



Kontaktsiz qurilmalardan foydalangan holda elektr ta'minoti tizimlarining elektr energiyasi sifatini taminlash

Erkin X. Abduraimov

PhD, dots., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; abduraimoverkin69@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8864-936X>

Dolzarbli: so'nggi yillarda O'zbekistonda energetikaga zamonaviy energiya tejaydigan texnologiyalarni joriy etish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Ishlab chiqarish jarayonlarini keng avtomatlashtirish, sanoatda avtomatik boshqaruv tizimlarini joriy etish munosabati bilan elektr jihozlarining ishonchligi, tezligi va chidamliligiga qo'yiladigan talablar sezilarli darajada oshdi va shu bilan birga ish paytida uskunalarga texnik xizmat ko'rsatish minimallashtirilishi kerak. Kontaktsiz elektr jihozlari asosan ushbu talablarga javob beradi. O'zgaruvchan tok zanjirlarining elektr jihozlari elementlari sifatida ishonchli va tejamkor ishga tushirish va kommutatsiyalash moslamalarini yaratish muammosi elektr uskunalarining uzluksiz ishlashini ta'minlash uchun katta ahamiyatga ega. Yarimo'tkazgichli kontaktsiz kommutatsiya moslamalarini turli sohalarda, qiyin iqlim sharoitida elektr ta'minoti tizimlarini avtomatik boshqarish sohasida qo'llash dolzarblidir.

Maqsad: yuqori ishonchligi va tezligi bilan ajralib turadigan, sezgir tizim va kuchli ijro etuvchi organi birlashtirgan yarimo'tkazgichli kontaktsiz tiristor kuchlanish relesi yordamida elektr ta'minoti tizimlarining sifati va ishonchligini avtomatik boshqarish uchun kontaktsiz kommutatsiya moslamasini ishlab chiqish va tadqiq qilish.

Usullari: taklif etilayotgan qurilmaning sxemasi ishlash prinsipi va eksperimental tavsiflari asosida keltirilgan qurilmadan elektr energiyasi istemolchilarida nominal kuchlanishni ushlab turish uchun kirish kuchlanishi o'zgaranda volt qo'shuvchi transformator chulg'amini avtomatik ravishda qo'shish yoki ajratish, shuningdek, reaktiv quvvatni kompensatsiya qiluvchi kondensator batareyalarini yoqish yoki o'chirishda reaktiv quvvat energiyasini avtomatik rostlovchi qurilma sifatida foydalanish asoslandi.

Natijalar: ushbu o'rganilgan sxemalardan foydalanib, ular asosida elektr energiyasi istemolchilarida nominal kuchlanishni ushlab turish uchun kirish kuchlanishi o'zgaranda volt qo'shuvchi transformator chulg'amini avtomatik ravishda qo'shish yoki ajratish, shuningdek, reaktiv quvvatni kompensatsiya qiluvchi kondensator batareyalarini yoqish yoki o'chirishda reaktiv quvvat energiyasini avtomatik rostlovchi qurilma sifatida foydalanish taklif etildi.

Kalit so'zlar: tiristorli kuchlanish relesi, kontaktsiz kommutatsiya moslamasi, volt qo'shuvchi transformator, nominal kuchlanishi, reaktiv quvvat kompensatsiyasi.

For citation: Abduraimov E.Kh.,

Ensuring the quality of electricity in power supply systems using contactless devices. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 3, pp. 189-194.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16936103>

Received: 10.02.2025

Revised: 12.05.2025

Accepted: 18.07.2025

Published: 23.08.2025

Copyright: © Erkin Kh. Abduraimov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Обеспечение качества электроэнергии систем электроснабжения с применением бесконтактных устройств

Эркин Х. Абдураимов

PhD, доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; abduraimoverkin69@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-8864-936X>

Актуальность: в последние годы в Узбекистане ведется работа по внедрению в энергетику современных энергосберегающих технологий. В связи с широкой автоматизацией производственных процессов, внедрением автоматических систем управления в промышленности требования к надежности, быстродействию и долговечности электрооборудования значительно возросли, и в то же время техническое обслуживание оборудования в процессе эксплуатации должно быть сведено к минимуму. Этим требованиям в основном отвечают бесконтактные электроприборы. Проблема создания надежных и экономичных переключающих устройств как элементов электрооборудования цепей переменного тока имеет большое значение для обеспечения бесперебойной работы, точности и быстродействия энергетических установок. Перспективно применение полупроводниковых бесконтактных коммутационных устройств в различных отраслях промышленности, в сложных климатических условиях в области автоматического управления систем электроснабжения.

Цель: разработка и исследование бесконтактного переключающего устройства для автоматического управления качеством и надежностью работы систем электроснабжения, с применением полупроводниковых бесконтактных тиристорных реле напряжения, отличающийся высокой надежностью и быстродействием, совмещающих в себе чувствительную систему и мощный исполнительный орган,

Методы: теоретически и экспериментально исследованы принцип действия и характеристики предлагаемого устройства, которое используется в качестве устройства автоматического регулирования реактивной мощности путем автоматического включения или отключения батарей конденсаторов, компенсирующих реактивную мощность, а также включения или отключения цепи вольтодобавочного трансформатора при изменении входного напряжения, с целью поддержания номинального напряжения у потребителей.

Результаты: с использованием исследованных схем установлено, что возможна разработка устройства



автоматического регулирования реактивной мощности путем автоматического включения или отключения батарей конденсаторов, компенсирующих реактивную мощность, а также включения или отключения цепи вольтодобавочного трансформатора при изменении входного напряжения, с целью поддержания номинального напряжения у электропотребителей.

Ключевые слова: тиристорный реле напряжения, бесконтактное коммутирующее устройство, вольтодобавочный трансформатор, номинальное напряжение, компенсация реактивной мощности.

Ensuring the quality of electricity in power supply systems using contactless devices

Erkin Kh. Abduraimov

PhD., assoc.prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; abduraimoverkin69@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8864-936X>

Relevance: in recent years, Uzbekistan has been working to introduce modern energy-saving technologies into the energy sector. Due to the widespread automation of production processes and the introduction of automatic control systems in industry, the requirements for reliability, speed and durability of electrical equipment have increased significantly, and at the same time, maintenance of equipment during operation should be minimized. Contactless electrical appliances generally meet these requirements. The problem of creating reliable and economical starting and switching devices as elements of electrical equipment for alternating current circuits is of great importance for ensuring uninterrupted operation, accuracy and speed of power plants. The use of semiconductor contactless switching devices in various industries and in difficult climatic conditions in the field of automatic control of power supply systems is promising.

Aim: development and research of a contactless switching device for automatic quality control and reliability of power supply systems using semiconductor contactless thyristor voltage relays, characterized by high reliability and high speed, combining a sensitive system and a powerful executive body.

Methods: the principle of operation and characteristics of the proposed device, which is used as an automatic reactive power control device by automatically turning on or off capacitor banks that compensate for reactive power, as well as turning on or off the supply transformer circuit when the input voltage changes, in order to maintain the rated mains voltage. Electricity consumers have been theoretically and experimentally investigated.

Results: using the studied circuits, it has been established that it is possible to develop a device for automatic reactive power regulation by automatically switching on or off capacitor banks that compensate for reactive power, as well as switching on or off the supply transformer circuit when the input voltage changes, in order to maintain the rated voltage of electric consumers.

Keywords: thyristor voltage relay, contactless switching device, voltage-add transformer, rated voltage, reactive power compensation.

1. Введение (Introduction)

Электроэнергия как особый вид продукции, обладает различными показателями качества, по которым судят о ее пригодности в производственных условиях. Одним из важных показателей качества является стабильность действующего значения напряжения. Используя специальные технические средства регулирования, трансформаторов с регулированием под нагрузкой или вольтодобавочных трансформаторов, можно добиться улучшения качества напряжения у потребителей. При этом возникает необходимость изменения числа витков первичных обмоток трансформаторов. Нами для этой цели рекомендуется использовать силовые бесконтактные устройства, которые управляются с помощью бесконтактных реле напряжения. Схемы бесконтактных реле позволяют осуществить коммутацию силового тиристора при улучшенных пусковых режимах, а именно при прохождении синусоидального тока через нуль [1-2].

Для систем электроснабжения (СЭС) промышленных объектов особо важное значение имеет создание высоковольтной БКПА переменного напряжения 6-10 кВ, т.к. на этой ступени напряжения включены многочисленные ответственные потребители и, прежде всего, мощная двигательная нагрузка. Указанная аппаратура в сочетании с аппаратурой традиционного электромеханического исполнения позволяет решить многочисленные проблемы электроснабжения промышленных объектов, поднять технический уровень современных систем электроснабжения на качественно новую ступень. Безтоковая коммутация, синхронное управление, высокое быстродействие и практически неограниченный ресурс открывают принципиально новые возможности в технике электроснабжения [2-3].

Проблема создания надежных и экономичных регулирующих и коммутирующих устройств и аппаратов как элементов электрооборудования для цепей переменного тока имеет весьма большое значение для обеспечения бесперебойности, четкости и быстродействия работы энергетических устройств.

В широко применяемых для данных целей контактных устройствах и аппаратах имеются



следующие недостатки:

- дугообразование на контактах в момент коммутации и необходимость соответствующих объемов для дугогашения;
- малая электрическая и механическая износостойкость контактов, особенно при загрязненном воздухе и повышенной влажности;
- большая инерционность системы при включении и выключении;
- вибрация и подгорание контактов от пусковых токов;
- ограниченная частота включений из-за ионизации воздуха в районе разрыва контактов и их нагрева;
- ограниченный срок службы и относительно низкая надежность;
- недостаточная вибро - и ударостойкость;
- трудность выполнения при повышенных напряжениях, токах и частоте сети;
- значительные мощности, потребляемые цепями управления;
- наличие эксплуатационных расходов по обслуживанию;
- перенапряжения в момент включения;
- неодновременность включения по всем фазам;
- определенное положение аппарата, определяемое его конструкцией;
- невозможность сверхбыстрого отключения при попадании человека под напряжение;
- наличие шума.

Указанные недостатки являются сдерживающими факторами в повышении производительности объектов, укомплектованных контактным коммутирующим и регулирующим электрооборудованием.

В бесконтактном полупроводниковом электрооборудовании на тиристорах исключены отмеченные недостатки контактного электрооборудования и имеется ряд существенных преимуществ:

- быстродействие системы и хорошая управляемость;
- практическая безинерционность;
- возможность ограничения динамической перегрузки исполнительных механизмов в момент включения (безударный пуск);
- большая избирательность в защитах;
- повышенные срок службы и надежность;
- технологичность конструкции, отсутствие требований точной сборки;
- практически неограниченная частота включений;
- возможность использования при частотах до 1000 Гц;
- возможность ограничения тока короткого замыкания при применении принудительной коммутации;
- возможность снижения перенапряжений в момент коммутации нагрузки;
- возможность использования однотипных устройств в сетях различного напряжения путем замены тиристоров на тиристоры другого класса [2,3].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Рассмотрим схему бесконтактного переключающего устройства на базе трансформаторного бесконтактного реле напряжения. Выполнение бесконтактного тиристорного устройства для включения и отключения обмотки вольтодобавочного трансформатора по указанной схеме обеспечивает лучшие весогабаритные показатели и высокую надежность (рис.1).

Включение обмотки вольтодобавочного трансформатора в сеть осуществляется посредством диодного моста VD , в диагональ диодного моста включен управляемый силовой тиристор $VT4$. К управляющему электроду силового тиристора сигналы управления подаются через резистор $R4$ с обкладок конденсатора $C1$ (I-реле), который в свою очередь подключается к вторичной обмотке маломощного трансформатора через два маломощных управляемых тиристора $VT1$, $VT2$.

Сигнал управления для тиристора $VT1$ подается из вторичной обмотки маломощного трансформатора через последовательно соединенный $R3$. Сигнал управления для тиристора $VT2$ подается из вторичной обмотки маломощного трансформатора через последовательно соединенный $R1$, $R2$ и диод $VD2$, а также через резистор $R5$, так как тиристор $VT3$ закрыт. Отключение обмотки вольтодобавочного трансформатора от сети осуществляется за счет действия второго реле напряжения (II), содержащий ограничительный резистор $R4$ через которого подается сигнал к управляющему электроду тиристора $VT3$. Открытие тиристора $VT3$ приведет к отключению сигнала управления тиристора $VT2$ (I-реле), тем самым закрывается $VT2$ и это приведет к отключению управляющего сигнала силового тиристора $VT4$. Остальная часть схемы реле (II) выполняется аналогично, как и для реле (I). Переменные резисторы $R2$ в обоих реле служат для

регулирования уставки срабатывания реле [4-9].

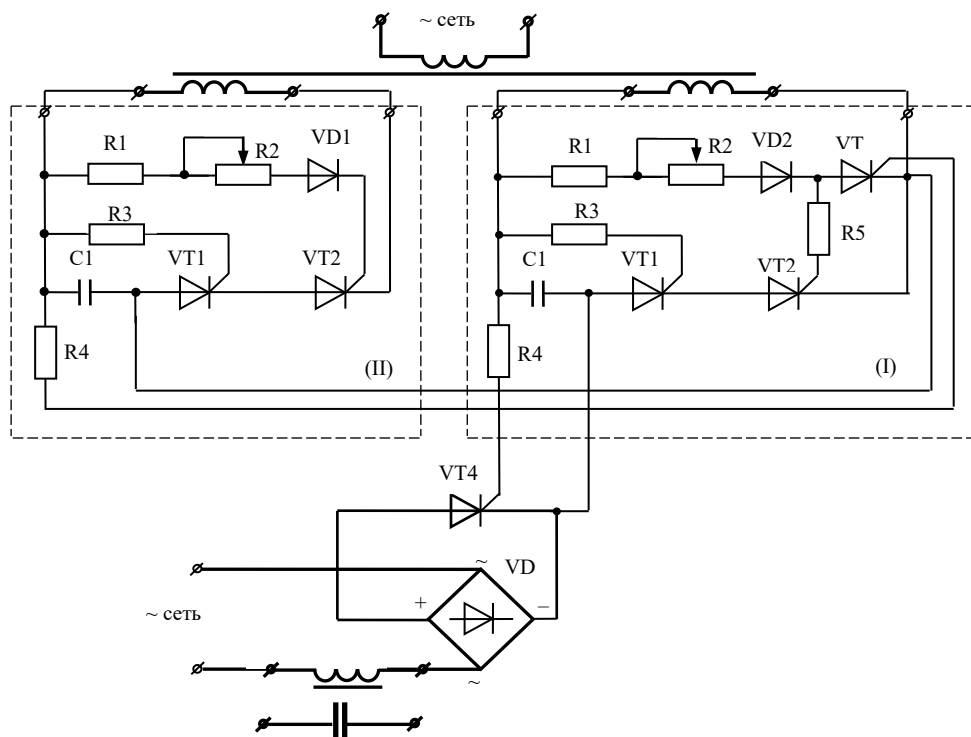


Рис. 1. Схема автоматического бесконтактного переключающего устройства

Fig. 1. Circuit diagram of an automatic contactless switching device

Результаты и обсуждение (Results and discussion)

На рис.2. приведена характеристика «вход-выход» бесконтактного автоматического переключающего устройства.

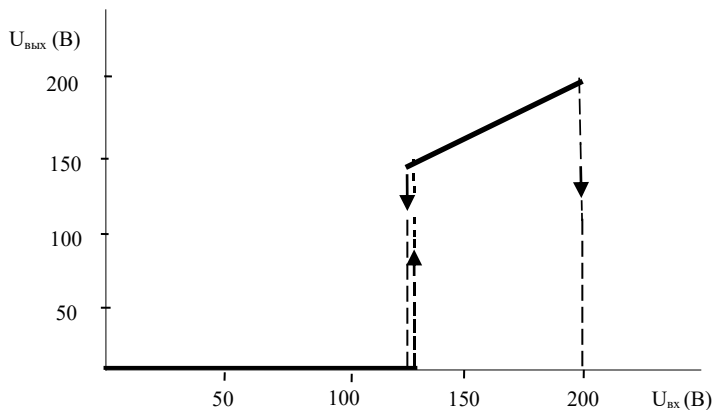


Рис.2. Характеристика «вход-выход»

Fig.2. Input-output characteristic

Как видно из характеристики экспериментальное бесконтактное переключающее устройство сработало при напряжении 130 вольт и при достижении входного напряжения 200 вольт оно отключилась от сети [10-15].

Используя, Ранее описанное переключающее устройство можно использовать для включения и отключения конденсаторной батареи, то есть при создании автоматического регулятора мощности конденсаторных батарей.

Для искусственной компенсации реактивной мощности, называемой иногда «поперечной» компенсацией, применяются специальные компенсирующие устройства, являющиеся источниками реактивной энергии ёмкостного характера.

Основным нормативным показателем, характеризующим потребляемую промышленным предприятием реактивную мощность, был средневзвешенный коэффициент мощности.



Средневзвешенный коэффициент мощности за время t

$$\cos \varphi = \frac{W_{at}}{\sqrt{W_{at}^2 + W_{pt}^2}}$$

где W_{at} и W_{pt} - соответственно расход активной и реактивной электроэнергии за рассматриваемый промежуток времени.

Требования электроснабжающей организации были таковы, что на вводах предприятия значение $\cos \varphi_{ср,вз}$ должно было, находится в пределах 0,92-0,95.

Однако по компенсации реактивной мощности предприятия не были заинтересованы в отключении установленных КУ в часы минимальных нагрузок. В связи с этим в питающей энергосистеме часто наблюдалась перекомпенсация реактивной мощности. Перекомпенсация - это избыточная реактивная мощность, вырабатываемая компенсирующей установкой в периоды понижения нагрузок (ночью, в обеденные перерывы, в нерабочие и праздничные дни и т.п.) и передаваемая в сеть энергосистемы. Результатом перекомпенсации являлось увеличение суммарных потерь мощности и энергии в электрических сетях и усложнение, и удорожание устройств регулирования напряжения.

Результатом перекомпенсации являлось увеличение суммарных потерь мощности и энергии в электрических сетях и усложнение, и удорожание устройств регулирования напряжения.

Выполнение бесконтактного тиристорного устройства для включения и отключения конденсаторных батарей по указанной схеме, показанной на рис.1 обеспечивает лучшие весогабаритные показатели и высокую надежность.

Экспериментальные испытания показали, что данное бесконтактное тиристорное устройство можно использовать и для включения и отключения конденсаторных батарей.

3. Заключение (Conclusion)

Таким образом, предлагается полупроводниковое бесконтактное переключающее устройство для управления ответвлениями силовых и вольтодобавочных трансформаторов для автоматического управления одним из показателей качества как поддержание номинального напряжения непосредственно у потребителей электроэнергии в системах электроснабжения. Также рекомендуется использование устройства для надёжного автоматического управления бесконтактной коммутации и регулирования параметров реактивных элементов (емкости, реакторы), источников реактивной мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. – Ташкент: Фан ва технология. 2009. - 463 с.
2. Поскробко А.А., Братолобов В.Б. Бесконтактные коммутирующие и регулирующие полупроводниковые устройства на переменном токе // Москва. Энергия, 1998, 192 стр.
3. Кадиров Т.М., Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х. Бесконтактное тиристорное устройство для включения и отключения обмотки вольтодобавочного трансформатора. Патент № IAP 03975. УзР. давлат патент идораси, - Тошкент, 2009, - № 7 – С.41-42.
4. Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х. Силовые бесконтактные коммутирующие устройства. Международная конференция «INNOVATION– 2017», Сборник научных статей. - Т.: 2017, - Стр.219-220
5. E Kh Abduraimov and others, *Theoretical research and development optoelectronic communication devices*, Journal of Physics: Conf.: Ser. **1515** 022055 (2020). doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022055
6. Erkin Abduraimov, *Research of the trigger effect in diode-thyristor circuits of contactless relay devices*. E3S Web of Conferences 216, **01105** (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601105>
7. E Kh Abduraimov, D Kh Khalmanov, *Development of contactless solid state voltage relay*, E3S Web of Conferences 216, **01106**, (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601106>
8. E Abduraimov and others *Control of quality and modes of power supply systems using contactless devices*, E3S Web of Conf.: 289, **07026** (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907026>
9. E Kh Abduraimov et al *Analysis of dynamic circuits of contactless switching devices*. Journal of Physics: Conference Series **2094** 022072 (2021) IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2094/2/022072
10. E Kh Abduraimov *Automatic control of reactive power compensation using a solid state voltage relays*. J. Phys.: Conf. Ser. **2373** 072009 (2022) IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2373/7/072009



11. E Kh Abduraimov and D Kh Khalmanov, *Invention of a contactless voltage relay with an adjustable reset ratio*. J. Phys.: Conf. Ser. **2373** 072010 (2022) IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2373/7/072010 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2373/7/072010>
12. Erkin Abduraimov and others. *Development of contactless device for maintaining the rated voltage of power supply systems*. Cite as: AIP Conference Proceedings **2552**, 040012 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0116235>
13. Erkin Abduraimov, *Efficient protection and control of electric drives using solid state circuits*. E3S Web of Conferences **384**, 01051 (2023); <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401051>
14. Erkin Abduraimov, Baxtiyor Nurmatov, *Application of numerical and graphical methods of analysis in nonlinear resistive circuits of electronic devices*, E3S Web of Conferences **384**, 01052 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401052>
15. Erkin Abduraimov and others. *Application of semiconductor contactless devices to improve the quality and reliability of power supply systems*. Cite as: AIP Conference Proceedings **3152**, 040023 (2024); <https://doi.org/10.1063/5.0218898>

REFERENCES

1. Allaev K.R. Electric power industry of Uzbekistan and the world. - Tashkent: Fan va technology. 2009. - 463 p.
2. Poskrobko A.A., Bratolyubov V.B. Contactless switching and regulating semiconductor devices on alternating current // Moscow. Energy, 1998, 192 p.
3. Kadirov T.M., Usmanov E.G., Abduraimov E.H. Contactless switching device for switching on and off the winding of a surge transformer. Patent No. IAP 03975. UzR. davlat idorasi patent, Toshkent, 2009, No. 7– pp.41-42.
4. Abduraimov E.H., Khalmanov D.H. Power contactless switching devices. International Conference "INNOVATION– 2017", Collection of scientific articles, vol.: 2017, pp.219-220
5. E Kh Abduraimov and others, *Theoretical research and development optoelectronic communication devices*, Journal of Physics: Conf.: Ser. **1515** 022055 (2020). doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022055
6. Erkin Abduraimov, *Research of the trigger effect in diode-thyristor circuits of contactless relay devices*. E3S Web of Conferences 216, **01105** (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601105>
7. E Kh Abduraimov, D Kh Khalmanov, *Development of contactless solid state voltage relay*, E3S Web of Conferences 216, **01106**, (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601106>
8. E Abduraimov and others *Control of quality and modes of power supply systems using contactless devices*, E3S Web of Conf.: 289, **07026** (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907026>
9. E Kh Abduraimov et al *Analysis of dynamic circuits of contactless switching devices*. Journal of Physics: Conference Series **2094** 022072 (2021) IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2094/2/022072
10. E Kh Abduraimov *Automatic control of reactive power compensation using a solid state voltage relays*. J. Phys.: Conf. Ser. **2373** 072009 (2022) IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2373/7/072009
11. E Kh Abduraimov and D Kh Khalmanov, *Invention of a contactless voltage relay with an adjustable reset ratio*. J. Phys.: Conf. Ser. **2373** 072010 (2022) IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2373/7/072010 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2373/7/072010>
12. Erkin Abduraimov and others. *Development of contactless device for maintaining the rated voltage of power supply systems*. Cite as: AIP Conference Proceedings **2552**, 040012 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0116235>
13. Erkin Abduraimov, *Efficient protection and control of electric drives using solid state circuits*. E3S Web of Conf. **384**, 01051 (2023); <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401051>
14. Erkin Abduraimov, Baxtiyor Nurmatov, *Application of numerical and graphical methods of analysis in nonlinear resistive circuits of electronic devices*, E3S Web of Conferences **384**, 01052 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401052>
15. Erkin Abduraimov and others. *Application of semiconductor contactless devices to improve the quality and reliability of power supply systems*. Cite as: AIP Conference Proceedings **3152**, 040023 (2024); <https://doi.org/10.1063/5.0218898>