

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ БЕСКОНТАКНЫХ  
УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЁЖНОСТИ  
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*Э.Х.Абдураимов, ТГТУ, доцент кафедры «Электротехника»,  
кандидат технических наук, доцент*

*Ш.И.Холмурзаева, Ташкентский государственный технический  
университет, ассистент кафедры «Электротехника»*

*Н.Э.Хамидова, менеджер ООО “JUPU Energy Consulting”*

**Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы исследования и создания полупроводникового бесконтактного переключающего устройства для автоматического управления качеством и надёжностью работы систем электроснабжения, с применением разработанных полупроводниковых бесконтактных тиристорных реле напряжения, отличающийся высокой надёжностью и быстродействием, совмещающих в себе чувствительную систему и мощный исполнительный орган. Приводятся схемы с описаниями принципа работы и экспериментальные характеристики. Предлагаются применить для автоматического включения или отключения обмотки вольтодобавочного трансформатора при изменениях входного напряжения для поддержания номинального напряжения у потребителей электроэнергии, а также для автоматического переключающего устройства для создания регулятора мощности конденсаторных батарей, компенсирующих устройств реактивной энергии.

**Ключевые слова:** стабилизатор напряжения, система управления, бесконтактное реле, тиристор, конденсатор, транзистор, симистор, микроконтроллер, автотрансформатор.

**Annotation:** The article deals with the research and development of a semiconductor non-contact switching device for automatic control of the quality and reliability of power supply systems, using the developed semiconductor non-contact thyristor voltage relays, characterized by high reliability and speed, combining a sensitive system and a powerful executive body. Schemes with descriptions of the principle of operation and experimental characteristics are given. It is proposed to apply for automatic switching on or off of the winding of a booster transformer when the input voltage changes to maintain the rated voltage for electricity consumers, as well as for an automatic switching device to create a power regulator for capacitor banks, compensating reactive energy devices.

**Keywords:** power quality indicators, voltage stabilizer, control system, non-contact relay, thyristor, capacitor, transistor, triac, microcontroller, autotransformer.

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.

Достижения силовой полупроводниковой электроники в настоящее время позволили освоить новый класс электротехнических аппаратов - бесконтактную коммутационную полупроводниковую аппаратуру (БКПА).

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.

При этом высоковольтная БКПА позволяет решить проблему быстродействующего токоограничения, создать, в частности безреакторные сети 6-10 кВ с мощностью короткого замыкания до 1500 МВА; ограничить ударные аварийные токи, уменьшить термические и динамические воздействия на элементы СЭС; упростить подключение электроприемников с резкопеременной ударной нагрузкой; обеспечить самозапуск крупных электрических машин и перевод синхронных двигателей без гашения их поля на резервный источник; управлять реактивными элементами сети - реакторами, конденсаторными батареями; создать кольцевые сети напряжением 0,4; 6; 10 кВ и рационально использовать трансформаторную мощность; повысить качество электроэнергии в распределительных сетях; сократить капитальные затраты на сооружение СЭС.

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 настоящее время промышленностью выпускаются тиристоры многих типов. Они используются и в электронике, и в силовоточной электротехнике. Благодаря их замечательным характеристикам область применения тиристоров весьма обширна. Тиристоры присущи все преимущества полупроводниковых приборов.

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 [1,2,3,4].

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.

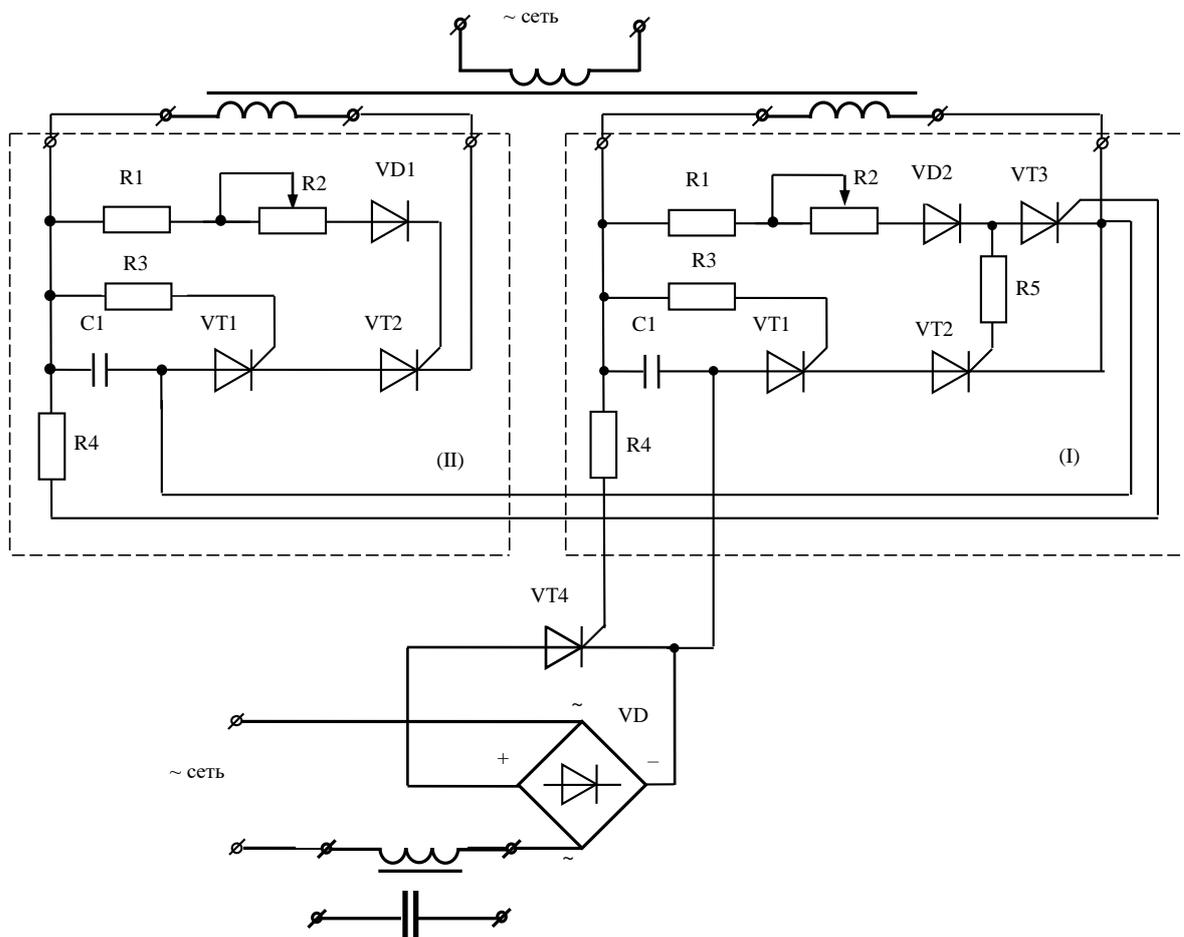


Рис. 1. Схема автоматического бесконтактного переключающего устройства

На рис.2. приведена характеристика “вход-выход” бесконтактного автоматического переключающего устройства.

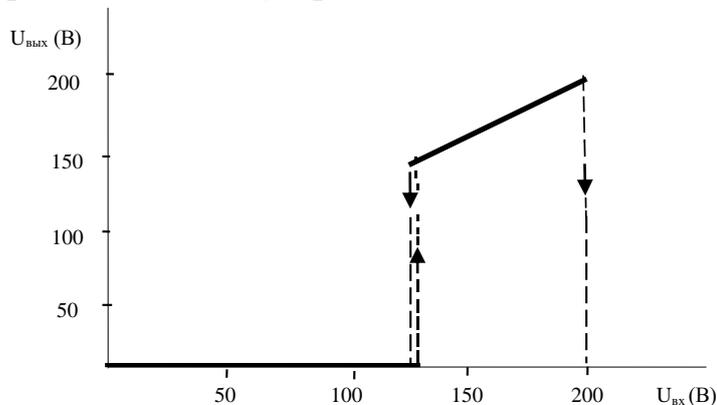


Рис.2. Характеристика «вход-выход»

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  $\cos \varphi_{cp,63в}$  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.

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.

Таким образом, нами предлагаются бесконтактное полупроводниковое тиристорное устройство для автоматического управления одним из показателей качества как поддержание номинального напряжения непосредственно у потребителей электроэнергии. В системах электроснабжения с помощью этих полупроводниковых бесконтактных переключателей предлагаем управления ответвлений силовых и вольтодобавочных трансформаторов, а также надёжная бесконтактная коммутация и регулирование параметров реактивных элементов (ёмкости, реакторы), источники реактивной мощности.

## Литература

1. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Оптоэлектронное бесконтактное реле напряжения // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение № IAP 05122. 29.10.2015.
2. Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х. Силовые бесконтактные коммутирующие устройства Международная конференция «INNOVATION–2017» Сборник научных статей. Ташкент, 2017, -С.219-220.
3. Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х. Энергосберегающие бесконтактные коммутирующие устройства. Международная конференция «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» ТИИИиМСХ г. Ташкент 28 ноябрь 2018 г. С-134-138.
4. Каримов И.Ч., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимларида контактсиз ускуналарнинг ишлатилиши // «Техника юлдузлари» журнали (ISSN: 1682-7686). Тошкент, 2017. - №4. – Б.53-56.
5. Бобожанов М.Қ., Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Саттаров Х.А. Электр таъминоти тизимида контактсиз кучланиш стабилизаторларини тадқиқ қилиш // «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» журнали (ISSN: 2181-9211). Тошкент, 2018. - №3(5). – Б.106-109.
6. Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х., Хамидова Н.Э. Высокоэффективные и надёжные бесконтактные коммутирующие устройства. Материалы республиканской научно-технической конф. «Интеграция науки, образования и производства важнейший фактор в реализации инвестиционных проектов» Фил. Рос.Гос Университета Н и Г им. Губкина. Ташкент -2019, С.247-249.
7. Каримов Р.Ч., Рўзиназаров М.Р., Паноев А.Т. Электр таъминоти тизимида сифимли филтрли тўғрилагични таҳлил қилиш // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техникавий журнали. Бухоро, 2017. - №1. – Б.22-27.
8. Каримов Р.Ч., Рафиқова Г.Р. Сифимли тўплагичлар энергиясини зарядловчи курилмаларнинг параметрлари ва иш режимларини танлаш // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техникавий журнали. Бухоро, 2016. - №1. – Б.9-19.
9. Суллийев А.Х., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимида оптоэлектронли контактсиз кучланиш релесини ишлатиш // «ТошТЙМИ ахбороти» журнали (ISSN: 2091-5365). Тошкент, 2018. - №4. – Б.149-154.
10. Бобожанов М.Қ., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимида оптоэлектронли резистив занжирларни тадқиқ қилиш // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2017. - №4(101). – Б.53-57.
11. Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Абдураимов Э.Х., Рўзиназаров М.Р. Электр таъминоти тизимида транзисторли резистив занжирларни ишлатиш // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2015. - №3(92). – Б.108-113.
12. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Использование бесконтактных реле для улучшения качества электроэнергии // Журнал «Вестник ТашГТУ» (ISSN: 1684-789X). Ташкент, 2013. - №3-4. – С.48-51.
13. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч., Авлакулов Х.П. Ночизикли электр занжирида динамик жараёнларнинг таҳлили // «ТошДТУ

хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2010. - №1-2. – Б.72-75.

14. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Нелинейная динамическая цепь с тиристором // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент, 2006. - № 2-3. – С.37-41.

15. Кадыров Т.М., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимларида контактсиз реле ва ростловчи ускуналар // «Техника юлдузлари» журнали (ISSN: 1682-7686). Тошкент, 2006. - № 1. –Б.39-41.

16. Абдураимов Э.Х., Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Рўзиназаров М.Р. Электр таъминоти тизимида куч тиристорларини бошқаришида оптоэлектронли резистив занжирларни ишлатиш // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2015. - №2(90). – Б.103-108.

17. Bobojanov M.K., Usmanov E.G., Abduraimov E.H., Karimov R.Ch. Resistive time delay switches // Scientific journal «European Science Review» (ISSN: 2310-5577). Vienna (Austria), 2018, January–February. №1-2. – PP.210-212.

18. Karimov R.Ch., Rasulov A.N., Meliqo'ziyev M.V., Almardonov O., Rafiqov M.Z. Analysis on diode electrical circuits // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India. Issue 3, March 2019, - №6, – P.8294-8298.

19. Rasulov A.N., Karimov R.Ch. The Contactless Relay of Tension in System of Power Supply // Scientific journal «Eastern European» (ISSN: 2199-7977). Dusseldorf (Germany), Ausgabe. 2015. - №4. – PP.174-178.

20. Rasulov A.N., Karimov R.Ch. The Contactless Thyristor Device for Inclusion and Shutdown of Condenser Installations in System of Power Supply // Scientific journal «Eastern European» (ISSN: 2199-7977). Dusseldorf (Germany), Ausgabe. 2015. - №4. – PP.179-183.

21. Мухиддинов Ш.С., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Оптоэлектронные резистивные цепи // Сборнике материалов IV-международной научно-практической конференции «Наука и современное общество: взаимодействие и развитие». Россия, Уфа, 2017. Том 2. – С.72-75.

22. E.Abduraimov, B.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>

23. Karimov R.Ch., Karimov I.Ch. Research of the modes of electric chains by reducing the equations of state to a standart tupe in power supply systems // Научный журнал «Young scientist USA» (ISSN: 2072-0297). USA, 2016, №5, – PP.106-109.

24. Karimov R.Ch., Karimov I.Ch. Research of diode resistive chains in power supply systems // Научный журнал «Young scientist USA» (ISSN: 2072-0297). USA, 2016, №5, – PP.102-105.

25. Каримов Р.Ч., Каримов И.Ч. Электр таъминоти тизимларида контактсиз ускуналарнинг ишлатилиши // ТошДТУ “Фан ва техника тараккиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” мавзусида ўтказиладиган Республика илмий-техник анжумани, Тошкент. 2017 йил 17-20 апрель, – Б.272-274.