при ее передаче по ЛЭП. Основной целью в данной статье являлось рассмотрение способов повышения энергоэффективности в сетях электроснабжения.

1. Энергосбережение в системе электроснабжения [Электронный ресурс]. <https://zdam.ru/a75805.html> (дата обращения 02.06.2021)
2. ГОСТ 29322-2014 Межгосударственный стандарт. Напряжения стандартные.
3. Энергоэффективность систем электроснабжения. Дианова О.В., Шульга Т.П. Красноярский государственный аграрный университет, Ачинский филиал, Ачинск, Россия 3 с.
4. Энергоэффективность в электрических сетях. Гетте Алексей Иванович, студент Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (г. Кемерово)
5. Энергосберегающие технологии и способы энергосбережения // Энергоинформ - альтернативная энергетика, энергосбережение, информационнокомпьютерные технологии. Документация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energoinform.org/news/2008/energy/081205e.aspx> (дата обращения 02.06.2021)
6. Федеральный закон РФ от 11.07.2011 № 197-ФЗ «О внесении изменений в статью 13 Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
7. ISO 50001: 2011 (E). Международный стандарт. Системы энергетического менеджмента - Требования и руководство по применению, Швейцария, 2011
8. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ. Учебное пособие. Благовещенск Издательство АмГУ 2014. 91 с.

Соболь А.Н., Андреева А.А.

Методика экспериментального исследования повреждений асинхронных генераторов ветроэнергетических установок

*ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
(Россия, Краснодар)*

doi: 10.18411/lj-06-2021-102

Аннотация

Для построения собственной защиты асинхронных генераторов ветроустановок необходимо знать специфику процессов, протекающих в них в случае различного рода повреждений. Для этого необходимо провести исследования соответствующих признаков повреждений генератора. При этом имеется возможность, например, применения методов математического моделирования. Однако, ориентация на методы аналитического исследования без широко поставленного эксперимента недостаточна и не может обеспечить полноценных результатов при изучении режимов работы электрических машин, в частности их повреждений. В статье рассматривается экспериментальное исследование повреждений асинхронного генератора, в результате которого имеется возможность сформулировать соответствующие требования к устройствам защиты.

Ключевые слова: асинхронный генератор, методика, эксперимент, повреждение, устройство защиты.

Abstract

To build your own protection for asynchronous generators of wind turbines, it is necessary to know the specifics of the processes occurring in them in the event of various types of damage. This requires an investigation of the appropriate signs of generator damage. In this case, it is possible, for example, to apply mathematical modeling methods. However, an orientation towards analytical research methods without a widely set experiment is insufficient and cannot provide full-fledged results when studying the operating modes of electrical machines, in particular their damage. The article discusses an experimental study of

damage to an asynchronous generator, as a result of which it is possible to formulate the appropriate requirements for protection devices.

Keywords: asynchronous generator, technique, experiment, damage, protection device.

Использование автономных асинхронных генераторов (АГ) в ветроустановках вызывает трудности, связанные с возможным появлением разного рода его неисправностей [3, 4]. Такими неисправностями могут быть, например, различные витковые короткие замыкания в обмотке статора [2]. Таким образом на данный момент имеется необходимость в разработке соответствующих защитных устройств [1]. Для этого необходимо провести исследования соответствующих признаков повреждений генератора. При этом имеется возможность, например, применения методов математического моделирования.

Однако, ориентация на методы аналитического исследования без широко поставленного эксперимента недостаточна и не может обеспечить полноценных результатов при изучении режимов работы электрических машин, в частности их повреждений. Экспериментальные исследования позволяют сформулировать требования к устройствам защиты, а также дать экспериментальный материал для определения области применения используемых математических моделей работы ААГ в нормальном режиме и при возникновении неисправностей.

Исследовались повреждения в статорной обмотке АГ (витковые и межфазные КЗ), повреждения конденсаторов самовозбуждения (несимметрия и обрыв одной из фаз емкостей) и обрыв фаз генератора [2].

Для моделирования различных видов коротких замыканий внутри обмотки статора генератора была создана установка (рисунок 1). В ней в качестве объекта исследования используется асинхронный генератор, выполненный на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором типа 4А100S4У3 (3 кВт, 1435 об/мин, номинальным током 6,7 А, коэффициентом мощности, равным 0,65, количеством витков в фазе 210) [2].

Привод ААГ может быть различным. В частности, его приводом может быть ветроустановка. Её моментная характеристика не обладает жесткостью. Поэтому в экспериментальной установке использовалось два варианта привода: АД (система с «жестким» приводом, $\omega \approx \text{const}$) и двигатель постоянного тока (ДПТ) с изменяемой в некоторых пределах угловой скоростью («не жесткая» система, $\omega = \text{var}$). (на рисунке 1 в качестве приводного двигателя показан АД). В случае вращения ААГ от ДПТ напряжение генератора поддерживалось равным 220 В. ААГ возбуждался от батареи конденсаторов, соединенных треугольником.

При определенных допущениях емкость конденсаторов возбуждения определяется следующей формулой [4]

$$C = \frac{P_n (\text{tg}\varphi_r + \text{tg}\varphi_n)}{2\pi f m U_c^2}, \quad (1)$$

где P_n – мощность, отдаваемая генератором;

U_c – напряжение на конденсаторах;

f – частота тока;

φ_r и φ_n – углы сдвига фаз между напряжениями и токами генератора и нагрузки;

m – число фаз.

В нашем случае принимаем емкость самовозбуждения 40 мкФ.

Схема экспериментальной установки показана на рисунке 1. Здесь АГ – асинхронный генератор, ПД – приводной двигатель, С1 и С2 – конденсаторные батареи соответственно 30 % и 70 % от номинального значения (для изменения емкости самовозбуждения генератора). В ходе экспериментов производились замыкания между

витками в одной фазе или разных фаз. Измерялись емкостные токи $I_{\text{емкA}}$, $I_{\text{емкB}}$, $I_{\text{емкC}}$; токи генератора I_A , I_B , I_C для фаз А, В, С соответственно; ток короткого замыкания $I_{\text{кз}}$; токи нагрузки $I_{\text{нгA}}$, $I_{\text{нгB}}$, $I_{\text{нгC}}$.

Для проведения эксперимента в каждой фазе обмотки статора выполнено по 6 выводов (отпайк) медным проводом с поперечным сечением в несколько раз большим сечения провода обмотки. Считая от нулевых выводов, отпайки выполнены согласно таблице 1.

В таком случае, можно осуществлять различные сочетания как витковых, так и межфазных замыканий до 50% витков в обмотке.

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Таблица 1

Отпайки в статорной обмотке

Номер отпайки	1	2	3	4	5	6
Отпайка от витка, считая от нулевых выводов	2	6	21	32	63	105
Отпайка в %	1	3	10	15	30	50

На рисунке 2 показана схема простой однослойной концентрической обмотки для одной фазы с номерами выводов согласно таблице 1. Вывода в двух других фазах расположены аналогично.

В качестве объекта исследования был выбран АГ, выполненный на базе АД средней мощности с простой однослойной концентрической обмоткой. Двухслойные обмотки и различные специальные обмотки в статье не рассматриваются.

Рисунок 2 – Схема расположения выводов в однослойной концентрической обмотке для одной фазы

Схема для изучения повреждений в батарее емкостей самовозбуждения генератора изображена на рисунке 3.

Рисунок 3 – Схема повреждений в емкостях самовозбуждения ААГ

При этом исследовалась работа генератора при возникновении частичной несимметрии (обрыв части емкости), а также при обрыве полностью одной или двух фаз емкостей и в случае их КЗ.

В результате проведенных исследований было установлено, что в случае витковых замыканий в КЗ части обмотки циркулирует достаточно большой ток, способный вызвать повреждение ААГ. По мере увеличения числа КЗ витков с 1 % до 30% ток в этих витках изменяется с $1,7 I_{ном}$ до $4 I_{ном}$ для $\omega = const$ и с $2 I_{ном}$ до $2,8 I_{ном}$ для $\omega = var$. Максимальный ток КЗ превышает номинальный в 5 - 7 раз и наблюдается примерно при 3 % КЗ витков. При увеличении числа КЗ витков до 25 – 30 % ААГ теряет возбуждение.

Установлено, что в случае 15 % КЗ витков фазные, емкостные токи, напряжения в поврежденной фазе уменьшаются в 1,3 раза. Коэффициент обратной последовательности для фазных, емкостных токов и фазных напряжений имеет очень величину, не превышающую 0,1. Ток нагрузки в поврежденной фазе в данном случае уменьшается в 1,1 раза (коэффициент обратной последовательности имеет очень небольшую величину менее 0,05). При малом числе КЗ витков (1 – 3 %) изменение токов и напряжений ААГ незначительно и коэффициент обратной последовательности ничтожно мал. С увеличением числа КЗ витков несимметрия токов и напряжений в фазах возрастает.

Подобные процессы происходят и при обрыве и несимметрии емкостей самовозбуждения и обрыве фаз ААГ, а также при межфазных и трехфазных КЗ. Так при замыкании 3 % и 15 % витков в двух фазах соответственно уменьшение токов в фазах аналогично уменьшению при витковых КЗ, ток КЗ в 4,6 раза больше номинального. Для симметричных трехфазных КЗ (по 3 % КЗ витков в фазах) получаются величины такого же порядка.

Установлено, что при 15 % КЗ витков для токов наблюдается уменьшение первой, пятой и седьмой гармоник фазных и емкостных токов в поврежденной фазе соответственно в 1,15, 2,15 и 2,9 раз, а также рост третьей гармоники в 1,9 раз. Для фазных напряжений происходит уменьшение первой, третьей, пятой и седьмой гармоник в поврежденной фазе соответственно в 1,53, 1,68, 1,43 и 1,1 раза. Подобно напряжению происходит уменьшение данных гармоник тока нагрузки, но в 1,4 раза меньше.

Изменения гармонических составляющих токов и напряжений в случае межфазных и трехфазных несимметричных КЗ аналогичны изменению при витковых КЗ. При симметричном трехфазном КЗ наблюдается рост первой гармоники фазных и

емкостных токов в 1,25 раз. Третья, пятая и седьмая гармоники уменьшаются в 2,8, 1,5 и 1,1 раз. Аналогичные соотношения получены для фазных напряжений, однако в этом случае первая гармоника уменьшается, а третья возрастает.

В случае привода от АД, в отличие от привода от ДПТ с увеличением нагрузки ток в поврежденной фазе уменьшается. С увеличением емкости самовозбуждения токи в поврежденной фазе увеличиваются. При увеличении числа КЗ витков происходит уменьшение токов в фазе. Подобным образом изменяются также емкостный ток и фазное напряжение. Ток нагрузки для обоих видов приводов ведет себя подобно фазному току для привода с ДПТ. Аналогичный характер имеют зависимости тока в установившемся режиме для неповрежденных фаз.

В случае КЗ в статорной обмотке гармонические составляющие сигнала вибродатчика увеличиваются в 4 – 8 раз (в области 600 – 1500 Гц). Аналогичные процессы происходят при обрыве фаз ААГ и емкостей самовозбуждения. При малом числе КЗ витков изменение гармоник не значительно (1 – 4 %). Данный признак позволяет обнаруживать не только электрические, но и механические повреждения, поэтому его целесообразно использовать для построения устройства защиты ААГ.

1. Богдан А.В. Диагностика повреждений обмотки статора автономного асинхронного генератора [Текст] / А.В. Богдан, А.Н. Соболев // Известия вузов. Электромеханика. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, 2013. – № 1. С. 70-71.
2. Богдан А.В. Информационные признаки повреждения обмотки статора для построения релейной защиты автономного асинхронного генератора [Текст] / А.В. Богдан, А.Н. Соболев // Известия вузов. Электромеханика. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, 2017. – № 6. С. 72-76.
3. Бубенчикова Т.В. Выбор электрогенераторов для ВЭУ [Текст] / Т.В. Бубенчикова и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург, 2016. № 12. – С. 43 – 50.
4. Григораш О.В. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии [Текст] / О.В. Григораш, Ю.И. // Промышленная энергетика. – М., 2001. № 4. С.37-40.

Субханкулов Э.Д., Залялиев Б.Г., Абузаид А., Власова А.Ю.
Определение эффективности комплексного реагента NALCO CL-50 для
теплоносителя

*ФГБОУ ВО «КГЭУ»
(Россия, Казань)*

doi: 10.18411/lj-06-2021-103

Аннотация

В статье представлены результаты эксперимента по определению эффективности ингибитора солеотложений - комплексного реагента NALCO CL-50. Исследования проводились на воде, с высоким содержанием солей, часть показателей качества воды определили экспериментальным способом. Для данной воды были подобраны оптимальные дозировки реагента.

Ключевые слова: комплексный реагент для теплоносителя, NALCO CL-50, скважина.

Abstract

The article presents the results of an experiment to determine the effectiveness of a salt deposition inhibitor - a complex reagent NALCO CL-50. The studies were conducted on water with a high salt content, and some of the water quality indicators were determined experimentally. For this water, the optimal dosages of the reagent were selected.

Keywords: complex reagent for coolant, NALCO CL-50, borehole.