

<sup>1</sup>Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Омский государственный  
университет путей сообщения,  
г. Омск

# УСТРОЙСТВА ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Увеличение мощности силовых полупроводниковых преобразователей, эксплуатируемых в железнодорожной отрасли, связано с использованием в них групповых соединений силовых полупроводниковых приборов, разброс в параметрах которых, а следовательно, их неодинаковая нагрузка, обуславливает снижение надежности работы силовых полупроводниковых преобразователей в целом. Из-за этого возникает необходимость в разработке и внедрении инновационных методик и устройств экспресс-диагностирования с целью выявления потенциально ненадежных полупроводниковых приборов, причем выполнение технического диагностирования не должно быть связано с демонтажом электрических цепей преобразователей. Предлагается методика определения потенциально ненадежных силовых полупроводниковых приборов в групповых соединениях по результатам анализа распределения обратных токов в параллельных ветвях, позволившая создать серию устройств диагностирования силовых полупроводниковых приборов в преобразователях как с резисторами связи, так и без них. Методическая погрешность измерений, выполненных с помощью разработанных устройств экспресс-диагностики преобразователей, не превышает нормативную величину, равную 10 %.

**Ключевые слова:** полупроводниковый прибор, экспресс-диагностирование, обратный ток, резисторы связи, аналогово-цифровой преобразователь, методическая погрешность измерения.

**Введение.** Несмотря на значительный прогресс в области силовой электроники, в эксплуатации, в том числе и на железнодорожном транспорте, остается большое количество силовых полупроводниковых преобразователей (СП), имеющих групповое (параллельное) соединение силовых полупроводниковых приборов (СПП), например, диодов и тиристоров. Использование параллельного соединения предполагает возможность увеличения токовой нагрузки, а следовательно, общей мощности преобразователя. Вместе с этим неравенство обратных напряжений (в абсолютных значениях) эксплуатируемых приборов обуславливает значительный разброс их обратных токов, что понижает надежность его работы и может инициировать разрушение полупроводниковой структуры прибора и привести к выходу из строя СП. Необходимость

решения данной проблемы обуславливает актуальность разработки и внедрения новых методик и устройств для диагностирования не только всего группового соединения, но и отдельных СПП. В результате появляется возможность оценить текущее состояние СПП в преобразователях, спрогнозировать их остаточный ресурс и выбраковать СПП со скрытыми дефектами [1]. Определенной перспективой обладает методика экспресс-диагностирования СП без демонтажа последнего, базирующаяся на определении значений обратных сопротивлений СПП, находящихся в плече преобразователя.

**Постановка задачи.** Оценка распределения обратных токов СПП в преобразователе, в котором используются резисторы связи. Решение вопроса повышения надежности работы СП с помощью инженерной методики определения в плече пре-

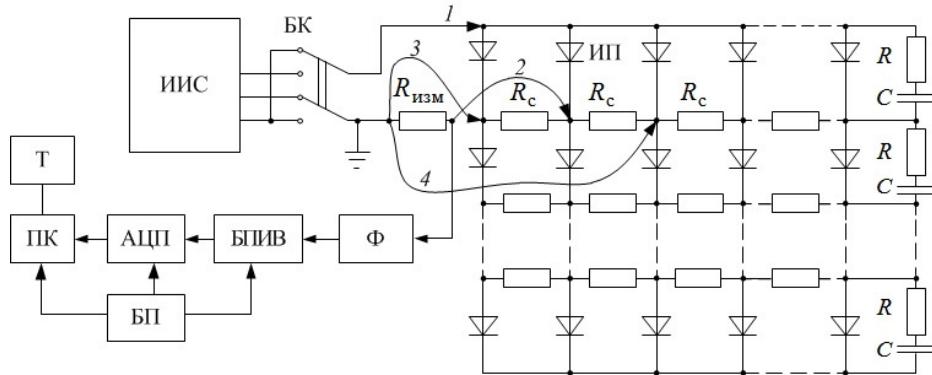


Рис. 1. Устройство экспресс-диагностирования СПП в преобразователе при наличии резисторов связи

образователя потенциально ненадежных СПП без разборки последнего, разработка устройств экспресс-диагностирования СП [2].

При разработке устройств экспресс-диагностирования СП и СПП предполагалось выполнение следующих требований:

- требуемая достоверность измерений;
- небольшие массогабаритные показатели;
- простота в обслуживании;
- возможность осуществлять контроль параметров СПП без демонтажа преобразователя;
- определение состояния СПП при минимальных затратах времени и труда [3, 4].

**Устройство экспресс-диагностирования СПП с резисторами связи.** Резисторы связи используются для выравнивания обратных напряжений СПП и уменьшения количества шунтирующих резисторов и RC-цепей в СП, например, УВКМ-5, ПВЭ-3, ВИП 2200М, ВИП 4000, УВКМ-6. Для их диагностирования возможно применение устройств, описанных в работе [5]. Однако данные устройства могут быть использованы для измерения обратных токов и токов утечки в СПП только для конкретного класса СП. Примером может служить случай, когда резисторы связи имеют общую точку (ВИП 4000, ВИП 2200М). Однако для преобразователей других схемотехнических решений диагностика этими устройствами невозможна [6, 7]. Речь идет о преобразователях, таких как УВКМ-6, УВКМ-Л2, ПВЭ, УВКМ-5 и др.

Сотрудниками на кафедре «Электротехника и теплоэнергетика» ФГБОУ ВО ПГУПС было разработано устройство экспресс-диагностирования СП, в котором резисторы связи не имеют общей точки [8, 9] (рис. 1).

Работа устройства (измерение тока утечки и обратного тока СПП, находящегося в плече преобразователя) осуществляется в следующей последовательности. Вывод 1 устройства подсоединяется к катоду или аноду испытуемого полупроводникового прибора (ИП), а вывод 2 устройства — к аноду или катоду ИП. Вариант соединения зависит от расположения ИП в плече СП. Затем к выводам резисторов связи  $R_c$  данного параллельного ряда СПП подключаются выводы 3 и 4 устройства. Напряжение на ИП подается через выводы 1 и 2 устройства и измерительный резистор  $R_{изм}$  с источником испытательных импульсов (ИИС).

При подключении резисторов связи  $R_c$  непосредственно к выводам 3, 4 образуется электрическая цепь (рис. 2).

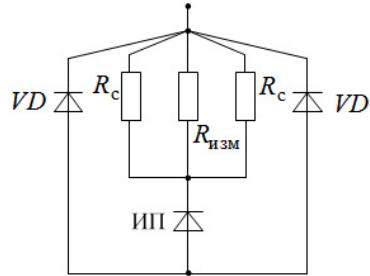


Рис. 2. Схема распределения обратного тока СПП

Если величина сопротивления измерительного резистора  $R_{изм}$  выбрана согласно следующему условию:

$$\frac{0,5R_c}{R_{изм}} > 10, \quad (1)$$

то в основном весь ток утечки или обратный ток  $I_R$  испытуемого ИП будет протекать через  $R_{изм}$ , поэтому можно считать, что сигнал с последнего даст необходимую информацию о вышеупомянутом токе. Особо следует отметить, что на результаты измерений не окажут влияния обратные токи остальных СПП параллельного ряда, так как они не будут протекать через  $R_{изм}$ .

Сигнал с  $R_{изм}$  поступает в фильтрующий блок ( $\Phi$ ) (рис. 1). Затем измеренные величины приходят в блок преобразования измеряемых величин (БПИВ). Здесь измеряемый сигнал подвергается начальному преобразованию, далее он приходит в аналого-цифровой преобразователь (АЦП), и в последующем — в блок преобразования кодов (ПК). Результат измерения отображается на табло (Т). Блоки ПК, АЦП и БПИВ имеют электрическое единение с блоком питания (БП).

На результаты измерений основное влияние оказывает систематическая погрешность, так как процесс измерения осуществляется в стационарных условиях при постоянных испытательных сигналах. Величина методической погрешности определяется видом схемы подключения устройства диагностирования [10]. Методическая погрешность больше при четырехпроводной (рис. 3), чем при трехпроводной схеме подключения (рис. 4), примерно в 5 раз. Численное значение измерительного резистора  $R_{изм}$

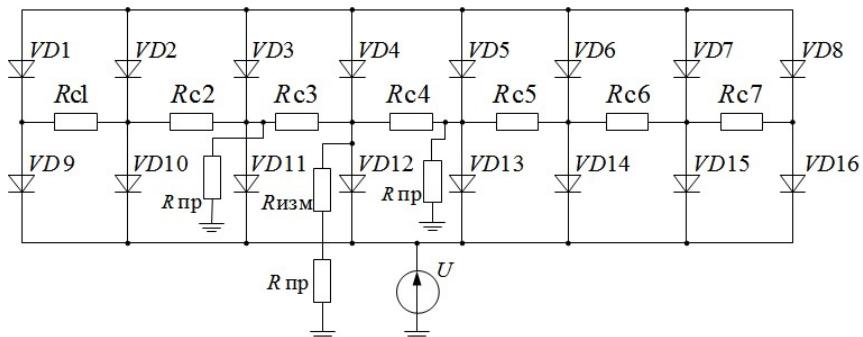


Рис. 3. Четырехпроводная схема подключения устройства экспресс-диагностирования (пример подключения к диодам № 11, 12, 13)

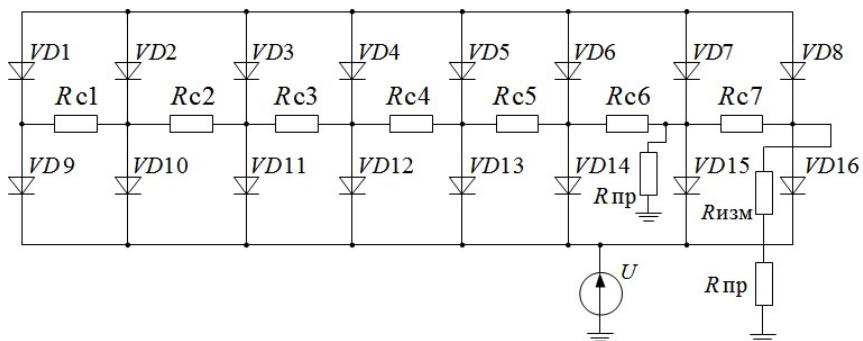


Рис. 4. Трехпроводная схема подключения устройства экспресс-диагностирования (пример подключения к диодам № 15, 16)

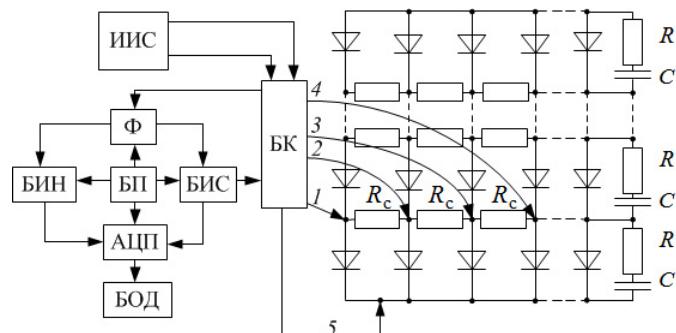


Рис. 5. Многофункциональное устройство экспресс-диагностирования СП с резисторами связи

также влияет на точность результата измерения. Схема подключения зависит от места нахождения в плече испытуемого СПП.

Следует отметить, что при выборе параметров соблюдалось условие (1). Как подтвердили результаты экспериментальных исследований, с помощью рассматриваемого устройства для экспресс-диагностирования обратного тока силового полупроводникового прибора возможно осуществить контроль технического состояния в СП при наличии резисторов связи без разборки последнего с допустимой (согласно нормативным документам) погрешностью.

**Многофункциональное устройство экспресс-диагностирования СПП с резисторами связи.** Для повышения точности измерений было разработано устройство экспресс-диагностики СП при наличии резисторов связи, имеющее те же функциональные возможности (рис. 5). На этом рисунке, помимо ранее приведенных, использованы следующие обозна-

чения: БИН — блок измерения напряжения; БК — блок коммутации; БОД — блок обработки данных; БИС — блок измерения сопротивления; 1, 2, 3, 4, 5 — выводы.

В основу принципа работы многофункционального устройства экспресс-диагностирования положен метод непосредственного измерения реальных значений сопротивлений резисторов связи  $R_c$  СП, косвенное определение токов в данных резисторах и последующий расчет токораспределения в параллельных ветвях (по заданному алгоритму). Использование микропроцессорной техники предоставило возможность обработать большой массив информации и увеличить точность измерения благодаря применению общизвестных способов уменьшения погрешности [9, 11].

Процесс диагностирования реализуется следующим образом. Выводы 1, 2, 3, 4 подсоединяются к  $R_c$ , которые, в свою очередь, соединены с ИП. Общая точка ИП подключается к выводу 5 и осу-

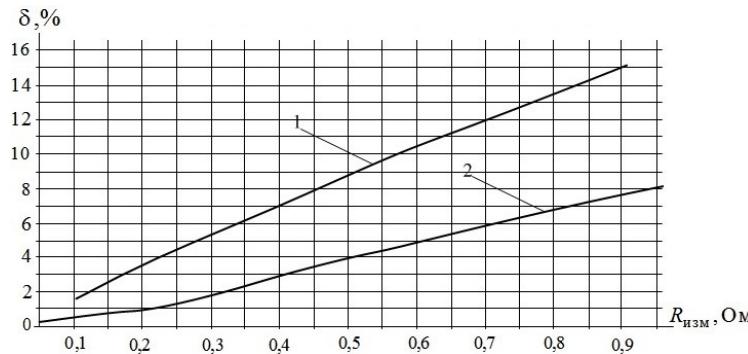


Рис. 6. Зависимость погрешности от величины измерительного резистора  $R_{изм}$ : 1 — для четырехпроводной схемы подключения устройства, 2 — для трехпроводной схемы подключения устройства

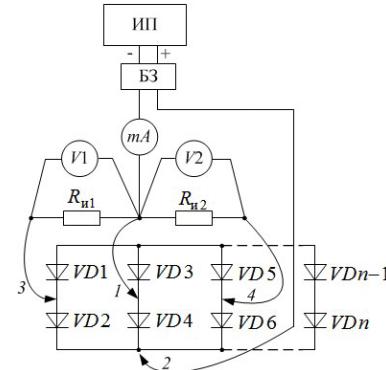


Рис. 7. Устройство диагностирования СПП в преобразователе без резисторов связи

ществляется измерение напряжений на резисторах связи  $R_c$ .

Тестирующий сигнал с выхода источника испытательных сигналов (ИИС) идет через коммутационный блок (БК) и вывод 5 к катодам ИП. Измерение напряжения осуществляется в БИН, куда сигнал поступает с блока, фильтрующего составляющие высоких частот, в котором происходит выделение информативных сигналов, поступающих с выхода БК. В БИН осуществляется начальное преобразование измеряемого сигнала, после чего преобразованный сигнал поступает сначала на вход АЦП, а затем в БОД.

Для измерения значений  $R_c$  на них подается сигнал от БП через БИС и БК. Затем сигнал поступает на АЦП, а потом — на БОД, где определяются значения токов в ветвях СП (используется метод узловых напряжений при допущении линейности обратной ветви вольтамперной характеристики СПП).

От количества  $R_c$  зависит число выводов устройства согласно формуле  $(n+2)$ , где  $n$  — количество резисторов связи в параллельном ряду.

Хотя использование многофункционального устройства экспресс-диагностирования СП с  $R_c$  позволяет повысить точность определения параметров СПП, находящихся в плече преобразователя, результаты измерений содержат составляющие систематической погрешности.

Напомним, что систематическая погрешность состоит из нескольких составляющих:

$$\delta_c = \delta_i + \delta_m + \delta_{sp} + \delta_o,$$

где  $\delta_i$  — инструментальная погрешность;

$\delta_m$  — погрешность метода;

$\delta_{sp}$  — субъективная погрешность;

$\delta_o$  — погрешность из-за внешних условий.

Благодаря тому, что измерения выполняются при нормальных условиях,  $\delta_o \leq 1\%$ .

С учетом применения АЦП субъективная погрешность не учитывается (она не превышает одного процента).

ГОСТ 24461-80 регламентирует максимальное значение погрешности измерения обратного тока не выше 10 %, поэтому погрешность метода не должна превысить 7–8 %. Руководствуясь этими приоритетами при моделировании подключения устройства экспресс-диагностирования СП, оценивалось в первую очередь влияние на погрешность метода различных видов схем токораспределения (трехпроводной и четырехпроводной схем подклю-

чения устройства). Эта погрешность обусловлена наличием в параллельных ветвях  $RC$ -цепей,  $R_c$  а также самих СПП. Она не устраняется увеличением количества измерений. Более того, погрешность метода сложно оценить из-за значительного различия в значениях  $R_c$  и обратных сопротивлений для разных типов СПП. Здесь также следует упомянуть влияние сопротивлений контакта, разброс фактических параметров  $R_c$  и т. д., что в конечном счете значительно усложняет обработку результата измерений.

**Результаты эксперимента.** Результаты моделирования процесса диагностирования СП рассматриваемым устройством в программе MULTISIM показали, что относительная погрешность измерения обратного тока  $\delta$  зависит от значения сопротивления измерительного резистора ( $R_{изм}$ ) и типа схемы подключения (рис. 6). Моделирование выполнялось при неизменном значении сопротивления связи  $R_c = 10 \Omega$ , испытательном напряжении  $U_{исп} = 100 \text{ В}$ ; сопротивлении соединительных проводов принято  $R_{пр} = 0,007 \Omega$ .

**Устройство диагностирования СПП в преобразователе без резисторов связи.** СП без резисторов связи получили широкое распространение, однако параметры СПП также необходимо контролировать и желательно проводить диагностирование без демонтажа преобразователя. Частично эту задачу решает устройство, разработанное при участии авторов (рис. 7). Следует отметить, что данное устройство позволяет выполнить диагностику СПП при наличии короткого замыкания в одной или даже нескольких ветвях СПП.

Источник питания (ИП), блок защиты (БЗ), миллиамперметр ( $mA$ ), вольтметры ( $V1$  и  $V2$ ), первый измерительный щуп 1, вывод 2 БЗ, дополнительные измерительные щупы 3 и 4, измерительные резисторы ( $R_{и1}$  и  $R_{и2}$ ) — основные составляющие рассматриваемого устройства.

Процедура определения ветви с короткозамкнутыми последовательно соединенными СПП следующая: сначала вывод 2 БЗ подключают к катодной группе СП, затем измерительные щупы 1, 3, 4 последовательно соединяют с анодами испытуемых СПП катодной группы СП. При достижении необходимого значения напряжения отключение ИП обеспечивается БЗ [9].

Величина сопротивлений резисторов  $R_{и1}$  и  $R_{и2}$  выбрана согласно условию:

$$RJ_{ист.пит.} \leq U_{(то)},$$

где  $R = R_{u1}$  и  $R_{u2}$  — сопротивления измерительных резисторов, Ом;

$R_{\text{ист.пит.}}$  — ток ИП, мА;

$U_{\text{(то)}}^{(т)}$  — пороговое напряжение испытуемых СПП, В.

Для защиты СПП от перегрузок в рабочем режиме использовалось устройство, описанное в работе [12].

**Заключение.** С помощью разработанных методик технического экспресс-диагностирования возможно определить потенциально ненадежные СПП посредством анализа распределения обратных токов в параллельных ветвях без разборки преобразователя с групповым соединением. Разработана и создана серия устройств диагностирования СПП в преобразователе как с резисторами связи, так и без них. Использование устройств экспресс-диагностирования обуславливает значительное снижение трудозатрат и времени, отводимого для технического обслуживания и ремонта СП, а также позволяет повысить надежность работы преобразователя за счет уменьшения количества отказов СПП из-за превентивного выявления приборов, находящихся в предотказном состоянии.

Методическая погрешность измерений, выполненных с помощью устройств экспресс-диагностирования преобразователей, не превышает 10 %, что является допустимым согласно требованиям нормативных документов.

#### Библиографический список

1. Салита Е. Ю., Ковалева Т. В., Никонов А. В. Диагностирование силовых вентилей преобразователей тяговых подстанций // Известия Транссиба. 2015. № 3 (23). С. 79–85.
2. Song G., Wang X., Tang J. [et al.]. An on-line fault diagnosis method for power rectifier device based on fault current characteristic // 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED). 2016. Р. 1–6. DOI: 10.1109/CICED.2016.7576260.
3. Ким К. К., Анисимов Г. Н., Чураков А. И. Средства электрических измерений и их поверка. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 316 с.
4. Ким К. К., Анисимов Г. Н., Барбович В. Ю. [и др.]. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника. Санкт-Петербург: Питер, 2006. 367 с.
5. Капустин Л. Д., Копанев А. С., Лозановский А. Л. Надежность и эффективность электровозов ВЛ80 в эксплуатации. Москва: Транспорт, 1986. 175 с.
6. Мельниченко О. В., Иванов В. С. Анализ применения преобразователей в силовых схемах отечественного моторвагонного подвижного состава переменного тока // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 4 (135). С. 231–242. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-231-242.
7. Власьевский С. В., Мельниченко О. В., Малышева О. А. Аварийные процессы работы тиристорного выпрямителя электровоза переменного тока // Электротехника. 2016. № 2. С. 12–16.
8. Курмашев С. М., Зазыбина Е. Б. Новые средства диагностики силовых полупроводниковых преобразователей // Научно-технический прогресс на транспорте России в XXI веке: всерос. науч. конф., 2–5 октября 2001 г. Москва, 2001. С. 46–48.

9. Курмашев С. М., Зазыбина Е. Б. Устройство диагностики силового полупроводникового преобразователя // Элтранс-2001: Электрификация и развитие железнодорожного транспорта России. Традиции, современность, перспективы: междунар. симп., 23–26 октября 2001 г. Санкт-Петербург, 2001. С. 126.

10. Manohar S. S., Sahoo A., Subramaniam A., Panda S. K. Condition monitoring of power electronic converters in power plants — A review // 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). 2017. Р. 1–5. DOI: 10.1109/ICEMS.2017.8056371.

11. Селиванов М. Н., Фридман А. Э., Кудряшова Ж. Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга. Ленинград: Лениздат, 1987. 295 с.

12. Пат. 28293 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 3/08. Устройство защиты электрических машин постоянного тока от перегрузки / Курмашев С. М., Зазыбина Е. Б. № 2002121410/20; заявл. 12.08.2002; опубл. 10.03.2003, Бюл. № 7.

**КОРОЛЕВА Елена Борисовна**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС), г. Санкт-Петербург. SPIN-код: 5664-6112

AuthorID (РИНЦ): 1031473

Адрес для переписки: elzazybina@yandex.ru

**КУРМАШЕВ Сергей Михайлович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), г. Санкт-Петербург. SPIN-код: 1536-8652

AuthorID (РИНЦ): 362154

**КИМ Константин Константинович**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС, г. Санкт-Петербург. SPIN-код: 3278-4938

AuthorID (РИНЦ): 690443

Адрес для переписки: kimkk@inbox.ru

**ТКАЧУК Антон Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС, г. Санкт-Петербург. SPIN-код: 7335-2340

AuthorID (РИНЦ): 726854

Адрес для переписки: a.a.tkachuk@mail.ru

**КУЗНЕЦОВ Андрей Альбертович**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения, г. Омск. SPIN-код: 5259-0531

AuthorID (РИНЦ): 358976

Адрес для переписки: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

#### Для цитирования

Королева Е. Б., Курмашев С. М., Ким К. К., Ткачук А. А., Кузнецов А. А. Устройства экспресс-диагностирования силовых полупроводниковых приборов и полупроводниковых преобразователей // Омский научный вестник. 2023. № 2 (186). С. 119–125. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-119-125.

Статья поступила в редакцию 10.02.2023 г.

© Е. Б. Королева, С. М. Курмашев, К. К. Ким, А. А. Ткачук, А. А. Кузнецов

<sup>1</sup>Emperor Alexander I  
St. Petersburg State  
Transport University,  
Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Omsk State  
Transport University,  
Omsk, Russia

## DEVICES FOR EXPRESS DIAGNOSTICS OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES AND SEMICONDUCTOR CONVERTERS

The increase in the power of power semiconductor converters operated in the railway industry is associated with the use of group connections of power semiconductor devices in them, the variation in the parameters of which, and, therefore, their unequal load, causes a decrease in the reliability of the power semiconductor converters as a whole. In this regard, it becomes necessary to develop and implement innovative methods and devices for express diagnostics in order to identify potentially unreliable semiconductor devices, and the implementation of technical diagnostics should not be associated with dismantling the electrical circuits of the converters. The method is proposed for determining potentially unreliable power semiconductor devices in group connections based on the results of analyzing the distribution of reverse currents in parallel branches, which made it possible to create a series of devices for diagnosing power semiconductor devices in converters, both with and without communication resistors. The methodological error of measurements made using the developed express diagnostics devices of the transducers do not exceed the standard value equal to 10 %.

**Keywords:** semiconductor device, express diagnostics, reverse current, communication resistors, analog-to-digital converter, methodical measurement error.

### References

1. Salita E. Yu., Kovaleva T. V., Nikonov A. V. Diagnostirovaniye silovykh ventiley preobrazovateley tyagovykh podstantsiy [The diagnostics of traction substations power rectifiers converters] // Izvestiya Transsiba. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2015. No. 3 (23). P. 79–85. (In Russ.).
2. Song G., Wang X., Tang J. [et al.]. An on-line fault diagnosis method for power rectifier device based on fault current characteristic // 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED). 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/CICED.2016.7576260. (In Engl.).
3. Kim K. K., Anisimov G. N., Churakov A. I. Sredstva elektricheskikh izmerenii i ikh poverka [Electrical measuring instruments and their verification]. Saint Petersburg, 2021. 316 p. (In Russ.).
4. Kim K. K., Anisimov G. N., Barbarovich V. Yu. [et al.]. Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya i elektroizmeritel'naya tekhnika [Metrology, standardization, certification and electrical measuring equipment]. Saint Petersburg, 2006. 367 p. (In Russ.).
5. Kapustin L. D., Kopanev A. S., Lozanovskiy A. L. Nadezhnost' i effektivnost' elektrovozov VL80 v ekspluatatsii [Reliability and efficiency of VL80 electric locomotives in operation]. Moscow, 1986. 175 p. (In Russ.).
6. Melnichenko O. V., Ivanov V. S. Analiz primeneniya preobrazovateley v silovykh skhemakh otechestvennogo motorvagonnogo podvizhnogo sostava peremennogo toka [Analysis of converter application in power circuits of domestic ac multiple unit rolling stock] // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018. Vol. 22, no. 4 (135). P. 231–242. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-231-242. (In Russ.).
7. Vlas'yevskiy S. V., Mel'nichenko O. V., Malysheva O. A. Avaryinye protsessy raboty tiristornogo vypryamitelya elektrovoza peremennogo toka [Emergency processes of an AC electric locomotive thyristor rectifier] // Elektrotehnika. *Electrics*. 2016. No. 2. P. 12–16. (In Russ.).
8. Kurmashev S. M., Zazybina E. B. Novyye sredstva diagnostiki silovykh poluprovodnikovykh preobrazovateley [New diagnostic tools for power semiconductor converters] // Nauchno-tehnicheskiy progress na transporte Rossii v XXI veke. *Scientific and Technological Progress in Russian Transport in the XXI Century*. Moscow, 2001. P. 46–48. (In Russ.).
9. Kurmashev S. M., Zazybina E. B. Ustroystvo diagnostiki silovogo poluprovodnikovogo preobrazovatelya [Power semiconductor converter diagnostic device] // Eltrans-2001: Elektrifikatsiya i razvitiye zheleznodorozhного transporta Rossii. Traditsii, sovremenost', perspektivy. *Eltrans-2001: Electrification*

- and Development of Railway Transport in Russia. Traditions, Modernity, Prospects.* Saint Petersburg, 2001. P. 126. (In Russ.).
10. Manohar S. S., Sahoo A., Subramaniam A., Panda S. K. Condition monitoring of power electronic converters in power plants — A review // 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). 2017. P. 1–5. DOI: 10.1109/ICEMS.2017.8056371. (In Engl.).
  11. Selivanov M. N., Fridman A. E., Kudryashova Zh. F. Kachestvo izmereniy. Metrologicheskaya spravochnaya kniga [Quality of measurement. Metrology reference book]. Leningrad, 1987. 295 p. (In Russ.).
  12. Patent 28293 Russian Federation, IPC H 02 H 3/08. Ustroystvo zashchity elektricheskikh mashin postoyannogo toka ot peregruzki [Overload protection device for DC electric machines] / Kurmashev S. M., Zazybina E. B. No. 2002121410/20. (In Russ.).

---

**KOROLEVA Elena Borisovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Electrical Engineering and Heat Power Engineering Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS), Saint Petersburg.

SPIN-code: 5664-6112

AuthorID (RSCI): 1031473

Correspondence address: elzazybina@yandex.ru

**KURMASHEV Sergey Mikhaylovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saint Petersburg.

SPIN-code: 1536-8652

AuthorID (RSCI): 362154

**KIM Konstantin Konstantinovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Electrical Engineering and

Heat Power Engineering Department, PGUPS, Saint Petersburg.

SPIN-code: 3278-4938

AuthorID (RSCI): 690443

Correspondence address: kimkk@inbox.ru

**TKACHUK Anton Andreyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Electrical Engineering and Heat Power Engineering Department, PGUPS, Saint Petersburg.

SPIN-code: 7335-2340

AuthorID (RSCI): 726854

Correspondence address: a.a.tkachuk@mail.ru

**KUZNETSOV Andrey Albertovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Theoretical Electrical Engineering Department, Omsk State Transport University, Omsk.

SPIN-code: 5259-0531

AuthorID (RSCI): 358976

Correspondence address: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

#### For citations

Koroleva E. B., Kurmashev S. M., Kim K. K., Tkachuk A. A., Kuznetsov A. A. Devices for express diagnostics of power semiconductor devices and semiconductor converters // Omsk Scientific Bulletin. 2023. No. 2 (186). P. 119–125. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-119-125.

Received February 10, 2023.

© E. B. Koroleva, S. M. Kurmashev, K. K. Kim,  
A. A. Tkachuk, A. A. Kuznetsov