

УДК 656.259.9

А. А. Седельников, В. А. Паришин, В. А. Канарский

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕЛЕ В СИСТЕМАХ ЖАТ

Аннотация. Полупроводниковые элементы считаются надёжными устройствами с большим сроком службы, небольшими габаритами, большой устойчивостью к вибрациям и ударам. К таким элементам относятся и твердотельные реле, которые также как и электромеханические выполняют переключения выходных цепей в зависимости от поступающих сигналов на вход. В статье описаны основные параметры твердотельных реле, перспективы и проблемы их внедрения в системы железнодорожной автоматики.

Ключевые слова: реле, твердотельное реле, электромеханическое реле, надёжность, железнодорожная автоматика

A. A. Sedelnikov, V. A. Parshin, V. A. Kanarsky

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, the Russian Federation

SOLID-STATE RELAYS IN THE PERSPECTIVE OF RAILWAY AUTOMATION SYSTEM RELIABILITY

Abstract. Semiconductor devices are considered reliable components with a long service life, compact dimensions, and high resistance to vibrations and shocks. Among these devices are solid-state relays, which, similar to electromechanical relays, perform switching operations in output circuits based on incoming signals. The article discusses the key parameters of solid-state relays, as well as the prospects and challenges of their integration into railway automation systems.

Keywords: relay, solid-state relay, electromechanical relay, reliability, railway automation

Твердотельное реле. Их типы, достоинства и недостатки

В промышленности уже давно большую популярность обрели устройства, построенные на базе полупроводников, обеспечивающие бесконтактную коммутацию между низковольтными и высоковольтными электрическими силовыми цепями, в сетях постоянного и переменного тока. Одним из таких изделий является твердотельное реле. Твердотельное реле (ТТР) – устройство электронного типа, у которого нет движущихся элементов. Спектр использования такого реле широкий, как в промышленном, так и в бытовом оборудовании. Устройство выполняет те же функции, что и классическое электромеханическое реле (ЭМР), но не имеет механического механизма переброса контактов, что сокращает время их переключения. ТТР обладает высокой устойчивостью к механическим ударам и вибрациям, длительным сроком службы, более компактными размерами и меньшим весом [1].

Твердотельные реле получили широкое распространение в различных областях, в которых они обладают преимуществами перед механическими реле:

- в автомобильной промышленности ТТР используется для управления различными элементами машины (фары, стеклоочистители и двери);
- в компьютерах через ТТР управляется блок питания и охлаждающие вентиляторы, а также принтеры и сканеры;
- схемы твердотельных релейных контроллеров часто используются в бытовой электронике, такой как телевизоры, игровые приставки, стиральные машины, посудомоечные машины и т.п.



Рис. 1. Твердотельное реле фирмы COMUS International Vvba

В основном ТТР распространено в управлении технологическими процессами, станкостроении и упаковочном оборудовании и условно разделяются по двум критериям – по принципу действия и по конструктивным особенностям:

- по виду сигнала управления – переменный или постоянный ток;
- по типу основного напряжения – постоянное или переменное;
- по числу фаз для переменного напряжения – одна или три;
- по наличию реверсивности – способны работать в схемах с постоянным и переменным током или нет;
- по тонкостям конструкции – на ДИН-рейке или на поверхности [2].



Рис. 2. Внешний вид твердотельных реле различных конструкций

К преимуществам твердотельных реле относятся:

- длительный срок службы (более 1 млрд. срабатываний);
- высокое быстродействие;
- отсутствие электромагнитных помех в момент подключения;
- отсутствие дребезга контактов и акустического шума;
- отсутствие дугового разряда при размыкании (применение во взрывоопасной среде);
- высокое сопротивление изоляции между входом и выходом;
- малое энергопотребление;
- герметичность конструкции, стойкость к ударам и вибрации.

Основные недостатки твердотельных реле связаны с высоким сопротивлением р-п перехода, что, во-первых, приводит к чрезмерному нагреву. Использование ТТР подразумевает установку системы охлаждения для предотвращения негативных последствий, вызванных высокими температурами.

Во-вторых, полупроводники обладают током неосновных носителей заряда – током утечки, который находится в диапазоне 5 – 10 мА, что может оказать влияние на чувствительную нагрузку.

В-третьих, для ТТР характерно деление по роду управляемого тока – переменного или постоянного, чего нет у электромагнитных реле. В отличие от тиристорных и транзисторных внутри ТТР контакты ЭМР могут пропускать ток в любую сторону. Поэтому при работе с постоянным током у твердотельных реле крайне важно строго соблюдать полярность при подключении выходных цепей.

В-четвертых, в случае поломки высок риск закорачивание контактов на выходе. В результате пробоя силового ключа. В этом вопросе контакты ЭМР безопаснее, так как при выходе из строя они остаются в разомкнутом виде [3,4]

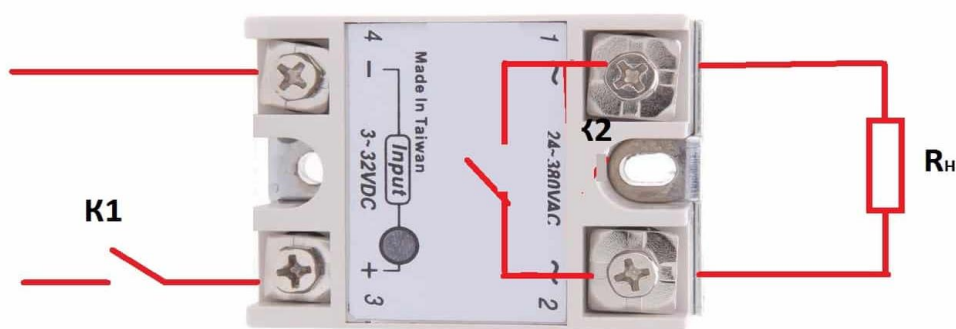


Рис. 3. Упрощенная схема работы твердотельного реле

Интеграция твердотельных реле в системы железнодорожной автоматики

Электромеханические реле в ЖАТ разделяют на 1 и 2 класс надёжности. Характерной особенностью первых является гарантированный возврат якоря под действием собственного веса. В реле 2 класса данный процесс обеспечивается контактными пружинами, которые могут выйти из строя. По тому же принципу можно определить класс надёжности твердотельных реле [5,6]. ТТР представляет собой коммутационный аппарат на базе тиристорных, либо транзисторных полупроводников, залитых компаундом. Таким образом, как уже было отмечено ранее, наиболее вероятная причина отказа – это пробой полупроводника, который может привести к переключению выходной цепи накоротко в тот момент, когда она должна быть разомкнута, что может привести к нарушениям безопасности. Возможны два пути решения:

- установка ТТР вместо реле 2 класса надёжности в цепях управления, где ложное состояние реле не приведёт к нарушению безопасности при отказе;
- установка ТТР вместо реле 1 класса надёжности, совместно с микропроцессорными контроллерами, позволяющими контролировать состояние реле и вовремя обрывать цепь питания, имитируя свойства электромеханических реле высшего класса надёжности. Данное решение позволит повысить надёжность системы и следить за состоянием ТТР, однако увеличит стоимость этой системы.

Замещение ЭМР на ТТР в устаревшей маршрутно-релейной централизации повлечёт за собой огромные затраты. Твердотельные реле были успешно внедрены в системы электрической централизации нового поколения – микропроцессорные (МПЦ).

Например, в Ebilock-950 элементом, обеспечивающим смену огней на светофоре, является плата LMP (от англ., LaMP control board). Для подачи напряжения от источника питания ПХС-ОХС на выходы платы, к которой подключены лампы, используют ТТР.

Логика МПЦ моделируется программными переменными, поэтому количество реле сокращается до $\frac{1}{4}$ от общего [7]. Однако в МПЦ в качестве объектов управления для увязки ещё остаются интерфейсные реле 1 класса надежности [8], и возможно, именно для них стоит проводить мероприятия по замещению. МПЦ обладают встроенной самодиагностикой и хорошо подходят для работы совместно с твердотельными реле нивелируя их недостатки, а также повышая долговечность и безотказность ТТР.

Высоковольтные твердотельные реле переменного тока можно использовать в цепях управления электродвигателем стрелочных электроприводов. Работа привода предполагает большую индуктивную нагрузку в сочетании с высокими пусковыми токами и перенапряжением. Распространенный электропривод типа СП-6 обладает контактными автопереключателями рис.4 (а), предрасположенные к подгоранию, загрязнению, заиндевению и дребезгу [9].

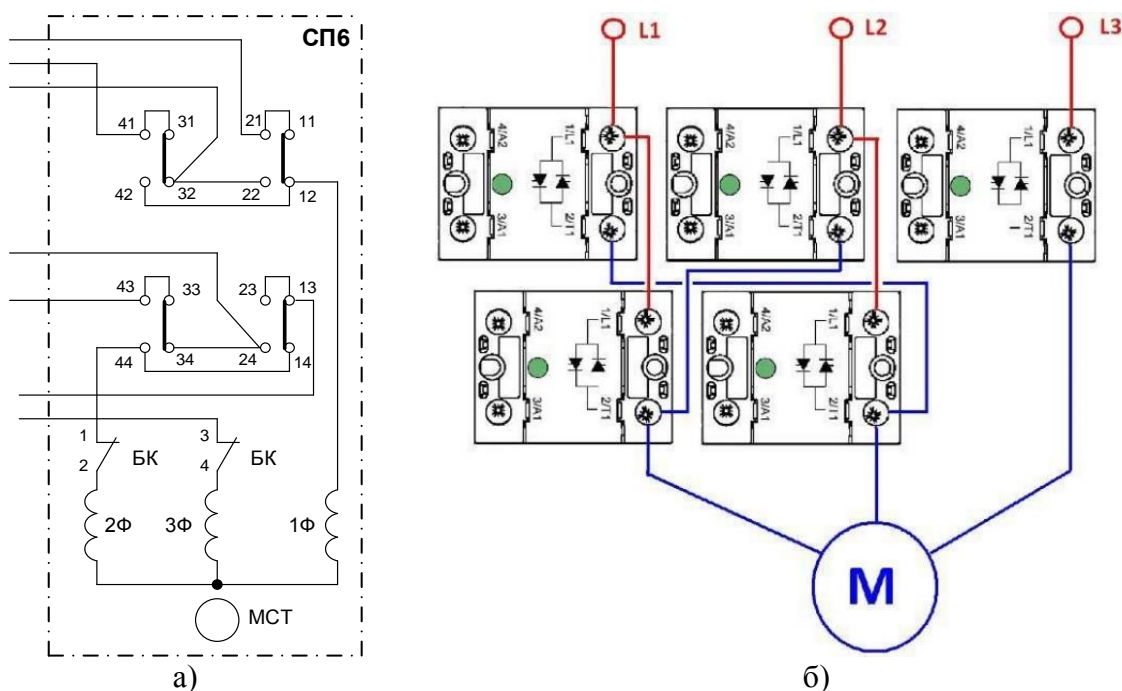


Рис. 4. Схема переключателей в стрелочном электроприводе а) на контактных ножах; б) на твердотельных элементах

Многие отказы также возникают из-за несоблюдения норм содержания автопереключателя. Во многом этих недостатков нет у бесконтактных датчиков, используемых в приводах на сортировочных горках, однако вместе с их внедрением увеличивается количество проводов и схемных решений. Поэтому возможно имеет смысл в будущем в качестве альтернативы рассмотреть твердотельные переключатели рис. 4 (б) [10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kuang, W. Development of piezoelectric transformer-coupled solid-state relays for electrical circuit control in railway systems/ Kuang, W., Or, S. W., Leung, C. M., & Ho, S. L. // International Journal of Rail Transportation, 29 May 2013 – No. 1-2, vol. 1. – P. 74–86. DOI:10.1080/23248378.2013.788360
2. Смирнов Ю. А. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие для вузов / Ю. А. Смирнов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 456 с.: ил. – Текст: непосредственный
3. Твердотельное реле: виды, практическое применение, схемы подключения – Текст электронный // Как строй.ру [сайт]. URL: <https://kakstroyu.ru/prakticheskoe-primenenie-i-shemy-podklucenia-tverdotel'nogo-rele/> (дата обращения 27.10.2023)

4. Шамов А. Что такое твердотельное реле, назначение, принцип работы. – Текст электронный // Электрик Эксперт [сайт]. URL: <https://elektrikexpert.ru/tverdotelnoe-rele.html> (дата обращения 23.09.2023)
5. Петрова, А. С. Элементы систем автоматики и телемеханики: учебное пособие / А. С. Петрова. – Хабаровск : ДВГУПС, 2018. – 99 с.
6. Сороко В. И., Фотькина Ж. В. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 4 кн. Кн. 2. – 4-е изд. – М.: ООО «НПФ «ПЛАНЕТА», 2013 - 1048 с.
7. Patalay, S. Railway Signalling Using Wireless Sensor Networks // ResearchGate, October 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.13110.42563,
8. Пельменев, В.А. Системы ЭЦ нового поколения [Текст]: Методическое пособие / В.А. Пельменев. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2018.
9. Сборник методик и алгоритмов поиска и устранения неисправностей в устройствах СЦБ (2-ая редакция). – Утв. распоряжением ЦДИ ОАО «РЖД» от 23.11.2015 г. – М.: ЦДИОАО «РЖД», 2015. – 315 с.
10. Railway industry by CELDAC relais: каталог. – Текст электронный. 2021, С. 28. URL: <https://www.lpa-group.com/content/uploads/2021/12/Celduc-SSR-rail-2021-reduced.pdf> (дата обращения 28.09.2023).

REFERENCES

1. Kuang, W. Development of piezoelectric transformer-coupled solid-state relays for electrical circuit control in railway systems/ Kuang, W., Or, S. W., Leung, C. M., & Ho, S. L. // International Journal of Rail Transportation, 29 May 2013 – No. 1-2, vol. 1. – P. 74–86. DOI:10.1080/23248378.2013.788360
2. Smirnov Ju. A. Tehnicheskie sredstva avtomatizacii i upravlenija: uchebnoe posobie dlja vuzov / Ju. A. Smirnov. – 4-e izd., ster. – Sankt-Peterburg: Lan', 2021. – 456 s.: il. – Tekst: neposredstvennyj
3. Tverdotel'noe rele: vidy, prakticheskoe primenenie, shemy podkljuchenijaju – Tekst jelektronnyj // Kak stroj.ru [sajt]. URL: <https://kakstroyu.ru/prakticheskoe-primenenie-i-shemy-podklucenia-tverdotelnoe-rele/> (data obrashhenija 27.10.2023)
4. Shamov A. Chto takoe tverdotel'noe rele, naznachenie, princip raboty. – Tekst jelektronnyj // Jelektrik Jekspert [sajt]. URL: <https://elektrikexpert.ru/tverdotelnoe-rele.html> (data obrashhenija 23.09.2023)
5. Petrova, A. S. Jelementy sistem avtomatiki i telemehaniki: uchebnoe posobie / A. S. Petrova. – Habarovsk : DVGUPS, 2018. – 99 s.
6. Soroko V. I., Fot'kina Zh. V. Apparatura zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki: Spravochnik: v 4 kn. Kn. 2. – 4-e izd. – M.: ООО «NPF «PLANETA», 2013 - 1048 s.
7. Patalay, S. Railway Signalling Using Wireless Sensor Networks // ResearchGate, October 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.13110.42563,
8. Pel'menev, V.A. Sistemy JeC novogo pokolenija [Tekst]: Metodicheskoe posobie / V.A. Pel'menev. – Habarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2018.
9. Sbornik metodik i algoritmov poiska i ustraneniya neispravnostej v ustrojstvah SCB (2-aja redakcija). – Utv. rasporyazheniem CDI OAO «RZhD» ot 23.11.2015 g. – M.: CDIOAO «RZhD», 2015. – 315 s.
10. Railway industry by CELDAC relais: katalog. – Tekst jelektronnyj. 2021, С. 28. URL: <https://www.lpa-group.com/content/uploads/2021/12/Celduc-SSR-rail-2021-reduced.pdf> (data obrashhenija 28.09.2023).

Информация об авторах

Седельников Андрей Андреевич – студент 5-го курса кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: sedelnikovandrysha@gmail.com

Паршин Владислав Александрович – студент 5-го курса кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: vlad.parshin.00@mail.ru

Канарский Вадим Андреевич – преподаватель кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», аспирант кафедры «Вычислительная техника и компьютерная графика», Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: jizzierose@yahoo.com, SPIN-код 3411-0352, ORCID: 0009-0000-4518-8121

Authors

Andrey Andreevich Sedelnikov is 5th year student of the Department of "Automation, Telemechanics and Communication at Far Eastern State University of Railway Transport, Khabarovsk, e-mail: sedelnikovandrysha@gmail.com

Vladislav Alexandrovich Parshin is 5th year student of the Department of "Automation, Telemechanics and Communication at Far Eastern State University of Railway Transport, Khabarovsk, e-mail: vlad.parshin.00@mail.ru

Vadim Andreevich Kanarsky is a lecturer at the Department of Automation, Telemechanics, and Communication and a postgraduate at the department of Computer engineering and computer graphics at Far Eastern State University of Railway Transport, jizzierose@yahoo.com; SPIN-код 3411-0352, ORCID 0009-0000-4518-8121