

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Wilson, W.R.* High current arc erosion of electric contacts materials / W.R. Wilson // Trans. AIEE. – 1955. – Vol. 74. – PP. 657–663.
2. *Braunovic, M.* Electrical contacts: fundamentals, applications and technology / M. Braunovic, N.K. Myshkin, V.V. Konchits. – New York : CRC Press. – 2007. – P. 646.
3. *Порудоминский, В. В.* Устройства переключения трансформаторов под нагрузкой / В. В. Порудоминский. – М. : Энергия, 1974. – 288 с.
4. Соединители и коммутационные устройства / [Бондаренко И. Б., Гатчик Ю. А., Иванова Н. Ю., Шилкин Д. А.]. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2007. – 151 с.
5. *Липштейн, Р. А.* Трансформаторное масло / Р. А. Липштейн, М. И. Шахнович. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.

Стаття надійшла до редакції 10.02.2011.

Після доробки 22.03.2011.

**Волкова О. Г.**

**Дослідження механізму утворення поверхневих плівок на контактах маслонаповнених комутаційних пристроїв**

*У даній статті досліджено процес утворення поверхневих плівок на розривних контактах комутаційних пристроїв. Показано механізм процесу утворення продуктів забруднення у трансформаторній олії та динаміка утворення їх осаду на контактній системі.*

**Ключові слова:** контактор, трансформаторна олія, контакти, електрична дуга.

**Volkova O.G.**

**Investigation of formation mechanism of surface film on contacts of oil-filled switching devices**

*Surface films formation on contacts of switching devices is investigated. The mechanism of contamination products formation in transformer oil and dynamics of their precipitation on the contact system is described.*

**Keywords:** contactor; transformer oil, contacts, electric arc.

УДК 621.316.53:621.382.233

**А. В. Близняков канд. техн. наук, В. Л. Миронченко канд. техн. наук**

Запорожский национальный технический университет

## АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ТЕМНИТЕЛЕЙ СВЕТА

*Выполнен анализ и синтез системы управления регулятора напряжения для темнителей света на запираемых тиристорах. Представлен пример схемной реализации системы управления.*

**Ключевые слова:** анализ, синтез, регулятор напряжения, система управления, запираемые тиристоры, управляющий импульс.

Тиристорные регуляторы напряжения находят широкое применение в качестве регуляторов освещения жилых и производственных помещений [1], а также в качестве регуляторов освещения в театрах, в том числе и для темнителей света [2]. При этом регуляторы для темнителей света имеют преимущественно ручное управление. Следует отметить, что регуляторы, построенные на обычных тиристорах, отпираемых в произвольный момент времени и запираемых в нуле питающего напряжения, характеризуются относительно низким (порядка 0,5...0,8) коэффициентом мощности [1].

Его повышения можно добиться за счет регулятора с коэффициентом мощности емкостного характера. Наибольший эффект при этом достигается в том случае, если система управления регулятора обеспечивает включение тиристоров в нуле питающего напряжения, а запираение – в произвольный момент времени относительно полуволны питающего напряжения в зависимости от требуемой мощности.

Целью данного исследования является синтез системы управления регулятора для темнителей света, силовой элементной базой которого являются запираемые

тиристоры [3–5]. Основной его отличительной особенностью является оптимизированный алгоритм работы.

В работах [6–8] рассмотрены функциональные схемы систем фазового управления запираемыми тиристорами. Однако анализ представленных схем показал, что они синтезированы без проведения минимизации логической цепочки алгоритма работы системы управления. Поэтому разработанные схемы содержат излишние звенья, что в конечном итоге привело к их усложнению и снижению надежности в эксплуатации. В последнее время разрабатываются системы управления тиристорами различных видов с использованием программируемых контроллеров и микропроцессоров [9, 10].

Алгоритм работы и, соответственно, синтез рассматриваемой системы управления осуществляются с учетом использования цифровых микросхем серии К561. При наличии в синтезируемой схеме только одного управляющего сигнала такое решение будет наиболее целесообразным. Применение программируемых контроллеров и микропроцессорных систем управления может несколько упростить конструкцию печатной платы. Однако система управления в этом случае будет на порядок дороже и не обеспечит, безусловно, положительные качества микропроцессоров и микроконтроллеров, которые обычно проявляются при наличии больших массивов входных и выходных величин.

На первом этапе синтез системы управления осуществляется методом функционального наращивания [11], на основе которого составлена функциональная схема системы управления, представленная на рис. 1. Поскольку запираемые тиристоры открываются в нуле синусоиды питающего напряжения, т.е. при угле управления  $\alpha = 0^\circ$ , а запираются при угле запираения

$180^\circ > \beta > 0^\circ$ , то система управления содержит узел синхронизации СУ и фазосдвигающее устройство в цифровом исполнении, т.е. счетчик СТ и генератор тактовых импульсов G. Для защиты тиристоров от сверхтоков, в том числе коротких замыканий, схема содержит блок токовой защиты БТЗ с элементом памяти, например, RS-триггер. При этом в момент возникновения токовой перегрузки на одном из выходов триггера формируется логический нуль, что исключает формирование управляющих импульсов, подаваемых на тиристоры, в нуле питающего напряжения, а на втором выходе формируется логическая единица, которая формирует импульс на запираение тиристора. В этой связи схема содержит элемент «ИЛИ», пять комбинационных схем КС1...КС5 в виде элементов «И», а также конечный автомат с памятью КА и выходные узлы ВУ1 и ВУ2.

Комбинационная схема КС1 является формирователем широких импульсов длительностью 180 эл. град. и служит для запуска генератора в начале каждой полуволны питающего синусоидального напряжения и формирования узких импульсов (длительностью порядка 10–15 мкс) для обнуления счетчика. Этим достигается высокая симметрия управляющих (запирающих) импульсов тиристоров VS1 и VS2. Их отпирание происходит при нуле напряжения, а запираение – сигналом  $b$  при заполнении счетчика СТ. При перегрузке или коротком замыкании на прямом выходе  $Q_1$  триггера Т1 формируется логическая единица, которая формирует импульс на запираение тиристора, а на его инверсном выходе формируется логический нуль, который запрещает формирование импульсов на отпирание. Следует подчеркнуть, что запираемые тиристоры должны обладать симметричной характеристикой, чтобы исключить появление в сети постоянной составляющей тока.

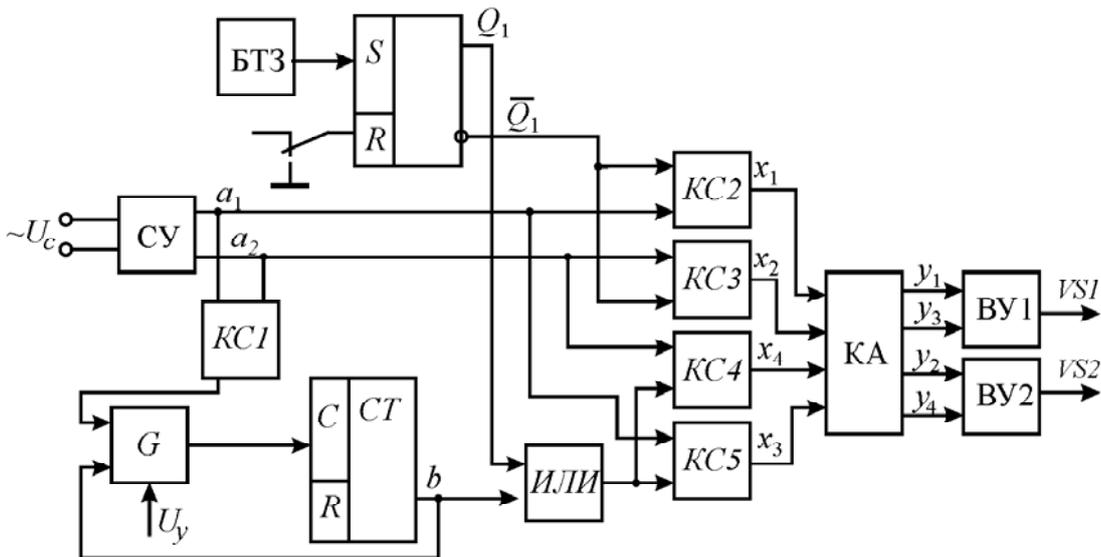


Рис. 1. Функциональная схема синтезируемой системы управления

Таким образом, синтезируемая система управления (цифровой автомат) должна формировать следующие выходные сигналы:

–  $y_1$  и  $y_3$  – сигналы на отпирание и запираание тиристора VS1;

–  $y_2$  и  $y_4$  – сигналы на отпирание и запираание тиристора VS2.

Входными сигналами автомата являются

–  $x_1$  и  $x_2$  – сигналы, формируемые в момент нуля напряжения;

–  $x_3$  и  $x_4$  – сигналы, формируемые при заполнении счетчика,

$$\text{где } x_1 = a_1 \bar{Q}_1 ; \quad x_2 = a_2 \bar{Q}_1 ; \quad x_3 = (b \vee Q_1) a_1 ; \quad x_4 = (b \vee Q_1) a_2 , \quad (1)$$

где  $a_1, a_2$  – выходные сигналы узла синхронизации;  $b$  – сигнал на выходе счетчика при его заполнении.

Синтез автомата с памятью производится с использованием канонического метода синтеза автоматов [12, 13]. Вначале составляется граф состояний синтезируемого автомата, рис. 2. При этом синтезируемый автомат имеет следующие состояния:

–  $c_1$  – включен и проводит ток тиристор VS1;

–  $c_2$  – тиристор VS1 отключен и ток нагрузки равен нулю;

–  $c_3$  – включен и проводит ток тиристор VS2;

–  $c_4$  – тиристор VS2 отключен и ток нагрузки равен нулю.

Очевидно, что при работе автомата должен соблюдаться вполне определенный алгоритм, т.е. смена состояний должна осуществляться в следующем порядке:  $c_1 - c_2 - c_3 - c_4 - c_1$  и т.д. Кодирование состояний автомата производится с использованием соседнего кодирования:  $c_1 - 00; c_2 - 01; c_3 - 11; c_4 - 10$ . Требуемое число элементов памяти определяется исходя из числа состояний [12]:

$$p = \lceil \log_2 N \rceil = 2 , \quad (2)$$

где  $N$  – число состояний, равное 4.

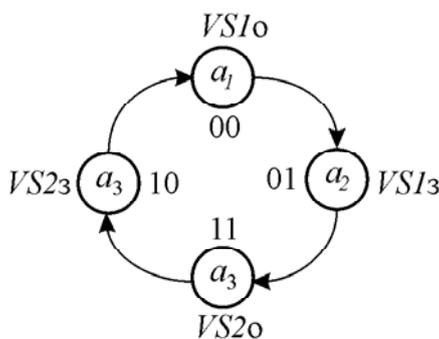


Рис. 2. Граф состояний синтезируемого автомата

В качестве элементов памяти в данном случае целесообразно использование двух RS-триггеров (один корпус микросхемы K561TM2).

На основании полученных данных составляется совмещенная таблица переходов и выходов автомата, табл. 1 и, соответственно, булевы выражения для выходных сигналов:

$$y_1 = x_1 \bar{Q}_2 \bar{Q}_3 ; \quad (3)$$

$$y_2 = x_2 \bar{Q}_2 Q_3 ; \quad (4)$$

$$y_3 = x_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_3 ; \quad (5)$$

$$y_4 = x_4 Q_2 Q_3 . \quad (6)$$

Функции возбуждения могут быть получены на основе следующих соображений. Например, чтобы переключить триггер T3 из состояния  $\bar{Q}_3$  в состояние  $Q_3$ , необходимо подать сигнал на S-вход этого триггера, т.е.  $S_3 = x_2$ , а для того, чтобы переключить его из состояния  $Q_3$  в состояние  $\bar{Q}_3$ , необходимо подать в соответствии с выражением (3) на его R-вход сигнал  $x_1$ , т.е.  $R_3 = x_1$  и т.д. Таким образом,

$$S_2 = x_4 , \quad R_2 = x_3 , \quad S_3 = x_2 , \quad R_3 = x_1 . \quad (7)$$

Комбинационная схема KC1 может быть реализована с помощью двух элементов «И-НЕ», аналогично KC2...KC5. Элемент «ИЛИ» (см. рис. 1) реализуется на элементах «И-НЕ»;  $b \vee Q_1 = \overline{\bar{b} \cdot \bar{Q}_1}$ .

На рис. 3 показана схема конечного автомата, а на рис. 4 – полная принципиальная схема регулятора. Анализ работы синтезированного автомата иллюстрируется временными диаграммами, рис. 5. При включении питания с помощью пусковой схемы R7–C2 (см. рис. 4) триггеры устанавливаются в состояния  $\bar{Q}_1 = 1; Q_2 = 1; \bar{Q}_3 = 1$ , а счетчики обнуляются. С приходом сигнала  $x_1(a_1)$  отпирается тиристор VS1, а с приходом сигнала  $x_3$  тиристор VS1 запирается. Далее

Таблица 1 – Совмещенная таблица переходов и выходов автомата

$c_i$	$Q_2 Q_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
$c_1$	00	00	00	$01/y_3$	0
$c_2$	01	01	$11/y_2$	01	01
$c_3$	11	11	11	11	$10/y_4$
$c_4$	10	$00/y_1$	10	10	10

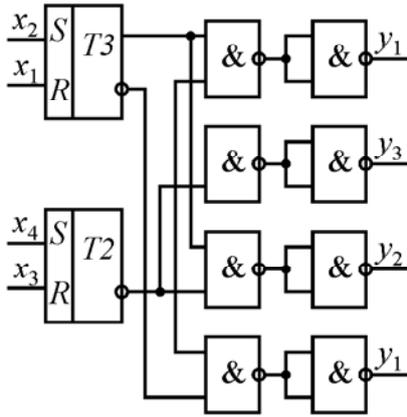


Рис. 3. Структурная схема конечного автомата

с приходом сигнала  $x_2(a_2)$  отпирается тиристор VS2, а с приходом сигнала  $x_4$  он запирается. Таким образом, проведенный анализ показывает, что переходы, указанные в словесном описании, выполняются.

В научно-техническом плане новым в данной схеме (см. рис. 4) является применение схемы выходного узла, построенного на маломощных тиристорах, запирающие которых осуществляется приложением к цепи управления обратного напряжения при разряде накопительных конденсаторов [8]. Данный узел построен на маломощных тиристорах VS3, VS4 (VS5, VS6) и накопительных конденсаторах C7 (C8), диодах VD18 (VD19) и резисторах R24, R26 (R29, R31). При разряде конденсатора C7 (C8) к цепи управления тиристора прикладывается обратное напряжение, и он запирается.

При подаче питания с помощью пусковой схемы C2–R7 обнуляется счетчик и триггеры устанавливаются в положение  $\bar{Q}_1 = 1; Q_2 = 1; \bar{Q}_3 = 1$ . С приходом управляющего импульса  $x_1 = a_1 \bar{Q}_1$  кратковременным импульсом  $z_1 = y_1 \bar{t}$  отпирается тиристор VS6 и ток заряда конденсатора C8 формирует управляющий импульс на отпирание тиристора VS1. При заполнении

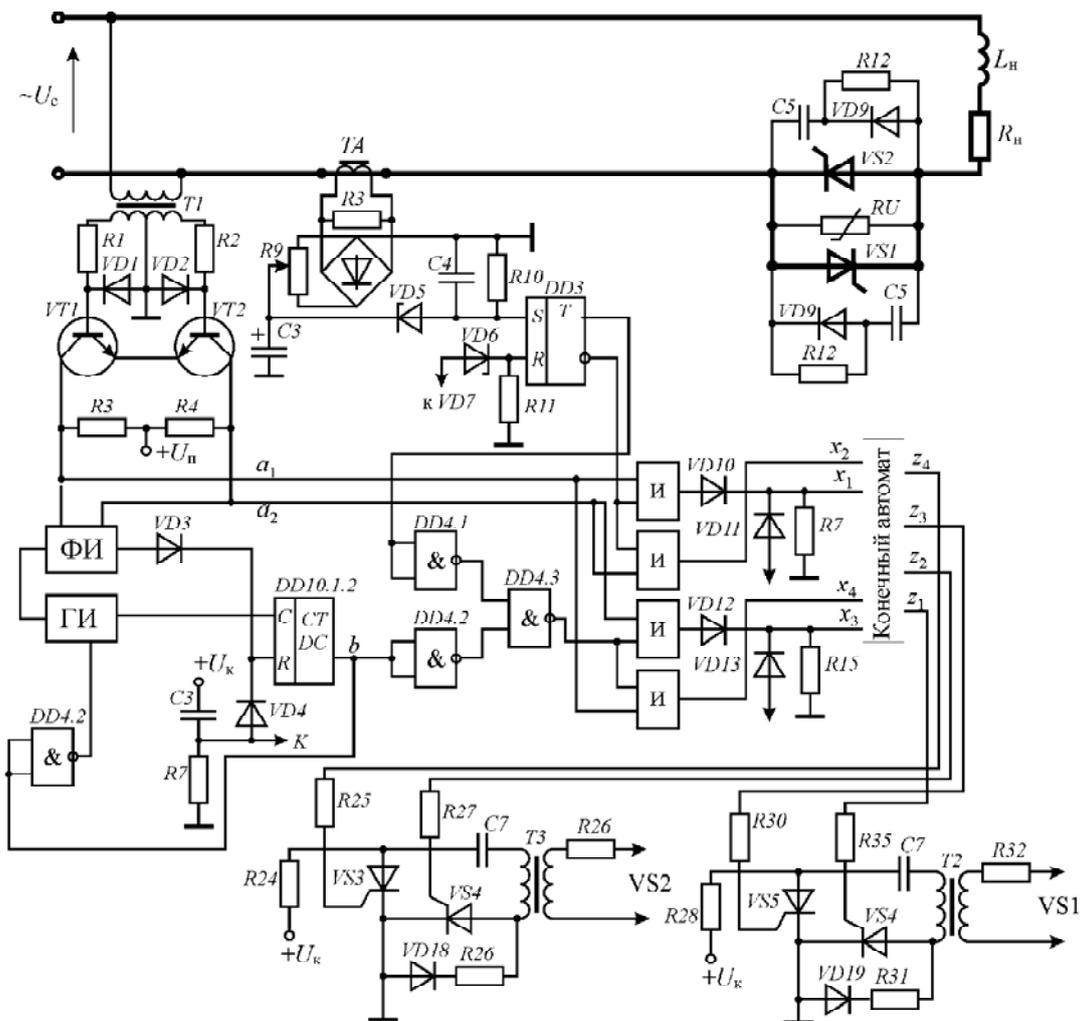


Рис. 4. Принципиальная схема регулятора на запираемых тиристорах

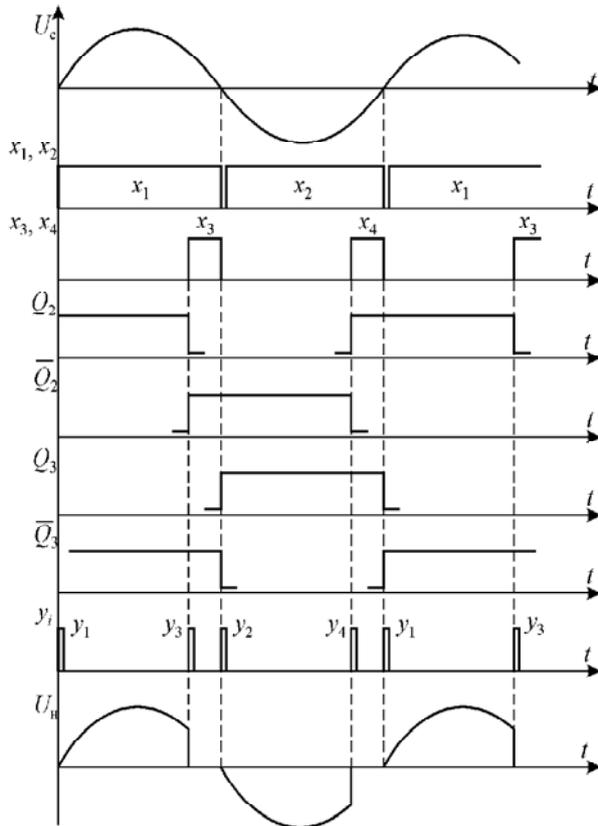


Рис. 5. Временные диаграммы работы синтезируемого устройства

счетчика СТ (два последовательно соединенных счетчика-дешифратора К561ИЕ8 общей емкостью  $N=100$ ) формируется импульс  $x_3$ , переключающий триггер Т2 в состояние  $\bar{Q}_2 = 1$ . Кратковременным импульсом  $z_3 = y_3 \bar{t}$  отпирается тиристор VS5, и конденсатор C8 разряжается по цепи C8–VS5–VD19–R27 – обмотка трансформатора T2 – C8. При этом во вторичной цепи T2 формируется импульс обратной полярности, запирающий тиристор VS1. Отпирание и запираение тиристора VS2 происходит аналогично. Применение такой схемы выходного узла позволяет гальванически развязать цепи управления от токовой цепи. Расчет емкости накопительных конденсаторов C7 (C8) может быть произведен на основе рекомендаций [13].

Для защиты тиристоров от пробоя при запираении может быть применена демпфирующая цепь R12, VD8, C5 (R13, VD9, C6) (см. рис. 4). Ее применение позволяет облегчить процесс запираения тиристора, поскольку обеспечивается временной сдвиг между спадом тока в цепи и нарастанием напряжения на тиристоре. Отсутствие указанной цепи, как правило, приводит к потере свойств запираемого тиристора. Защита тиристоров от внешних перенапряжений осуществляется с помощью варистора RU (см. рис. 4).

Многочисленные исследования подтвердили надежность запираемых тиристоров при наличии демпфирующей цепи [15].

### Выводы

1. Проведенные исследования, а также теоретические предпосылки позволяют установить, что применение регулятора на запираемых тиристорах повышает общий коэффициент мощности потребителей, работающих параллельно с регулятором.

2. Анализ работы системы управления по временным диаграммам показывает, что перечисленные выше условия в отношении алгоритма ее работы выполняются.

3. Применение схемы выходного узла на маломощных тиристорах с коммутирующим конденсатором обеспечивает надежное отпирание и запираение тиристоров, что подтверждено многочисленными исследованиями на лабораторной установке [15]. При этом создается гальваническая развязка между цепью управления и силовой цепью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шкап, Л. Ц. Театральные регуляторы напряжения / Л. Ц. Шкап, В. А. Забродин – М. : Энергия, 1998. – 88 с.
2. Кунгс, Я. А. Автоматизация управления электрическим освещением / Кунгс Я. А. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.
3. Запираемые тиристоры: Быстродействующие диоды: [каталог ABB Semiconductors AG]. – [Москва, 1999]. – 174 с.
4. Супронович, Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок / Супронович Г. [перев. с польск.]. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.
5. Сокол, Е. И. Повышение коэффициента мощности бестрансформаторного трехфазного тиристорного преобразователя напряжения с комбинированным управлением / Е. И. Сокол, И. П. Архиреев, А. В. Кипенский, Е. И. Король // Технічна електродинаміка. – Київ, 2001. – тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність», ч. 2.
6. Переверзев, А. В. Электротехнические характеристики формирователя импульсов управления для запираемого тиристора / А. В. Переверзев, А. Г. Алексеев, О. В. Василенко // Электротехніка та електроенергетика. – 2003. – № 1. – С. 24–28.
7. Булатов, О. Г. Формирователи импульсов управления двухоперационными тиристорами / О. Г. Булатов, О. В. Жеглов // Электротехніка. – 1996. – № 1. – С. 44–50.
8. Миронченко, В. Л. Анализ и синтез системы управления регулятора на запираемых тиристорах / В. Л. Миронченко, А. В. Близняков // Электротехніка та електроенергетика. – 2003. – № 1. – С. 79–81.
9. Король, Е. И. Тиристорный преобразователь мощности с цифровым управлением для регулирования

- ня температури награвельної губки станка. / Е. І. Король // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002 – тем. випуск Мікропроцесорні системи імпульсного управління.
10. Сокол, Е. І., Электропривод постоянного тока с микропроцессорной прогнозирующей системой управления / Е. І. Сокол, А. В. Кипенский, А. А. Лашин, Н. Н. Орехова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002 – тем. випуск Мікропроцесорні системи імпульсного управління.
11. Полковський, І. М. Схемотехніка мікроелектронної апаратури / І. М. Полковський, В. П. Стыцько, Ю. Е. Рудберг. – М.: Радио и связь, 1981. – 320 с.
12. Прикладная теория цифровых автоматов / [под ред. К. Г. Самофалова]. – К.: Вища школа, 1987. – 375 с.
13. Новиков, Ю. В. Основы цифровой схемотехники: Базовые элементы и схемы. Методы проектирования / Ю. В. Новиков. – М.: Мир, 2001. – 379 с.
14. Грехов, И. В. Тиристоры, выключаемые током управления / И. В. Грехов, И. А. Линийчук. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 96 с.
15. Сравнительный анализ ключевых схем на транзисторах и запираемых тиристорах / В. П. Безручко, До-Чинь, В. Л. Миронченко [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. – 1989 – № 11 – С. 111–113.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2011.

Після доробки 22.03.2011.

**Близняков О. В., Миронченко В. Л.**

**Аналіз та синтез системи керування регулятора для затемнювачів світла**

*Виконано аналіз і синтез системи керування регулятора напруги для затемнювачів світла на запираних тиристорах. Надано приклад схемної реалізації системи керування.*

**Ключові слова:** аналіз, синтез, регулятор напруги, система керування, запирані тиристори, керуючий імпульс.

**Bliznyakov O. V., Mironchenko V. L.**

**Analysis and synthesis of regulator control system for dimmers**

*Analysis and synthesis of the gate-controlled thyristor-based voltage regulator control system for dimmers has been performed. Example of a control system circuit is represented.*

**Key words:** analysis, synthesis, voltage regulator, control system, gate-controlled thyristors, control pulse.

УДК 681.5.013

**С. О. Бур'ян, В. Ю. Ворощенко, С. В. Король, О. Ю. Савич, С. А. Смірнов**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ФОРМУВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

*У статті запропоновано пристрій для автоматизації формування траєкторій при експериментальному дослідженні електромеханічних систем. Траєкторії формуються за допомогою логічного програмованого контролера, що підключений до промислового перетворювача частоти. Представлено результати досліджень для різних типів траєкторій.*

**Ключові слова:** логічний програмований контролер, автоматизація, траєкторія руху, синтез.

**Вступ.** Експериментальні дослідження електромеханічних систем часто складаються з великої кількості серій тестів, які виконуються для різного типу задаючих і збурюючих дій. Для аналізу і систематизації отриманих експериментальних даних усі тести з одним типом заданих траєкторій повинні мати ідентичні характерні ділянки (розгін, гальмування, накидання моменту). От-

римання однотипних експериментальних даних при дослідженні електромеханічних систем в режимі відпрацювання ступінчастих ліфтових траєкторій або траєкторій з реверсом можливе тільки при використанні програмованого задавального пристрою. Для цього можуть використовуватися спеціальні пристрої: персональний комп'ютер з платою, що реалізує дискретні входи/вихо-