

УДК 656.1

В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, И. Л. ГРОМЫКО, аспирант, Д. В. МИРОШ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ПРИБОР ОБНАРУЖЕНИЯ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Приведено схемное и техническое описание прибора для обнаружения межвитковых замыканий, основанного на усовершенствованном пробнике Паздникова. С помощью данного прибора можно проверять наличие короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек индуктивности. Предложенная конструкция прибора является недорогой и основана доступных элементах, в отличие от его зарубежных аналогов. С помощью RLC-метра были измерены значения индуктивности железнодорожных трансформаторов, асинхронных двигателей и другого оборудования для определения границ применения работы прибора.

Диагностика межвитковых замыканий является важной задачей из-за широкого распространения электрических машин. В настоящее время существует множество методов его обнаружения, однако многие из них имеют существенные недостатки. Широкое применение электрических машин в системах электропривода и автоматизации производства напрямую зависит от их работоспособности. Отказ одной машины может привести к остановке всего производственного комплекса, что влечет за собой значительные материальные потери. Поэтому повышение эксплуатационной надежности электрических машин, производство которых составляет десятки миллионов единиц в год, является актуальной научно-технической задачей.

При определении общей надежности целесообразно использовать метод «слабых звеньев» [1], который позволяет выделить только те блоки, надежность ко-

торых в данных условиях минимальна. При анализе асинхронных двигателей межвитковая изоляция обмотки статора является таким слабым звеном [2, 3].

Диагностика межвитковых замыканий в обмотках трансформаторов является важным фактором для поддержания электрооборудования в безопасном рабочем состоянии, позволяет уменьшить затраты и сохранить оборудование. Поэтому актуально обеспечить отделения Белорусской железной дороги приборами для своевременной диагностики.

Статистические исследования, проведенные в ЕАЭС [4, 5] и за рубежом [6], выявили, что в трехфазных двигателях со всыпной обмоткой основная причина отказов (до 80 %, а по некоторым данным до 95 %) связана с изменением состояния обмотки статора (рисунок 1). При этом дефекты, вызванные ухудшением характеристик межвитковой изоляции, составляют до 70 % от общего числа отказов.

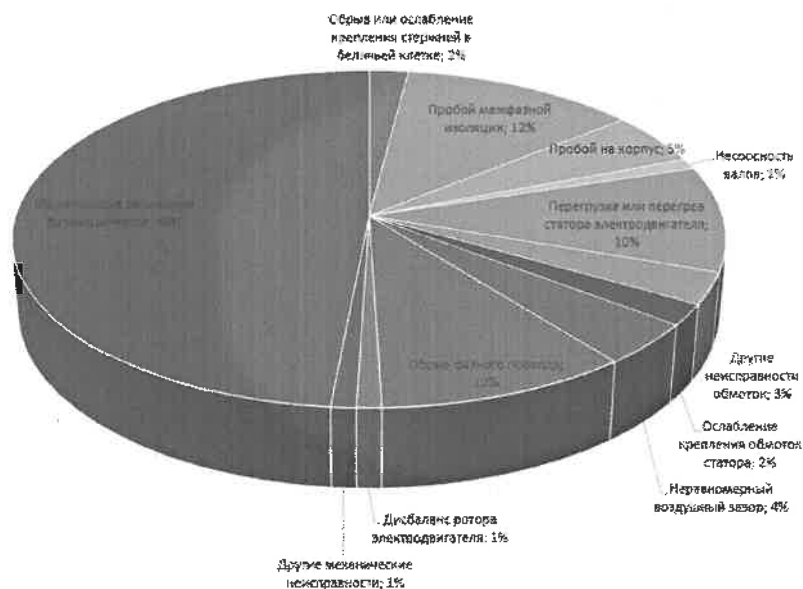


Рисунок 1 – Структура причин, приводящих к неисправному состоянию электрического оборудования

ских потерь (остановка производства, ремонт оборудования).

Анализ причин неисправностей в современных трехфазных электродвигателях с обмоткой из эмальпровода (мощностью до 100 кВт) показывает, что большинство проблем связано с электрическими обмотками и, как правило, возникает в процессе эксплуа-

тации. Это означает, что при контроле состояния таких двигателей ключевое внимание необходимо уделять именно контролю состояния обмоток во время работы.

Одним из эффективных методов контроля является постоянное или периодическое измерение сопротивления межвитковой изоляции. Это позволяет выявлять дефекты в обмотках на ранних стадиях их развития.

Системы мониторинга обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами технической диагностики. Однако установка таких систем на каждый трансформатор экономически нецелесообразна.

В качестве альтернативы можно рассмотреть внедрение систем мониторинга на основе данных, полученных при техническом диагностировании. Это можно делать без отключения трансформатора от сети или во время плановых диагностических испытаний в лабораториях.

Европейские системы, в отличие от белорусских, не направлены на продление срока службы оборудования. Зарубежная практика предполагает замену оборудования после окончания срока эксплуатации. Также существуют различия в нормативной документации, что затрудняет использование зарубежных систем диагностирования в Беларуси.

Белорусские системы, несмотря на свои преимущества, имеют ряд недостатков, так как они ориентирова-

ны на решение конкретных задач (для определенных схем, конкретного оборудования). Также эти системы мониторинга используют разнородную и нестандартную информацию и не учитывают динамику изменения критериев диагностирования (системы не обучаемы).

В журнале «Радио» [7] была описана схема простого прибора для обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дросселей. Прибор представлял собой генератор низких частот, собранный на двух транзисторах. Его преимущество – простота конструкции и доступность материалов. Однако прибор не позволял точно определить вид неисправности (межвитковое замыкание или обрыв цепи).

С помощью пробника Паздникова можно проверять обмотки трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек индуктивностью от 200 мкГн до 2 Гн. Пробником удается определить не только целостность обмотки, но и наличие в ней короткозамкнутых (КЗ) витков. Элементная база прибора состоит из 4 транзисторов *n-p-n* перехода; 2 транзисторов *p-n-p* перехода; 12 резисторов (2 из которых являются переменными); 3 конденсаторов; светодиода; источника питания; аккумулятора; щупов; кнопки «вкл/выкл» (рисунок 2).

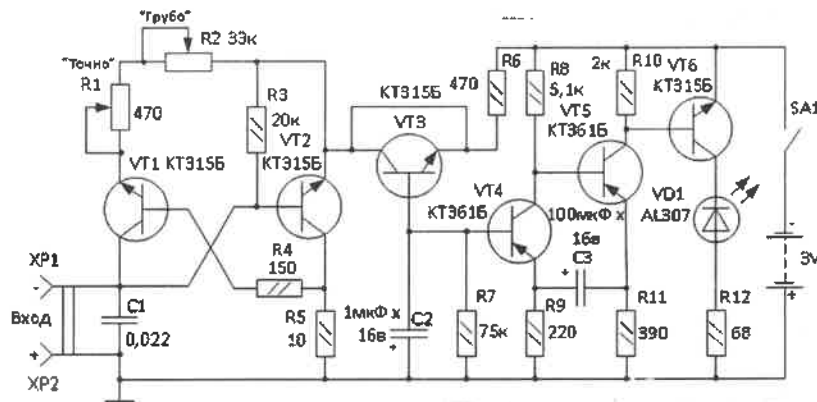


Рисунок 2 – Схема устройства

При использовании указанных на схеме деталей налаживание пробника сведется к градуировке шкалы переменного резистора. Для этого, подключая к щупам пробника исправные катушки с различной индуктивностью, изменением положения движка резистора добиваются мигания индикаторной лампы. Затем движок устанавливают в положение, близкое к левому по схеме выводу, при котором еще сохраняется мигание, и делают на шкале отметку значения индуктивности или наносят какое-то условное обозначение (например, тип дросселя, трансформатора и т. д.).

При проверке катушек малой индуктивности острота «настройки» переменного резистора может оказаться чрезмерной. Выйти из положения нетрудно включением последовательно с резистором R1 еще одного переменного резистора с малым сопротивлением либо при использовании вместо переменного резистора с малым сопротивлением магазина сопротивлений или набора резисторов, подключаемых малогабаритным многопозиционным переключателем.

Для решения проблемы с зарядом источника питания (аккумулятора) в приборе имеется электронная

схема для заряда аккумулятора. В электронной схеме для заряда аккумулятора также имеются два светодиода: один (красного свечения) сигнализирует о процессе заряда, при завершении процесса заряда вместо первого светодиода загорается другой светодиод (синего свечения), сигнализирующий о полном заряде аккумулятора.

В микросхеме используется порт для широко распространенного разъема USB Type-C.

Для повышения защиты устройства от проникновения пыли и от водных брызг и сопротивления электромагнитным полям корпус прибора был экранирован.

Защитное экранирование предназначено для ослабления электрических, магнитных и электромагнитных полей. Также благодаря эффективному экранированию электрических и электронных технических средств можно подавить любые электромагнитные помехи, исходящие из них в сеть или в окружающее пространство.

Основа прибора – измерительный генератор на транзисторах VT1, VT2. Его рабочая частота определяется параметрами колебательного контура, образованного конденсатором C1 и проверяемой катушкой ин-

дуктивности, к выводам которой подключают щупы ХР1 и ХР2. Генератор работоспособен в широком диапазоне изменения отношения индуктивности и емкости колебательного контура. Переменным резистором R1 устанавливают необходимую глубину положительной обратной связи, обеспечивающей надежную работу генератора. Транзистор VT3, работающий в диодном режиме, создает необходимый сдвиг уровня напряжения между эмиттером транзистора VT2 и базой VT4.

На транзисторах VT4, VT5 собран генератор импульсов, который совместно с усилителем мощности на транзисторе VT6 обеспечивает работу индикаторной лампы HL1 в одном из трех режимов: отсутствие свечения, мигания и непрерывного горения. Режим работы генератора импульсов определяется напряжением смещения на базе транзистора VT4.

При замкнутых щупах ХР1 и ХР2 измерительный генератор не возбуждается. Транзистор VT2 открыт. Постоянного напряжения на его эмиттере (а значит, на базе транзистора VT4) недостаточно для запуска генератора импульсов. Транзисторы VT5 и VT6 при этом открыты и лампа горит непрерывно, сигнализируя о целостности проверяемой цепи.

При подключении к щупам пробника исправной катушки индуктивности, например обмотки трансформатора, и установке движка переменного резистора R1 в определенное положение измерительный генератор возбуждается. Напряжение на эмиттере транзистора VT2 увеличивается, что приводит к увеличению напряжения смещения на базе транзистора VT4 и запуску генератора импульсов. Лампа начинает мигать.

Если в проверяемой обмотке есть короткозамкнутые витки, измерительный генератор не возбуждается и пробник работает, как при замкнутых щупах.

При разомкнутых щупах или обрыве цепи проверяемой катушки транзистор VT2 закрыт. Напряжение на его эмиттере (а значит, и на базе транзистора VT4) резко возрастает. Этот транзистор открывается до насыщения, и колебания генератора импульсов срываются. Транзисторы VT5, VT6 закрываются, лампа HL1 не светится.

Если подключить к щупам прибора *p-n* переход кремниевого транзистора или диода в прямой полярности (анод диода – к щупу ХР1, катод диода – к щупу ХР2), лампа будет мигать. При пробитом переходе лампа горит непрерывно, а при обрыве цепи – не светится.

Следует заметить, что в случае проверки обмоток трансформаторов с большим коэффициентом трансформации пробник следует подключать к обмотке с наибольшим числом витков. Потому что, проверяя обмотку с меньшим числом витков, труднее обнаружить короткое замыкание в более высокоомной обмотке.

Важным этапом при разработке прибора является апробация. С помощью RLC-метра были измерены значения индуктивности железнодорожных трансформаторов и асинхронных двигателей, а также различных бытовых приборов для определения границы работы при-

бора. При проверке оборудования прибор ни разу не дал ложного показания.

Прибор имеет ряд перспективных направлений в плане усовершенствования:

- автоматизация процесса регулировки диапазона определения межвиткового замыкания за счет использования микросхемы, задачей которой является подбор нужного диапазона. Это уменьшит нагрузку на пользователя и увеличит скорость определения МКЗ;
- интегрирование прибора с измерительными приборами, к примеру, с мультиметром;
- определение слабого межвиткового замыкания, для его последующего предотвращения, с помощью передачи сигнала осциллографу.

В ходе выполнения данного исследования был усовершенствован прибор на основе пробника Паздникова для диагностики межвиткового замыкания, который позволяет установить наличие короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек индуктивности. Этот прибор является недорогим и доступным, в отличие от его зарубежных аналогов. Также были рассмотрены вариации его модификаций для улучшения качества работы и добавления новых функций.

#### Список литературы

- 1 Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах / А. В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 117–127.
- 2 AR700 – прибор для локализации дефектов в изоляции высоковольтного оборудования при помощи акустических датчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dimrus.com/ar700.html>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 3 Ахметшин, Р. С. Разработка средств диагностирования изоляции силовых трансформаторов I–II габаритов по изменению их частотных характеристик / Р. С. Ахметшин, Л. М. Рыбаков // Проблемы энергетики. – 2002. – № 11–12. – С. 49–55.
- 4 Каталог датчиков для переносных и стационарных систем контроля состояния высоковольтного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dimrus.ru/manuals/sensors.pdf>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 5 Белявский, О. А. Измерение частичных разрядов при контроле изоляции оборудования [Электронный ресурс] / О. А. Белявский, Р. М. Идиатуллоев // Электрические сети. – Режим доступа : <http://leg.co.ua/stati/podstancii/izmerenie-chastichnyh-razryadov-pri-kontrol-izolyacii-oborudovaniya.html>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 6 Измерение частичных разрядов в изоляции трансформаторного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dimrus.ru/texts/measpd.html>. – Дата доступа : 01.04.2024.
- 7 Паздников, И. Схема простого прибора для обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дросселей / И. Паздников // Радио. – 1990. – № 7. – С. 68–69.

Получено 01.10.2024

#### V. N. Galushko, I. L. Gromyko, D. V. Mirosh. Device for detection of interturn failures.

A schematic and technical description of a device for detecting interturn short circuits, based on an improved Pаздников probe, is given. Using this device, you can check the presence of short-circuited turns in the windings of transformers, chokes, electric motors, relays, magnetic starters, contactors and other inductors. The proposed design of the device is inexpensive and is based on available elements, in contrast to its foreign analogues. Using an RLC meter, the inductance values of railway transformers, asynchronous motors and other equipment were measured to determine the limits of application of the device.