

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.317.791

Устройство для квалификационных испытаний электромагнитных реле

И.Е. Рогов, П.В. Трехсвятский

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Представлено описание устройства, предназначенного для квалификационных испытаний маломощных электромагнитных реле, а также оценки соответствия их ресурса заявленным производителем характеристикам. Показана структурная схема основной части устройства и представлен алгоритм его работы. Получены результаты испытаний трёх реле различных производителей с использованием описываемого устройства: испытания на максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное механическими характеристиками реле, а также испытания на максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное электрической стойкостью контактов. Сделаны выводы о соответствии параметров износостойкости реле заявленным производителем.

Ключевые слова: электромагнитное реле, износостойкость, переходное сопротивление контактов, время срабатывания, время отпускания

Для цитирования. Рогов И.Е., Трехсвятский П.В. Устройство для квалификационных испытаний электромагнитных реле. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(4):15–22.

Device for Qualification Testing of Electromagnetic Relays

Igor E. Rogov, Pavel V. Trekhsvyatskiy

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article presents a description of a device intended for qualification testing of low-power electromagnetic relays, as well as for assessing compliance of their service life parameters to the design specifications. A flowchart of the device main part and an algorithm of its operation were presented. The results of the following tests were obtained by means of the above device from three relays of different manufacturers: tests for the maximum number of contact switching cycles limited by the mechanical properties of the relay, and tests for the maximum number of contact switching cycles limited by the electrical durability of the contacts. Conclusions were made about compliance of the relay wear resistance parameters to those stated by a manufacturer.

Keywords: electromagnetic relay, wear resistance, transient contact resistance, operation time, release time

For Citation. Rogov IE, Trekhsvyatskiy PV. Device for Qualification Testing of Electromagnetic Relays. *Young Researcher of Don*. 2025;10(4):15–22.

Введение. В современной технике маломощные электромагнитные реле занимают важное место. Одна из основных проблем при их производстве заключается в обеспечении максимального ресурса контактов, количество циклов переключений которых может достигать миллионов. Чтобы производители могли улучшать технологии изготовления реле, необходимо проводить квалификационные испытания, направленные на определение максимального ресурса и соответствия этому ресурсу заявленным характеристикам производителем [1].

В данной статье представлено относительно простое устройство, которое позволяет проводить такие испытания.

Основная часть. Структурная схема устройства показана на рис. 1.

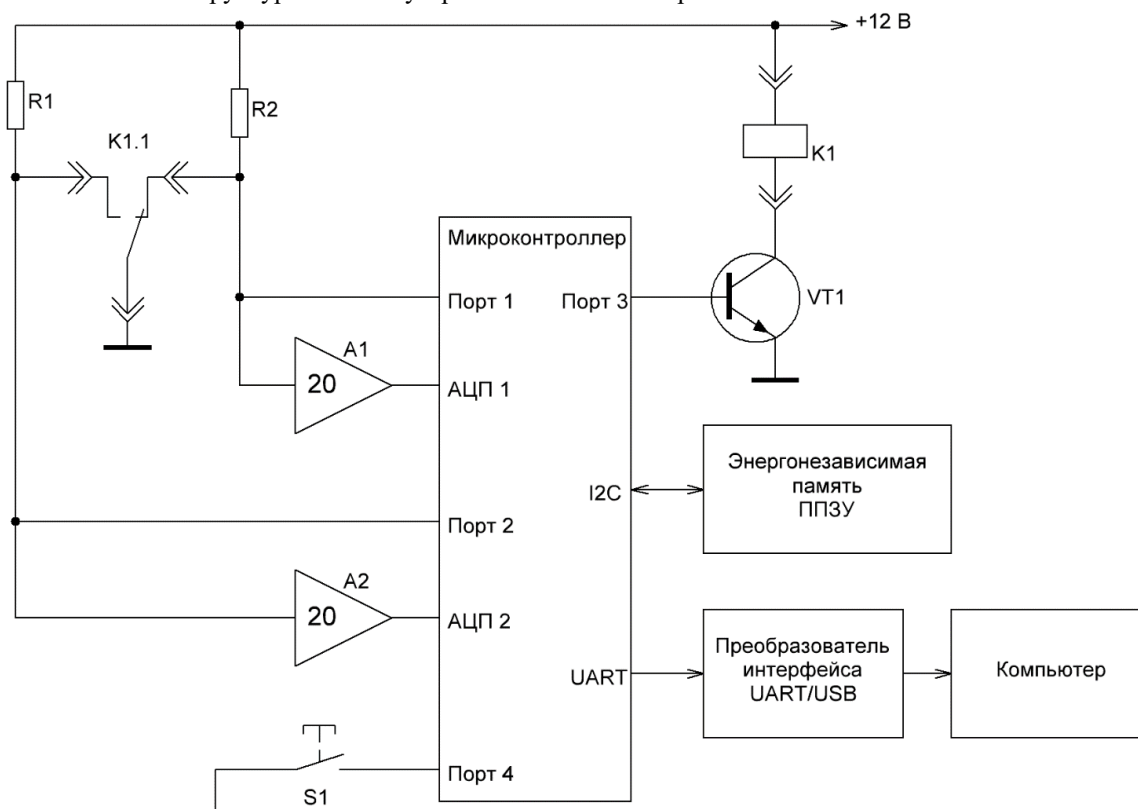


Рис. 1. Структурная схема микропроцессорного устройства для квалификационных испытаний электромагнитных реле

Испытываемое реле K1 подключается к специальному разъему и управляется микроконтроллером через силовой транзистор VT1. При подаче логической единицы в Порт3 подаётся ток в обмотку реле, в то время как подача логического нуля отключает ток на этой обмотке.

Ток от источника питания протекает через переключающий контакт реле K1.1 и ограничивается токоограничительными резисторами: R1 для нормально разомкнутых контактов и R2 для нормально замкнутых. Величина тока выбирается в соответствии с максимально допустимым значением тока контактов реле.

Порты микроконтроллера, Порт1 и Порт2, также подключённые к контактам реле, функционируют в режиме цифрового ввода и подтягиваются к напряжению питания. Если контакты реле находятся в разомкнутом состоянии, в соответствующем порте микроконтроллера будет присутствовать логическая единица. При замыкании контактов реле в порте появится логический ноль. Измеряя интервал времени между подачей логической единицы в Порт3 и появлением логического нуля в одном из Порт1 или Порт2, можно определить время срабатывания и отпускания контактов реле.

Поскольку сопротивление замкнутых контактов не равно нулю, на них возникает падение напряжения, пропорциональное протекающему току и сопротивлению. Это напряжение усиливается прецизионными усилителями A1 и A2 с коэффициентом усиления, равным двадцати, и подаётся на аналого-цифровые преобразователи АЦП1 и АЦП2, встроенные в микроконтроллер. По величине напряжения на замкнутых контактах можно определить контактное сопротивление переработанных контактов реле. Измерение напряжения осуществляется не сразу, а через пять миллисекунд после переключения реле, чтобы завершился процесс дребезга контактов. Для повышения точности измерения сопротивления и снижения влияния помех, измерение проводится шестнадцать раз с различными временными интервалами между измерениями, а полученные результаты усредняются.

Результаты измерений времени переключения и сопротивления контактов реле записываются в энергонезависимую память. Учитывая, что ресурс реле достигает сотен тысяч или даже миллионов циклов переключения, измерение параметров реле производится каждые тысячу циклов переключения. Окончание процесса измерений происходит либо после выполнения определённого количества циклов переключения, либо при выходе реле из строя, что контролируется блоком индикации состояния, не показанном на рис. 1. По завершении измерений результаты передаются на компьютер.

Поскольку заявленный производителем ресурс реле может превышать несколько миллионов циклов переключений, а максимальная частота переключений составляет около двух-четырёх раз в секунду, общая продолжительность испытаний реле может составлять от десяти до двадцати суток непрерывной работы. В течение этого длительного периода может произойти отключение электроэнергии, и чтобы предотвратить сбой процесса измерений, в алгоритме управления микроконтроллером предусмотрено автоматическое продолжение измерений после восстановления питания; текущее количество выполненных циклов переключения сохраняется в памяти.

Кнопка S1 предназначена для управления процессом измерений. Алгоритм работы устройства проиллюстрирован на рис. 2.

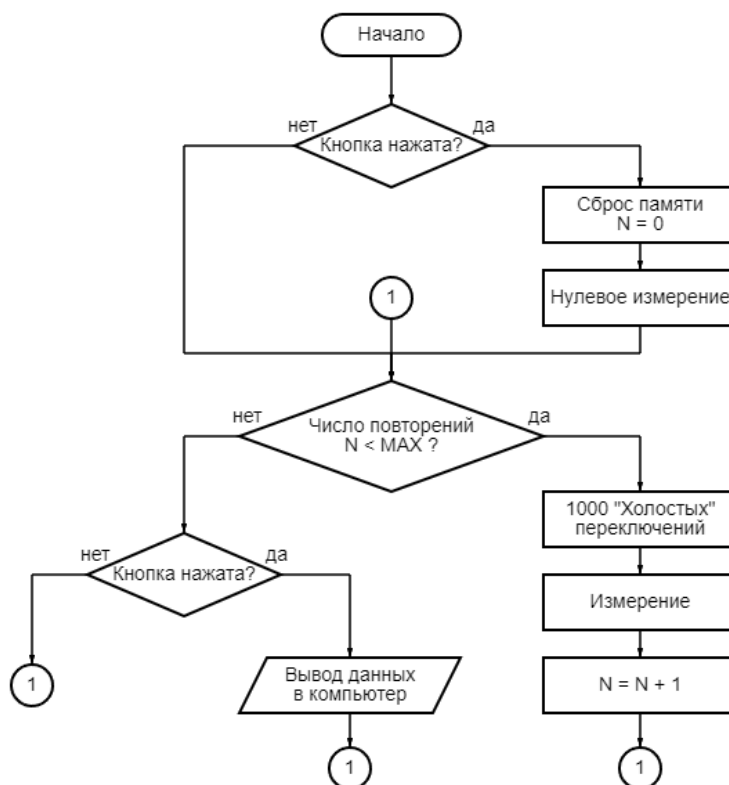


Рис. 2. Алгоритм работы устройства

Признаком начала измерений является включение питания при удерживании кнопки S1 в нажатом состоянии. Если напряжение питания подается на устройство при ненажатой кнопке, это означает, что произошло отключение электроэнергии, и процесс измерений должен быть возобновлен. В случае, если число повторений цикла переключений меньше установленного значения, производится переключение реле и измерение его параметров. Когда количество переключений достигает максимального заданного значения, устройство готово к передаче данных в компьютер. Вывод данных осуществляется при нажатии кнопки S1 и может выполняться любое количество раз.

В дальнейшем будут представлены результаты испытаний трех реле различных производителей: европейского, китайского и российского. Первым будет рассмотрено испытание реле бренда AXICOM. Внешний вид реле показан на рис. 3, а его основные параметры представлены в таблице 1.



Рис. 3. Внешний вид реле AXICOM

Основные параметры реле AXICOM [2]

Торговая марка	AXICOM
Производитель	Тусо Electronics
Страна производства	Швейцария
Материал контактов	Silver-nickel gold-covered
Максимальный ток контактов, А	3
Максимальное сопротивление замкнутого контакта, мОм	100
Время включения, мс	7
Время выключения, мс	10
Максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное механикой	$15 \cdot 10^6$
Максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное электрической стойкостью контактов	$1 \cdot 10^6$

На рис. 4 представлена зависимость сопротивления замкнутых контактов электромагнитного реле AXICOM от числа произведённых циклов переключения. Вертикальная черта на графике указывает паспортное значение максимального ресурса контактов реле.

После достижения ресурса в миллион переключений величина сопротивления нормально замкнутых контактов начинает колебаться, однако при этом остаётся в пределах, установленных производителем. С момента преодоления одного миллиона циклов контактное сопротивление начало увеличиваться. Несмотря на то, что его значение оставалось нормальным, измерения были прекращены, так как реле успешно выдержало испытания.

На рис. 5 показана зависимость времени срабатывания и отпускания электромагнитного реле AXICOM от числа произведённых циклов переключения. Наблюдается, что на протяжении всего испытания временные характеристики реле не превышали паспортные значения, хотя имели место незначительные колебания времени переключения после большого числа циклов. Учитывая, что электрический ресурс контактов реле значительно превышает механический, испытания были завершены после исчерпания электрического ресурса контактов.

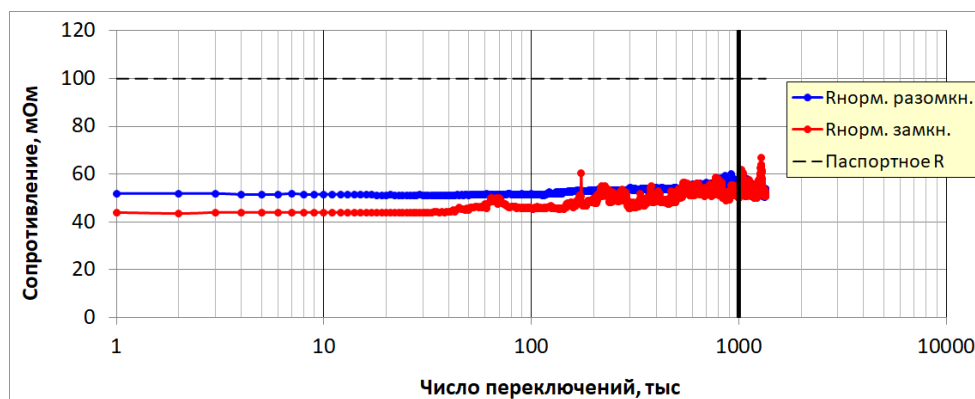


Рис. 4. Сопротивление нормально замкнутых и нормально разомкнутых контактов в замкнутом состоянии реле AXICOM

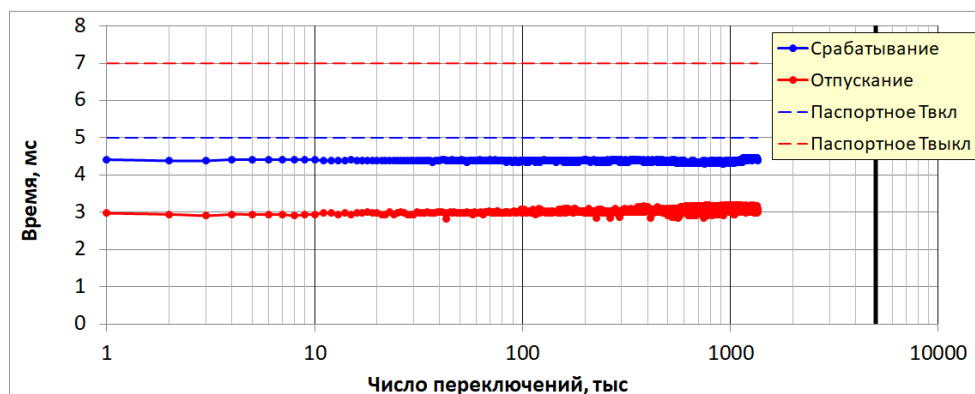


Рис. 5. Время срабатывания и отпускания реле AXICOM

Испытание реле бренда TIANBO. Внешний вид реле показан на рис. 6, а его основные параметры приведены в таблице 2.



Рис. 6. Внешний вид реле TIANBO

Таблица 2

Основные параметры реле TIANBO [3]

Торговая марка	TIANBO
Производитель	通信继电器 (Нинбо Тяньбо электрик)
Страна производства	Китай
Материал контактов	Silver Alloy
Максимальный ток контактов, А	2
Максимальное сопротивление замкнутого контакта, мОм	100
Время включения, мс	8
Время выключения, мс	5
Максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное механикой	$10 \cdot 10^6$
Максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное электрической стойкостью контактов	$100 \cdot 10^3$

На рис. 7 представлено зависимость сопротивления замкнутых контактов электромагнитного реле TIANBO от числа выполненных циклов переключения. Вертикальная линия указывает на паспортное значение максимального ресурса контактов реле. После достижения ресурса в сто тысяч переключений величина сопротивления нормально замкнутых контактов начинает увеличиваться, однако всё ещё остаётся в пределах, установленных производителем. Лишь после восьмисот тысяч циклов переключения контактное сопротивление выходит за пределы нормы, гарантированной производителем. Это свидетельствует о том, что реальный ресурс контактов реле в восемь раз превышает заявленный.

На рис. 8 демонстрируется зависимость времени срабатывания и отпускания электромагнитного реле TIANBO от числа произведённых циклов переключения. Мы можем наблюдать, что на протяжении всего испытательного процесса временные характеристики реле не превышали паспортные значения, хотя имели место незначительные колебания времени переключения после значительного числа выполненных циклов. Учитывая, что электрический ресурс контактов реле значительно выше механического, испытания были остановлены после исчерпания электрического ресурса контактов.

В процессе отладки этого экземпляра реле было выполнено около пятисот циклов переключения, что объясняет, почему графики на рис. 7 и 8 не начинаются с нуля.



Рис. 7. Сопротивление нормально замкнутых и нормально разомкнутых контактов в замкнутом состоянии реле TIANBO



Рис. 8. Время срабатывания и отпускания реле TIANBO

Испытание реле типа РЭС49 (РФ). Внешний вид реле показан на рис. 9, а его основные параметры приведены в таблице 3.

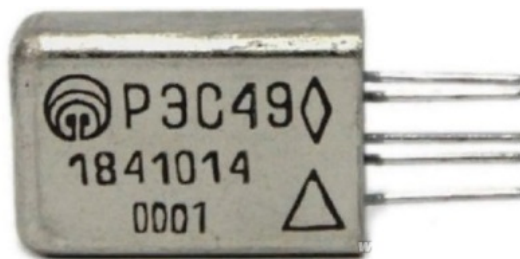


Рис. 9. Внешний вид реле РЭС49

Таблица 3

Основные параметры реле РЭС49 [4]

Торговая марка	РЭС49
Производитель	Специального назначения, 8я приёмка
Страна производства	Россия
Материал контактов	ЗлСрМгН2-97
Максимальный ток контактов, А	0,5
Максимальное сопротивление замкнутого контакта, мОм	0,5
Время включения, мс	3
Время выключения, мс	2
Максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное механикой	$100 \cdot 10^3$
Максимальное количество циклов переключения контактов, ограниченное электрической стойкостью контактов	$100 \cdot 10^3$

На рис. 10 представлена зависимость сопротивления замкнутых контактов электромагнитного реле РЭС49 от числа выполненных циклов переключения. Вертикальная линия указывает на паспортное значение максимального ресурса контактов данного реле. На рис. 11 аналогичные результаты отображены в линейном масштабе времени, что позволяет более наглядно оценить ресурс реле.

После достижения ресурса в сто тысяч переключений сопротивление нормально замкнутых контактов начинает увеличиваться, однако при этом оно всё равно остаётся в пределах, установленных производителем. Лишь после проведения более трёхсот тысяч циклов переключений контактное сопротивление выходит за пределы нормы, гарантированной производителем. Таким образом, реальный ресурс контактов реле более чем в три раза превосходит заявленный.

На рис. 5 представлена зависимость времени срабатывания и отпускания электромагнитного реле РЭС49 от числа выполненных циклов переключения. На протяжении всего испытания временные характеристики реле не превышали паспортные значения, хотя и наблюдались незначительные колебания времени переключения после значительного числа выполненных циклов.

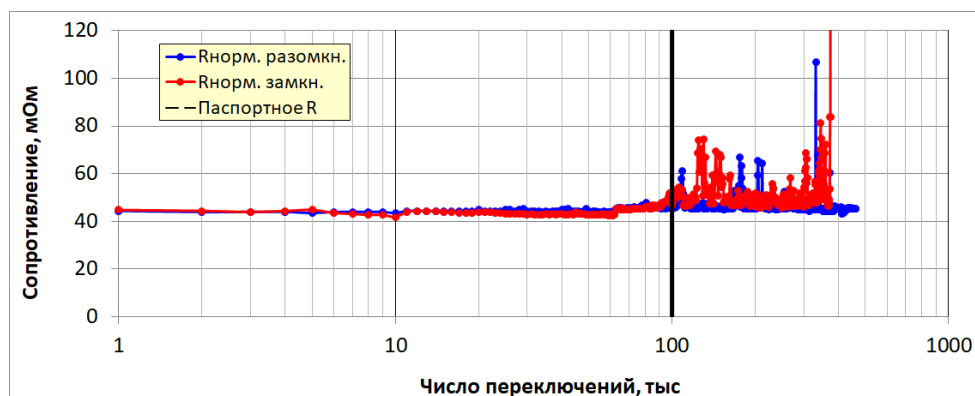


Рис. 10. Сопротивление нормально замкнутых и нормально разомкнутых контактов в замкнутом состоянии реле РЭС49

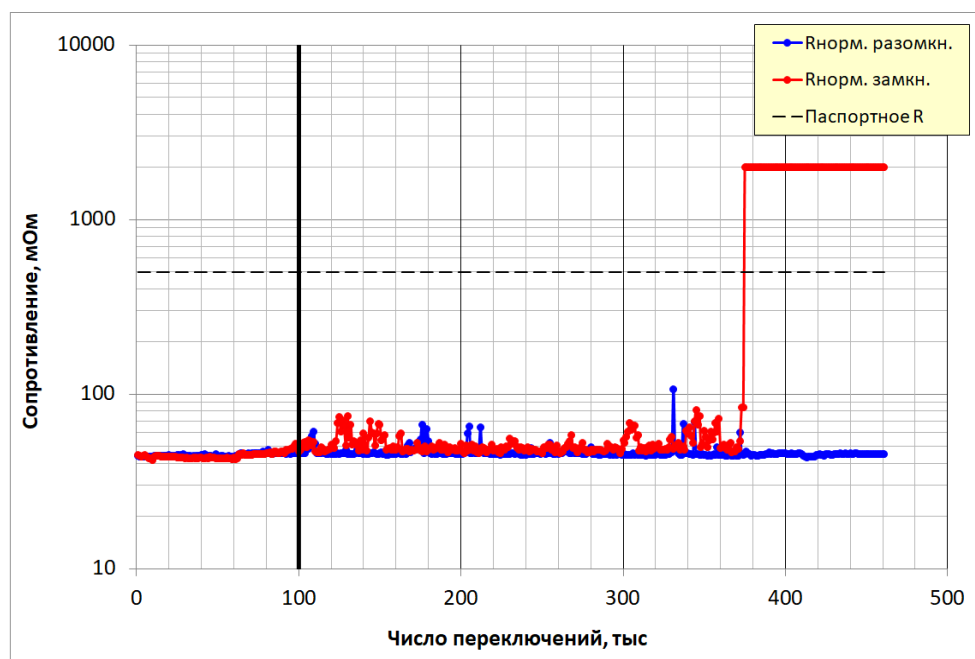


Рис. 11. Сопротивление нормально замкнутых и нормально разомкнутых контактов в замкнутом состоянии реле РЭС49 в линейном масштабе времени

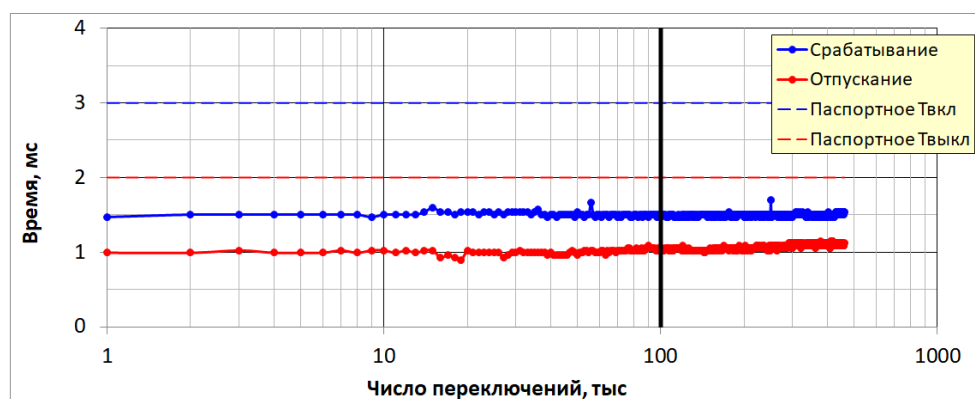


Рис. 12. Время срабатывания и отпускания реле РЭС49

Заключение. Таким образом, параметры износостойкости всех протестированных реле оказались выше заявленных производителем. Это свидетельствует о том, что данным производителем можно доверять. Реальный «запас прочности» реле не менее чем в три раза превышает паспортные данные. Данная ситуация также наблюдается и у реле, произведенных в России. С другой стороны, гарантированное максимальное количество циклов переключения реле российского производства в десять раз уступает таковому у иностранных аналогов. Следовательно, отечественному производителю открываются перспективы для совершенствования своей продукции, а также появляется возможность применения описываемого устройства для контроля качества реле в процессе улучшения технологии производства.

Список литературы

1. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/46b/4294851950.pdf?ysclid=mcsv96yd2a759347559> (дата обращения: 15.03.2025).
2. Ахисом: новое поколение телекоммуникационных и сигнальных реле. URL: <https://kit-e.ru/axicom-novoe-pokolenie-telekommunikaczionnyh-i-signalnyh-rele/?ysclid=mcw4a4lson169371322> (дата обращения: 15.03.2025).
3. TIANBO Telecom Relay. URL: <https://www.tianbo-relay.com/en/products.php?tid=10> (дата обращения: 15.03.2025).
4. Игловский И.Г., Владимиров Г.В. Справочник по слаботочным электрическим реле. 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Энергоатомиздат Ленинградское отделение; 1990. 560 с.

Об авторах:

Игорь Евгеньевич Рогов, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), igorro@rambler.ru

Павел Владимирович Трехсвятский, магистрант кафедры электротехники и электроники Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), xoz.h@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Igor E. Rogov, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Electrical Engineering and Electronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), igorro@rambler.ru

Pavel V. Trekhsvyatskiy, Master's Degree Student of the Electrical Engineering and Electronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), xoz.h@yandex.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.