

Литература

1. Энергоэффективные испытательные стенды / И. В. Дорощенко [и др.] // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26–30.
2. Захаренко, В. С. Современное состояние и перспективы развития инвариантных электромеханических стендов с рекуперацией энергии / В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2007. – № 4. – С. 80–84.
3. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – 4-е изд., сокр. и перераб. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 407 с.
4. Коваварский, Е. М. Испытание электрических машин / Е. М. Коваварский, Ю. И. Янко. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 319 с.

УДК 621.314

ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УСТРОЙСТВА НАГРУЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ

М. Н. Погуляев, И. В. Дорощенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Для нагружения резервных электрогенераторов при проведении испытаний наиболее перспективным является использование энергосберегающих устройств нагружения (УН), выполненных на базе статических полупроводниковых преобразователей [1]. Такие УН позволяют плавно регулировать величину нагрузки и коэффициента мощности, а также рекуперировать вырабатываемую испытуемым генератором электроэнергию с переменным напряжением и частотой в промышленную сеть. Цель данных исследований – определение основных энергетических показателей, характеризующих энергоэффективность устройства нагружения резервных электрогенераторов.

Энергосберегающее устройство нагружения электрогенераторов выполнено на основе статических полупроводниковых преобразователей и может быть представлено в виде электрической схемы замещения (рис. 1).

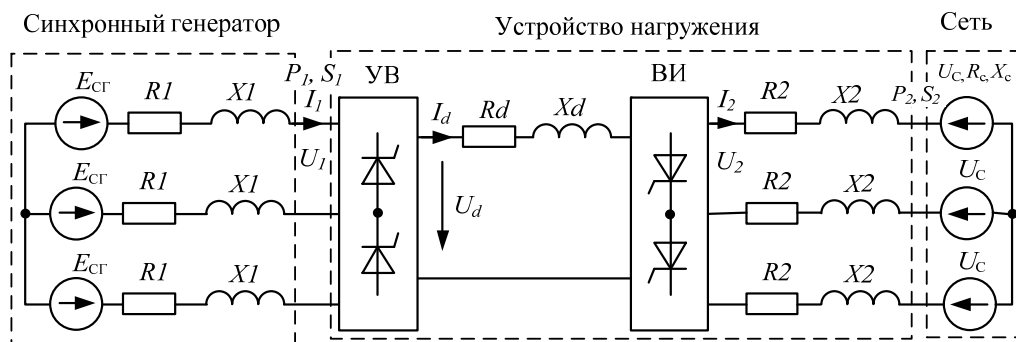


Рис. 1. Электрическая схема замещения энергосберегающего устройства нагружения:

УВ – управляемый выпрямитель; ВИ – ведомый инвертор

Испытуемый синхронный генератор подключается на вход устройства нагружения и является источником, а питающая сеть – это нагрузка, которая подключается к его выходу. Электрические параметры переменных (напряжений, токов, мощностей, сопротивлений), действующих на входе нагрузителя, обозначены индексом I , на вы-

ходе – индексом 2. Синхронный генератор в схеме замещения представлен параметрами – источниками ЭДС $E_{сг}$, активными R_1 и индуктивными X_1 сопротивлениями, сглаживающий дроссель – активным R_d и индуктивным X_d сопротивлениями, питающая сеть в схеме замещения – источниками напряжения U_c с сопротивлениями R_c и X_c . Сопротивлениями R_2 и X_2 учитывают параметры коммутационного реактора или согласующего трансформатора.

Основными энергетическими показателями, характеризующими энергоэффективность устройства нагружения, являются коэффициент полезного действия (КПД) η и коэффициент мощности K_M :

– коэффициент полезного действия η определяется отношением активной мощности на выходе преобразователя P_2 к активной мощности на входе P_1 :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1},$$

где $\Delta P = P_1 - P_2$ – потери в элементах нагружателя;

– коэффициент мощности в цепи переменного тока (на входе управляемого выпрямителя K_{M1} и на выходе инвертора K_{M2}) характеризуется отношением активной мощности к полной:

$$K_{M1} = \frac{P_1}{S_1}, \quad K_{M2} = \frac{P_2}{S_2},$$

где S_1 и S_2 – полная мощность на входе и выходе нагружателя соответственно.

Полные мощности на входе S_1 и выходе S_2 нагружателя представлены выражениями:

$$S_1 = \sqrt{3} U_1 I_1; \quad S_2 = \sqrt{3} U_2 I_2.$$

Для определения энергетических показателей нагружателя был произведен расчет значений напряжений, токов, мощностей на его входе и выходе. Решить данную задачу можно, используя интегральные и спектральные методы расчета. Однако их применение требует сложных математических вычислений во временной и частотной областях. Для снижения трудоемкости расчетов показателей энергоэффективности использовалась имитационная модель устройства нагружения, разработанная в программной среде MATLAB при помощи пакетов расширения SimPowerSystems и Simulink [2], [3]. Применение данной модели позволяет решать не только задачи моделирования и получения численных значений необходимых параметров, но и производить комплексные исследования и визуализацию процессов в различных узлах и блоках устройства нагружения.

В качестве исследуемой машины был взят синхронный генератор с номинальной мощностью $S_{ном} = 8,1$ кВА и номинальным напряжением $U_{ном} = 400$ В, током $I_{ном} = 11,7$ А и коэффициентом мощности $K_{M1ном} = 0,8$. С помощью представленной модели произведен расчет необходимых энергетических показателей устройства нагружения при номинальном значении коэффициента мощности синхронного генератора и нагрузках, равных 10, 100 и 110 % от номинальной. Данные значения нагрузки устанавливаются требованиями нормативно-технической документацией

при проведении регламентных испытаниях резервных генераторов. В табл. 1 даны энергетические показатели нагрузателя, полученные в результате имитационного моделирования, при номинальном значении коэффициента мощности генератора $K_{M1ном} = 0,8$.

Таблица 1

**Энергетические показатели устройства нагружения
при номинальном значении $K_{M1ном} = 0,8$**

Параметры на входе устройства нагружения				Параметры на выходе устройства нагружения				Потери мощности, Вт	КПД нагрузателя
I_1, A	$P_1, Вт$	$S_1, ВА$	K_{M1}	I_2, A	$P_2, Вт$	$S_2, ВА$	K_{M2}	$\Delta P, Вт$	$\eta, \%$
1,17	616	768	0,8	0,9	-446,5	592	0,75	169,5	72,5
11,7	6096	7596	0,8	11,21	-5825	7347	0,79	271	95,5
12,8	6679	8292	0,8	12,3	-6395	8061	0,79	284	95,7

Токи нагрузки устанавливались, согласно условиям нагружения испытуемого генератора, равным $0,1 \cdot I_{ном}$, $I_{ном}$, $1,1 \cdot I_{ном}$ (1,17, 11,7 и 12,8 А соответственно). Отрицательное значение выходной активной мощности P_2 указывает на рекуперацию энергии испытуемого генератора в сеть.

Дополнительно исследовано влияние коэффициента мощности, задаваемого на входе нагрузателя на его энергетические показатели. В табл. 2 приведены энергетические показатели нагрузателя, полученные при различных значениях коэффициента мощности K_{M1} и номинальном значении тока нагрузки $I_{ном} = 11,7 A$.

Таблица 2

**Энергетические показатели устройства нагружения при номинальном
значении тока нагрузки 11,7 А и различных значениях
коэффициента мощности генератора**

Параметры на входе устройства нагружения			Параметры на выходе устройства нагружения			Потери мощности, Вт	КПД нагрузателя
K_{M1}	$P_1, Вт$	$S_1, ВА$	K_{M2}	$P_2, Вт$	$S_2, ВА$	$\Delta P, Вт$	$\eta, \%$
0,88	6740	7630	0,87	-6460	7368	280	95,8
0,8	6096	7596	0,79	-5825	7347	271	95,5
0,7	5308	7602	0,69	-5047	7335	255	95,0
0,6	4571	7620	0,59	-4316	7336	255	94,4
0,49	3750	7649	0,47	-3499	7356	251	93,3
0,4	3097	7700	0,39	-2851	7363	246	92,0

Анализ полученных результатов показывает следующее:

– в режимах работы, близких номинальному, нагрузатель обладает высоким коэффициентом полезного действия (до 95,5 %). При нагрузке $0,1 \cdot I_{ном}$ коэффициент полезного действия снижается до 72 %;

– в номинальном режиме при изменении коэффициента мощности в диапазоне от 0,4 до 0,88 коэффициент полезного действия устройства нагружения меняется незначительно (92,0–95,8 %).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что энергосберегающее устройство нагружения, построенное на статических преобразователях, имеет достаточно высокие энергетические показатели. Это позволяет считать, что данное устройство может успешно применяться для проведения регламентных испытаний резервных генераторов.

Л и т е р а т у р а

1. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электрогенераторов / М. Н. Погуляев, А. А. Смахтин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 2017 г. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2017. – С. 399–401.
2. Погуляев, М. Н. Имитационная модель энергосберегающего устройства нагружения резервных электрогенераторов / М. Н. Погуляев // Современные проблемы машиноведения : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель 22–23 ноябр. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Фил. ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» : под. общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 163–164.
3. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

УДК 620.1.08

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Л. В. Веппер, В. В. Логвин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Внедрение средств технической диагностики позволяет отказаться от обслуживания и ремонта по регламенту и перейти к прогрессивному принципу обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, что дает значительный экономический эффект [1].

Спектр и форма сигнала вибрации содержат информацию о характерных дефектах подшипников качения. В этой информации содержатся специфические особенности в зависимости от вида дефекта. Одна из таких характерных особенностей – наличие несинхронных пиков, т. е. пиков, не являющихся кратными гармониками частоты вращения вала электрической машины. Спектр вибрации может содержать как дискретные пики, так и широкополосные частотные области высокого уровня. Во временном сигнале вибрации могут наблюдаться ударные импульсы, обусловленные перекачиванием элементов качения через дефекты дорожек или контактом дорожек с дефектными участками элементов качения.

Важным моментом является то, что колебания, связанные с дефектом подшипника качения, имеют меньшую амплитуду, чем колебания, связанные со многими другими повреждениями, такими, как дисбаланс, несоосность или дефекты зубчатой передачи.

Во временном сигнале вибрации и его спектре присутствуют характерные признаки дефектов подшипников качения, которые сильно зависят от вида дефекта.