

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

Sukiyazov A.G., Rudenko N.V., Polovinchuk N.Ia., Ivanov S.V.

**METHOD OF FUNCTIONAL
DIAGNOSTICS OF
ELECTROCONVERTING DEVICES**

**Sukiyazov A.G., Russia, Candidate of Physical and
Mathematical Sciences, Professor Professor of Don State
Technical University**

**Rudenko N.V., Russia, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Assistant Professor of Don State Technical
University**

**Polovinchuk N. Ia., Russia, Candidate of Technical
Sciences, Professor Professor of Rostov branch of the Moscow
State Technical University of Civil Aviation**

**Ivanov S. V., Russia, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Assistant Professor of Don State Technical
University**

Abstract

Results of researches of communication of kinetics of an external magnetic field of the transformer of the electroconverting device with the mode of its work and technical condition of valve elements are given in article. It is established that the maxima of an external magnetic field corresponding to currents in primary and secondary windings are reached in different timepoints. Technical condition of valve elements also finds reflection in kinetics of an external magnetic field. On the basis of the determined consistent patterns ways and devices of realization of contactless functional diagnostics of the electroconverting devices containing inductive elements are developed.

Keywords: Kinetics of the external magnetic field, non-contact control of a technical condition.

Введение

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

Одним из путей обеспечения надежного функционирования электропреобразовательных устройств (ЭПУ) промышленных установок непрерывного технологического цикла является техническая диагностика, позволяющая прогнозировать аварийные ситуации в зависимости от фактического технического состояния этих устройств. Особенно актуальна задача технической диагностики и оценки технического состояния ЭПУ технологических и энергетических систем, транспортных средств и коммуникаций, от которых зависят безопасность жизнедеятельности людей. Её решение позволяет обнаружить на ранней стадии зарождающиеся дефекты и тем самым предотвратить возможные аварийные ситуации.

Предлагаемая статья посвящена разработке метода функциональной диагностики ЭПУ на основе диагностической информации, содержащейся в кинетике внешнего магнитного поля (ВМП) индуктивного элемента этих устройств. В качестве объекта контроля выбран трансформаторно-выпрямительный блок (ТВБ).

Материалы и методы исследования

В настоящее время вопросы оценки технического состояния ЭПУ решаются двумя видами диагностики: тестовой или функциональной.

Тестовое диагностирование связано с применением генератора импульсов тестовых сигналов, который подключается к отдельным участкам электрической цепи выпрямителя. Анализ откликов на его тестовые воздействия позволяет последовательно выявлять одно из трех возможных состояний каждого вентиля: исправен, пробит, оборван [1]. Данный способ диагностики не может быть использован для выявления аномальных режимов работы ЭПУ в электроприводе машин непрерывного производственного цикла, так как для проведения процедуры диагностирования требуется вывод его из эксплуатации.

Ко второму виду способов функционального диагностирования, наиболее перспективных, по мнению авторов, для ЭПУ, относятся следующие способы диагностики косвенными методами:

- на основе учёта текущих условий эксплуатации и определения

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

остаточного ресурса [2, 3, 4];

- на основе бесконтактного контроля технического состояния без прерывания функционирования [5, 6].

Первые из них реализуется в процессе непрерывного функционирования ЭПУ и позволяют на основе автоматизированного мониторинга интенсивности эксплуатации, математических моделей эксплуатационной надёжности и технического ресурса оценить техническое состояние [2, 3, 4]. Однако этот подход не позволяет идентифицировать неисправность, а его техническая реализация достаточно сложна.

Сущность второй группы способов заключается в регистрации кинетики внешнего магнитного поля индукционных элементов в питающей цепи ЭПУ (трансформаторов, дросселей сглаживающих фильтров и т. д) или же фазного тока в цепи питания. На основании анализа информации, полученной с датчика, делают заключение о техническом состоянии преобразователя. Отклонение поля от нормального значения свидетельствует о нарушении его работы [5, 6].

Однако информации о конкретном виде кинетики ВМП и ее связи с техническим состоянием объектов контроля в литературе недостаточно. Это позволило авторам статьи сформулировать **цель дальнейших исследований**: разработка метода функциональной бесконтактной диагностики ЭПУ на основе регистрации кинетики ВМП индуктивного элемента позволяющей идентифицировать неисправности элементов ЭПУ.

Обычно о кинетике судят исключительно по спектральному составу сигнала с датчиков магнитного поля. Но для выяснения физических механизмов, сопровождающих работу объекта полезно наблюдать кинетику ВМП в аналоговом виде: $B(t)$, т.е. в виде графика зависимости индукции магнитного поля в точке расположения датчика от времени. Этим исследованиям посвящена данная работа.

Индуктивным элементом ТВБ является трансформатор. Его магнитное поле создается одновременно токами в обмотках, вихревыми токами в магнитопроводе, а также намагничиваемым железом. Эти поля являются переменными с частотой питающей сети, и обладают различными амплитудно-

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

фазовыми соотношениями. Кроме того, магнитные поля первичной и вторичной обмоток, а также магнитопровода трансформатора по-разному зависят от расстояния до точки наблюдения. В общем случае в любой точке окружающего пространства результирующее внешнее магнитное поле трансформатора как индуктивного элемента с ферромагнитным сердечником является сложной нелинейной функцией от времени и расстояния до точки наблюдения. Для облегчения анализа удобно внешнее магнитное поле трансформатора ТВБ условно разделить на две области: ближнюю и дальнюю (область Д), как показано на рис. 1 [7].

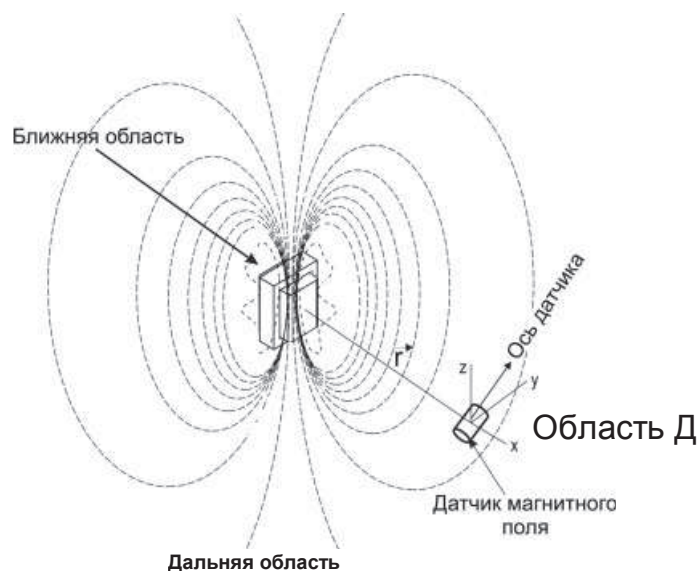


Рис.1 Области ВМП силового трансформатора

Экспериментальные исследования показывают следующее.

Во-первых, в каждой точке ближней области магнитное поле имеет сложную пространственно-временную конфигурацию, так как расстояние от всех составляющих источников поля соизмеримы. Небольшое изменение положения датчика для этой области, в соответствии со сложной конфигурацией поля, сопровождается сильным изменением формы выходного сигнала. В ближней области на точность измерения ВМП существенно влияют размеры датчика.

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

Во-вторых, в дальней области особенности конструкции индуктивного элемента проявляются слабо. Деление области ВМП на «ближнюю» и «дальнюю» является условным и четкая граница между ними отсутствует. В первом приближении можно считать, что «дальняя» область начинается с расстояния равного линейному размеру ЭПУ при электропитании от сети промышленной частоты (т. е. ЭПУ является электрической цепью с сосредоточенными параметрами).

В третьих, в дальней области магнитное поле трансформатора ТВБ приближается по форме к магнитному полю некоторого соленоида с нелинейным сердечником [7].

Это позволяет упростить анализ кинетики внешнего магнитного поля трансформатора ТВБ применительно к задачам диагностики и снизить требования к размерам датчика.

Основная идея функциональной диагностики ЭПУ по кинетике ВМП в процессе работы в штатном режиме базируется на гипотезе, что кинетика ВМП, создаваемого индуктивным элементом в дальней области, содержит диагностическую информацию о техническом состоянии его элементов. Для ТВБ это состояние вентиля и конденсаторов фильтра. Кроме того, кинетика ВМП ТВБ должна зависеть от напряжения на первичной обмотке трансформатора и тока во вторичной обмотке. Поэтому возможность регистрации кинетики ВМП в дальней области трансформатора позволит осуществлять диагностику большого числа элементов ТВБ.

Преимущества такой диагностики следующие:

- нагрузка от ТВБ не отключается, а технологический цикл не прерывается;

- вскрытие корпуса ТВБ не является необходимым.

Для подтверждения гипотезы авторами были проведены экспериментальные исследования внешнего магнитного поля типового маломощного двухобмоточного трансформатора типа АОС-05 в различных режимах функционирования. В соответствии с рис. 1 кинетика магнитного поля в дальней области трансформатора (область Д) регистрировалась с помощью специального магнетронного датчика магнитного поля [8].

Результаты экспериментальных исследований указанного трансформатора представлены на рис. 2.

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

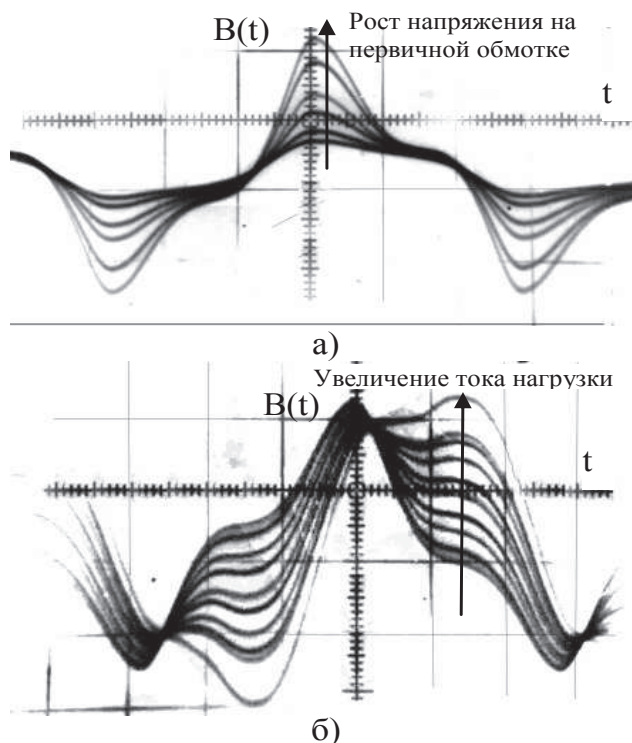


Рис. 2 Изменение кинетики ВМП трансформатора в области Д при:
а) изменении напряжения на первичной обмотке и неизменной величине сопротивления нагрузки;
б) изменении тока нагрузки и постоянном напряжении первичной обмотки

Результаты и обсуждение

Проведенные экспериментальные исследования показали следующее:

- кинетика ВМП имеет достаточно сложный вид при этом изменение напряжения на первичной обмотке и изменение тока во вторичной обмотке изменяют величину ВМП в разные моменты времени;

- разделение информации во времени (см. рис. 2) лучше всего проявляется в области напротив середины обмотки при определенной ориентации оси чувствительности датчика, очень четкое и соответствует принципу работы трансформатора. Эта область расположения датчика была названа областью Д. В

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

других точках внешнего магнитного поля эффект маскируется более сильным полем самого сердечника;

- кинетика ВМП трансформатора в области Д напротив середины обмотки содержит максимум диагностической информации об элементах ТВБ, поскольку основное поле магнитопровода в этой области минимально;

- для диагностики элементов ТВБ датчик магнитного поля располагают на линии, перпендикулярной геометрическому центру плоскости сердечника трансформатора, причем ось его чувствительности устанавливают параллельно плоскости сердечника так, чтобы она составляла угол $90 \pm 30^\circ$ с осью обмотки трансформатора [9].

На базе установленного свойства ВМП был разработан способ контроля блоков питания, содержащих силовой трансформатор [9, 10]. Устройство реализации способа представлено на рис. 3.

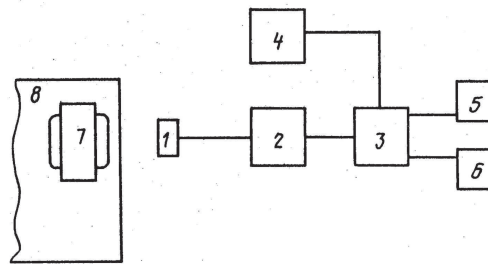


Рис. 3 Устройство реализации способа бесконтактного контроля блока питания по первичной и вторичной обмоткам с помощью одного датчика

ВМП трансформатора 7 регистрируется измерителем индукции магнитного поля 1. Измеритель 2 фиксирует мгновенное значение индукции магнитного поля в информационные моменты времени τ_A и τ_B . Электронный ключ 3, управляемый генератором строб-импульсов обеспечивает измерение магнитного в моменты времени τ_A и τ_B . Регистрирующие устройства 5 и 6 преобразуют значения индукции магнитного поля в единицы напряжения и тока. После сравнения с эталонами судят о техническом состоянии трансформатора.

Суть способа иллюстрирует рис. 4, который поясняет возможность бесконтактного контроля блока питания отдельно

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

по первичной и вторичной обмоткам с помощью одного датчика.

На рис. 4а изображена кинетика ВМП при номинальном режиме работы (сплошная линия) и при перегрузке (пунктир). На рис. 4б представлены строб-импульсы, соответствующие моментам времени разделения информации о состоянии первичной и вторичной обмоток, которые представляют собой сдвоенные импульсы с периодичностью следования $2\pi/\omega$. Здесь ω - частота напряжения сети. В соответствии с принципом действия трансформатора, сдвиг времени Δt между импульсами равен четверти периода напряжения сети.

На рис. 4 в, г и д представлены соответственно импульсы, характеризующие напряжение на первичной обмотке, импульсы, характеризующие ток нагрузки в норме и при перегрузке. Длительность выходных импульсов τ задается в выходном устройстве.

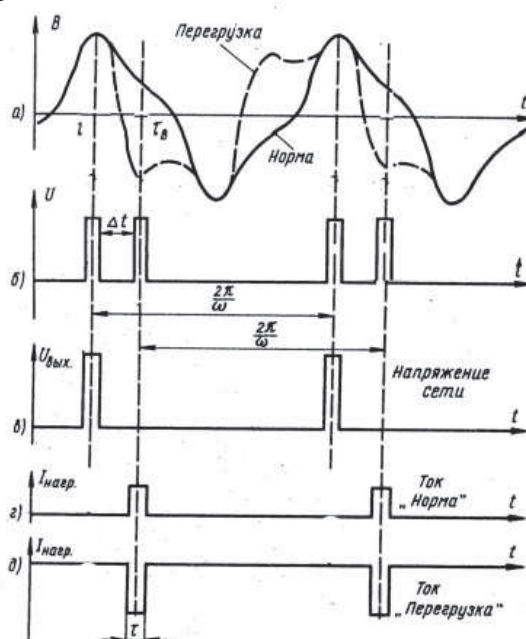


Рис. 4 Суть способа бесконтактного контроля блока питания по первичной и вторичной обмоткам

Последующие экспериментальные исследования ВМП трансформатора ТВБ показали, что оно весьма чувствительно к состоянию элементов схемы. В качестве выпрямительной схемы

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

исследовалась обычная двухполупериодная мостовая схема с активной нагрузкой, представленная на рис. 5.

Установлено, что если все элементы схемы выпрямления исправны, то кинетика ВМП является симметричной, как и в отсутствие мостовой схемы (рис. 5,а).

Если один из вентиляй выходит из строя, например, если имеет место неисправность типа «обрыв», то ток во вторичной обмотке имеет существенную величину только для одного полупериода. Выпрямление становится однополупериодным. Во вторичной обмотке появляется постоянная составляющая тока нагрузки, приводящая к намагничиванию сердечника. Кинетика ВМП становится несимметричной. Фаза ее искажения зависит от того, какой вентиль вышел из строя (рис. 5, б, в).

Если вентиль имеет неисправность типа «пробой» то ВМП соответствует однополупериодному выпрямителю в режиме короткого замыкания.

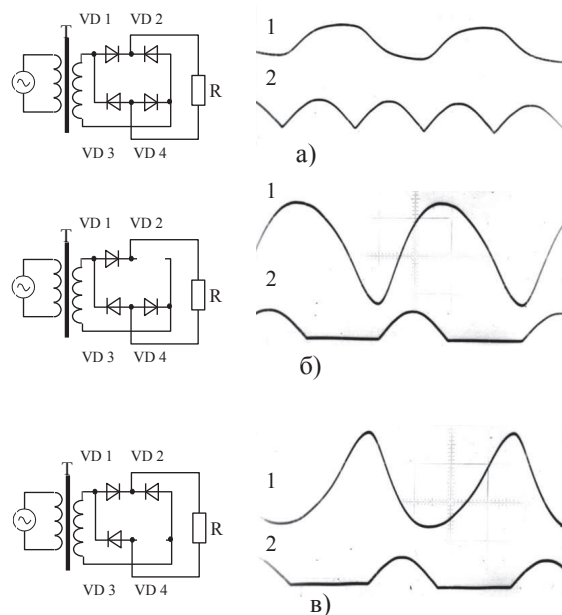


Рис. 5 Схема ТВБ, кинетика ВМП трансформатора и ток в нагрузке при: а) – исправности вентиляй; б) – обрыве в одном из вентиляй верхнего плеча; в) – обрыве в одном из вентиляй нижнего плеча; 1 – кинетика ВМП трансформатора; 2 – временная диаграмма пульсаций тока в нагрузке

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

Установленная экспериментально авторами связь кинетики ВМП трансформатора (рис. 2) с режимами работы трансформатора и состоянием элементов выпрямления (рис. 5) позволяет предложить устройство функциональной диагностики с использованием спектрального метода анализа кинетики.

Схема реализации способа представлена на рис. 6 [11]. Устройство, реализующее предлагаемый способ, содержит датчик магнитного поля 1, подключенный к усилителю 2, выход которого подключен к полосовым фильтрам 3-5, настроенным соответственно на частоты ω , 2ω и 3ω (ω - частота питающего напряжения). Выход фильтра 3 подключен к усилителю 6, а выход фильтров 4 и 5 – к синхронным детекторам 7 и 8, к управляющим входам которых подключены выходы полосовых фильтров 9 и 10, настроенных на частоту 2ω и 3ω соответственно. Для получения опорных частот 2ω и 3ω используется нелинейный элемент 11, обеспечивающий получение нужных гармоник из основной частоты ω , поступающей с выхода фильтра 3 через усилитель 6 на вход нелинейного элемента 11. Выход нелинейного элемента соединен со входами фильтров 9 и 10. Выходы усилителя 6 и синхронных детекторов подсоединены к входами логического блока 12, выход которого соединен с устройством индикации 13 [11].

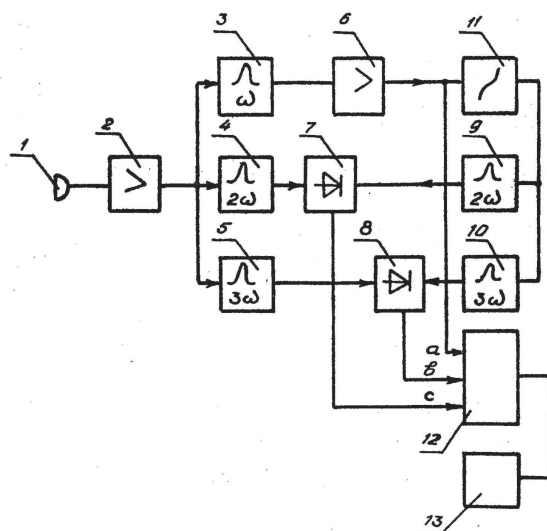


Рис. 6 Устройство для экспресс-диагностики
вентильных элементов блоков питания

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

Выводы

Таким образом, разработанный метод функциональной диагностики ЭПУ на основе регистрации кинетики ВМП индуктивного элемента позволяет следующее:

- получать отдельно информацию о состоянии первичной и вторичной обмоток индуктивного элемента;
- позволяет идентифицировать неисправные состояния вентильных элементов («обрыв» или «пробой»);
- даёт возможность реализовать бесконтактный мониторинг и диагностику технического состояния ЭПУ, а также предупреждать аварийные ситуации без прерывания технологического цикла на основе разработанных и запатентованных способов и устройств.

References

- [1] Kulik V.D., Korolev V.I. Abnormal modes in semiconductor rectifiers and their diagnosis: a tutorial / SPbGTUZZP. SPb., 2012. 114p.
- [2] Rudenko N.V., Lozovskiy V.V., et al. The device evaluate the technical condition of the transformer on the residual resource. Patent for an invention RUS 2361309. Priority 05.06.2008.
- [3] Rudenko N.V., Lozovskiy V.V., et al. The device evaluate the technical condition of the power transformer. Patent for the invention RUS 2404472. Priority 31.12.2009.
- [4] Rudenko N.V., Lozovskiy V.V., Rashitov A.R. Automated monitoring of the technical condition of electrical power supply systems based on the actual load of the resource. Proceedings of the higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Engineering. 2009. № 2. pp 52-54.
- [5] Markin V.V., Mironov V.N., Obukhov S.G. Technical diagnostics rectifier converters. M.: Energoatomizdat, 1985. 152 p.
- [6] Smirnov V.I. Methods and tools for functional diagnostics and control of technological processes on the basis of of electromagnetic sensors. Ulyanovsk: UISTU. 2001. 190 p.
- [7] ukiyazov A.G., Prosyannikov B.N. The use of electromagnetic processes in magnetic systems of electrical

**2nd the International scientific-practical conference
«Innovation in science, technology
and the integration of knowledge» 2015**

devices for solving problems of control and diagnostics of technical condition // Journal of the Rostov State University of Railways. №4, 2014 P.110-118.

[8]

Sukiyazov A.G. Magnetron magnetic field sensor. Copyright certificate the USSR №1367711. Priority in 1985.

[9]

Sukiyazov A.G., Prosyannikov B.N. A method for controlling power units, comprising a power transformer. Copyright certificate the USSR №1335885, G 01 R 19/04. Priority in 1985.

[10]

Sukiyazov A.G., Prosyannikov B.N. Contactless device status monitoring winding single-phase transformers, rod type. Copyright certificate the USSR №1760477, G 01 R 31/02. Priority in 1990.

[11]

Sukiyazov a.g., prosyannikov b.n. a method of rapid diagnosis of rectifier elements of power supplies. Copyright certificate the ussr №1718159, g 01 r 31/28. Priority in 1989.