

УДК 681.527.83

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕРКОНОВОГО КОНТАКТА МАГНИТО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Л. А. Терновской, А. Б. Докай, А. Г. Сукиязов

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

Излагаются результаты исследований колебательных мод в герконе простейшей конструкции (КЭМ-2Б) при полном цикле срабатывание-отпускание контактных площадок. Обнаружено, что работа герконового контакта сопровождается как акустической эмиссией с частотой порядка 3кГц, так и генерацией переменного магнитного поля с той же частотой. Генерация магнитного поля названа магнитной эмиссией. Продолжительность акустической и магнитной эмиссий составляет 0,2–0,4 с. Магнитная эмиссия может быть источником помех при использовании герконов в высокочувствительных каскадах автоматики. Исследования колебательных мод в герконе проведены впервые.

Ключевые слова: геркон, акустическая эмиссия, магнитная эмиссия, дребезг электродов, неразрушающая бесконтактная диагностика.

RESEARCH OF ELECTROMECHANICAL PROPERTIES OF THE REED CONTACT MAGNETO-ACOUSTIC METHOD

L. A. Ternovskoy, A. B. Dokay, A. G. Sukiyaov

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

The paper presents the results of studies of vibrational modes in a reed switch of the simplest design (КЕМ-2В) with a full cycle of actuation-release of contact pads. It was found that the operation of the reed contact is accompanied by both acoustic emission with a frequency of about 3 kHz, and the generation of a variable magnetic field with the same frequency. The generation of a magnetic field is called magnetic emission. The duration of acoustic and magnetic emissions is 0.2÷0.4 s. Magnetic emission can be a source of interference when using reed switches in highly sensitive automatic stages. Studies of vibrational modes in the reed switch were conducted for the first time.

Keywords: reed switch, acoustic emission, magnetic emission, electrode rattle, non-destructive contactless diagnostics.

Введение. В настоящее время автоматизация практически всех технологических процессов неизбежно связана с использованием управляемых соединений между объектами управления. Особое место в системах автоматизации занимают контактные элементы, т.к. они обеспечивают электрическую контактную связь между объектами управления на физическом и логическом уровнях. К таким контактными элементам относятся различные типы реле и подобные им устройства. Для обеспечения надежности к элементам коммутации предъявляются высокие требования, касающиеся надежности по сохранению состояния контактных пар на протяжении длительного срока эксплуатации и их защищенность от различного типа воздействий окружающей среды, являющейся в ряде случаев агрессивной. Для этого реле помещают в специальные герметичные корпуса.

Основная часть. Аналогичным способом защиты является герметизация только контактных групп и управление ими с помощью внешнего магнитного поля. Изделия с подобным способом защиты называются герконами (сокращенно от слов герметичный и контакт). Простейший геркон представляет собой пару ферромагнитных контактов, запаянных в

герметичную стеклянную колбу. При внесении геркона в магнитное поле электроды намагничиваются и притягиваются друг к другу, замыкая цепь. Существует большое количество разновидностей конструкции герконов [1].

Практическое использование герконов осуществляется как в качестве контактных групп законченных конструкций электромагнитных реле (например, РЭС 64 А), так и в качестве самостоятельных элементов, называемых также герконами. В устройствах автоматики используются различные способы управления герконами: линейным перемещением постоянного магнита, угловым перемещением постоянного магнита, шунтирующими магнитными шторками, обмотками с током и т.п. [2, 3].

Помимо обычных коммутирующих применений герконов, в последнее время их используют также в качестве чувствительных элементов тока и напряжения. Перспективным можно считать применение в устройствах, предназначенных для повышения устойчивости, микропроцессорных реле защиты к преднамеренным дистанционным деструктивным воздействиям [4, 5]. В этих применениях герконовые датчики должны срабатывать при возникновении аварийного или близкого к аварийному режиму работы объектов электроэнергетики, защищаемых микропроцессорными реле. Имеются примеры и других применений герконов в качестве датчиков. Большое распространение в последнее время получили законченные конструкции приборов, в которых герконы являются важнейшим составным элементом. Эти приборы получили название ферриды [5].

С механической точки зрения контакты геркона можно рассматривать как встречные консольные балки, закрепленные со стороны, противоположной контактирующим участкам. Замыкание контактов обусловлено возникновением силы взаимодействия намагниченных внешним магнитным полем контактирующих участков. Использование герконов в качестве чувствительных элементов автоматики подразумевает их работу при различных уровнях управляющего магнитного поля. Если магнитное поле недостаточно для надежного замыкания, то контакты перед слипанием могут совершить несколько отскоков с затухающей амплитудой. В результате этого возникает так называемый «дребезг», который приводит к возникновению переходных процессов в коммутируемой цепи и влечет искажение полезного сигнала, проявляясь в виде «выбросов» и «просадок» коммутируемого напряжения. В результате возможно повреждение как оборудования, находящегося на коммутируемой линии, так и самой коммутационной контактной группы. При конструировании и эксплуатации рассматриваемых применений герконов важно знать техническое состояние и электромеханические параметры конкретного экземпляра геркона.

Промышленное изготовление герконов неизбежно сопровождается наличием разброса характеристик. Представляет интерес исследование возможности сравнения бесконтактным способом индивидуальных характеристик герконов, например, по степени возникновения дребезга. Решение подобных задач может возникнуть, например, при входном (или выходном) контроле. Предлагаемая работа посвящена исследованию этого вопроса. Решение поставленной задачи состоит в получении ответа, можно ли на основании исследования излучаемых герконами акустических и магнитных колебаний при помещении его в магнитной поле сделать вывод об их идентичности или различии. В зависимости от решаемой задачи можно выделить следующие направления бесконтактной диагностики герконов.

1. Направление для разбраковки герконов.
2. Направление для аттестации герконов.
3. Направление выявления скрытых дефектов герконов для обеспечения задач прогноза.

Рассмотрение работы простейшей конструкции геркона (два нормально разомкнутых контакта) на основе анализа происходящих в нем физических процессов позволяет выделить следующие моменты.

1. В отличие от контактов обычных электромагнитных реле, контакты геркона представляют собой две, приблизительно одинаковые, консольные балки, жестко закрепленные на концах. В разомкнутом состоянии они могут совершать свободные колебания с близкими частотами. В состоянии надежного контакта образуется одна балка суммарной длины с жестко закрепленными контактами. Колебание такой конструкции более затруднено, чем отдельных контактов.

2. Механическое взаимодействие через баллон геркона должно приводить к возникновению биений, если механические параметры электродов имеют незначительные различия.

3. Силовое воздействие на контакты (балки) возникает вследствие магнитного взаимодействия намагниченных электродов. Расстояние между взаимодействующими частями электродов меньше миллиметра. Поэтому можно считать намагниченность контактных площадок равномерным. Сила взаимодействия зависит от величины магнитного поля [1]:

$$F_1 = \frac{\Phi^2}{8\pi S_1}, \quad (1)$$

где Φ — магнитный поток между контактными площадками, S_1 — площадь перекрытия электродов в рабочем зазоре.

Величина магнитного потока Φ в герконе определяется схемой магнитной системы. Как следует из (1), сила взаимодействия при прочих равных условиях сильно зависит от величины потока Φ . Если этого потока недостаточно для соединения контактных площадок, то контакты будут совершать затухающие колебания и в некоторые моменты возможны кратковременные их замыкания. Это очень опасно для нагрузки. При недостаточной величине магнитного потока для надежного слипания контактных площадок возможны отскоки (дребезг).

4. Благодаря характеристикам материала электроды обладают высокой механической добротностью и свободные колебания затухают достаточно медленно. Поэтому срабатывание геркона должно зависеть от фазы затухающих колебаний электродов к данному моменту. Это проявится как вариация чувствительности геркона и условия возникновения дребезга.

5. Колебания контактных площадок, при наличии магнитного поля меньше требуемого для срабатывания, должно сопровождаться появлением переменного магнитного поля. Оно может быть зарегистрировано с помощью индукционного датчика и, при использовании герконов в высокочувствительной аппаратуре, стать причиной возникновения наводок.

Таким образом, работа геркона должна сопровождаться акустической эмиссией и генерацией слабого переменного магнитного поля.

Проведенный анализ позволяет выбрать в качестве основного предмета исследований метод акустической эмиссии, который достаточно широко используется для диагностики различных механических устройств [6] и, в частности, электромагнитных реле [7]. Излучение слабого переменного магнитного поля в результате свободных колебаний электродов после выключения будем называть по аналогии «магнитной эмиссией». Акустическая и магнитная эмиссии могут регистрироваться бесконтактно.

В качестве объекта изучения возможности неразрушающей бесконтактной диагностики в представляемой работе исследовались герконовые реле РЭС34А и отдельный герконовый контакт КЭМ-2Б. Обобщенная схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

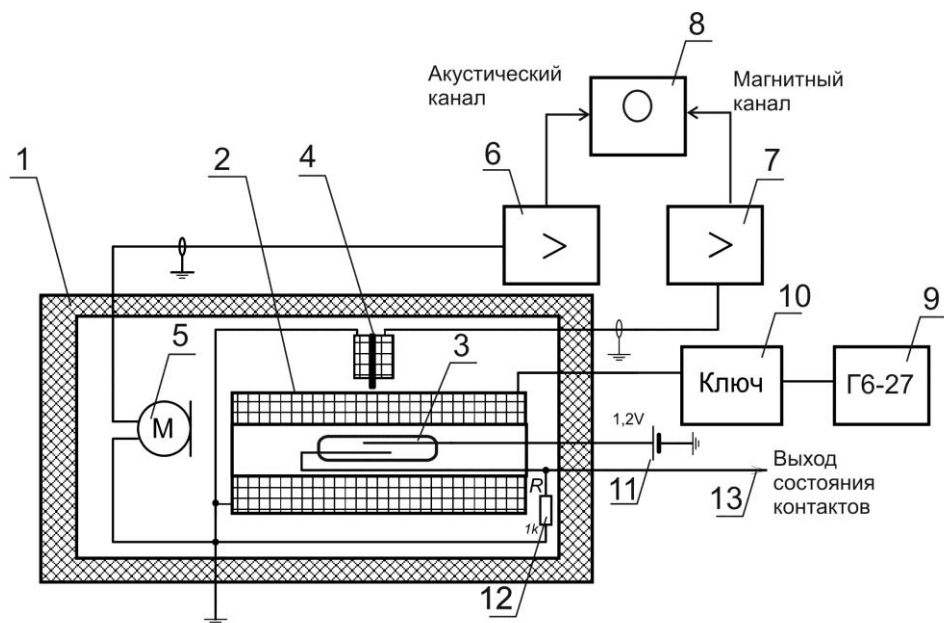


Рис. 1. Лабораторная установка исследования геркона

магнитоакустическим методом: 1 — звукоизолирующий бокс, 2 — намагничивающий соленоид, 3 — исследуемый геркон, 4 — индукционный датчик, 5 — акустический датчик (микрофон), 6 — усилитель акустического канала, 7 — усилитель магнитного канала, 8 — двухканальный осциллограф, 9 — задающий генератор, 10 — ключ с источником питания, 11 — низковольтный источник питания цепи контакта, 12 — резистор нагрузки контактов, 13 — кабель выхода состояния контактов

Ось чувствительности индукционного датчика 4 перпендикулярна силовым линиям магнитного поля намагничивающего соленоида 2. Это значительно снижает реакцию датчика на магнитное поле соленоида и обеспечивает возможность регистрации магнитной эмиссии.

Герконовый контакт реле РЭС64А находится внутри закрытого компаундом корпуса и звуковые волны, сопровождающие работу геркона, не выходят наружу. Поэтому для этого объекта соленоид 2 (рис. 1) представлял собой само реле, а в качестве микрофона использовался пьезоэлектрический датчик в форме диска керамики BaTiO_3 , прижимаемый к корпусу реле под индукционным датчиком 4.

Индивидуальный герконовый контакт КЭМ-2Б позволял наблюдать акустические волны в окружающем пространстве с помощью электретного микрофона, расположенного вблизи каркаса намагничивающего соленоида.

Для идентификации акустических сигналов и сигналов внешнего магнитного поля с состоянием контактных площадок использовалась стандартная коммутация низковольтного напряжения от источника 11 (рис. 1) и регистрация напряжения на резисторе 12.

В качестве осциллографа использовался USB осциллограф АКИП 4107. Так как он рассчитан только на два канала, то для сравнения акустического и магнитного сигналов с состоянием электродов приходилось осуществлять это по очереди.

На рис. 2 представлены результаты генерации акустического и магнитного полей при включении и выключении напряжения на обмотке РЭС64А, а также спектр колебаний корпуса реле при включении (состояние контактов не исследовалось).

На рис. 2 представлены результаты генерации акустического и магнитного полей при включении и выключении напряжения на обмотке РЭС64А, а также спектр колебаний корпуса реле при включении (состояние контактов не исследовалось).

Как видно из рис. 2 а и б в момент срабатывания происходит удар и сцепление контактных площадок, поэтому переменное магнитное поле не регистрируется, вибрация достаточно интенсивна, а продолжительность вибрации достаточно велика. Можно отметить, что между моментом включения напряжения и началом вибрации (рис. 2 а) проходит некоторое время. Его можно отождествить с временем срабатывания герконового контакта. Из рис. 2 б видно, что после снятия напряжения контактные площадки расходятся и начинают совершать затухающие колебания, которые регистрируются индукционным датчиком.

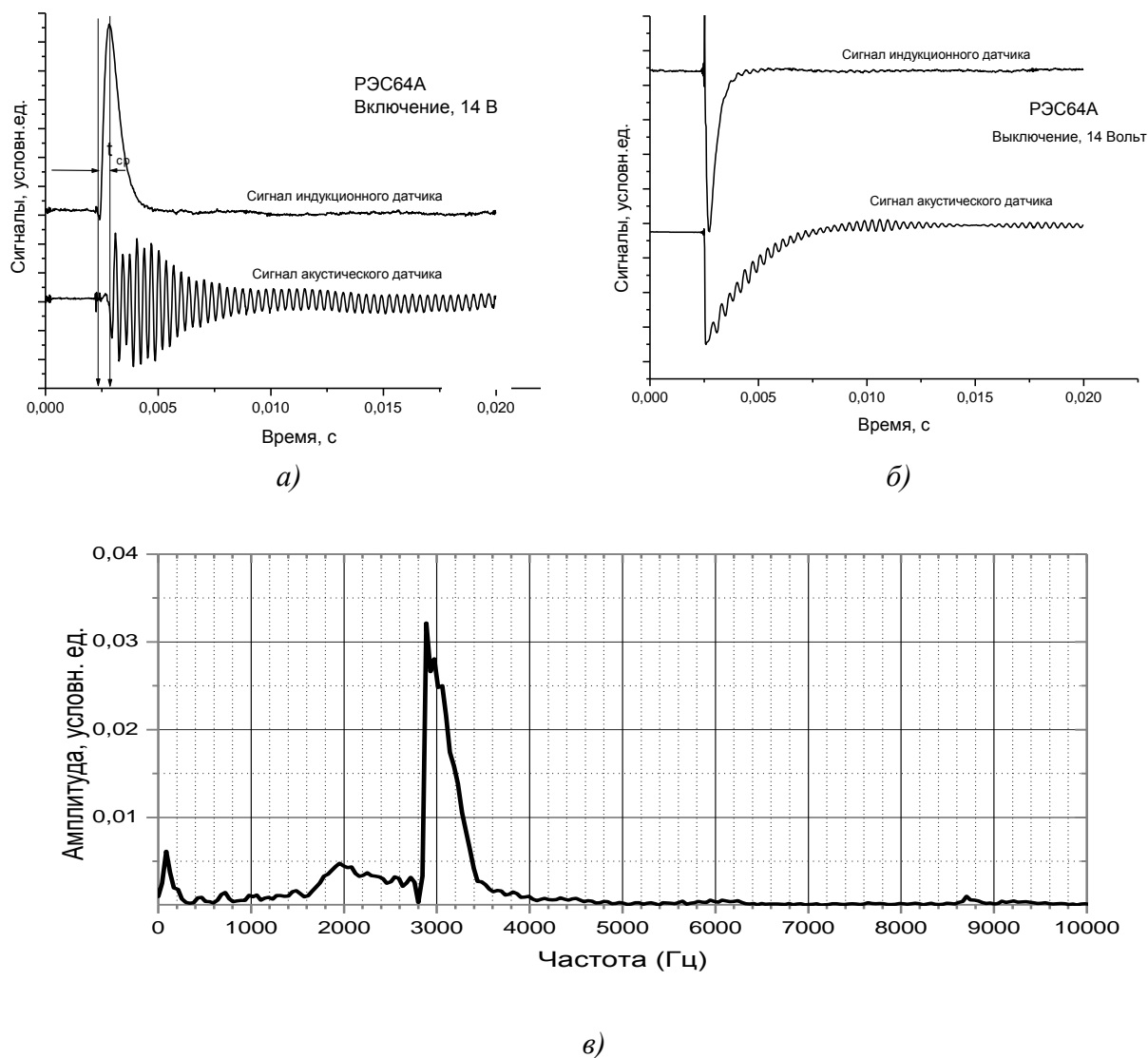


Рис. 2. Сигналы магнитного поля и вибрации корпуса реле РЭС64А:
 а — при включении напряжения на обмотке; б — при выключении напряжения;
 в — спектр акустического сигнала при включении напряжения

Вибрация корпуса значительно меньше, но четко проявляются биения, которые возникают благодаря небольшому различию механических характеристик контактов. Биения можно также отметить и в сигнале индукционного датчика. Это указывает на связь процессов акустической и магнитной эмиссий в случае герконового реле. Частоты установившихся колебаний при включении и выключении напряжения совпадают. На рис. 2 в представлен спектр акустического сигнала при включении напряжения. Как видно из спектра, частота свободных колебаний

электродов лежит в районе 3 кГц, что совпадает по порядку величины с литературными данными [1, 3, 5].

Исследования отдельного герконового контакта КЭМ-2Б проводились при подаче на геркон периодического магнитного поля в форме прямоугольных импульсов частотой 75 Гц. Амплитуда импульсов могла варьироваться для изменения энергии удара контактных площадок. Сводные результаты исследований приведены на рис. 3.

Результаты проведенных исследований сгруппированы по следующим признакам: магнитная эмиссия и срабатывание контактов (рис. 3 а), акустическая эмиссия и срабатывание контактов (рис. 3 б), совместное наблюдение акустической и магнитной эмиссий (рис. 3 в).

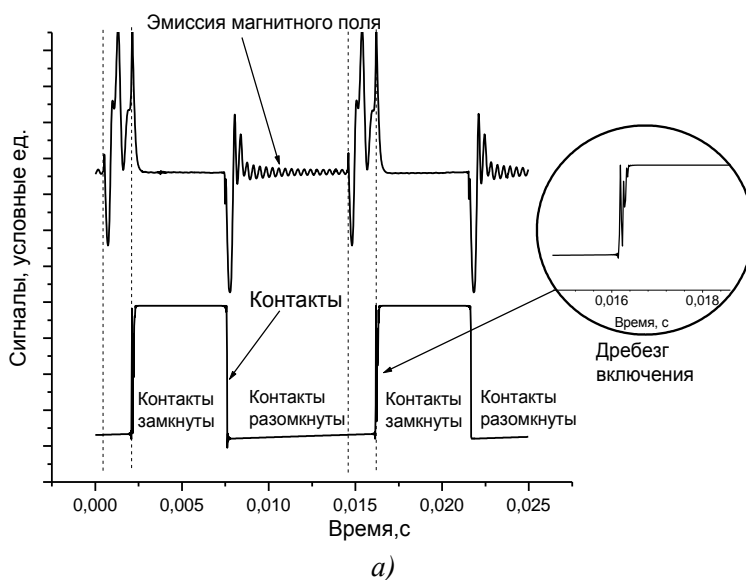
Наличие дребезга фиксировалось с помощью наблюдения тока через контакты. Как и следовало ожидать, величина магнитного поля влияет на дребезг. Чем сильнее магнитное поле, тем меньше отскоков контактных площадок.

Как видно из рис. 3 а, магнитная эмиссия происходит только после размыкания контактов. Это хорошо согласуется с описанием колебательных свойств контактов герконов в [1]. На вставке к рис. 3 а в увеличенном виде представлен дребезг электродов. Виден затухающий характер отскоков. После «слипания» контактов при срабатывании реле образуется жесткая конструкция, представляющая собой балку, закрепленную с двух сторон. Это должно существенно затруднить колебательный процесс. Изображение на рис. 3 а подтверждает это предположение.

Акустическая эмиссия (рис. 3 б) наблюдается как при срабатывании реле, так и при размыкании контактов. Как и следовало ожидать, при срабатывании интенсивность акустической эмиссии выше, чем при размыкании контактов. Из того же рисунка видно, что в момент возникновения дребезга характер акустической эмиссии меняется.

Одной из задач проводимых исследований было нахождение ответа на вопрос: «Можно ли, не используя контакты для исследования колебательных процессов в герконовых контактах, наблюдать дребезга?»

Проведенные исследования позволяют считать, что ответ на этот вопрос положителен. Результаты исследований приведены на рис. 3 в, на котором представлены сигналы с акустического и индукционного датчиков (рис. 1) при незадействованных контактах. Положение геркона в намагничивающем соленоиде и величина тока в нем, такие же, как и в опытах на рис. 3 а и б. Из осциллограмм на рис. 3 в видно, что основные признаки акустической и магнитной эмиссий четко наблюдаются. Можно выделить область дребезга.



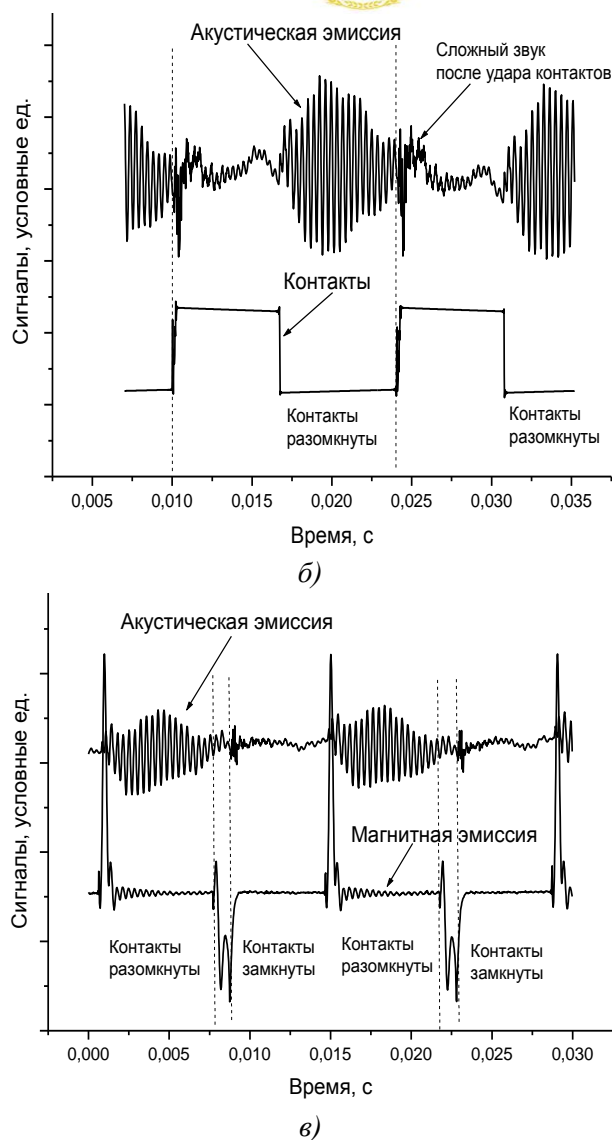


Рис. 3. Результаты исследований герконового контакта КЭМ-2Б:

- а — магнитная эмиссия и срабатывание контактов,
 б — акустическая эмиссия и срабатывание контактов;
 в — акустическая и магнитная эмиссии

Заключение. Проведенные исследования позволяют положительно ответить на вопрос о возможности бесконтактной диагностики и определения параметров герконовых контактов. Можно полностью отказаться от использования цепи контактов, т. е. проводить диагностику геркона бесконтактно, наблюдая только акустическую и магнитную эмиссии. Кроме того, экспериментально показано, что магнитная эмиссия может быть источником помех при использовании герконов в высокочувствительных каскадах автоматики. Теоретически этот вопрос рассмотрен в [1].

Для практического внедрения полученных результатов требуются дополнительные исследования.

Библиографический список

1. Диковский, Я. М. Магнитоуправляемые контакты / Я. М. Диковский, И. И. Капралов. — Москва : Энергия, 1970. — 152 с.
2. Гуревич, В. Герконовые реле с регулируемым порогом срабатывания / В. Гуревич // Компоненты и технологии. — 2013. — №11. — С. 30–33.

3. Гуревич, В. И. Устройство защиты релейной защиты / В. И. Гуревич // Control Engineering Россия. — 2013. — № 3. — С. 5–8.

4. Гуревич, В. И. Снижение уязвимости микропроцессорных устройств релейной защиты к преднамеренным дистанционным деструктивным воздействиям / В. И. Гуревич // Релейная защита и автоматизация. — 2013. — № 5. — С. 45–51.

5. Харазов, К. И. Устройства автоматики с магнитоуправляемыми контактами / К. И. Харазов. — Москва : Энергоатомиздат, 1990. — 256 с.

6. Павлов, Б. В. Акустическая диагностика механизмов / Б. В. Павлов. — Москва : Машиностроение, 1971. — 221 с.

7. Силин, Н. В. Шумовая диагностика электротехнического оборудования / Н. В. Силин, Д. Г. Шевердин // Ползунковский вестник. — 2011. — №2/1. — С. 132–139.

Об авторах:

Терновской Леонид Александрович, магистрант кафедры «Радиоэлектроника» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), ternovskojleonid@gmail.com

Докай Алёна Борисовна, магистрант кафедры «Радиоэлектроника» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), dokay98@mail.ru

Сукиязов Александр Гургенович, профессор кафедры «Радиоэлектроника» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), доктор технических наук, профессор, pro_suk@mail.ru

Authors:

Ternovskiy, Leonid A., master's degree student of the Department of Radioelectronics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), ternovskojleonid@gmail.com

Dokay, Elena B., master's degree student of the Department of Radioelectronics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), dokay98@mail.ru

Sukiyazov, Aleksandr G., professor of the Department of Radioelectronics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr.Sci., professor, pro_suk@mail.ru