених на поверхні полюсів. Таку систему назовемо зовнішньою демпферною системою (ЗДС) ротора. ВДС і ЗДС показані на рис. 1.

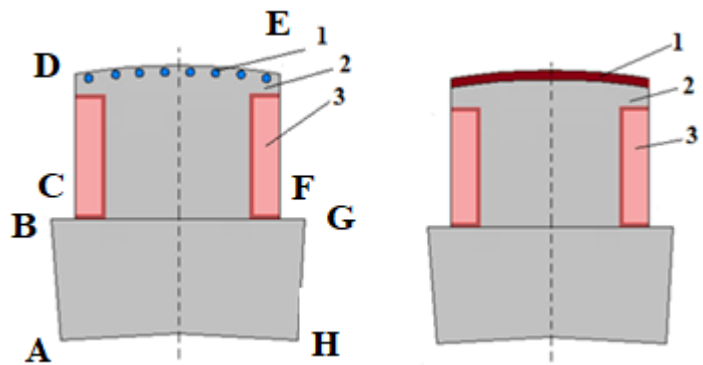


Рисунок 1 – ЗДС і ВДС ротора

Очікувані переваги ЗДС у порівнянні з внутрішньою ВДС є наступними:

- 1) з огляду на майже рівномірний нагрів елементів ЗДС, відсутні значні локальні термомеханічні напруження, які спричиняють її і ушкодження;
- 2) внаслідок “зменшення” повітряного проміжку між статором і ротором збільшується асинхронний електромагнітний момент в асинхронному режимі роботи ГГ і при коливаннях швидкості ротора, що підвищує стабілізуючу дію демпферної системи. При цьому в синхронному режимі роботи ГГ зберігає незмінним синхронні індуктивні опори і розрахункові синхронні характеристики;
- 3) Також внаслідок “зменшення” повітряного проміжку зростає $\cos(\varphi)$ в асинхронному режимі роботи ГГ, що зменшує реактивну складову струму обмотки статора і її нагрів. Це сприяє збільшенню допустимого часу роботи ГГ в асинхронному режимі, який у даний час обмежується вимогами інструкцій по експлуатації ГГ величиною 15 с;
- 4) суцільний електропровідний масив ЗДС на поверхні полюса виконує екрануючі функції, захищаючи обмотку збудження і внутрішню конструкцію полюса від негативного впливу струмів частоти 100 Гц в несиметричних режимах роботи ГГ і від пульсацій зубцевих гармонік магнітного поля, викликаних зубцями статора.

Метою роботи є порівняльний аналіз методами математичного моделювання характеристик ЗДС ВДС та перевірка зазначених вище очікуваних переваг ЗДС.

Об'єкт досліджень. Розглядається гідрогенератор (ГГ) типу СВ 1230/140–56, який має наступні вихідні дані. Повна потужність 130,6 МВА; лінійна номінальна напруга 13,8 кВ; номінальний фазний струм 5,465 кА; $\cos(\varphi) = 0,85$; ККД = 0,979; число полюсів 56; діаметр розточки статора 11600 мм; повітряний проміжок 20 мм; число пазів статора 420; активна довжина статора 1400 мм; число стрижнів ВДС на одному полюсі ротора 8; діаметр стрижня 20 мм; висота полюса 290 мм; висота полюсного башмака 50 мм. Коефіцієнт тепловіддачі між - між повітрям і осердям полюсів 214 Вт/(м²°С), коефіцієнти теплопровідності сталі осердя полюсів 47 і міді стрижнів 384 Вт/(м°С).

Результати досліджень. На рис. 2 показано залежності електромагнітного асинхронного моменту ГГ від ковзання для двох зазначених варіантів виконання ДСР.

Величини струму обмотки статора в обох варіантах для кожного ковзання є однаковими. Рис. 2 відображає кращі асинхронні характеристики ГГ при використанні ЗДС у порівнянні з традиційним варіантом ВДС. Зокрема, максимальний момент ЗДС в 1,31 рази більше, ніж в ВДС.

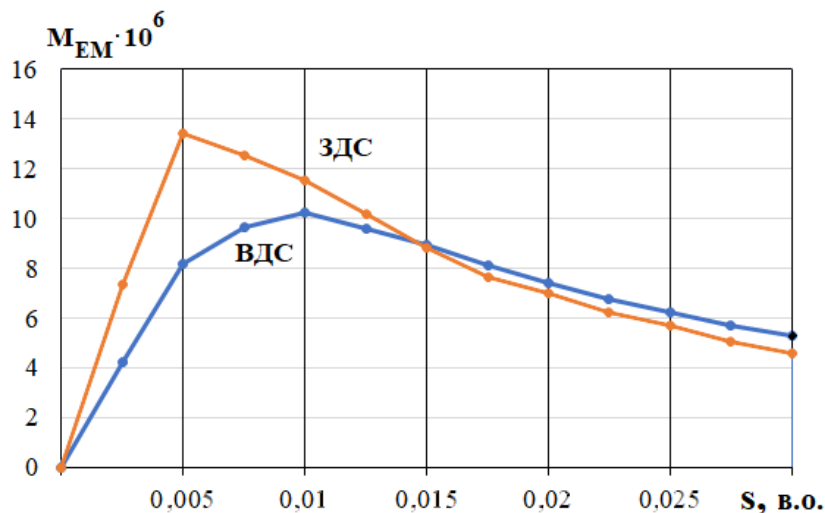


Рисунок 2 – Асинхронні характеристики

В діапазоні малих ковзань 0...0,015 в.о. момент ЗДС перевищує момент ВДС, а надалі вони практично зрівнюються. Але слід зауважити, що ковзання більше ніж 0,015 в.о. в ГГ даної потужності практично не відбувається.

Наявність ексцентриситету ротора. При обертанні ротора в нерівномірному повітряному проміжку ГГ, наприклад, при появі статичного ексцентриситету (СЕ) ротора, внаслідок пульсацій основного магнітного потоку в синхронному режимі роботи ГГ в демпферній системі ротора постійно протікають струми [2,3]. Величина СЕ ротора характеризується коефіцієнтом відносного ексцентриситету, що описується формулою:

$$\varepsilon = \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{\delta_{max} + \delta_{min}}, \quad (1)$$

де δ_{max} , δ_{min} – максимальна і мінімальна величини повітряного проміжку відповідно. Коефіцієнт ε змінюється в межах від 0 ($\delta_{min} = \delta_{max}$ - відсутність ексцентриситету) до $\varepsilon = 1$.

На рис. 3 показано залежність максимального перепаду температури між стрижнями ВДС або окремими ділянками листа ЗДС від величини SE ϵ при ковзанні $s=0$. Отримані результати засвідчують суттєво меншу нерівномірність нагріву окремих частин ЗДС у порівнянні з ВДС для широкого діапазону значень SE , що підтверджує більшу термомеханічну стійкість і надійність ЗДС у випадку виникнення нерівномірності повітряного проміжку ГГ.

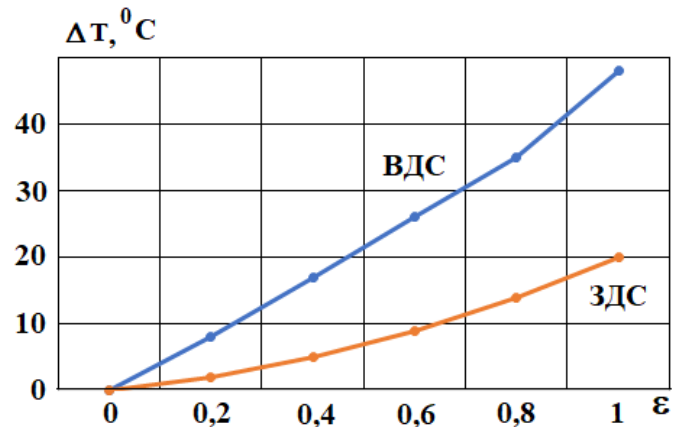


Рисунок 3 – Перепад температури в варіантах ДСР

Застосування ЗДС ротора в ЯСМ призводить до зменшення фактичного повітряного проміжку між статором і ротором у порівнянні з ВДС ротора. Це потребує певного конструктивно-технологічного аналізу можливості впровадження ЗДС в конкретній ЯСМ. Але можливе використання різних конструктивних рішень для вирішення цієї проблеми. Наприклад, можливе невелике збільшення немагнітного проміжку ЯСМ при одночасному збільшенні струму обмотки збудження для забезпечення номінальної величини магнітного потоку збудження. Або збільшення повітряного проміжку ЯСМ можливе за рахунок певного зменшення висоти суцільного листа ЗДС шляхом виконання на внутрішній оберненій до полюсу поверхні листа невеликих виступів, які закріплюються у відповідні виконані на поверхні полюсів пази тощо.

Висновок. Отримані результати математичного моделювання підтверджують переваги ЗДС у порівнянні з традиційною ВДС ротора, як з точки зору покращення асинхронних характеристик ГГ при короткочасній роботі в асинхронному режимі, так і з точки зору підвищення надійності функціонування демпферної системи за рахунок більш рівномірного її нагріву. Такі особливості ЗДС особливо корисні в умовах виникнення нерівномірності повітряного проміжку ротора, оскільки при цьому суттєво зменшуються нерівномірні термомеханічні напруження в демпферній системі ротора, які є однією з головних причин її деградації та ушкодження.

Перелік посилань

1. Артюх С.Ф., Урманов О.Б. Статистический анализ отказов электрооборудования на гидроэлектростанциях каскада киевских ГЭС-ГАЭС. *Вісник ХПІ*. 2011. № 41. С. 3-7.
2. Васьковський Ю.М., С.С. Цивінський, О.І. Титко. Електромагнітні процеси у демпферній системі роторів гідрогенераторів при нерівномірності повітряного проміжку. *Технічна електродинаміка*. 2015. № 1. С. 65-71.
3. Васьковський Ю.М., Гераскін О.А., Татарінов К.М. Дослідження фізичних процесів ушкодження демпферної системи ротора синхронних машин. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 2(6). С. 19-24.