

Экспериментальное исследование резонансных свойств электродвигателя с фазным ротором на высоких частотах

МИРОШНИЧЕНКО М.С., ДЕГТЯРЁВ А.Н.

Основными методами диагностики электрических машин являются: вибродиагностика; диагностика на основе измерения фазных токов и напряжений; методы, основанные на измерении поля рассеяния, существующего вблизи электрической машины и являющегося частью общего магнитного потока. В статье предлагается метод высокочастотной диагностики электрических машин. Показано, что при малых значениях тестовых напряжений машина ведет себя как электромагнитное устройство с сосредоточенными параметрами. Вид резонансных кривых позволяет сделать вывод о характере неисправностей машины, что в дальнейшем может быть использовано для построения соответствующих схем замещения. Приведена структурная схема экспериментальной установки и принципиальные схемы входящих в нее устройств. Обоснована возможность использования предлагаемого метода для диагностики электрических машин в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: электрические машины, диагностика, высокая частота, резонансные свойства

Основными направлениями в диагностике электрических машин являются: вибродиагностика, методы на основе измерения фазных токов и напряжений либо поля рассеяния, являющегося частью общего магнитного потока.

Методы вибродиагностики позволяют получить подробную информацию о техническом состоянии объекта и основываются на анализе временных и спектральных характеристик вибраций. Основные недостатки этого метода — контактный способ измерения, а также жесткие требования к расположению датчика на объекте.

Методы диагностики на основе измерения фазных токов и напряжений позволяют проводить измерения без разрыва цепей питания объекта (используются токовые клещи). В отличие от вибродиагностики отсутствует необходимость установки датчика в определенное положение относительно объекта. Однако составить полную картину о характере неисправности данный метод не позволяет.

Поле рассеяния измеряется бесконтактным способом, отсутствуют и жесткие требования к расположению датчиков, однако влияние дефектов на характеристики поля рассеяния мало изучено, что не позволяет в полной мере использовать сведения о данном диагностическом параметре для оценки технического состояния машины.

В [1] электротехнические устройства рассматриваются как цепи с распределенными параметрами, приводится анализ частотных характеристик, которые являются носителями важной информации о свойствах и параметрах устройств, упоминается также о том, что электрические машины обладают

сложным резонансом, а анализ резонансных кривых позволяет определить первичные и вторичные параметры обмоток.

Работа [2] посвящена диагностике изоляции асинхронных двигателей. С целью приближения условий тестирования витковой изоляции к условиям эксплуатации испытания проводятся высокочастотными синусоидальными и импульсными воздействиями, имитирующими перенапряжения в обмотках машины. Однако создаваемые при тестировании высокие напряжения могут отрицательно сказаться на точности получаемых при диагностике результатов, так как дополнительно ухудшают изоляционные свойства машины. Кроме того, диагностика проводится на неработающей машине.

В статье предлагается метод высокочастотной диагностики электрических машин, основанный на представлении машины в виде многополюсника и анализе его амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Предполагается, что функции емкостей в многополюснике выполняют паразитные емкости: воздушного зазора; между проводами обмоток и магнитопроводами статора и ротора.

Экспериментальная установка. Структурная схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Согласующее устройство служит для получения симметричного выхода высокочастотного генератора. Принципиальная электрическая схема согласующего устройства показана на рис. 2,а.

Измерительное устройство представляет собой измерительный дифференциальный усилитель, прецизионный детектор и микроамперметр. Принципиальная схема измерительного устройства показана

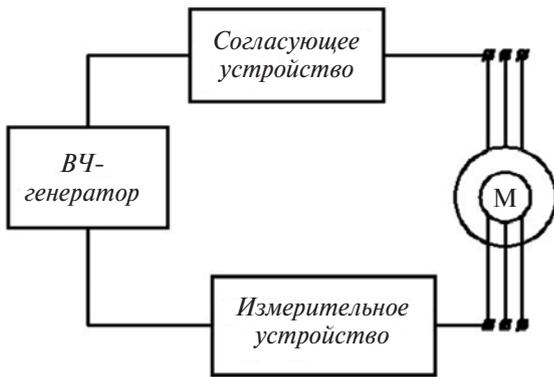


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

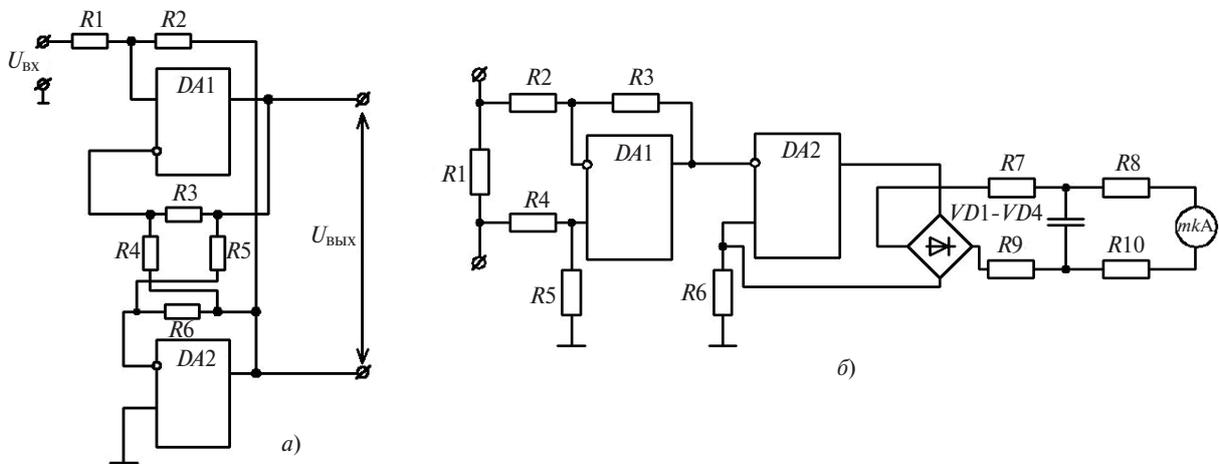


Рис. 2. Принципиальные электрические схемы устройств: а — согласующего; б — измерительного

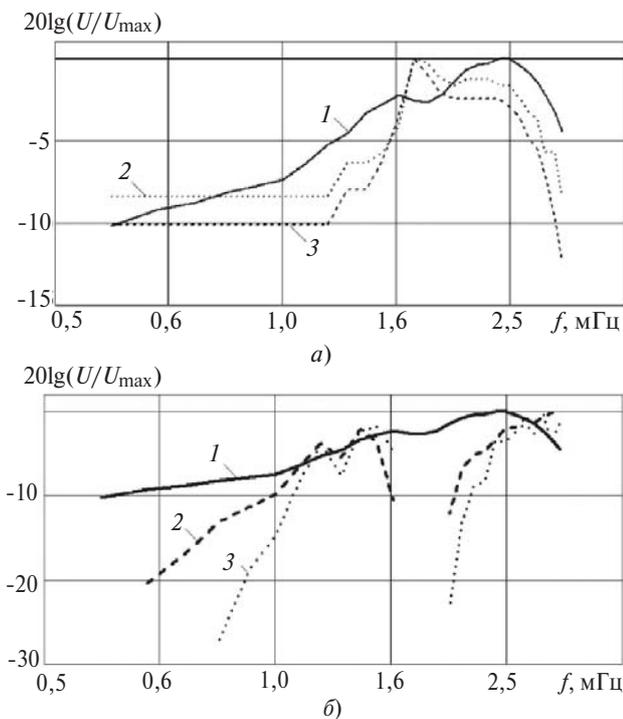


Рис. 3. АЧХ экспериментальной установки (а) и двигателя (б) при подключении зажимов В1 и А2

на на рис. 2,б. В качестве операционных усилителей выбраны микросхемы К544УД2А, выходное напряжение измеряется на резисторе $R_1 = 100 \text{ Ом}$.

Ниже приведены показания микроамперметра при изменении частоты сигнала генератора, полученные при замкнутых накоротко выходных зажимах измерительного тракта – координаты точек калибровочной кривой. Нормированная калибровочная кривая показана на рис. 3–6 (кривая 1).

Схемотехника измерительного тракта дала возможность устранить влияние на результаты эксперимента положения кабеля, его длины, емкостей, вносимых руками и оборудованием. Перепад характеристики в 10 дБ объясняется несовершенством

вом сборки и частотными свойствами выбранной элементной базы. Разработанная измерительная установка оказалась пригодной для первоначального исследования резонансных свойств электрических машин на высоких частотах тестовых сигналов.

$f, \text{ МГц}$	$I, \text{ мкА}$	$f, \text{ МГц}$	$I, \text{ мкА}$	$f, \text{ МГц}$	$I, \text{ мкА}$
0,5	34	1,4	75	2,3	106
0,6	38	1,5	80	2,4	110
0,7	40	1,6	85	2,5	110
0,8	43	1,7	82	2,6	105
0,9	45	1,8	81	2,7	100
1,0	47	1,9	85	2,8	93
1,1	53	2,0	93	2,9	85
1,2	60	2,1	101	3,0	76
1,3	65	2,2	105	3,1	74

Экспериментальные исследования. Для проверки адекватности предлагаемого метода исследовались резонансные свойства асинхронного двигателя с фазным ротором при различных вариантах подключения зажимов фаз ротора и статора к измерительному тракту. Для того чтобы учесть несиммет-

рию измерительного тракта, порядок подключения пары зажимов после каждого измерения изменялся. На приводимых ниже рисунках несимметрия измерительного тракта выражается в не совпадении кривых 2 и 3 (рис. 3–6).

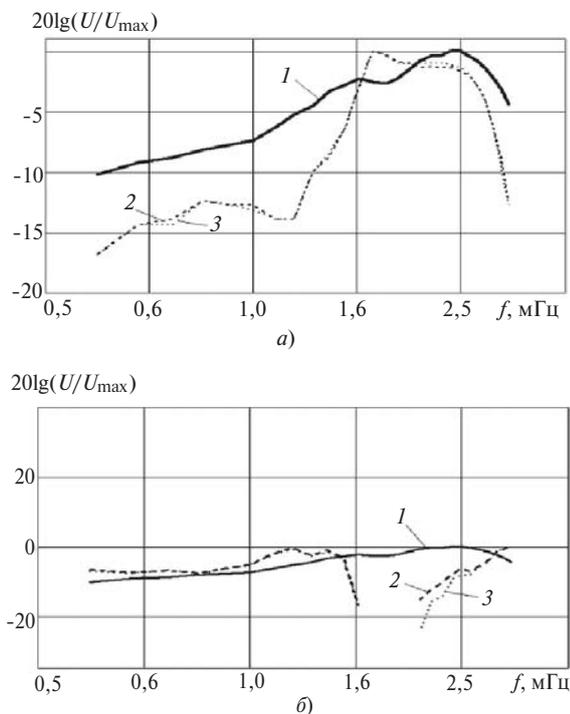


Рис. 4. АЧХ экспериментальной установки (а) и двигателя (б) при подключении зажимов В2 и С2

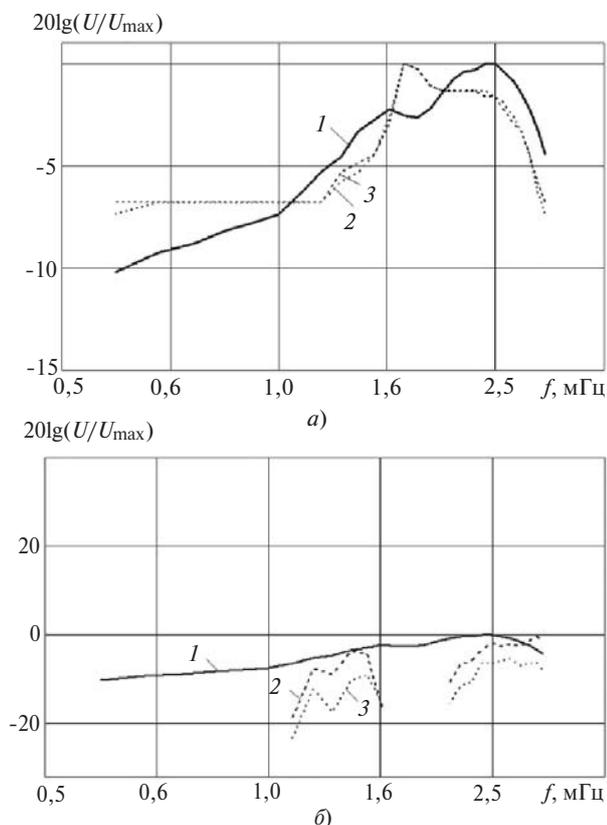


Рис. 5. АЧХ экспериментальной установки (а) и двигателя (б) при подключении зажимов А1 и В1

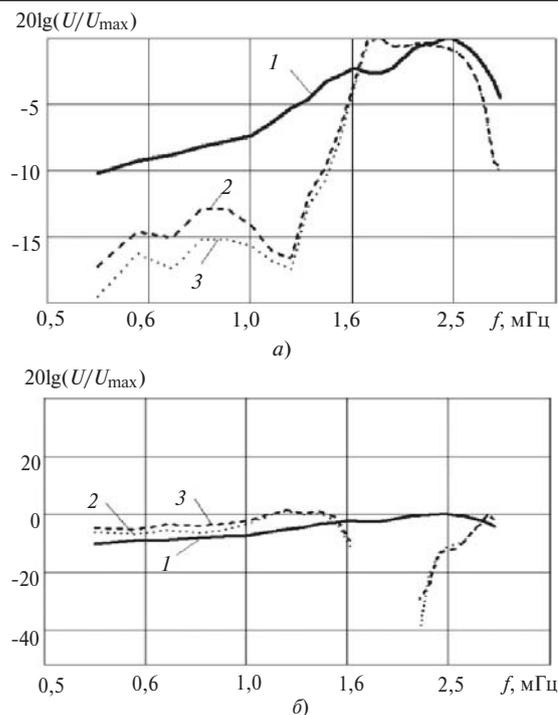


Рис. 6. АЧХ экспериментальной установки (а) и двигателя (б) при подключении одной фазы статора двигателя

Заключение. Анализ показал, что исследуемая машина проявляет себя как устройство, имеющее резонансы на частотах 1,7–1,8 МГц. Направлением дальнейших исследований является проверка следующих предположений:

1. Резонансные свойства электрических машин разных типов существенно отличаться не будут. Для микромашин будут наблюдаться смещения резонансных частот в область более низких значений, а для электрических машин средней и большой мощности — в область более высоких.

2. При обрыве фазы ротора или статора, а также при их коротком замыкании значения резонансных частот будут изменяться. При коротком замыкании резонансные частоты должны смещаться в область более высоких значений. При обрыве фаз должны появляться дополнительные резонансные частоты с общим уменьшением уровня резонансных гармоник.

3. Изменение сопротивления изоляции обмоток должно приводить к соответствующему изменению добротности резонансных кривых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами, цепные схемы. — М.: Энергоатомиздат, 1990, 246 с.
2. Горбунов Ю.К. Высокочастотная диагностика электрических машин: Автореф. дисс. доктора техн. наук. — Новосибирск: Государственный технический университет, 1996, 34 с.

Авторы: Мирошниченко Мария Сергеевна окончила Севастопольский национальный технический университет (СНТУ) в 2006 г. Аспирант кафедры судовых и промышленных электромеханических систем СНТУ.

Дегтярев Андрей Николаевич окончил Севастопольский приборостроительный институт в 1990 г.

Защитил в 2012 г. кандидатскую диссертацию в Севастопольском военно-морском институте им. П.С. Нахимова. Доцент кафедры судовых и промышленных электромеханических систем СНТУ.

Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 2, pp. 64–67.

An Experimental Investigation of the Resonance Properties of an Electric Motor with a Phase-Wound Rotor at High Frequencies

M.S. MIROSHNICHENKO and A.N. DEGTYAREV

The list of main methods for diagnosing electrical machines includes vibration diagnostics, diagnostics on the basis of phase current and voltage measurements, methods based on measuring the leakage field existing near the electrical machine that is part of the total magnetic flux. A method for high-frequency diagnostics of electrical machines is proposed. It is shown that at low values of test voltages the machine behaves as an electromagnetic device with lumped parameters. The shape of resonance curves allows a conclusion to be drawn about the nature of defects in the machine, which can subsequently be used for constructing the relevant equivalent circuits. The structure of the experimental installation and the basic circuits of its constituent parts are presented. The possibility of using the proposed method for diagnosing electrical machines in the course of their operation is substantiated.

Key words: electrical machines, diagnostics, high frequency, resonance properties

REFERENCES

1. **Kaganov Z.G.** *Elektricheskiye tsepi s raspredelennymi parametrami, tsepnye skhemy* (Electrical circuits with distributed parameters, chain scheme). Moscow, Publ. Energoatomizdat, 1990, 246 p.

2. **Gorbunov Yu.K.** *Vysokochastotnaya diagnostika elektricheskikh mashin: Avtoref. diss. of doktora tekhn. nauk* (High-frequency Diagnostics of Electrical Machines. Abstract of diss. doct. techn. sci.). Publ. of Novosibirsk State Technical University, 1996, 34 p.

Authors: Miroshnichenko Mariya Sergeyevna (Sevastopol', Crimea) – Ph. D. Student, Sevastopol' National Technical University (SNTU).

Degtyarev Andrei Nikolayevich (Sevastopol', Crimea) – Cand. Techn. Sci., Associate Professor, SNTU.

