

ОСОБЛИВОСТІ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Єгоров О. Б.¹, Єгорова О. Ю.²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

²Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Визначено умови використання асинхронних генераторів у сільському господарстві. Проаналізовано аварійне гальмування генератора при відсутності навантаження на його обмотках.

Постановка проблеми. Асинхронні генератори (АГ) знаходять широке застосування як автономні джерела електроживлення в електричних мережах агропромислового комплексу. Основні галузі використання АГ: блоки живлення і системи електропостачання пересувних об'єктів, вітро- і гідроенергетика малої потужності, автономні джерела електроживлення пересувних малопотужних сільськогосподарських споживачів та ін. Коло користувачів АГ безперервно розширюється. З одного боку це пояснюється тим, що АГ легко реалізується на основі найбільш масової асинхронної машини, яка має відомі переваги, а з іншого - широкими і, головне, різноманітними можливостями ефективного практичного застосування АГ на основі використання особливих властивостей цих машин. Однак, при експлуатації виникають аварійні режими роботи, коли необхідно провести екстрене гальмування АГ.

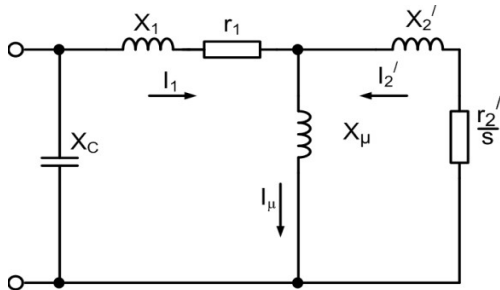


Рисунок 1 – Схема АГ в режимі гальмування

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Переваги АГ - технологічність, простота конструкції, автономність, відсутність контактів, надійність, простота експлуатації. АГ дозволяють застосовувати їх в самих різних областях [1-2]. Автономний АГ залишається основою для розвитку електрифікації сільського господарства. Такі генератори застосовуються для живлення ручного електроінструменту з вбудованим електроприводом підвищеної частоти, при відборі потужності від головної силової установки в електроенергетичних системах транспортних об'єктів. Розроблено схеми для використання АГ як в якості джерела змінної частоти, так і в якості електродвигуна. Асинхронні генератори з конденсаторним збудженням використовуються як резервні або аварійні джерела живлення. Широко застосовується так зване конденсаторне гальмування асинхронних двигунів [3, 4]. Даний режим використовується також для отримання наван-

тажувальних генераторних моментів постійної величини.

Мета дослідження. Встановлення аналітичних залежностей параметрів АГ в режимі аварійного екстреного гальмування та визначення шляхів подолання таких режимів.

Основні матеріали дослідження. Розширення областей ефективного практичного використання АГ засноване на аналізі, класифікації та використанні їх особливих властивостей в генераторному режимі, що відрізняють ці машини від інших типів. При експлуатації АГ виникають ситуації, коли необхідно провести аварійне гальмування генератора при сильних поривах вітру, руйнуванні вітроколеса, передавальних механізмів. Особливістю такого режиму в порівнянні з режимом конденсаторного гальмування при змінній швидкості обертання, що використовується для зупинки приводу, є необхідність, в першу чергу, щоб уникнути перегріву машини, застосування збудливих емоностей обмежених маршрутів (приблизно до ЗСном). Відповідно меншими будуть значення індукції.

Запропоновані раніше методи розрахунку гальмівних характеристик [5] АГ є графоаналітичними і не дозволяють встановлювати загального зв'язку між параметрами генератора і його характеристиками.

У координатних осях d, q , що обертаються зі швидкістю ротора $\Omega = const$, процес самозбудження коливаний в статорі асинхронної машини з паралельно включеними конденсаторами в момент, коли нелінійність, пов'язана з насиченням стали, не проявляється, можна описати комплексним диференціальним рівнянням:

$$[x_0 K(p) + L(p)] \vec{i}_1 = 0, \quad (1)$$

де

$$K(p) = (x_{1\sigma} + x_{2\sigma})p^3 + [r_1 + r_2 + j2\Omega(x_{1\sigma} + x_{2\sigma})]p^2 + [x_c - \Omega^2(x_{1\sigma} + x_{2\sigma}) + j\Omega(r_1 + 2r_2)]p + \Omega^2 r_2;$$

$$L(p) = x_{1\sigma} x_{2\sigma} p^3 + (r_1 x_{2\sigma} + r_2 x_{1\sigma} + j2\Omega x_{1\sigma} x_{2\sigma})p^2 + [r_1 r_2 + x_{2\sigma}(x_c - \Omega^2 x_{1\sigma}) + j\Omega(r_1 x_{2\sigma} + 2r_2 x_{1\sigma})]p + [r_2(x_c - \Omega^2 x_{1\sigma}) + j\Omega r_1 r_2].$$

При аналізі стаціонарних електромагнітних процесів немає необхідності враховувати залежність опору x_0 від часу, так як кожен стаціонарний режим характеризується цілком конкретним значенням x_0 , що

визначаються величиною робочого магнітного потоку машини.

У таких випадках опір x_0 можна вважати незалежним від часу. Маючи на увазі отримання в подальшому комплексного алгебраїчного рівняння для дослідження процесів сталого самозбудження в статорі (шляхом підстановки $p = -j\omega$, де ω - значення кутової частоти ковзання поля по відношенню до координат d, q), перепишемо (1) у вигляді

$$x_0(I_{1m})K(p)\bar{I}_1 + L(p)\bar{I}_1 = 0. \quad (2)$$

Сталі струми в генераторі можна представити у вигляді комплексних гармонійних функцій

$$\bar{I}_1 = \dot{I}_{1m} \exp(-j\omega \tau), \quad \bar{I}_2 = \dot{I}_{2m} \exp(-j\omega \tau), \quad (3)$$

де $\dot{I}_{1m} = I_{1m} \exp(-j\psi_1)$, $\dot{I}_{2m} = I_{2m} \exp(-j\psi_1)$ - відповідно комплексні амплітуди струмів в статорі і роторі.

Зі співвідношення

$$p^n (\dot{I}_{1m} e^{-j\omega \tau}) = \dot{I}_{1m} (-j\omega)^n e^{-j\omega \tau}$$

безпосередньо впливає наступне представлення рівняння (2):

$$[\psi(I_{1m})K(-j\omega) + L(-j\omega)I_{1m}] e^{-j(\omega \tau - \psi_1)} = 0, \quad (4)$$

$$\text{де } \psi(I_{1m}) = x_0(I_{1m})I_{1m}.$$

У припущенні сталості частоти обертання ротора функція $\psi(I_{1m})$ є єдиною нелінійністю рівняння (4).

Відома нелінійність $E_{0m} = f(I_{0m})$, представляє собою криву намагнічування для АГ. Ця нелінійність досить добре описується рівнянням

$$I_{0m} = \alpha \operatorname{sh}(\beta E_{0m}), \quad (\alpha, \beta = \text{const}). \quad (5)$$

З еквівалентної схеми впливає наступне:

$$E_{0m} = x_0 I_{0m} = I_{1m} z_1, \quad (6)$$

при цьому

$$z_1 = \sqrt{\left(\frac{r_1}{F}\right)^2 + \left(x_{1\sigma} - \frac{x_c}{F^2}\right)^2}, \quad (7)$$

де $F = \Omega - \omega$ - частота коливань в статорі при нерухомих координатних осях.

За допомогою співвідношень (5) - (7) значення взаємодуктивності машини, відповідне амплітуді I_{1m} , визначається наступним чином:

$$x_0(I_{1m}) = \frac{E_{0m}}{I_{0m}} = \frac{z_1 I_{1m}}{\alpha \operatorname{sh}(\beta z_1 I_{1m})}. \quad (8)$$

Отриманий вираз визначає залежність магнітного опору повітряного зазору АГ в режимі гальмування без активного навантаження. Тому при визначенні частоти можна провести з квадратного рівняння за наближеною формулою

$$\omega = \left(-c_4 + \sqrt{c_4^2 - 4c_3c_5}\right) / (2c_3). \quad (9)$$

Висновки. Визначено аналітичні залежності для розрахунку характеристик АГ, що дозволяють встановлювати загальні зв'язки між параметрами генератора і його характеристиками в аварійних гальмівних режимах.

Список використаних джерел

1. Ekanayake J. B. et al. Dynamic modeling of doubly fed induction generator wind turbines. *IEEE transactions on power systems*. 2003. Т. 18. №. 2. С. 803-809.
2. Єгоров О. Б., Єгорова О. Ю. Двофазний асинхронний генератор. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил*. 2014. №. 2. С. 181-182.
3. Кицис С. И., Паутов Д. Н. К теории асинхронного сварочного генератора с двумя распределенными обмотками на статоре. *Электричество*. 2008. № 10. С. 53-56.
4. Єгоров О. Б., Єгорова О. Ю. Схеми заміщення двофазного асинхронного генератора. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил*. 2014. №. 1. С. 182-183.
5. Chowdhury B. H., Chellapilla S. Double-fed induction generator control for variable speed wind power generation. *Electric Power Systems Research*. 2006. Т. 76. №. 9-10. С. 786-800.

Аннотация

ОСОБЕННОСТИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Егоров А. Б., Егорова О. Ю.

Определены условия использования асинхронных генераторов в сельском хозяйстве. Проанализировано аварийное торможение генератора при отсутствии нагрузки на его обмотках.

Abstract

FEATURES OF EMERGENCY OPERATION MODES RENEWED ENERGY SOURCES

O. Iegorov, O. Iegorova

The conditions of using asynchronous generators in agriculture are determined. The emergency braking of the generator in the absence of load on its windings is analyzed.