

**ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАЩИТА И УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СХЕМ**

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

*Н.Дж. Таурова, Ташкентский государственный технический  
университет, старший преподаватель кафедры «Электротехника»*

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

**Аннотация:** В работе приведены результаты теоретических исследований полупроводниковых цепей проведенного для практического применения в разработке бесконтактного коммутирующего и регулирующего аппарата для управления запуском и защитой от минимальных напряжении электродвигателей переменного тока. По результатам анализа полупроводниковых цепей рекомендуется использовать их при создании релейных устройств автоматики электрооборудования. Исследованные полупроводниковые схемы были использованы в создании бесконтактного пускателя асинхронного электропривода с защитой от работы при пониженных напряжениях сети. Приводятся осциллограммы экспериментальных исследований предложенного коммутирующего и защитного бесконтактного аппарата.

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

**Annotation:** The paper presents the results of a theoretical study of semiconductor circuits carried out for practical use in the development of a non-contact switching and control apparatus for starting control and under voltage protection of AC motors. According to the results of the analysis of semiconductor circuits, it is recommended to use them when creating relay devices for the automation of electrical equipment. Theoretical investigated semiconductor circuits were used in the creation of a non-contact starter of an asynchronous electric drive with protection against operation at minimal voltage drops in the network.

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

Проблема создания надёжных и экономичных пускозащитных и коммутирующих устройств и аппаратов как элементов электрооборудования для цепей переменного тока имеет весьма большое значение для обеспечения бесперебойности, чёткости и быстродействия работы электроприводов и других

энергетических устройств. Особенно имеют перспективу применения полупроводниковых бесконтактных коммутирующих и регулирующих устройств, в трудно климатических условиях, в различных отраслях промышленности, в области автоматического управления электроприводами и в системах электроснабжения. Как известно и, при снижении напряжения питания асинхронных двигателей уменьшается уровень магнитного потока, а, следовательно, и крутящего момента. При этом увеличивается потребление тока, ведущее к снижению уровня напряжения в электросети, что отражается на работе других устройств, подключенных к ней. Помимо этого не следует забывать о пусковых токах, образующихся при запуске двигателей. Самопроизвольный запуск, происходящий при восстановлении напряжения после его исчезновения или при включении общего рубильника станка магистрали и т.д., для двигателей большинства механизмов промышленных предприятий недопустим по условиям безопасности обслуживающего персонала, из-за опасности поломки механизма, вследствие возможного брака продукции и по ряду других причин. Поэтому при значительном снижении напряжения в сети или его исчезновении двигателя, как правило, должны автоматически отключаться специальной защитой минимального напряжения.

В настоящее время защита минимального напряжения в схемах управления двигателями осуществляется линейными контакторами и электромагнитными пускателями или специальными реле минимального напряжения. Которые осуществляют включение автомата при напряжении сети не ниже 80% от номинального и автоматически отключают автомата при исчезновении напряжения или снижении его до 50% от номинального.

Нами для запуска и защиты от минимального напряжения электродвигателей переменного тока предлагается схема бесконтактного полупроводникового устройства для управления асинхронным электродвигателем, которые были изучены теоретическим и экспериментальными исследованиями. Теоретическими исследованиями составных частей предлагаемого устройства, были рассмотрены следующие цепи, показанные на рисунках 1 и 2.

На рисунке 1.а) представлена диодно тиристорная цепь, где выявлена релейный эффект, с помощью которого предлагается, осуществит запуск и защиту от минимального напряжения в схемах управления асинхронных двигателей. Разъяснения явления релейного эффекта можно провести на примере диодно-тиристорной цепи, когда тиристор  $VT$  последовательно подключается к сети через  $R_n$  активное сопротивление, а в цепь управления подается ток из сети через активное сопротивление  $R$  и диода  $VD$  (рис.1,а).

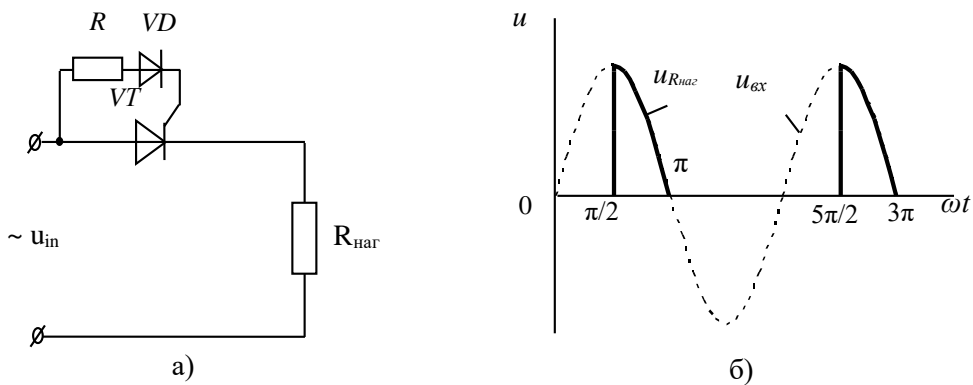


Рис. 1 а) Схема включения тиристора

Если медленно повышать величину входного напряжения, то при определенном значении  $U_{вх}$ , амплитудное значение сигнала управления будет равно току открывания тиристора, в этот момент тиристор  $VT$  открывается скачком при угле  $\alpha=90^0$  (рис. 1.б). Дальнейшее увеличение напряжения приводит к уменьшению угла  $\alpha$  почти до нуля, т.е. тиристор будет пропускать полную положительную полуволну тока. Величина напряжения, при котором тиристор открывается скачком, зависит от величины параметров  $R$  и  $R_L$ . Таким образом, открытие тиристора скачком или явления резкого изменение напряжения или тока на нагрузке в рассмотренной цепи можем назвать триггерным или иначе релейным эффектом.

Также, рассмотрени режим работы цепи, состоящей из последовательно-соединенных тиристора, активного сопротивления и индуктивной катушки, зная что, обмотки электродвигателей имеют активно-индуктивный характер нагрузки, и учитываем работу при напряжениях сети (рис.2).

Уравнение данной цепи имеет следующий вид:

(1)

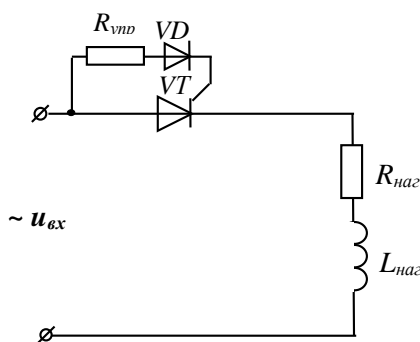


Рис. 2. Исследуемая схема

Принимаем характеристику тиристора идеальной для открытого состояния тиристора, при этом уравнение (1) примет вид:

для

(2)

или

(3)

Для значения  $t$ , задавая шаг интегрирования  $h$ , имеем:

(4)

На рис.3 показаны кривые напряжения и тока на зажимах элементов  $L$  и  $R$ , построенных решением уравнения (4) численным методом.

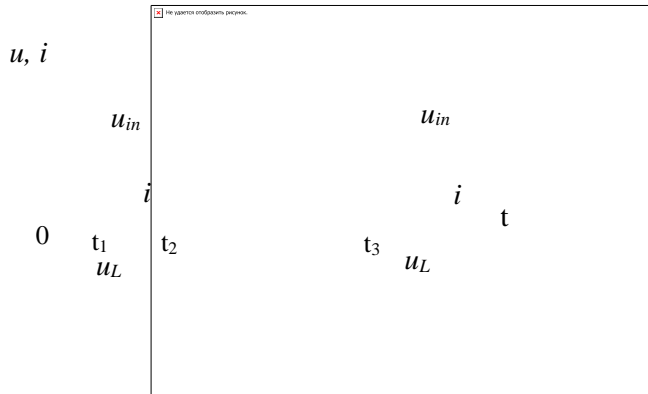


Рис. 3. Кривые тока и напряжения

Как видно из этого рисунка, ток постепенно нарастает и происходит затягивание момента прекращения тока относительно момента перехода фазного напряжения через нулевое значение. Необходимо отметить, что форма кривой тока зависит от соотношения параметров цепи  $L$  и  $R$ .

Используя, эти исследованные цепи на их основе было разработано бесконтактное устройство для запуска и защиты от работы минимального напряжения электродвигателей переменного тока, предложено схема асинхронного электропривода (рисунок 4). Учитывая, частые режимы пуска электродвигателей и работы при пониженных напряжениях сети, предложена схема бесконтактного трехфазного тиристорного пускателя асинхронного электродвигателя, состоящее из шести тиристоров, шести диодов и резисторов, одного малогабаритного промежуточного реле и автомата включателя.

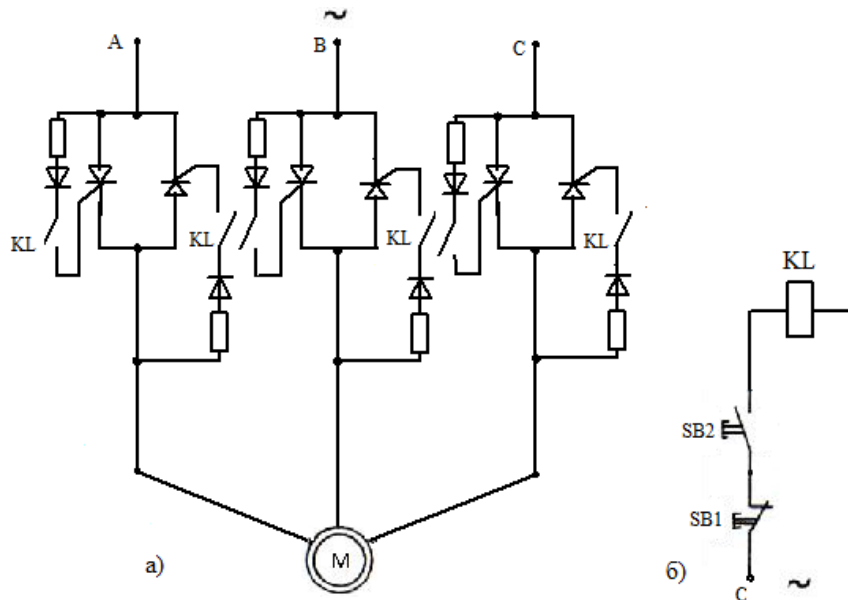


Рис.4. Бесконтактный тиристорный пускатель асинхронного двигателя с защитой от минимального напряжения. а) - силовая цепь б) - цепь управления

Пуск двигателя начинается с нажатием SB2 и подачей напряжения к реле KL. При этом срабатывая реле KL, замыкает свои контакты, тем самым подаются сигналы к управляющим электродам тиристоров через резисторно-диодную цепь с анодной части самих тиристоров. Открытие тиристоров приводит к подаче сетевого напряжения к двигателю, и он запускается. Во время работы, если номинального значение напряжение сети будет уменьшаться от допустимого значения, то токи в цепи управления тиристоров, которые подаются с анодной части через резистор и диод самих тиристоров, также уменьшаются, и это приводит к закрытию или отключению всех тиристоров, и соответственно к отключению от сети двигателя.

Экспериментальные исследования режима запуска электродвигателя и снятые кривые изменения тока и напряжения бесконтактно-релейного пускателя приведены на рис.5. для одной фазы. Из графика видно, что значение пускового тока номинальной величины устанавливается за два периода и достигает устойчивого режима работы при допустимых значениях тока и времени.

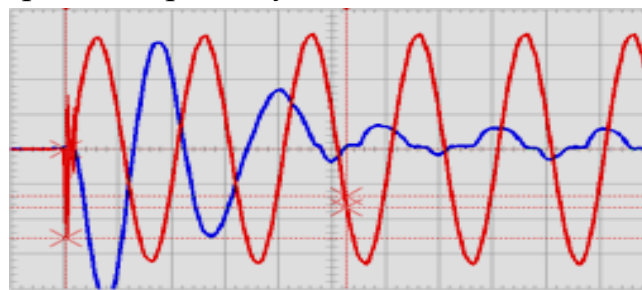


Рис.5. Осциллограмма тока и напряжения в одной фазе на входе

Таким образом, при анализе диодно-тиристорной цепи открытие тиристора скачком или явления резкого изменение напряжения или тока на нагрузке можем назвать релейным эффектом, и оно использовано в создании автоматической установки. В цепи соединенных тиристора, активного сопротивления и индуктивной катушки, были анализированы работа схемы на активно-индуктивную нагрузку учитывая характер нагрузки обмотки электродвигателей.

Для анализа применили численный метод, позволяющий производить качественный анализ переходных процессов и установившихся режимов. В предлагаемой схеме запуска и управления защитой асинхронного электродвигателя, из-за явления релейного эффекта наблюдаемого на диодно-тиристорных цепях, можно осуществить эффективное управление запуском и одновременно защитой от работы электродвигателя при пониженных напряжениях сети, то есть от минимального напряжения.

### **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» журналы (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» журналы (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 сигимли фильтрли тўғрилагични таҳлил қилиш // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техникавий журнали. Бухоро, 2017. - №1. – Б.22-27.
8. Каримов Р.Ч., Рафиқова Г.Р. Сигимли 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 оптотиристорли контактсиз кучланиш релесини ишлатиш // «ТошТЎМИ 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. Ночизиқли 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 тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” мавзусида ўтказиладиган Республика илмий-техник анжумани, Тошкент. 2017 йил 17-20 апрель, – Б.272-274.