

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ С БЕЗДРЕБЕЗГОВОЙ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМОЙ

В. Н. Китаев<sup>1</sup>, Д. И. Сафонов<sup>2</sup>, Е. В. Бабушкина<sup>3</sup>, Р. В. Спрогис<sup>4</sup>, И. В. Родионов<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е. И. Забабахина, Снежинск, Челябинская обл., Россия  
<sup>1</sup> kb2@uniitf.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Электромагнитные поляризованные переключатели используются в технических объектах для коммутации электрических цепей их систем. Промышленностью выпускается значительная номенклатура подобных коммутирующих устройств, однако не все они могут быть применены в вышеуказанных объектах, в которых обычно имеются ограничения по массе и размерам используемых приборов и систем. Также зачастую от коммутирующих приборов требуется работа в сильноточных электрических цепях с предъявлением требований по исключению дребезга замкнутых контактов при ударных и вибрационных воздействиях. Срабатывание подобных приборов происходит при подаче напряжения на обмотки управления. Представлены результаты разработки электромагнитного поляризованного переключателя, обеспечивающего его применение в слабо и сильноточных электрических цепях систем подвижных и стационарных технических объектов. *Материалы и методы.* В электромагнитном поляризованном переключателе использованы «врубные» дублированные контакты с двухсторонним многоточечным контактированием, обеспечивающие коммутацию и пропускание как малых, так и больших токов со стабильными электрическими параметрами в течение длительных сроков эксплуатации и исключающие дребезг замкнутых контактов при ударных и вибрационных воздействиях. Разработанный электромагнитный переключатель обеспечивает: значительный момент удержания поворотного якоря при отсутствии электропитания, обеспечивающий сохранение исходного и переключенного состояний контактной системы; движущий момент, создаваемый поворотным якорем, достаточный для надежного переключения контактной системы; увеличенный угол поворота якоря, позволяющий применение надежных «врубных» контактов, обеспечивающих стабильные электрические параметры в течение длительного срока эксплуатации, в том числе и при индуктивной нагрузке; ограниченное энергопотребление; автоматическое отключение подачи напряжения на управляющие обмотки при переключении состояний. *Результаты и выводы.* Из результатов представленных в работе расчетов следует, что при и после воздействия на переключатель одиночного механического удара полусинусоидальной формы с требуемыми параметрами в продольном направлении взаимодействие в каждой паре «контактная пружина – нож переключателя», отвечающей за сохранение контактного перехода, в каждый момент времени носит «скользящий» или «склеенный» характер, т.е. дребезг контактов отсутствует. Отсутствие дребезга контактов при ударных и вибрационных воздействиях также подтверждено по результатам испытаний переключателя.

**Ключевые слова:** электромагнитный поляризованный переключатель, магнитная система, контактная система, бездребезговые контакты, надежность

**Для цитирования:** Китаев В. Н., Сафонов Д. И., Бабушкина Е. В., Спрогис Р. В., Родионов И. В. Электромагнитный поляризованный переключатель с бездребезговой контактной системой // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 1. С. 98–107. doi: 10.21685/2307-4205-2024-1-11

## ELECTROMAGNETIC POLARIZED SWITCH WITH BOUNCE-FREE CONTACT SYSTEM

V.N. Kitaev<sup>1</sup>, D.I. Safonov<sup>2</sup>, E.V. Babushkina<sup>3</sup>, R.V. Sprogis<sup>4</sup>, I.V. Rodionov<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russian Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russia  
<sup>1</sup> kb2@uniitf.ru

**Abstract.** *Background.* Electromagnetic polarized switches are used in land-based vehicles to commute the electric circuits in a system. There is a wide variety of industrially available commutating devices, but few of them are applicable for the above purpose due to weight and size limitations. Moreover, the commutating devices are often

operated in high-current circuits, requiring retaining of both initial and tailored states of high probability, and reliability under hard impacts and vibrations as well. The above devices are triggered by applying voltage to winding controls. The work provides a design of the electromagnetic polarized switch, suitable for application in both low- and high-current electric circuits of different engineering systems: aircrafts, mobile and stationary facilities. The electromagnetic polarized switch relies upon gained backup contacts of two-sided multipoint contacting to make possible commutation and cutoff of both low and high currents with stable electrical parameters during the long operation life, eliminating closed contacts chatter under significant shock and vibration effects. *Materials and methods.* Designed electromagnetic switch provides: sizeable moment of retention of the turning armature in the absence of power, that keeps initial and switched state of the contact system; driving moment, produced by the turning armature, suffices for reliable switching of the contact system; augmented angle of the armature turning, that enables use of reliable gained contacts to sustain stable electric parameters for a long operational life, including one under inductive load; power-saving consumption; automatic switch-off power on the control windings when switching state. *Results and conclusions.* It follows from the resulting calculations of work that during and after the effect of single longwise half-sinusoidal mechanical impact of designed parameters on the switch, the interaction in every couple «spring contact – bridge cutter», retaining the contact transition, is of «gliding» or «glued» type, that excludes contacts chatter. Absence of contacts chatter under impacts and vibration loads is also proved by tests.

**Keywords:** electromagnetic polarized switch, magnetic system, contact system, bounce-free contacts, reliability

**For citation:** Kitaev V.N., Safonov D.I., Babushkina E.V., Sprogis R.V., Rodionov I.V. Electromagnetic polarized switch with bounce-free contact system. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(1): 98–107. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-1-11

### Необходимость разработки

В системах автоматизации технических объектов для коммутации электрических цепей требуется использование электромагнитных поляризованных реле и переключателей. Промышленностью выпускается значительная номенклатура подобных коммутирующих устройств, однако не все они могут быть применены в вышеуказанных объектах, в которых обычно имеются ограничения по массе и размерам используемых приборов и систем. Также зачастую от коммутирующих приборов требуется работа в сильноточных электрических цепях.

В настоящей статье показана возможность создания малогабаритного электромагнитного поляризованного переключателя, обеспечивающего его применение в слабо- и сильноточных электрических цепях. Переключатель может быть создан при обеспечении его конструкцией:

- требуемого момента удержания поворотного якоря;
- требуемого движущего момента, создаваемого поворотным якорем;
- требуемого угла поворота якоря;
- ограниченного энергопотребления.

Проведенный патентно-технический поиск не позволил выявить известные технические варианты электромагнитных поляризованных переключателей и реле, позволяющие решить поставленные задачи технического задания. Для обеспечения предъявленных техническим заданием к объекту разработки требований следует создать новые технические решения как составных частей, так и всего объекта.

Были разработаны и защищены патентами РФ конструкции электромагнитных поляризованных переключателей [1–4], а также конструкция малогабаритной вибро- и ударостойкой контактной системы, обеспечивающей коммутацию слаботочных и сильноточных электрических цепей [5]. Пути решения конструкторских задач при создании электромеханического поляризованного переключателя представлены в ранее опубликованных статьях [6–7]. В ходе выполнения разработки были выбраны технические решения переключателя [3, 4] для использования в КД. По результатам испытаний лабораторных образцов для дальнейшей разработки принята конструкция с окончательным техническим решением [3].

### Конструкция

Конструкция разработанного электромагнитного поляризованного переключателя иллюстрируется рис. 1–4.

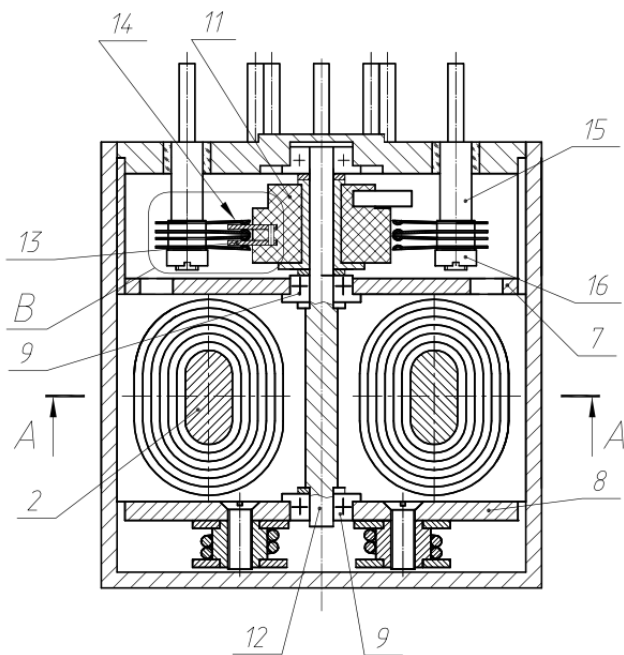


Рис. 1. Продольный разрез

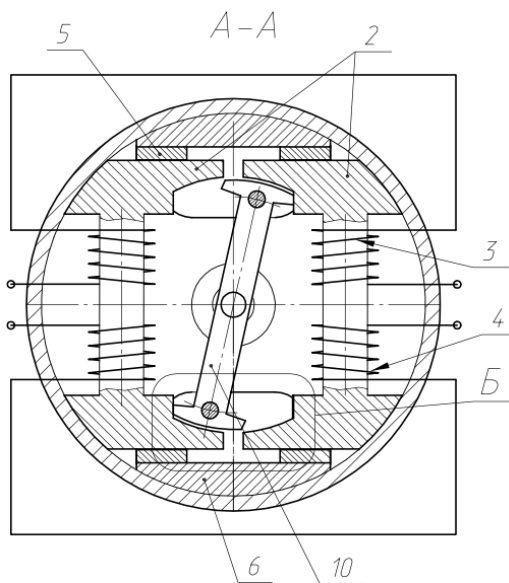


Рис. 2. Конструкция магнитной системы

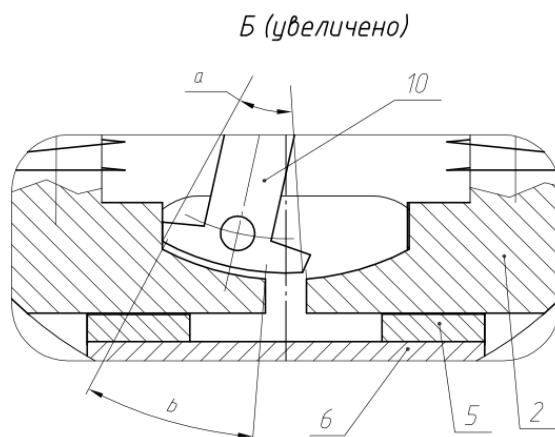


Рис. 3. Взаимодействие якоря с полюсами магнитопроводов

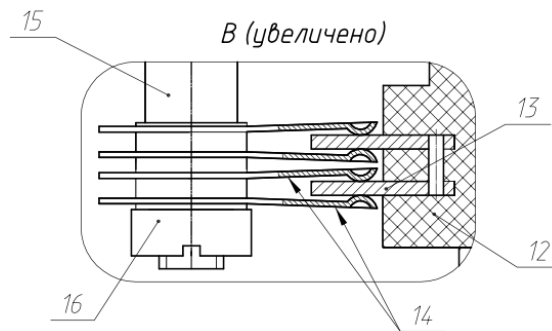


Рис. 4. Конструкция спаренных контактов

Электромагнитный поляризованный переключатель содержит кожух *1* из немагнитного металла, изолирующий внутренний объем переключателя. В кожухе *1* установлены взаимодействующие магнитная и контактная системы. Магнитная система состоит из двух симметрично расположенных магнитопроводов *2*, на которых выполнено по две обмотки – рабочая *3* и отбойная *4*. Магнитопроводы *2* выполнены из магнитомягкого сплава с высокой индукцией насыщения. Части рабочей *3* и отбойной *4* обмоток, размещенные на разных магнитопроводах *2*, соединены попарно последовательно, при этом конец части обмотки на первом магнитопроводе *2* соединен с концом части обмотки на втором. На каждом торце магнитопроводов *2* закреплены постоянные высококоэрцитивные редкоземельные магниты *5*, намагниченные вдоль короткой стороны и соединенные с внешней стороны с дополнительными магнитопроводами *6*, обеспечивающими замкнутую магнитную цепь. Дополнительные магнитопроводы *6* выполнены из магнитомягкого сплава с высокой индукцией насыщения.

К магнитопроводам *2* прикреплены платы *7* и *8*, в центральных отверстиях которых на подшипниках *9* установлен симметричный якорь *10*. Платы *7* и *8* выполнены из немагнитного металла, а якорь *10* – из магнитомягкого сплава с высокой индукцией насыщения.

Контактная система состоит из переключателя *11*, закрепленного на оси *12* якоря *10*, с токопроводящими ножами *13*, которые переключают пары «врубных» контактов *14*, закрепленных на токовыводах *15* гайками *16*.

### Работа электромагнитного поляризованного переключателя

При отсутствии напряжения на рабочей *3* и отбойной *4* обмотках якорь *10* притянут к полюсам магнитопроводов *2*, обеспечивая исходное или сработавшее состояние электромагнитного поляризованного переключателя.

При подаче напряжения на последовательно соединенные части рабочей обмотки *3*, в последних реализуются магнитные потоки, вызывающие подавление магнитных потоков соответствующих удерживающих постоянных магнитов *5* и усиление магнитных потоков других, симметрично расположенных относительно первых, постоянных магнитов *5* и, как следствие, – поворот против хода часовой стрелки (рис. 2) якоря *10* к противоположным полюсам магнитопроводов *2*, в результате которого переключатель *11* переключает «врубные» контакты *14*. При снятии напряжения с рабочей обмотки *3* электромагнитный поляризованный переключатель сохраняет свое переключенное состояние.

Аналогично при подаче напряжения на последовательно соединенные части отбойной обмотки *4* в последних реализуются магнитные потоки, вызывающие подавление магнитных потоков соответствующих удерживающих постоянных магнитов *5* и усиление магнитных потоков других, симметрично расположенных относительно первых, постоянных магнитов *5* и, как следствие, – поворот уже по ходу часовой стрелки якоря *10* к противоположным полюсам магнитопроводов *2*, в результате которого переключатель *12* переключает «врубные» контакты *14* в исходное состояние. При снятии напряжения с отбойной обмотки *4* электромагнитный поляризованный переключатель также сохраняет это состояние.

В электромагнитном поляризованном переключателе поворотный якорь *10* взаимодействует с полюсами магнитопроводов *2* по значительной площади через цилиндрический зазор и дополнительно (в основном на конечных углах поворота) через угловой зазор, при этом внешняя цилиндрическая поверхность якоря *10* выполнена с угловой шириной *a*, превышающей угловую ширину внутренней цилиндрической поверхности магнитопроводов *2* (рис. 3).

Установка на токовыводах 15 дополнительной пары встречно поджатых упругих контактов 14, имеющих разные (не кратные основным упругим контактам) собственные частоты, позволяет уменьшить вероятность кратковременных размыканий (дребезга) замкнутых контактов при значительных ударных и вибрационных воздействиях (рис. 3).

В электромагнитном поляризованном переключателе использованы «врубные» дублированные контакты с двухсторонним многоточечным контактированием, обеспечивающие коммутацию и пропускание как малых, так и больших токов со стабильными электрическими параметрами в течение длительных сроков эксплуатации и исключающие дребезг замкнутых контактов при значительных ударных и вибрационных воздействиях.

Подробнее с конструкцией электромагнитного переключателя можно ознакомиться по описанию патента на его техническое решение [3].

### Оценка дребезга контактов переключателя при действии ударной нагрузки

Исключение дребезга замкнутых контактов переключателя достигается их конструкцией. На каждом токовыводе расположена контактная группа, состоящая из двух пар контактных пружин, разделенных между собой прокладкой. Между пружинами, входящими в состав одной пары, расположен упор. Внешний вид токовывода с контактной группой в незатянутом состоянии показан на рис. 5.

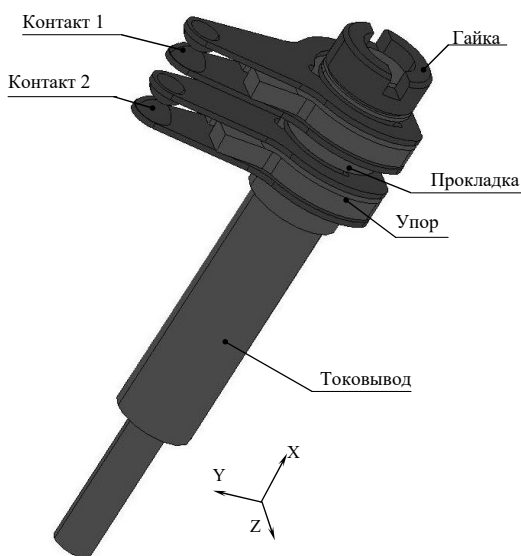


Рис. 5. Токовывод с контактной группой

Упругие контакты 1, 2 выполнены из материала с высокими упругими характеристиками и электропроводностью и отличаются между собой формой выреза. Вид пружин показан на рис. 6.

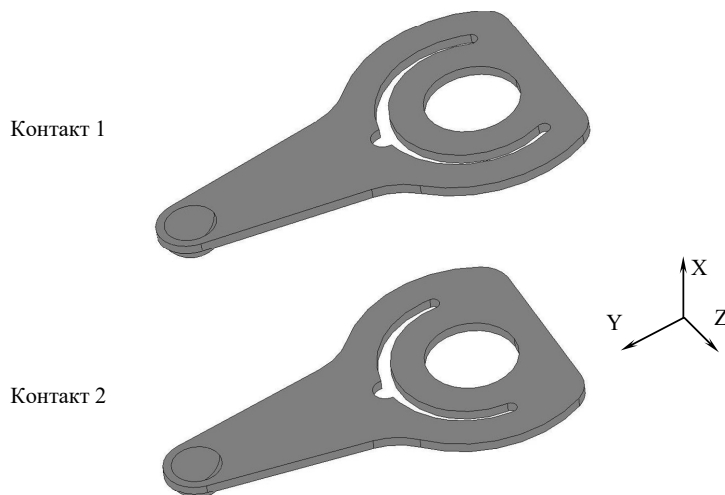


Рис. 6. Внешний вид контактов

Расчет собственных частот упругих контактов проведен численным конечно-элементным методом.

Первая собственная частота контакта 1 составляет 2032 Гц, соответствующая ей форма колебаний приведена на рис. 7.

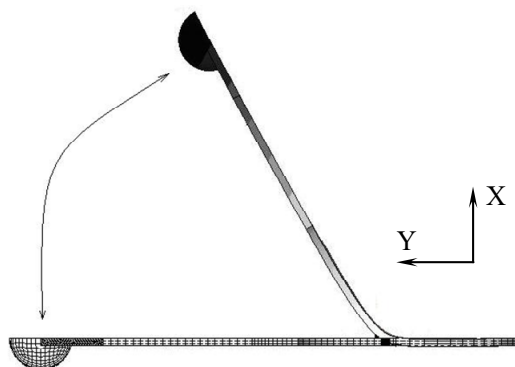


Рис. 7. Первая форма колебаний контакта 1

Первая собственная частота контакта 2 составляет 2654 Гц, соответствующая ей форма колебаний аналогична форме колебаний контакта 1.

Расчет напряженно-деформированного состояния контактной группы проведен численным конечно-элементным методом с учетом затяжки гайки и взаимодействия пружин с ножами переключателя.

Амплитудно-временные зависимости ускорений, реализующихся на местах крепления токовыводов в плате и ножей в переключателе, для случая воздействия на прибор одиночного механического удара, полусинусоидальной формы с амплитудой ускорения  $A_x = 1000$  условных единиц и длительностью  $\tau = 1$  условная временная единица в наиболее критичном для переключателя продольном направлении (X), показаны на рис. 8 и являются исходными данными для расчета напряженно-деформированного состояния контактной группы и оценки дребезга контактов.

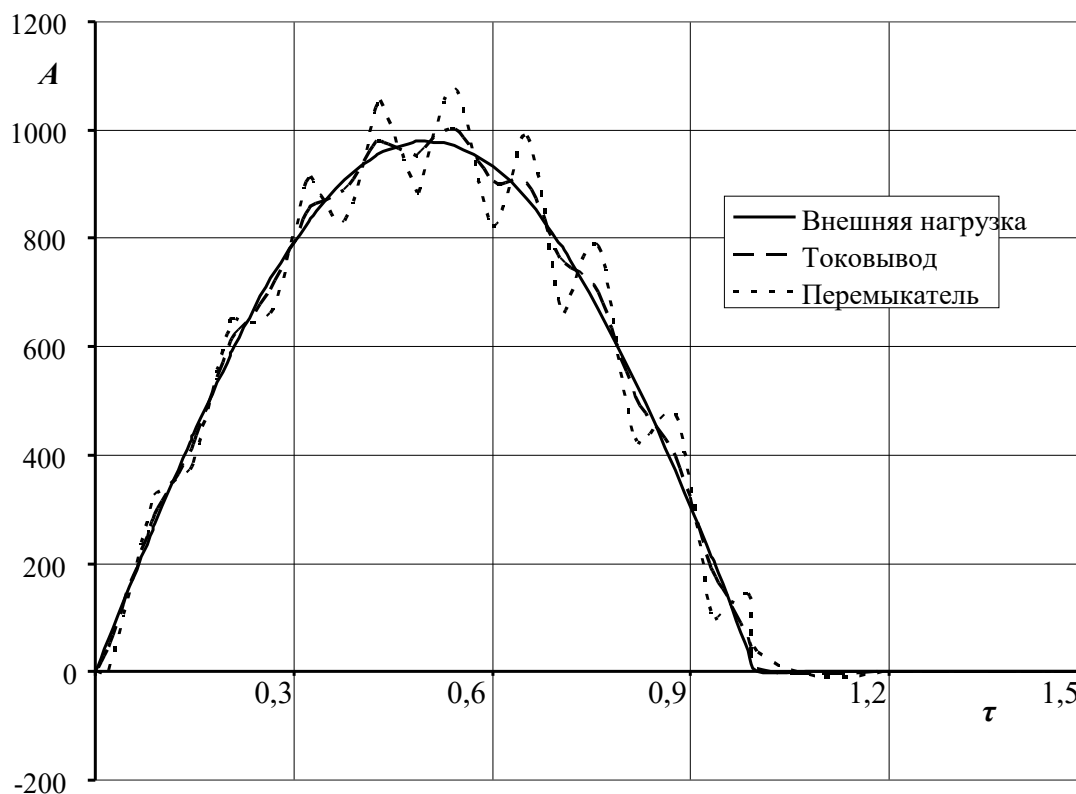


Рис. 8. Амплитудно-временные зависимости ускорений



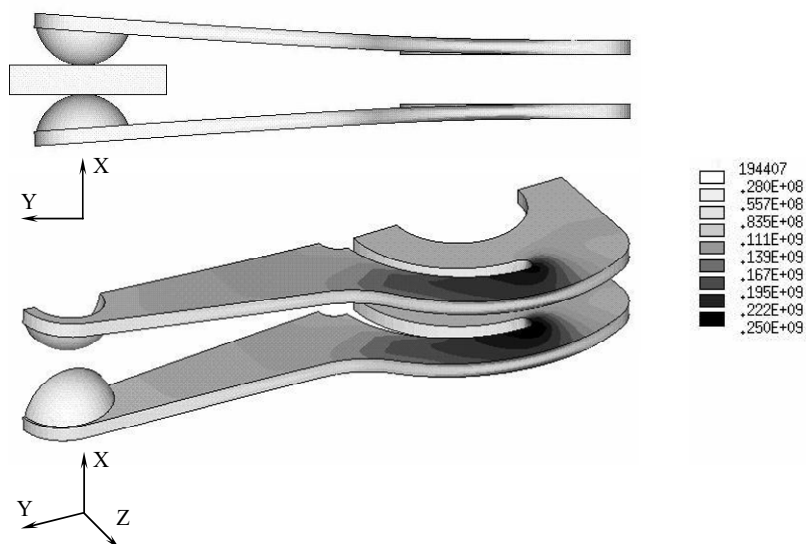


Рис. 10. Распределение эквивалентных напряжений в контакте 2, Па

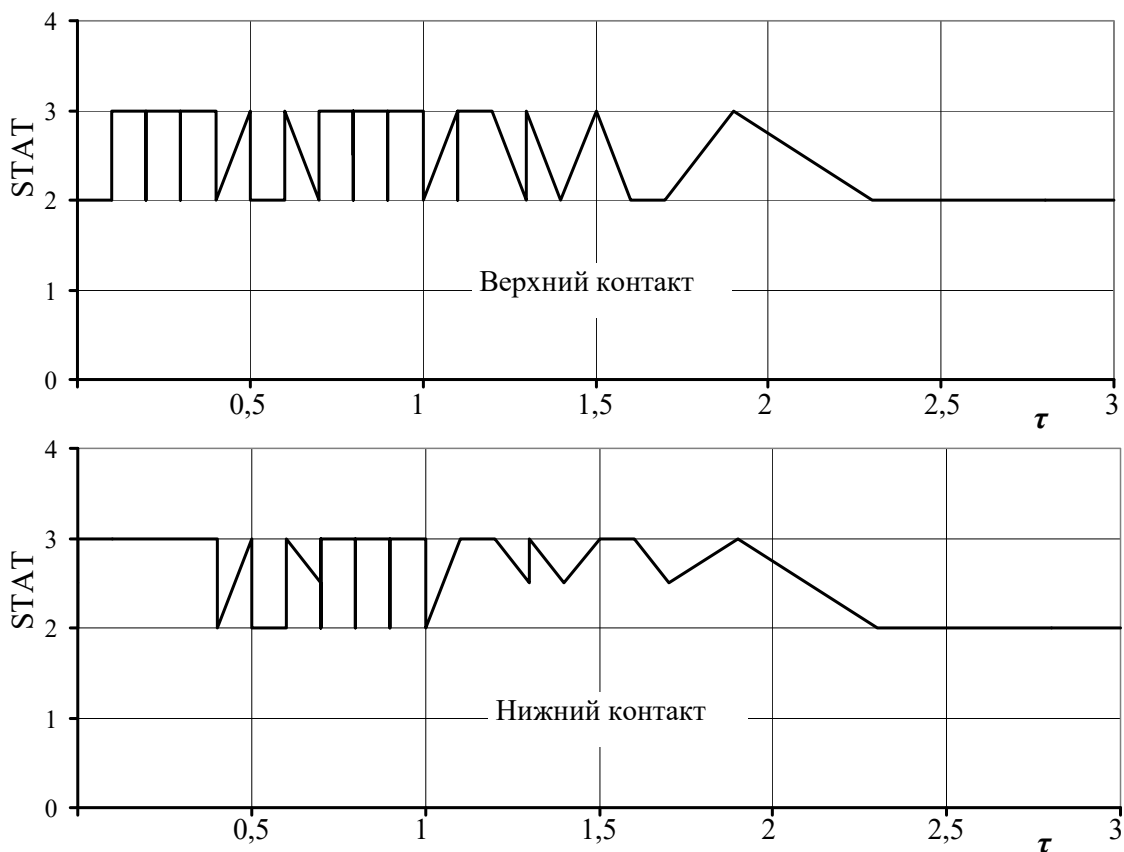


Рис. 11. Характер взаимодействия между контактами I и ножом переключателя

### Список литературы

1. Патент РФ 2529642, H01H 51/00. Электромагнитный поляризованный переключатель / Китаев В. Н., Сафонов Д. И., Бабушкина Е. В. № 2013103124/07 ; заявл. 23.01.2013 ; опубл. 27.09.2014.
2. Патент РФ 2552524, H01H 51/22. Электромагнитный поляризованный переключатель / Китаев В. Н., Сафонов Д. И., Бабушкина Е. В. № 2013131673/07 ; заявл. 09.07.2013 ; опубл. 10.06.2015.
3. Патент РФ 2599625, H01H 51/22. Электромагнитный поляризованный переключатель / Китаев В. Н., Сафонов Д. И., Бабушкина Е. В. № 2015124070/07 ; заявл. 19.06.2015 ; опубл. 10.10.2016.
4. Патент РФ 2604205, H01H 51/00. Электромагнитный поляризованный переключатель / Китаев В. Н., Сафонов Д. И., Бабушкина Е. В. № 2015143496/07 ; заявл. 12.10.2015 ; опубл. 10.12.2016.



5. Патент РФ 2552349, H01H1/42. Контактная система / Китаев В. Н., Китаева Е. Н., Новоселова Н. В. № 2013112091/07 ; заявл. 18.03.2013 ; опубл. 10.06.2015.
6. Китаев В. Н. Оптимальные пути решения конструкторских задач на примере создания надежного электро-механического поляризованного переключателя // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 113–116.
7. Китаев В. Н. Конструкция контактной системы электромеханического // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 110–111.

### References

1. Patent RF 2529642, H01H 51/00. Electromagnetic polarized switch. Kitaev V.N., Safonov D.I., Babushkina E.V.; appl. 23.01.2013; publ. 27.09.2014. (In Russ.)
2. Patent RF 2552524, H01H 51/22. Electromagnetic polarized switch. Kitaev V.N., Safonov D.I., Babushkina E.V.; appl. 09.07.2013; publ. 10.06.2015. (In Russ.)
3. Patent RF 2599625, H01H 51/22. Electromagnetic polarized switch. Kitaev V.N., Safonov D.I., Babushkina E.V.; appl. 19.06.2015; publ. 10.10.2016. (In Russ.)
4. Patent RF 2604205, H01H 51/00. Electromagnetic polarized switch. Kitaev V.N., Safonov D.I., Babushkina E.V.; appl. 12.10.2015; publ. 10.12.2016. (In Russ.)
5. Patent RF 2552349, H01H1/42. Contact system. Kitaev V.N., Kitaeva E.N., Novoselova N.V.; appl. 18.03.2013; publ. 10.06.2015. (In Russ.)
6. Kitaev V.N. Optimal ways to solve design problems by the example of creating a reliable electromechanical polarized switch. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2015;2:113–116. (In Russ.)
7. Kitaev V.N. Design of the electromechanical contact system. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2015;2:110–111. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Владимир Николаевич Китаев

начальник конструкторского отдела,  
 Российский федеральный ядерный центр –  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт технической физики  
 имени академика Е. И. Забабахина  
 (Россия, Челябинская обл.,  
 г. Снежинск, ул. Васильева, 13)  
 E-mail: kb2@vniitf.ru

#### Дмитрий Игоревич Сафонов

инженер,  
 Российский федеральный ядерный центр –  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт технической физики  
 имени академика Е. И. Забабахина  
 (Россия, Челябинская обл.,  
 г. Снежинск, ул. Васильева, 13)  
 E-mail: kb2@vniitf.ru

#### Елена Викторовна Бабушкина

инженер,  
 Российский федеральный ядерный центр –  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт технической физики  
 имени академика Е. И. Забабахина  
 (Россия, Челябинская обл.,  
 г. Снежинск, ул. Васильева, 13)  
 E-mail: kb2@vniitf.ru

#### Vladimir N. Kitaev

Head of the design department,  
 Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin  
 All-Russian Research Institute of Technical Physics  
 (13 Vassilyev street, Snezhinsk,  
 Chelyabinsk region, Russia)

#### Dmitry I. Safonov

Engineer,  
 Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin  
 All-Russian Research Institute of Technical Physics  
 (13 Vassilyev street, Snezhinsk,  
 Chelyabinsk region, Russia)

#### Elena V. Babushkina

Engineer,  
 Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin  
 All-Russian Research Institute of Technical Physics  
 (13 Vassilyev street, Snezhinsk,  
 Chelyabinsk region, Russia)

**Роман Валерьевич Спрогис**

инженер,  
Российский федеральный ядерный центр –  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт технической физики  
имени академика Е. И. Забабахина  
(Россия, Челябинская обл.,  
г. Снежинск, ул. Васильева, 13)  
E-mail: kb2@vniitf.ru

**Иван Вячеславович Родионов**

инженер,  
Российский федеральный ядерный центр –  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт технической физики  
имени академика Е. И. Забабахина  
(Россия, Челябинская обл.,  
г. Снежинск, ул. Васильева, 13)  
E-mail: kb2@vniitf.ru

**Roman V. Sprogis**

Engineer,  
Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin  
All-Russian Research Institute of Technical Physics  
(13 Vassyliev street, Snezhinsk,  
Chelyabinsk region, Russia)

**Ivan V. Rodionov**

Engineer,  
Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin  
All-Russian Research Institute of Technical Physics  
(13 Vassyliev street, Snezhinsk,  
Chelyabinsk region, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 15.12.2023**

**Поступила после рецензирования/Revised 25.12.2023**

**Принята к публикации/Accepted 20.01.2024**