

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ В НЕСИМЕТРИЧНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Проведено дослідження впливу параметрів асинхронної машини на її ступінь використання та характеристики в режимі автономного генератора при трифазному та однофазному навантаженнях та спрощеній несиметричній системі збудження.

Проведены исследования влияния параметров асинхронной машины на её степень использования и характеристики в режиме автономного генератора при трехфазной и однофазной нагрузках и упрощенной несимметричной системе возбуждения.

Автономні електромеханічні системи знаходять широке застосування в галузях промисловості, будівництва, сільськогосподарського виробництва, побути. Електрогенераторні системи необхідні як для гарантованого живлення широкого класу споживачів, які не допускають перерви електроживлення (птахоферми, доїльні установки, холодильники), так і для об'єктів, віддалених від стаціонарних електромереж (польові стани, літні табори, фермерські і селянські господарства).

Відомо, що при інших рівних умовах асинхронні генератори на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором за якістю вироблюваної електроенергії не поступаються спеціальним синхронним генераторам з постійними магнітами, але програють в масо-габаритних показниках системи збудження і в складності системи стабілізації напруги. Сучасні досягнення в галузі конденсаторобудування та силової напівпровідникової техніки створили передумови побудови ефективних автономних асинхронних генераторів (ААГ) малої та середньої потужності [1, 2].

При побудові асинхронного генератора на базі асинхронного двигуна загальнопромислового призначення постає питання допустимості по тепловому навантаженню потужності, що може виробляти асинхронна машина (АМ) в генераторному режимі роботи.

В номінальному режимі роботи в якості двигуна АМ споживає електричну потужність

$$P_{\text{дв}} = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_{\text{дв}} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100, \quad (1)$$

де U_N, I_N – номінальні лінійні напруга та струм статора, $\cos \varphi_{\text{дв}}$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна, P_N – номінальна механічна потужність двигуна на валу, η_N – номінальний ККД двигуна. В генераторному режимі та же АМ виробляє електричну потужність

$$P_{\text{ген}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{ген}}, \quad (2)$$

де $\cos \varphi_{\text{ген}}$ – коефіцієнт потужності АМ в генераторному режимі, методика розрахунку якого базується на використанні схеми заміщення асинхронної машини з урахуванням насичення магнітного кола і змінних втрат у сталі. При умові підтримання стабільної лінійної напруги генератора $U_{\text{л}} = U_N$, допустиме тривале значення $P_{\text{ген}}$ визначимо як потужність, при якій лінійний струм не перевищує номінальний, тобто $I_{\text{л}} = I_N$. Тоді допустима (габаритна) потужність асинхронного генератора (в триваломо симетричному режимі роботи) дорівнює

$$P_{\text{ген}} = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_{\text{ген}} = P_{\text{дог}} \frac{\cos \varphi_{\text{ген}}}{\cos \varphi_{\text{дв}}} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100 \cdot \frac{\cos \varphi_{\text{ген}}}{\cos \varphi_{\text{дв}}}. \quad (3)$$

В формулі (3) невідомим є параметр $\cos \varphi_{\text{ген}}$. Інші параметри є каталожними даними.

Як показали дослідження [3], відношення коефіцієнтів потужності в генераторному режимі та режимі двигуна $\cos \varphi_{\text{ген}} / \cos \varphi_{\text{дв}}$ при номінальних значеннях

напруг і струмів завжди менше одиниці. Це означає згідно з формулою (1), що при виконанні умови неперевикнення допустимого теплового навантаження, АМ в генераторному режимі здатна виробляти меншу електричну потужність, ніж потужність, що споживає та же АМ в номінальному режимі двигуна. Отже, при проектуванні ААГ на базі асинхронного двигуна загальнопромислового призначення необхідно знижувати його потужність порівняно з номінальною електричною потужністю $P_{\text{лв}} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100 \cdot \frac{\cos \varphi_{\text{ген}}}{\cos \varphi_{\text{дв}}}$ раз. Роз-

рахунки [3] показали, що це заниження тим більше, чим менша номінальна потужність і чим більша кількість пар полюсів.

Відомо, що в галузях АПК, комунального господарства та будівництва переважає змішане трифазно-однофазне навантаження (наприклад, асинхронні двигуни і освітлення), тобто несиметричне активно-індуктивне навантаження. Несиметричний режим роботи автономного асинхронного генератора обумовлює деяке зниження його габаритної потужності порівняно з викладеною вище для ААГ, що працює в симетричному режимі роботи. Це зниження обумовлене виникненням додаткових втрат в АМ від зворотного поля. Несиметрія може бути обумовлена як несиметричним навантаженням (однофазним або змішаним трифазно-однофазним), так і несиметричною системою збудження.

Крім того, в режимі роботи з несиметричним навантаженням (однофазне, змішане трифазно-однофазне навантаження) струми фаз можуть суттєво відрізнятись один від одного, що спричиняє нерівномірний нагрів статора. Як наслідок, навіть при сумарних втратах в АМ на рівні номінальних виникає небезпека локального перегріву фази трифазної обмотки, що несе найбільше навантаження.

Вказані додаткові втрати і нерівномірний нагрів знижують габаритну потужність машини при роботі в несиметричному режимі. В літературі описані та досліджені ряд схем ААГ, що призначені для роботи на однофазне навантаження [4, 5]. В цьому режимі оптимальними вважаються схеми з несиметричною системою збудження, що дозволяють в деякій мірі спростити систему стабілізації напруги при неповній компенсації напруги зворотної послідовності.

Задача досягнення повної симетрії на обмотках статора АМ є досить складною технічною задачею, що потребує неперервного регулювання по заданому закону ємностей конденсаторів системи збудження в усьому діапазоні зміни навантаження, і в більшості випадків є невиправданою по економічним причинам. Також, на наш погляд, для користувачів в галузях ПК надлишковою є неперервна система стабілізації напруги, що до того ж погіршує масо-габаритні показники

генератора при використанні керованого дроселя або підвищує його вартість та складність при використанні напівпровідникових джерел реактивної потужності.

В даній роботі досліджується ААГ, що призначений як для живлення трифазного, так і однофазного навантаження (рис. 1). В зв'язку з цим для схеми ємнісної системи збудження вибраний компромісний варіант: початкове збудження досягається за допомогою симетрично включених конденсаторів С1-С3, що визначають рівень напругу холостого ходу генератора. Збільшення навантаження призводить до зменшення напруги генератора. Для запобігання цього застосована дискретна система стабілізації (СС) напруги, що складається з дискретно (східчасто) регульованої конденсаторної батареї з трьома секціями С4, С5, С6 та електронного регулятора (ЕР). Контроль напруги ведеться тільки по одній з фаз – по фазі С, за допомогою датчика напруги (ДН). В залежності від відхилення напруги від заданого значення регулятор підключає необхідну кількість секцій конденсаторної батареї паралельно фазі С. Таким чином, в процесі регулювання напруги, що відбувається із ростом навантаження, система стає несиметричною.

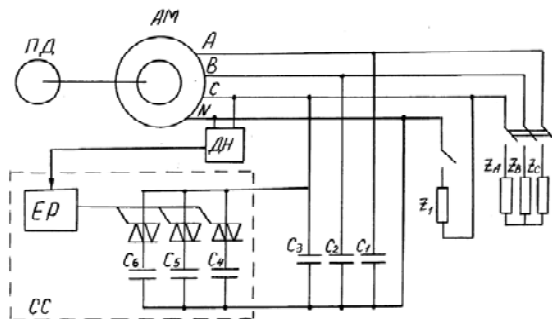


Рис.1. Схема автономного асинхронного генератора із змішаним навантаженням

Теоретичне дослідження режимів роботи ААГ в несиметричному режимі роботи є досить трудомісткою задачею, в тому числі і через змінність амплітуди магнітного потоку навіть у квазістатичному режимі, що виникає через еліптичність магнітного поля [6]. До того ж, на характеристики автономного генератора впливає нестабільність швидкості обертання первинного двигуна.

З метою оцінки впливу несиметричної системи збудження та стабілізації напруги на основні електричні параметри і робочі характеристики ААГ, схема якого представлена на рис. 1, були проведені експериментальні дослідження електроагрегату, що складається з трифазного асинхронного двигуна типу 4А100Л2У3 номінальною механічною потужністю 5,5 кВт, системи збудження з несиметричною дискретною системою стабілізації напруги та первинного двигуна (ПД), в якості якого використовувався карбюраторний двигун типу УД-25. Експерименти проводились при роботі на однофазне (Z_1) та трифазне (Z_A, Z_B, Z_C) навантаження. Критерієм визначення габаритної потужності ААГ в несиметричному режимі роботи, враховуючи нерівномірність нагріву обмотки статора в цьому режимі, будемо вважати умову неперевиконання статорним струмом будь-якої фази номінального значення.

Експериментальні дослідження показали, що габаритні потужності даного ААГ склали 4 кВт при трифазному симетричному навантаженні та 3,6 кВт при однофазному і були обмежені номінальним значенням струму в одній з фаз АМ. Ці потужності скла-

ли відповідно 68% та 61% від отриманого вище для цього двигуна значення габаритної потужності для симетричної системи збудження 5,9 кВт. Слід враховувати, що, окрім несиметрії фазних струмів, на таке зниження габаритної потужності також вплинула нестабільність швидкості обертання первинного двигуна. При роботі в діапазоні навантажень від нуля до габаритного небаланс напруг по фазам знаходився в межах 10%, відхилення напруги будь-якої фази від заданого значення не перевищувало 8%, найбільше відхилення частоти напруги від 50 Гц склало 4 Гц.

ВИСНОВКИ

- автономні генератори на базі асинхронних машин загальнопромислового призначення є конкурентоздатними джерелами енергії завдяки надійності, простоті конструкції та сучасним системам збудження, що вдосконалені завдяки новим високоефективним конденсаторам та напівпровідниковим елементам;
- при проектуванні асинхронного генератора слід враховувати, що допустима потужність, що генерує АМ в генераторному режимі (габаритна потужність ААГ) завжди менша, ніж потужність, що споживає та же АМ в номінальному режимі двигуна. Ступінь використання габарита АМ в генераторному режимі підвищується із збільшенням її номінальної механічної потужності і зменшенням полюсності;
- при роботі на однофазне або змішане трифазно-однофазне навантаження габаритна потужність ААГ зменшується порівняно з випадком симетричного трифазного навантаження через додаткові втрати від несиметрії струмів та нерівномірний нагрів статора. В цьому випадку є доцільним використання двох секцій конденсаторної батареї системи збудження: початкової симетричної системи збудження на холостому ході та несиметричної дискретно регульованої системи стабілізації напруги, що дозволяє досягти прийнятних показників якості вихідної електроенергії при досить простій конструкції ААГ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Джендубаев А-З.Р. Об удельной массе асинхронных генераторов с возбуждением от конденсаторов типа К78-17 // Электротехника. - 1995. - №1. - С. 13-14.
2. Лищенко А.И., Мазуренко Л.И. Методика расчета рабочих характеристик асинхронного генератора с вентильным возбуждением по схемам замещения // Технічна електродинаміка. - 1999. - №2. - С. 28-32.
3. Лесник В.А., Мазуренко Л.И., Шуруб Ю.В., Джура А.В. Габаритная мощность асинхронной машины в генераторном режиме работы // Технічна електродинаміка. - 2004. - №2. - С. 32-35.
4. Лесник В.А., Мазуренко Л.И., Джура А.В. Уравновешенный режим работы однофазного асинхронного генератора с трехфазной обмоткой статора // Технічна електродинаміка. - 2003. - №3. - С. 29-33.
5. Fukami T., Kaburaki Y., Kawahara S., Miyamoto T. Performance Analysis of a Self-Regulated Self-Excited Single-Phase Induction Generator Using a Three-Phase Machine // IEEE Trans. On Energy Conv. - Vol.14, No.3. - Sept.1999. - P. 622-627.
6. Лесник В.А., Шуруб Ю.В. Учет дифференциальных параметров при математическом моделировании несимметричных режимов работы асинхронных генераторов // Технічна електродинаміка. - 2003. - №1. - С. 45-48.

Надійшла 25.09.08

Шуруб Юрий Викторович к.т.н.
 Інститут електродинаміки НАН України
 Україна, 03680, Київ, пр-кт Перемоги, 56, тел. (044) 454-26-37