

2.4.5 Энергетические системы и комплексы (технические науки)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИТКОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А.Н. СОБОЛЬ, канд. техн. наук, доцент
asob2010@mail.ru

A.N. SOBOL, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

А.В. СИНИЦЫН, канд. техн. наук, доцент

A.V. SVINICIN, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

А.В. ФЕДОРЕЦ, бакалавр

A.V. FEDORETS, Bachelor

*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Российская Федерация, Краснодар
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russian Federation, Krasnodar*

Аннотация. В статье предложена математическая модель симметричных трёхфазных витковых коротких замыканий в статорной обмотке автономного асинхронного генератора с ёмкостным самовозбуждением, применяемого в ветроэнергетических установках. Модель построена в неподвижной системе координат α - β и учитывает цепь возбуждения (конденсаторную батарею), нагрузку и ток короткозамкнутого контура, что позволяет исследовать электромагнитные процессы при межвитковых повреждениях и оценивать диапазоны изменения токов и напряжений генератора. Адекватность разработанной модели подтверждена экспериментальными испытаниями на стенде; полученные осциллограммы токов хорошо согласуются с результатами моделирования, расхождение составляет порядка 3–5 %. Показано, что при симметричном витковом замыкании наблюдается уменьшение тока повреждённой фазы, тогда как ток короткозамкнутого контура многократно превышает номинальный. Полученная модель может быть использована для расчёта диагностических признаков и обоснования параметров защитных устройств автономных асинхронных генераторов в составе ветроэнергетической установки (ВЭУ).

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, отказы в электрических машинах, асинхронный генератор, математическая модель, статорная обмотка, витковые замыкания

Список источников

1. Богдан, А. В. Информационные признаки повреждения обмотки статора для построения релейной защиты автономного асинхронного генератора / А. В. Богдан, А. Н. Соболев // Известия вузов. Электромеханика. - 2017. - № 6. - С. 72-76.
2. Патент № 2313890 С1 Российская Федерация, МПК Н02М 7/08, Н02Н 3/28. Устройство для дифференциально-фазной защиты: № 2006124282/09: заявл. 06.07.2006: опубл. 27.12.2007 / А. В. Богдан, А. Н. Соболев; заявитель Федеральное

государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кубанский государственный аграрный университет.

3. Бубенчикова, Т. В. Выбор электрогенераторов для ВЭУ / Т.В. Бубенчикова и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург, 2016. - № 12. – С. 43-50.

4. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем MATLAB 6.0 / С. Г. Герман-Галкин. – М.: Корона принт, 2001. – 320 с.

5. Григораш, О. В. Автономные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии / О. В. Григораш, П. Г. Корзенков // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 93. – С. 646-658.

6. Григораш О. В., Тропин В. В., Оськина А.С. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых

источников энергии в Краснодарском крае / Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ, № 83 (09), 2012, с.188-199.

7. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб., доп. / И. П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.

MATHEMATICAL MODEL OF THE SELF-EXCITATION PROCESS OF AN AUTONOMOUS ASYNCHRONOUS GENERATOR OF A WIND POWER PLANT

Annotation. *The paper proposes a mathematical model of symmetrical three-phase interturn short circuits in the stator winding of a stand-alone self-excited induction generator with capacitive excitation, used in wind energy conversion systems. The model is formulated in the stationary α - β reference frame and takes into account the excitation circuit (capacitor bank), the load, and the current in the short-circuited loop, which makes it possible to study electromagnetic transients under interturn faults and to evaluate the ranges of variation of generator currents and voltages. The adequacy of the developed model is confirmed by experimental tests on a laboratory setup; the recorded current waveforms agree well with simulation results, with a discrepancy on the order of 3–5%. It is shown that, under a symmetrical interturn fault, the current in the damaged phase decreases, while the current in the short-circuited loop exceeds the rated value many times over. The proposed model can be used to derive diagnostic indicators and to justify the parameters of protective devices for stand-alone induction generators in wind turbine applications.*

Keywords: *wind turbine, faults in electrical machines, asynchronous generator, mathematical model, stator winding, interturn short circuits*

References

1. Bogdan, A. V. Information signs of damage to the stator winding for constructing relay protection of an autonomous asynchronous generator / A. V. Bogdan, A. N. Sobol // News of universities. Electromechanics. 2017. - No. 6. Pp. 72-76.

2. Patent No. 2313890 C1 Russian Federation, IPC H02M 7/08, H02H 3/28. Device for differential phase protection: No. 2006124282/09: declared. 06.07.2006: published. 27.12.2007 / A. V. Bogdan, A. N. Sobol; applicant Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Kuban State Agrarian University.

3. Bubenchikova, T. V. Selection of electric generators for wind turbines / TV Bubenchikova et al. // International research journal. - Ekaterinburg, 2016. No. 12. - P. 43-50.

4. German-Galkin, S. G. Computer modeling of semiconductor systems MATLAB 6.0 / SG German-Galkin. - M.: Korona print, 2001. – 320 p.

5. Grigorash, O.V. Autonomous power supply systems based on renewable energy sources / OV Grigorash, PG Korzenkov // Polythematic online electronic journal of the Kuban State Agrarian University. – 2013. – No. 93. – P. 646-658.

6. Grigorash O. V., Tropin V. V., Oskina A. S. On the efficiency and feasibility of using

renewable energy sources in the Krasnodar Territory / Polythematic network electronic scientific journal of KubSAU, No. 83 (09), 2012, pp. 188-199.

7. Kopylov, I. P. Mathematical modeling of electrical machines: Textbook for universities. 3rd ed., revised, supplemented / I. P. Kopylov. – М.: Higher School, 2001. – 327 p.

© Соболев А.Н. Синицин А.В., Федорев А.В., 2025