

*М.В. Егоров, А.В. Пультяков*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ В УСТРОЙСТВАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ**

**Аннотация.** В данной статье проведено описание видов гальванической развязки, широко применяемых в промышленности. Отмечены их достоинства и недостатки, а также показана область их применения. Подробно рассмотрены оптроны, их разновидности, особенности и назначение. Более детально рассмотрены модули гальванической развязки 70G-IDC5NP DC Input Module и 70G-ODC5 DC Output Module, применяемые в устройствах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи, реализованные на основе транзисторных оптронов. Предложена структурная схема лабораторного стенда для изучения работы модулей гальванической развязки в рамках учебного процесса

**Ключевые слова:** гальваническая развязка, индуктивная развязка, емкостная развязка, электромеханическая развязка, резисторный оптрон, диодный оптрон, тиристорный оптрон, транзисторный оптрон, модули гальванической развязки, структурная схема лабораторного стенда

*M.V. Egorov, A.V. Pulyakov*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*

## **APPLICATION OF GALVANIC ISOLATION IN RAILWAY AUTOMATION, TELEMECHANICS AND COMMUNICATION DEVICES**

**Abstract.** This article describes the types of galvanic isolation that are widely used in industry. Their advantages and disadvantages are noted, and the area of their application is shown. Optocouplers, their types, features and purpose are considered in detail. And the 70G-IDC5NP DC Input Module and 70G-ODC5 DC Output Module galvanic isolation modules used in railway automation, telemechanics and communication devices based on transistor optocouplers are considered in more detail. A structural diagram of a laboratory stand for studying the operation of galvanic isolation modules within the educational process is proposed.

**Keywords:** galvanic isolation, inductive isolation, capacitive isolation, electromechanical isolation, resistor optocoupler, diode optocoupler, thyristor optocoupler, transistor optocoupler, galvanic isolation modules, structural diagram of the laboratory bench

### **Введение**

Железнодорожный транспорт обеспечивает значительную часть грузо- и пассажирооборота нашей страны. При этом должен гарантироваться безопасный пропуск поездов, контроль состояния подвижных единиц, контроль состояния рельсовых цепей, как на перегонах, так и на станциях [1].

Осуществляется вышеперечисленное устройствами железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (ЖАТС). На эти устройства могут влиять как внешние, так и внутренние электромагнитные воздействия и помехи. Одним из способов защиты устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи является применение гальванической развязки внутрисетевых или внутривольных и внешних цепей.

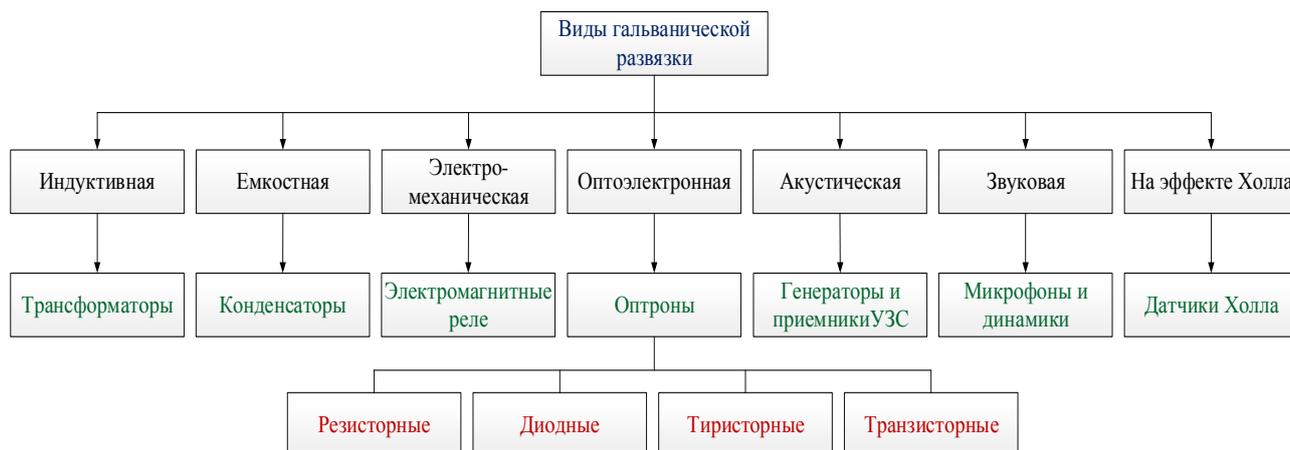
### **Понятие гальванической развязки**

Гальванической развязкой (электрической изоляцией) называют принцип разделения двух (или нескольких) электрических цепей друг от друга, при котором электрические цепи будут взаимодействовать между собой, но без непосредственного электрического контакта.

Данный принцип применяется для решения следующих задач:

- 1) Обеспечение безопасности жизни при работе с электрооборудованием;
- 2) Для осуществления независимости контрольных и управляющих цепей;
- 3) Для защиты устройств от различных негативных электрических воздействий.

Широкое применение в промышленности нашли следующие виды гальванической развязки: индуктивная, емкостная, электромеханическая, оптоэлектронная, акустическая, звуковая и основанная на эффекте Холла. Каждый вид развязки имеет свои особенности и область применения. Классификация видов гальванической развязки представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Виды гальванической развязки**

Индуктивную изоляцию реализуют трансформаторы, как с сердечником, так и без него. Развязка электрических цепей создается вследствие того, что первичная обмотка электрически изолирована от вторичной обмотки, т.е. электрические контуры не имеют общего заземления. Между ними нет электрического контакта, следовательно, не возникает электрического тока (если не считать аварийный режим с пробоем изоляции).

Трансформаторная развязка имеет следующие недостатки: отсутствует возможность передачи напряжения постоянного тока (это можно считать достоинством в некоторых случаях), частотная модуляция гальванической развязки ограничивает полосу пропускания, на качество выходного сигнала влияют помехи несущего входного сигнала. Еще одним недостатком является значительные габаритные размеры, если рассматривать высокоомощные трансформаторы (на данный момент существуют микросборки LTM288x предназначенные для гальванической развязки, в основе которых применяется маломощный трансформатор (мощность их составляет менее 1 Вт)) [2].

Трансформаторы широко применяются в железнодорожной автоматике и телемеханике, а так же при проектировании схем стабилизации питания, обеспечения защиты какой-либо аппаратуры и для понижения/повышения напряжения (тока).

Используются также специальные разделительные трансформаторы, коэффициент трансформации которых равен единицы. Применяются они в местах, где необходимо обеспечить развязку между электрическими цепями, но без необходимости понижения или повышения значения напряжения. Например, в ванных комнатах (согласно «Правилам устройства электроустановок»), в медицинских помещениях 2-ой группы и т.п. Автотрансформатор под данный принцип не попадает, так как его вторичная обмотка составляет часть первичной обмотки (присутствует общая связь с землей).

Емкостная развязка реализуется на емкостных элементах, т.е. конденсаторах, обязательно малой емкости (большое значение емкости приведет к искажению сигнала). В развязке, для передачи данных применяется переменное электрическое поле. Между пластинами конденсатора находится диэлектрик, который является изолятором между цепями. Изоляционный барьер между пластинами обеспечивает гальваническую развязку.

Электрические параметры такой развязки определяются свойствами диэлектрика, расстоянием между обкладками и их размеры. Достоинством емкостной гальванической изоляции является повышенная энергетическая эффективность, небольшие размеры и устойчивость к внешним магнитным полям.

Вышеперечисленные особенности такой развязки позволяют создавать недорогие интегральные изоляторы с высокими показателями надежности (компании Texas Instruments и Silicon Labs занимаются созданием таких изоляторов) [2].

Недостатки емкостной развязки следующие: отсутствие дифференциального сигнала, в отличие от индуктивной развязки; в результате помехи и шумы будут проходить вместе с рабочим сигналом; так же как и в случае с трансформатором, емкостные элементы не имеют возможность передавать сигнал с постоянной составляющей.

Примером электромеханической развязки является электромагнитное реле.

Реле служит для переключения электрических цепей при определенных изменениях входящих данных. Развязка реализуется путем переключения контактов под действием электромагнитных сил, возникающих в обмотках электромагнитного реле, т.е. нет непосредственного контакта между электрическими цепями [3].

Электромагнитное реле получила большую популярность в железнодорожной автоматике, ввиду своей надежности и простоте конструкции. Разделяют реле по роду тока, по месту применения, по классу надежности и т.п.

Акустическая развязка подразумевает передачу информации, используя ультразвуковые каналы и соответствующую аппаратуру. Данный метод позволяет передавать информацию с максимальной направленностью, передавать любой вид информации с высокой скоростью. Недостатками такого способа передачи информации является: невозможность акустических устройств работать на большие расстояния и отсутствие возможности одновременно принимать и передавать информацию.

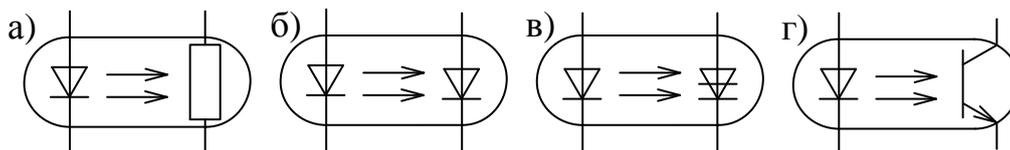
Звуковая развязка подразумевает передачу информации на слышимом диапазоне частот. Для передачи используются, в качестве источника сигнала, звуковые головки, динамики, громкоговорители и т.п., а в качестве приемника сообщений – микрофоны

Гальваническая развязка на эффекте Холла. Эффект Холла – явление возникновения разности потенциалов в проводнике с постоянным током при его перемещении в магнитном поле. Данный эффект реализуется в системах электронного зажигания двигателей внутреннего сгорания, в токоизмерительных клещах (для бесконтактного измерения силы тока в цепи), в ионных реактивных двигателях и т.д.

Датчики, основанные на данном эффекте (датчики Холла), например токоизмерительные клещи, также реализуют гальваническую изоляцию электрических цепей, ввиду отсутствия электрического контакта между проводником и самим датчиком.

### **Виды оптоэлектронной развязки**

В устройствах ЖАТС для развязки электрических цепей используют трансформаторы и электромагнитные реле, а в современных микропроцессорных системах применяются оптоэлектронные гальванические развязки, реализуемые на оптронах, разновидности и электрические схемы которых представлены на рисунке 2.



**Рис. 2. Разновидности оптронов**

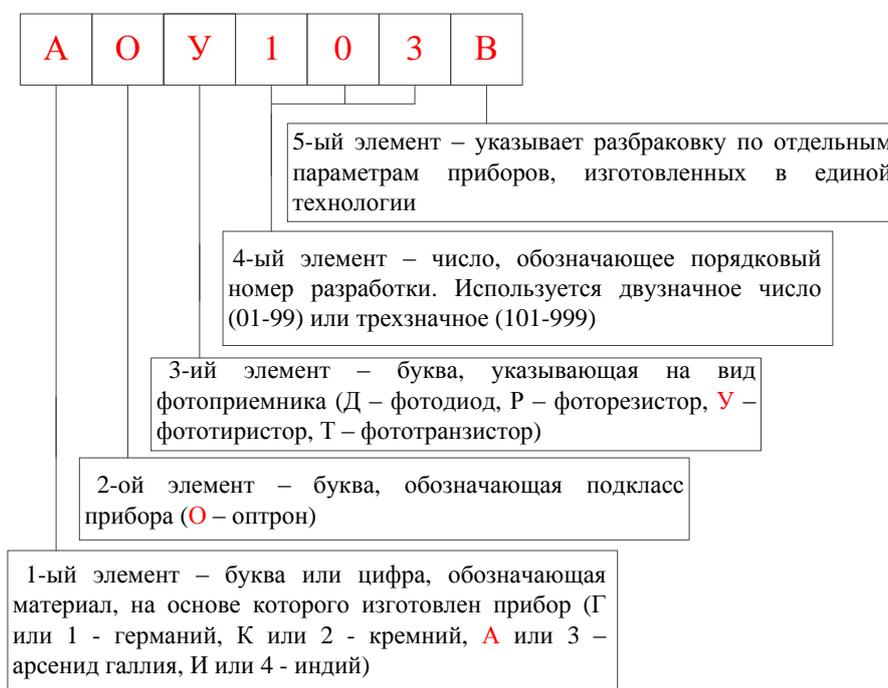
**а) резисторный оптрон, б) диодный оптрон, в) тиристорный оптрон, г) транзисторный оптрон**

Оптроны – это полупроводниковые приборы, сочетающие в общем корпусе светоизлучающего и фотоприемного приборов. Связь между этими приборами осуществляется только световым потоком (отсутствует электрическая связь между управляющей и управляемой цепями, чем обеспечивает развязку).

Существует несколько признаков, по которым можно классифицировать данное устройство по группам. При разделении на классы оптронных изделий необходимо учитывать два фактора: тип фотоприемника и особенности общей конструкции прибора.

В качестве светоизлучающего прибора применяют светодиод. Излучение светодиодом фотонов происходит при протекании прямого тока в результате рекомбинации электронов и дырок в области р-п-перехода и в областях, примыкающих к указанной области. Фотоприемник предназначен для принятия светового излучения и преобразования энергии фотонов в электрическую энергию (действие прибора основано на фотоэлектронной эмиссии и внутреннем фотоэффекте) [4].

Условное обозначение Российских оптронов представлено на рисунке 3. В качестве примера выбран тиристорный оптрон из арсенида галлия. Зная условное обозначение, можно с легкостью определить из какого материала состоит оптоэлектронный прибор, и какой он имеет элемент в качестве фотоприемника.



**Рис. 3. Условное обозначение оптронов по Российской классификации**

Работа резисторного оптрона (рис. 2. а) выглядит следующим образом: на светодиод подается ток, при котором возникает излучение фотонов, которые в дальнейшем воспринимаются фоторезистором. Поток фотонов вызывает появление пар электрон-дырка, увеличивающих проводимость. Иными словами, фоторезистор изменяет значение сопротивления при попадании на него фотонов. Таким оптронам присуще значительная температурная нестабильность и сравнительно малое быстродействие. Достоинства у такого вида оптронов следующие: линейность и симметричность выходной характеристики, отсутствие фотоЭДС и возможность работы при больших значениях напряжений любой полярности в выходной цепи. Резисторные оптроны применяются для бесконтактной коммутации и управления в цепях постоянного и переменного тока.

Принцип работы фотодиода, в диодной оптопаре, обратный принципу работы светодиода. Основным физическим явлением в фотодиоде является генерация пар электрон-дырка в области р-п-перехода и в прилегающих к нему областях под действием излучения. Эта генерация приводит к увеличению обратного тока диода при наличии обратного напряжения и к появлению напряжения между анодом и катодом при разомкнутой цепи, так же на выводах оптопары появляется фотоЭДС. Для описания свойств диодной оптопары используют входную и выходную ВАХ.

Устройства, построенные на фотодиодах (рис. 2. б), дают возможность передавать информацию с наибольшей скоростью, их использование позволяет создавать эффективные устройства передачи информации.

Работа фототиристора в оптронах (рис. 2. в), подобна работе обыкновенного биполярного тиристора, за исключением того, что тиристор «открывается» когда на управляющий электрод подается не импульс определенной величины тока, а, соответственно, световой импульс.

Важным достоинством тиристорных оптронов является то, что управляя значительными мощностями в нагрузке, они потребляют малую мощность цепями управления и поэтому совместимы по входу с интегральными микросхемами.

У транзисторного оптрона в качестве фотоприемника используется фототранзистор.

Фототранзисторы работают точно так же, как и обычные биполярные транзисторы, но положение характеристик определяется не током базы, а величиной светового потока, испускаемым светодиодом. Фототранзисторные оптроны (рис. 2. г) дают возможность оптического управления по цепи светодиода, и по основной электрической цепи. Цепь выхода также может действовать в режиме ключа и линейном режиме. Фототранзистор дает возможность усиливать подаваемый на него сигнал [4].

Транзисторные оптроны находят применение в аналоговых и цифровых коммутаторах, оптоэлектронных реле и в линиях связи для развязки электрических цепей.

Общие достоинства оптронов заключается в бесконтактном управлении объектами, обеспечении устойчивости каналов связи к электромагнитным полям (позволяет создать защиту от помех и взаимных наводок) и возможностью передавать сигналы с постоянной составляющей.

К общим недостаткам относят большой расход электроэнергии ввиду двойного преобразования, значительная зависимость работы от температуры и большой собственный шумовой уровень. Все недостатки постепенно устраняются по мере развития технологий электроники и создания материалов (на данный момент существует множество оптронов с весьма сложной конструкцией фотоприемника).

#### Применение оптронов в устройствах ЖАТС

В железнодорожной АТС применяются такие типы оптронов как АОД130А, АОТ123А, АОУ103А – АОУ103В, АОУ115А – АОУ115Д и многие другие [5].

Помимо этого в устройствах ДЦ и КТСМ применяются специальные модули гальванической развязки, состоящие из транзисторных оптронов.

Модули представляют собой устройства связи с объектом, которые обеспечивают гальваническую развязку и нормализацию сигналов между устройствами обработки информации и периферией. Для выходных цепей используют модули 70G-ODC5 DC Output Module, а для входных модули 70G-IDC5NP DC Input Module, представленные соответственно на рисунках 4. а и 4. б [6].

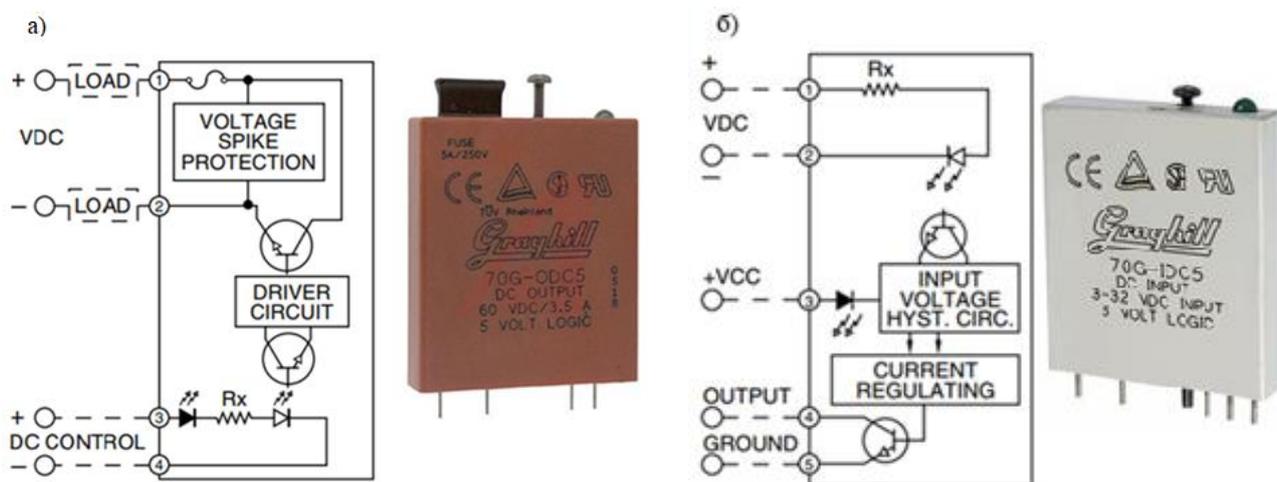


Рис. 4. Принципиальные схемы и внешний вид оптомодулей  
а) 70G-ODC5, б) 70G-IDC5NP

Входной модуль преобразует телесигнал в логический, который подается на процессор. С процессора логический сигнал подается на выходной модуль гальванической развязки, где преобразуется в сигнал управления.

#### Постановка задачи для разработки лабораторного стенда

Для изучения работы модулей гальванической развязки, их принципа действия, особенностей подключения и понимания значимости использования их в устройствах ЖАТС ставится задача разработать лабораторный стенд.

В настоящее время разработана структурная схема устройства, демонстрирующая работу устройств гальванической развязки, представленная на рисунке 5.

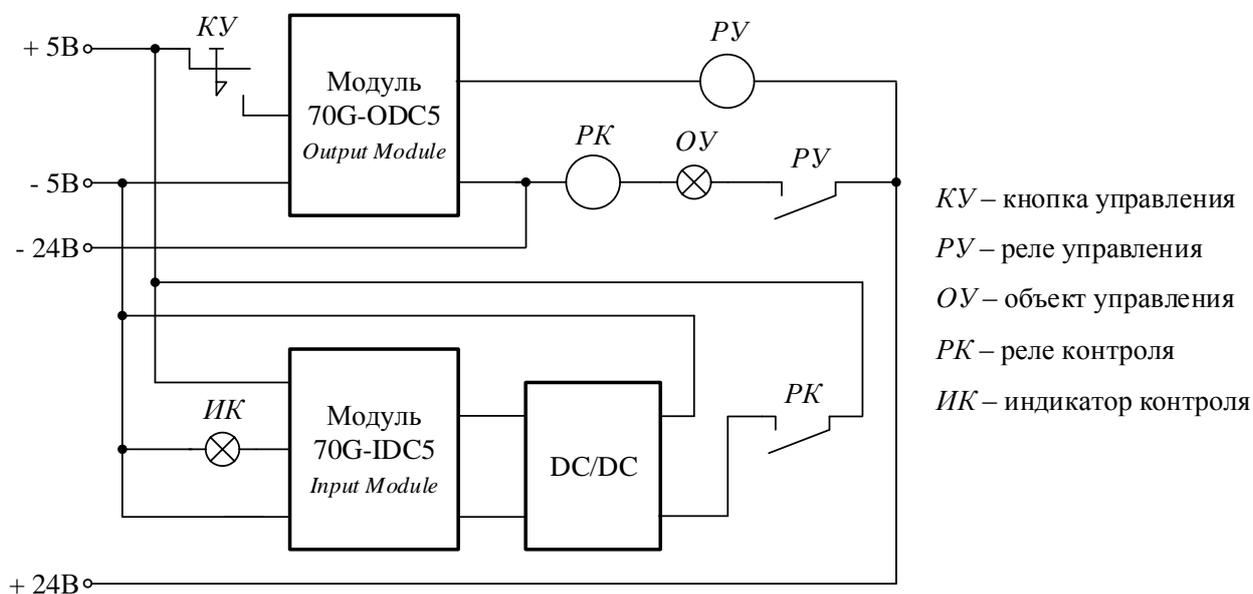


Рис. 5. Структурная схема устройства, демонстрирующего работу модулей гальванической развязки

На устройстве органами управления через кнопку КУ подается логический сигнал 5 В на модуль опторазвязки 70G-ODC5, в котором коммутируется цепь питания 24 В управляющего реле РУ. Управляющее реле РУ своими контактами воздействует на объект управления ОУ. Состояние объекта управления ОУ проверяется контактами контрольного реле РК. При срабатывании контрольного реле РК его контактами коммутируется цепь питания 5 В светодиода оптрона в модуле 70G-IDC5NP через преобразователь напряжения DC/DC и на его выходе появляется логический сигнал контроля 5 В, который контролируется индикатором наличия контроля ИК.

#### Заключение

Изучение принципов работы гальванической развязки является одной из очень важных задач с целью понимания проблем существующих в работе устройств ЖАТС и путей их решения для обеспечения безопасности и бесперебойности движения поездов и маневровой работы на железнодорожном транспорте.

Специалисты, обеспечивающие проектирование, разработку, наладку, техническое обслуживание и ремонт устройств, входящих в современные микропроцессорные системы ЖАТС, должны иметь представление о способах гальванической развязки и выборе оптимального варианта с учетом всех достоинств и недостатков для применения конкретного вида электрической изоляции.

Поставленная задача разработки лабораторного стенда для использования в учебном процессе, при её успешной реализации, позволит на более качественном уровне изучать назначение, необходимость применения и принцип действия модулей гальванической развязки, что в дальнейшем будет способствовать повышению качества обслуживания устройств и надежности их работы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. В 2 ч. Учебник для вузов ж.-д. трансп. / А.В. Горелик, Д.В. Шалягин, Ю.Г. Боровков, В.Е. Митрохин и др.; под ред. А.В. Горелика. – М.: ФГБОУ «УМЦ по обр. на ЖДТ», 2012. – 477с.
2. Федоров А.А. Гальваническая развязка питания и двусторонняя передача данных на одном компоненте в SMD-корпусе/ А.А. Федоров // Компоненты и технологии – 2012. - №9. – С. 71-76.
3. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. В.В. Сапожникова. – М.: ФГБОУ «УМЦ по обр. на ЖДТ», 2008. – 394 с.
4. Электротехника и электроника: учебник для вузов / О.В. Григораш, А.А. Шевченко, С.Н. Бегдай; под общ. ред. О.В. Григораш. – 2-е изд. перераб. и доп. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 544 с.
5. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Справочник: в 4 кн. Кн.4 Элементная база / Сороко В.И. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2006. – 352 с.
6. Карпенко Е.В. Устройства связи с объектом: модули фирмы GRAYHILL/ Е.В. Карпенко // Современные технологии автоматизации. – 1996. - № 1. – С. 28-31.
7. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В., Шаманов В.И. – М.: ФГБОУ «УМЦ по обр. на ЖДТ», 2017. – 318 с.
8. Микропроцессорные системы централизации. Под. ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: ФГБОУ «УМЦ по обр. на ЖДТ», 2006. – 398 с.
9. Электроника: учеб. пособие / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 703 с.
10. Микроэлектроника и схемотехника: учебник / А.В. Параскевов, В.И. Лойко – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 179 с.
11. Двоглазов А.В. Наглядно о структуре КТСМ-02/ А.В. Двоглазов, В.И. Хоперский// Автоматика, связь, информатика. – 2010. - № 11. – С. 31-34.

## REFERENCES

1. Systems of railway automation, telemechanics and communication. In 2 p. Textbook for universities of railway transport / A.V. Gorelik, D.V. Shalyagin, Y.G. Borovkov, V.E. Mitrohin and others.; edited by A.V. Gorelika. – M.: FGBOU «EMC for education on railway transport», 2012. – 477p.
2. Railway automation and telemechanics equipment. Reference: in the 4th book. Book 4 Element Reference Book./ Soroko V.I. – M.: Research and production commercial company «Planet», 2006. – 352 p.
3. Theoretical foundations of railway automation and telemechanics training manual for railway transport universities / Ydited by V.V. Sapozhnikova. – M.: FGBOU «EMC for education on railway transport», 2008. – 394 p.
4. Electronics: tutorial / V.I. Lachin, N.S. Savelov. – Edition. 6-e, revised and expanded – Rostov n/D: Phoenix, 2007. – 703 p.
5. Railway automation and telemechanics equioment. Reference: in the 4th book. Book 4 Element Reference Book / Soroko V.I. – M.: Research and production commercial company «Planet», 2006. – 352 p.
6. Karpenko E.V. Communication devices with the object: GRAYHILL modules / E.V. Karpenko // Modern automation technologies. – 1996. - № 1. – p. 28-31.
7. Reliability of railway automation, telemechanics and communication system. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov Vl.V., Efanov D.V., Shamanov V.I. – M.: FGBOU «EMC for education on railway transport», 2017. – 318 p.

8. Microprocessot-based centralization systems. Edited by V.I.V. Sapozhnikov. – M.: FGBOU «EMC for education on railway transport», 2006. – 398 p.
9. Electronics: textbook. allowance / V.I. Lachin, N.S. Savelov. - Ed. 6th, rev. and add. - Rostov n / a: Phoenix, 2007. - 703 p.
10. Microelectronics and circuit engineering: textbook / A.V. Paraskevov, V.I. Loyko – Krasnodar: KSAU, 2019. – 179 p.
11. Dvoeglazov A.V. Visually about the structure of the KTSM-02 / A.V. Dvoeglazov, V.I. Hoperskiy // Automation, communication, informatics. – 2010. - № 11. – p. 31-34.

### **Информация об авторах**

*Егоров Максим Владимирович* – студент группы СОД.2-18-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г.Иркутск, e-mail: Egorov.Maxim.Vladimirovich@yandex.ru

*Пультяков Андрей Владимирович* – доцент, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь», канд. техн. наук Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pultyakov@irgups.ru

### **Authors**

*Egorov Maxim Vladimirovich* – student of the group SOD.2-18-1, Faculty of Transport Support Systems, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Egorov.Maxim.Vladimirovich@yandex.ru

*Puliyakov Andrei Vladimirovich* – Ph.d., Associate Professor, Head sub department of Automation, Remote Control and Communication. Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pultyakov@irgups.ru

### **Для цитирования**

Егоров М.В. Применение гальванической развязки в устройствах железнодорожной автоматике, телемеханики и связи [Электронный ресурс] / М.В. Егоров, А.В. Пультяков // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №2(12). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/212-2021>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус., англ.

### **For citation**

Egorov M.V., Puliyakov A.V. *Primenenie galvanicheskoy razvyazki v ustroystvach zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemechaniki i svyazi* [Application of galvanic isolation in railway automation, telemechanics and communication devices]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlectronnyi nauchnyi zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 2(12)